

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**NANÚBIA PEREIRA BARRETO**

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DE ZONA DE MISTURA  
PARA LANÇAMENTOS DE EFLUENTES NO ESTADO DO PARANÁ

CURITIBA

2016

**NANÚBIA PEREIRA BARRETO**

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DE ZONA DE MISTURA  
PARA LANÇAMENTOS DE EFLUENTES NO ESTADO DO PARANÁ**

Trabalho Final II apresentado como requisito final à conclusão das atividades da disciplina Projeto final II do curso de graduação de Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Professor Dr. Tobias Bleninger

CURITIBA

2016



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

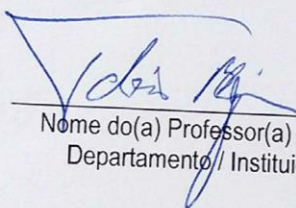
### TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

Nanúbia Pereira Barreto

#### PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DE ZONA DE MISTURA PARA LANÇAMENTOS DE EFLUENTES NO ESTADO DO PARANÁ

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 10, pela seguinte banca examinadora:

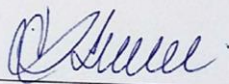
Orientador(a):



Nome do(a) Professor(a) Orientador(a)  
Departamento / Instituição do(a) Orientador(a)

TÓBIAS BENINGER  
DEA, UFPR

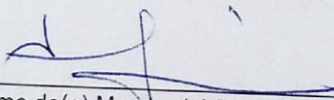
Membro(a) 1:



Nome do(a) Membro(a) Examinador 1  
Departamento / Instituição do(a) Membro(a) 1

Katya Haquiere  
DP&T/SGT

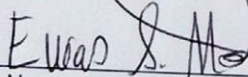
Membro(a) 2:



Nome do(a) Membro(a) Examinador 2  
Departamento / Instituição do(a) Membro(a) 2

Eduardo Felipe Gobbi

Membro(a) 3:



Nome do(a) Membro(a) Examinador 3  
Departamento / Instituição do(a) Membro(a) 3

Enéas Souza Machado

Curitiba, 06 de dezembro de 2016

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me oferecer oportunidades maravilhosas todos os dias.

Ao Doutor Enéas Souza Machado, pela confiança e oportunidade.

Ao Professor Doutor Tobias Bleninger, pela orientação e disponibilidade.

A todos os meus professores, pelos ensinamentos ofertados capazes de me trazer até aqui.

À minha família e aos meus amigos, pelo apoio, compreensão e paciência.

## RESUMO

A água é um bem finito e essencial para diversos fins trazendo a importância de tratar com cautela questões relacionadas a recursos hídricos. As Políticas Estaduais e Nacional de Recursos Hídricos foram instituídas para garantir a disponibilidade hídrica nos padrões adequados, destacando seus instrumentos de gestão, enquadramento dos corpos de água em classes e outorga de direito de uso de recursos hídricos. A outorga visando controlar qualitativa e quantitativamente os usos da água é concedida através do órgão gestor estadual ou federal. Dentre os diversos usos da água que necessitam de outorga tem-se o lançamento de efluentes nos corpos hídricos, onde o outorgante toma o direito de lançar no corpo hídrico o seu efluente, desde que esteja em acordo com os parâmetros de qualidade de água para a classe daquele rio. As legislações permitem que durante a zona de mistura ocorra concentrações de substâncias em desacordo com os padrões de qualidade de água para a classe correspondente ao corpo receptor. Alguns países ou autores propõem metodologias capazes de dimensionar essa zona de mistura, para que se possa fazer o controle das concentrações dentro e fora da região onde o efluente terá se misturado completamente ao corpo receptor. Com o objetivo do presente estudo foi analisada uma metodologia para a definição de comprimento para zona de mistura para lançamentos de efluentes em sistemas fluviais e proposto uma metodologia para comprimento de zona de mistura legal no Brasil e no estado do Paraná. Além de calculada a distância de mistura completa para efluentes lançados em corpos hídricos com diferentes características físicas. Na maioria dos casos a concentração máxima encontrada após a mistura completa para vazões médias do corpo hídrico se mostrou baixa e não prejudicial à qualidade do corpo hídrico ao qual está enquadrado. Pode-se concluir que a aplicação das equações para os processos de mistura de efluentes em corpos hídricos do estado do Paraná e do Brasil se mostraram viáveis. Devendo apenas olhar com cuidado situações em que a vazão do corpo hídrico estiver muito baixa, já que a diluição do efluente se mostrou menos eficiente. Em casos onde o trecho do rio possuir alta rugosidade e largura muito elevada, as equações aqui

analisadas obtiveram distâncias muito altas para que a mistura do efluente fosse completa, porém as concentrações máximas após a zona de mistura se deram próximas de zero, mostrando que não há necessidade de restringir toda a distância de mistura completa apenas para o uso de diluição desse poluente.

Palavras-chave: Zona de Mistura, Zona de Mistura Legal, Lançamento de efluente

## ABSTRACT

Water is a finite resource and essential for many purposes, bringing with it the importance of addressing water resource issues with caution. The State and National Water Resources Policies were instituted to guarantee water availability in the appropriate standards, highlighting its management instruments, sorting water bodies into classes and the concession to the right to use water resources. The concession to control qualitative and quantitative uses of water is granted through the state or federal management body. Among the various uses of water that need to the concession, there is the discharge of effluents into the water bodies, where the authority which signs the concession takes the right to launch into the water body its effluent, since it is in agreement with the parameters of water quality for the class of that river. The technical legislations allow that during the mixing zone the concentrations of substances are in disagreement with water quality standards for a class corresponding to the receiving body. Some countries or authors propose methodologies to dimension this mixing zone, so that the concentrations can be controlled inside and outside the region where the effluent will be completely mixed with the receiving body. The aim of the present study was to analyze and propose a methodology for a definition of length for the mixing zone for effluent releases in river systems in Brazil and the state of Paraná. In addition to calculating the complete mixing distance for effluents released into water bodies with different physical characteristics. In most cases the maximum concentration found after the complete mixture at medium flows of the water body was low and not harmful to the quality of the water body to which it is suited. It is possible to conclude that an application of equations for the processes of effluent release in water bodies of the state of Paraná and Brazil have proved viable. It should only be observed with caution when the leakage of the water body is low, since the dilution of the effluent was less efficient. In cases where the river's stretch has high roughness and very high width, the analyzed equations obtained very high distances for the effluent mixture to be complete, but the maximum concentrations after the mixing zone were close to zero, showing that there is no need to restrict an entire mixing distance only to the use of dilution of the pollutant.

Key words: Mixing Zone, Mixing Zone Regulations, Effluent Discharge

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: LANÇAMENTO DE EFLUENTE EM UM CORPO HÍDRICO .....	15
FIGURA 2: SEÇÃO LONGITUDINAL PARA ESCOAMENTO TURBULENTO EM RIOS INCLINADOS COM LANÇAMENTO DE EFLUENTE COM FONTE PONTUAL PASSIVA, CONTÍNUA E SUPERFICIAL.....	17
FIGURA 3: SEÇÃO TRANSVERSAL PARA ESCOAMENTO TURBULENTO EM RIOS INCLINADOS COM LANÇAMENTO DE EFLUENTE COM FONTE PONTUAL, CONTÍNUA E SUPERFICIAL.....	17
FIGURA 4: EXEMPLOS DE COMPRIMENTOS E LARGURAS DE ZONA DE MISTURA PARA DESCARGAS DE EFLUENTES EM CORPOS HÍDRICOS FLUVIAIS. (A) LANÇAMENTO COM FONTE PONTUAL NA MARGEM DO CORPO RECEPTOR, (B) LANÇAMENTO COM FONTE PONTUAL LONGE DA MARGEM, (C) LANÇAMENTO COM DIFUSOR PERPENDICULAR, E (D) DESCARGA COM DIFUSOR HORIZONTAL.....	22
FIGURA 5: ZONA DE DILUIÇÃO TÓXICA PARA LANÇAMENTOS DE EFLUENTES TÓXICOS .....	24
FIGURA 6: RIO TIBAGI.....	42
FIGURA 7: RIO BARIGUI.....	44
FIGURA 8 - PONTO DE LANÇAMENTO DOS EFLUENTES AO LONGO DO RIO TIBAGI .....	47
FIGURA 9 - PONTO DE LANÇAMENTO DOS EFLUENTES AO LONGO DO RIO BARIGUI.....	65

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA	–	Agência Nacional de Águas
AGUASPARANÁ	–	Instituto das Águas do Paraná
CETESB	–	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNRH	-	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	–	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPA	–	United States Environmental Protection Agency
SISNAMA	–	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SIH	–	Sistema de Informações Hidrológicas
SEMA	–	Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado
PNRH	–	Política Nacional de Recursos Hídricos
PERH	–	Política Estadual de Recursos Hídricos
DBO	–	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	–	Demanda Química de Oxigênio
OD	–	Oxigênio Dissolvido
ZM	–	Zona de Mistura
ZDI	–	Zona de Diluição Inicial
ZML	–	Zona de Mistura Legal
ZDT	–	Zona de Diluição Tóxica
DAEE	–	Departamento de Águas e Energia Elétrica
EPA	–	United States Environmental Protection Agency

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1. OBJETIVOS .....	13
1.1.1. Objetivo Geral.....	13
1.1.2. Objetivos Específicos .....	13
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
2.1. PROCESSO DE MISTURA PARA LANÇAMENTOS DE EFLUENTES EM CORPOS HÍDRICOS.....	16
2.2. DEFINIÇÃO DE ZONA DE MISTURA.....	19
2.2.1. Zona de Mistura Legal .....	22
2.2.2. Zona de Diluição Tóxica .....	24
2.3. MODELOS DE ZONA DE MISTURA FÍSICA.....	24
2.4. LEGISLAÇÃO NACIONAL REFERENTE À QUALIDADE DE CORPOS HÍDRICOS.....	25
2.4.1. Legislação do Estado de São Paulo .....	30
2.4.2. Legislação do Estado do Paraná .....	31
2.5. LEGISLAÇÃO ESTRANGEIRA REFERENTE À QUALIDADE DE CORPOS HÍDRICOS .....	37
2.5.1. Estados Unidos da América .....	37
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>40</b>
3.1. COMPARAÇÃO DAS NORMAS APRESENTADAS COM AS EXISTENTES NO BRASIL.....	40
3.2. ESTUDO E ANÁLISE DE LEGISLAÇÕES PARA METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DE ZONA DE MISTURA LEGAL .....	41
3.3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DE ZONA DE MISTURA.....	41
3.3.1. RIO TIBAGI.....	42
3.3.2. RIO BARIGUI.....	43
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>45</b>

4.1.	ANÁLISE DAS LEGISLAÇÕES APRESENTADAS.....	45
4.2.	RIO TIBAGI .....	46
4.2.1.	COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ.....	48
4.2.2.	KLABIN S.A. – TELÊMACO BORBA.....	54
4.2.3.	KLABIN S.A. – ORTIGUEIRA.....	59
4.3.	RIO BARIGUI .....	64
4.3.1.	ESSENCIS SOLUÇÕES AMBIENTAIS .....	65
4.3.2.	PETRÓLEO DO BRASIL S.A .....	70
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>78</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água sendo um bem finito, essencial para diversos fins e um bem de importância vital para a conservação da vida, não pode ser tratada apenas como um recurso. Dessa forma, questões relacionadas a recursos hídricos devem ser tratadas com bastante cautela, necessitando de uma boa gestão para que se mantenham conservados. Assim, criou-se a Lei 9.433, de 08 de Janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, Lei 9.433, 1997).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecida com objetivo de garantir a disponibilidade de água em padrões de qualidade aos respectivos usos, às gerações atual e futura; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos destacando o desenvolvimento sustentável; e a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

De maneira a obter resultados positivos a PNRH requer a implementação de seis instrumentos de gestão, entre eles estão os Planos de Recursos Hídricos, o Enquadramento dos corpos de água em classes e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

A Agência Nacional de Águas (ANA), por meio de suas competências é incumbida de regulamentar os instrumentos de gestão da PNRH para recursos hídricos de domínio da União. Deve desempenhar ações de regulação, apoio à gestão e planejamento dos recursos hídricos, monitoramento de rios e reservatórios, de maneira a oferecer informações que estimulem uma adequada gestão e uso racional dos recursos hídricos.

Quando analisados os recursos hídricos de domínio do estado trata-se de gestão em nível estadual e têm-se a Política Estadual de Recursos Hídricos, onde o órgão responsável do Estado, Poder Público Estadual, implementa da forma que melhor é adaptada a Política naquela região.

No estado de São Paulo o Sistema Ambiental Paulista, é o encarregado de gestão ambiental e a CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, que compõe o Sistema é responsável pelo controle, fiscalização,

monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição (CETESB, 2009). Já o DAEE, Departamento de Água e Energia Elétrica fica diretamente responsável pela gestão dos recursos hídricos.

O estado do Paraná possui como órgão gestor de recursos hídricos o Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANÁ), ligado diretamente à Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) por meio do Sistema SEMA - PR. O AGUASPARANÁ gerencia e executa os instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos do Paraná - PERH/PR (AGUASPARANÁ, 1999).

Dentre os diversos usos da água destaca-se o lançamento (descarga) de efluentes nos corpos receptores, onde o outorgante toma o direito de lançar no corpo hídrico o seu efluente, sendo ele doméstico ou industrial, desde que esteja em acordo com os parâmetros de qualidade de água para a classe daquele rio.

No instante em que é lançado no corpo receptor, o efluente começa a se dispersar longitudinal e transversalmente, e juntamente, vai ocorrendo o processo de degradação do efluente por microorganismos ali presentes, dessa forma, a concentração das substâncias presentes no poluente vão diminuindo.

O corpo hídrico com sua capacidade de autodepuração do efluente faz com que as cargas de origem orgânicas lançadas sejam neutralizadas, buscando reestabelecer o equilíbrio do meio aquático encontrado antes de seu lançamento (SPERLING, 1996). Esse é um processo natural, que a matéria orgânica é decomposta por microorganismos aeróbios e há o decréscimo da concentração do oxigênio dissolvido na água devido à respiração desses microorganismos (STEHFEST, 1973).

O enquadramento dos corpos hídricos, um dos instrumentos das Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos, tem a função de garantir qualidade adequada aos usos da água de maneira a auxiliar no processo de outorga de direitos de uso dos recursos hídricos e ajudar a reduzir custos de combate à poluição das águas por meio de medidas preventivas permanentes. Dessa forma, informações atuais do corpo hídrico sobre sua qualidade e seus usos são essenciais à classificação adequada durante o enquadramento.

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos, visa controlar qualitativa e quantitativamente os usos da água para que os objetivos das Políticas não sejam afetados. É obrigatório o pedido de outorga a todos que fazem uso significativo de águas superficiais ou águas subterrâneas para as diversas finalidades (PNRH, 1997).

Em caso de mau gerenciamento de processos de outorga de lançamentos ou enquadramento dos corpos hídricos é provável que o corpo hídrico será prejudicado e conseqüentemente ele caia para uma classe onde a qualidade da água seja inferior.

Para evitar a degradação dos corpos hídricos é necessário que se sigam normas de lançamento de efluentes nacionais e estaduais, além de realizar análises dos parâmetros de qualidade de água dos efluentes antes do lançamento e abaixo na zona de mistura (CONAMA, 2011) para que não seja excedido o permitido em lei.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA (CONAMA, 1981), tem como competência estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, visando o uso racional dos recursos ambientais, especialmente os recursos hídricos.

A Resolução CONAMA nº 430 (2011) define zona de mistura como a região do corpo receptor localizada entre o lançamento do efluente e o ponto onde ocorre o equilíbrio da mistura. Na zona de mistura são permitidas concentrações das substâncias em desacordo com os padrões de qualidade de água para a classe correspondente ao corpo receptor, desde que não implique no comprometimento dos usos para o mesmo previsto na Resolução CONAMA nº 357 (CONAMA, 2011).

Para que se possa então dizer se as concentrações das substâncias estão ou não em desacordo com a legislação e se realize uma fiscalização concreta do corpo hídrico tem-se a necessidade de dimensionar a zona de mistura referente ao efluente.

Apesar da definição e da exposição da sua grande importância apresentadas pelas legislações nacional e estaduais as normas não dimensionam a zona de mistura ou uma maneira de se obtê-la. Isso acaba

gerando uma aleatoriedade na interpretação, onde em alguns casos permite-se que trechos de rios, as vezes grandes comprimentos, sejam afetados, e em outros exigindo que o efluente receba um tratamento acima do que seria necessário considerando apenas o comprimento para a zona de mistura.

## 1.1. OBJETIVOS

A partir das observações apresentadas têm-se como objetivos do presente trabalho.

### 1.1.1. Objetivo Geral

O estudo aqui realizado visa analisar e propor uma metodologia para definição de comprimento para zona de mistura para lançamentos de efluentes em sistemas fluviais no Brasil e no estado do Paraná segundo o que existe de estudos de outros países.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Analisar as legislações vigentes brasileira e paranaense e a sua importância referente à qualidade de corpos hídricos fluviais;
- Apresentar a importância de uma classificação de zona de mistura em processos de outorgas e licenciamentos ambientais de lançamento de efluentes;
- Apresentar e comparar os critérios estabelecidos para zona de mistura em outros países e na literatura;

- Sugerir metodologia para obtenção de distância em que ocorre mistura completa para o estado do Paraná; e
- Aplicar a metodologia sugerida em rios no Paraná com diferentes larguras e profundidades.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A geração de efluentes é um processo vindo de diversos sistemas fundamentais para a urbanização, como estações de tratamento de esgoto, indústrias, sistemas de drenagem urbana e termoelétricas. Porém, os efluentes necessitam de uma destinação adequada para que não agridam o meio ambiente. Com vista ao menor impacto possível ele deve sofrer um tratamento e após estar em acordo com as legislações vigentes poderá ser lançado em um corpo hídrico que preferencialmente tenha condições para degradar substâncias devido ao seu mecanismo de autodepuração. A Figura 1 ilustra o problema.

Considerando  $B$  como a largura do corpo receptor,  $h$  como a profundidade e a água escoando para a direita, com uma vazão  $Q_r$  (vazão do rio), quando um lançamento de efluente é realizada em um ponto qualquer do corpo hídrico, com uma vazão  $Q_e$  (vazão do efluente), forma-se uma pluma de dispersão do efluente até que ocorra toda a mistura no corpo receptor, isto é, em qualquer ponto à jusante da mistura as concentrações das substâncias presentes no efluente são iguais.

Através da imagem abaixo é possível observar a zona de mistura (ZM) no corpo hídrico e o momento em que ocorre mistura completa. Porém a mistura completa em rios pode ter extensões muito grandes como será mostrado em sequência. E existem assim várias definições adicionais: zona de diluição adicional, zona de mistura legal, zona de diluição tóxica.

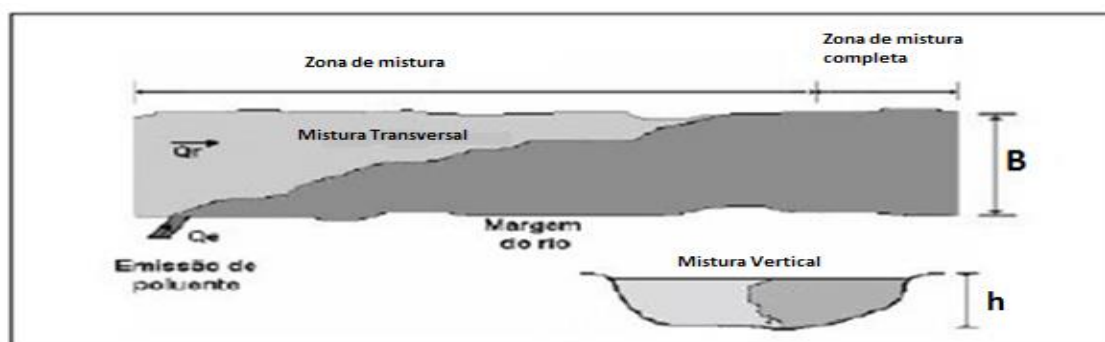


FIGURA 1: LANÇAMENTO DE EFLUENTE EM UM CORPO HÍDRICO

Fonte: Machado, 2006.

Legislações referentes a qualidade e classificação dos recursos hídricos, como Política de Recursos Hídricos ou Política Federal de Saneamento Básico,

tratam de processos que necessitam de uma definição de zona de mistura. Este Capítulo trará uma revisão bibliográfica sobre legislações referentes ao Brasil, e em especial ao Paraná, assim como legislações estrangeiras que definem uma metodologia para dimensionamento de zona de mistura para lançamentos fluviais de efluentes, abrangendo também o processo físico da mistura e as definições adicionais encontradas na literatura.

## 2.1. PROCESSO DE MISTURA PARA LANÇAMENTOS DE EFLUENTES EM CORPOS HÍDRICOS

Em trabalhos que se pretende dimensionar a mistura de um lançamento de efluente em um corpo receptor é importante distinguir os processos de mistura hidrodinâmica que determinam o destino e a distribuição do efluente a partir do local de lançamento e a formulação da zona de mistura legal que pretende evitar impactos nocivos do efluente no ambiente aquático.

A hidrodinâmica de um efluente que é lançado continuamente em um corpo receptor pode ser definida como um processo de mistura que ocorre em duas regiões separadas. A primeira região, zona de diluição inicial, possui características do efluente lançado com sua determinada vazão, do escoamento do efluente devido à diferença de densidade entre a água do corpo hídrico e o efluente, da influência da geometria do emissário do efluente e da taxa de mistura.

A pluma de dispersão do poluente possui um movimento turbulento e conforme se desloca pelo corpo hídrico as características do lançamento perdem importância; nesta segunda região as características do corpo hídrico controlam a trajetória e a diluição da pluma.

O escoamento nos rios é caracterizado pela turbulência. A difusão e mistura do efluente são controladas pelos vórtices e pode ser descrito de forma análoga para a mistura molecular por uma efetiva difusividade turbulenta  $E$  como o produto entre a velocidade  $u'$  e tamanho  $l$  dos vórtices,  $E \sim u' l$ .

Um rio com largura,  $B$ , muito maior que a profundidade média,  $h$ , e declividade  $S = \sin \theta$ , terá um equilíbrio do escoamento em que a tensão de corte

inferior  $\tau_0$  é neutralizada pela componente de peso que atua na direção de escoamento (FIGURA 2):

$$\tau_0 = \rho h S \quad (1)$$

Onde

$p = \rho g$  : peso específico da água,

$\rho$  : densidade da água,

$g$  : aceleração da gravidade.

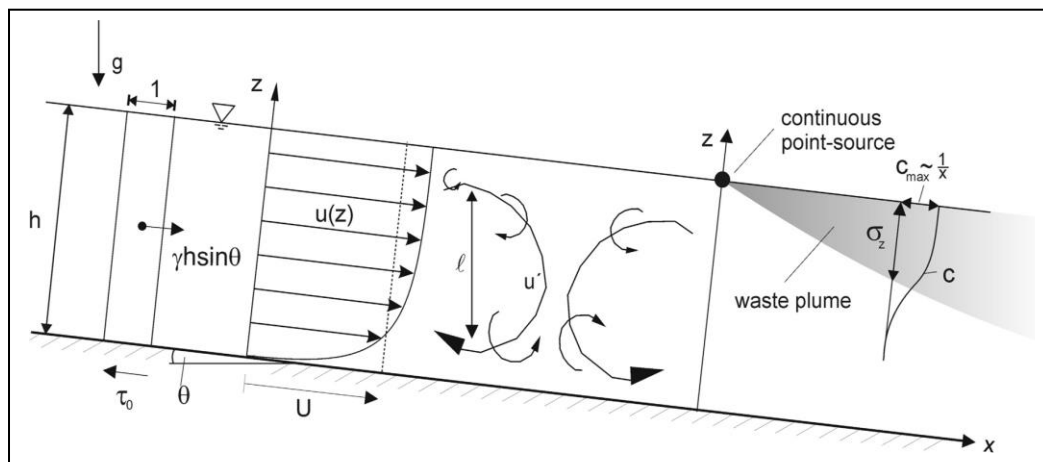


FIGURA 2: SEÇÃO LONGITUDINAL PARA ESCOAMENTO TURBULENTO EM RIOS INCLINADOS COM LANÇAMENTO DE EFLUENTE COM FONTE PONTUAL PASSIVA, CONTÍNUA E SUPERFICIAL

Fonte: Jirka et al, 2004

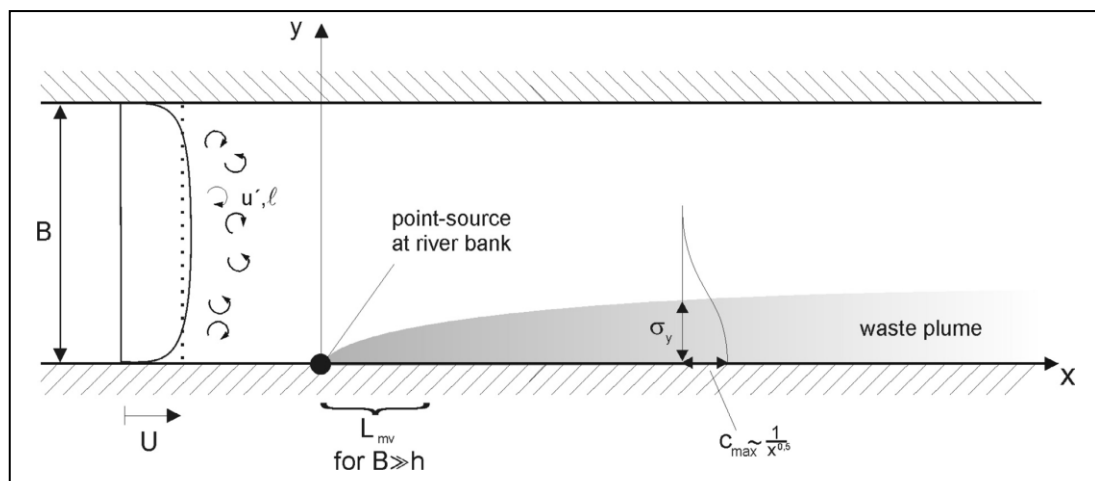


FIGURA 3: SEÇÃO TRANSVERSAL PARA ESCOAMENTO TURBULENTO EM RIOS INCLINADOS COM LANÇAMENTO DE EFLUENTE COM FONTE PONTUAL, CONTÍNUA E SUPERFICIAL

Fonte: Jirka et al, 2004

A velocidade de cisalhamento que atua no corpo hídrico,  $u^*$ , representada por  $\sqrt{(\tau_0/\rho)}$  é então:

$$u^* = \sqrt{(ghS)} \quad (2)$$

E portanto,  $u' \sim u^*$ . Ela também está relacionada com a velocidade média  $U$  pelas propriedades de atrito da parte inferior e é tipicamente cerca de 5 a 10% de  $U$ ,  $u^* = (0,05 \text{ a } 0,10) U$ , sendo os valores mais elevados para corpos com maior rugosidade.

Grandes vórtices que correspondem a escoamentos com profundidade  $h \sim l$ , possuem uma mistura mais eficiente. Além disso, a estrutura de Foucault é caracterizada por uma certa anisotropia espacial, a sua extensão na direção vertical  $Z$  é mais fortemente limitado do que na direção  $Y$  horizontal que se situa transversalmente em relação à direção do escoamento  $X$ . Dessa forma os coeficientes da difusividade turbulenta nas direções  $Z$ , e  $Y$  são, respectivamente:

$$E_Z = \alpha_Z u^* h \quad (3)$$

$$E_Y = \alpha_Y u^* h \quad (4)$$

Onde

$$\alpha_Z = 0,07 \pm 50\% \text{ (Rutherford, 1994)}$$

$\alpha_Y = 0,5 \pm 50\%$  (Fischer et al., 1979), para rios com variabilidade moderada, isto é, sem forte turbulência e sem zonas laterais de água parada.

Se uma fonte de lançamento pontual e contínua ocorre na superfície e na margem do corpo hídrico a pluma do poluente irá se dispersar como mostrados na Figura 2 e na Figura 3, já que o poluente é dispersado vertical e transversalmente.

A concentração do poluente no processo de dispersão possui valor máximo  $C_{MAX}$  na superfície da água e na margem do rio, próximo ao lançamento. O desvio padrão  $\sigma$  define a distância dos pontos onde a concentração da pluma cai para  $C = 0,61 C_{MAX}$  e é um indicador prático para a largura da pluma.

## 2.2. DEFINIÇÃO DE ZONA DE MISTURA

É possível descartar efluentes de diversas fontes em um corpo receptor, porém tomando sempre o cuidado de não poluir os recursos hídricos. Apesar de geralmente o efluente lançado no rio sofrer um tratamento antes do seu lançamento algumas substâncias ainda permanecem e se misturarão ao corpo receptor. Dessa forma, a zona de mistura (ZM) do corpo hídrico referente aquele efluente se estende do ponto do seu lançamento até o ponto onde é atingido o equilíbrio de mistura entre os parâmetros físicos, químicos e biológicos do efluente e do corpo receptor (CONAMA, 2011).

Antes que se possa dimensionar uma ZM é necessário levar em conta três questões importantes. O tamanho e a sua configuração não poderão causar prejuízos à qualidade da água do corpo hídrico, não deverá haver efeito letal aos organismos aquáticos presentes na ZM e não pode haver riscos à saúde das populações humanas associadas aquele trecho do corpo hídrico. Sendo o extremo uma  $ZM = 0$ , porém este é valor inviável.

Segundo Bleninger e Jirka (2010) o processo de mistura sofre influência de características do lançamento e do corpo receptor. As características do lançamento dependerão da descarga e do efluente, sendo a descarga definida pela estrutura do lançamento e suas dimensões, podendo ser um canal aberto ou fechado, submerso ou elevado, pelo local escolhido para o lançamento e também pela orientação da estrutura. O efluente pode variar segundo o seu tipo (doméstico, industrial, água de drenagem), suas propriedades físicas, químicas e biológicas, os escoamentos (volume, fluxo e velocidades do lançamento), e as cargas das substâncias ali presentes.

As características do corpo receptor são definidas pelas condições do local do lançamento e de todo o corpo hídrico. Quando o empreendedor interessado em lançar seu efluente está analisando possíveis locais para o ponto de lançamento deve-se levar em conta o tipo e as condições hidrológicas do corpo hídrico, a sua topografia, suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Para o estudo das condições de todo o corpo hídrico é necessário se levar em

conta a existência de outras pressões ambientais, como outros lançamentos, barragens e captações, e a presença de ecossistemas sensíveis próximos.

Tendo conhecimento da qualidade da água do corpo receptor e do seu efluente, e seguindo as normas de lançamentos fluviais de efluentes (CONAMA, 2005) tem-se ou não a necessidade de acelerar o processo de mistura das substâncias lançadas. E através do conhecimento das características do processo de descarga do efluente é possível trabalhá-las para se obter o exigido em lei.

De acordo com Jirka, et al (2004) em trabalhos com descargas de efluentes é importante separar os aspectos físicos hidrodinâmicos do processo de diluição total, e a formulação administrativa da zona de mistura legal para evitar impactos nocivos do efluente no ambiente aquático.

Segundo Fischer et al (1979) a distância da  $L_{MV}$  para o local de mistura vertical completa, de um lançamento realizado na margem, é geralmente definida como o ponto em que a concentração no leito torna-se 90% da concentração da superfície. Conforme a o processo de mistura física (item 2.1):

$$L_{MV} = 0,4 \frac{Uh^2}{E_Z} \quad (5)$$

Onde:

- U: velocidade média de escoamento da água no corpo hídrico; e
- h: profundidade média do corpo hídrico.

O ponto de mistura completa transversal  $L_{MH}$  pode ser expressa por:

$$L_{MH} = 0,4 \frac{UB^2}{E_Y} \quad (6)$$

Onde:

- B: largura média do corpo hídrico.

Quando o leito possuir alta rugosidade, considerando  $\alpha_Z = 0,07$  e  $\alpha_Y = 0,5$ , a velocidade de cisalhamento  $u^*$  se torna 10% da velocidade U do escoamento. Então as distâncias para que ocorra mistura completa vertical e transversal será:

$$L_{MV} = 50 h \quad (5a)$$

$$L_{MH} = 8 \frac{B^2}{h} \quad (6a)$$

A concentração máxima encontrada após a mistura completa pode ser obtida através seguinte equação:

$$C_{MAX} = 2 \frac{C_e Q_e}{h \sqrt{(4\pi E_y U L_{MH})}} \quad (7)$$

Onde:

- $C_e$ : Concentração de poluente lançado no efluente; e
- $Q_e$ : Vazão de lançamento do efluente.

Um exemplo da aplicação das equações apresentadas acima com dois rios pode ilustrar a dinâmica de mistura para fontes pontuais em rios. Considerando o rio Reno perto de Karlsruhe na Alemanha, com vazão média de 600 m<sup>3</sup>/s, largura de 250 metros e profundidade de 3 metros. E o rio Alb perto também de Karlsruhe na Alemanha, com vazão média de 2 m<sup>3</sup>/s, largura de 5 metros e profundidade de 0,5 metro. Abaixo são apresentados os valores obtidos para mistura completa transversal e vertical. Pode-se observar que a mistura vertical ocorre rapidamente, porém a mistura transversal necessita de grande comprimento do rio, principalmente em casos de rios com grandes larguras.

	$L_{MV}$ (m)	$L_{MH}$ (m)
Rio Reno	150	160.000
Rio Alb	25	400

É importante destacar que foi considerado um lançamento na margem e próximo à superfície, mas em casos onde o lançamento for realizado no centro do rio as distâncias para mistura completa diminuem em um fator de 4, ocorrendo 4 vezes mais rápido.

### 2.2.1. Zona de Mistura Legal

Da forma que a zona de mistura completa abrange já todo o processo físico de mistura do efluente, a zona de mistura legal (ZML) é a definição prevista nos instrumentos legais para a diluição do efluente no corpo hídrico, de maneira que não seja preciso impor requisitos rigorosos ao efluente antes da sua descarga e não seja necessário restringir uma grande porção do corpo hídrico apenas para diluição de um efluente. Pode-se dizer que a ZML permite que ocorra uma mistura no corpo hídrico sem que seja prejudicada a qualidade da água do corpo receptor.

A Figura 4 mostra diferentes cenários e potenciais definições de dimensões para lançamentos diferentes. Observa-se que a zona de mistura legal geralmente cobre só uma parte da zona de mistura física.

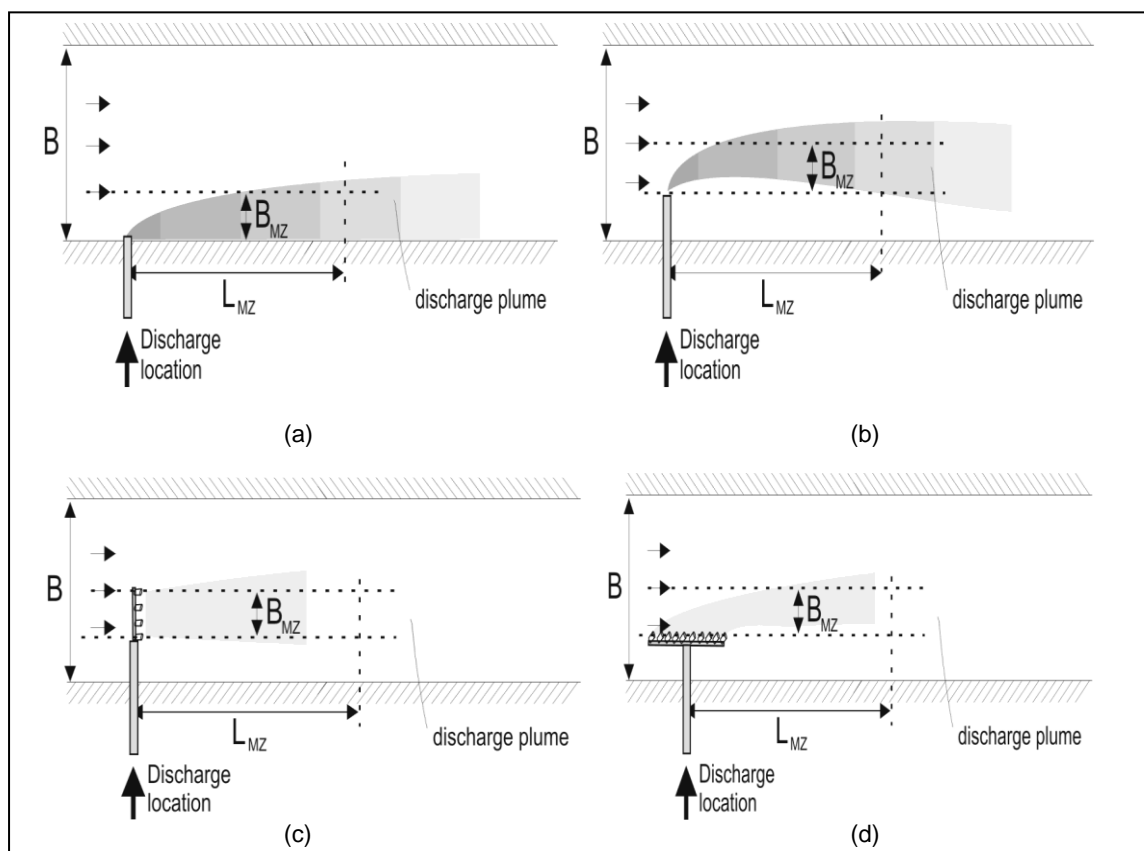


FIGURA 4: EXEMPLOS DE COMPRIMENTOS E LARGURAS DE ZONA DE MISTURA PARA DESCARGAS DE EFLUENTES EM CORPOS HÍDRICOS FLUVIAIS. (A) LANÇAMENTO COM FONTE PONTUAL NA MARGEM DO CORPO RECEPTOR, (B) LANÇAMENTO COM FONTE

PONTUAL LONGE DA MARGEM, (C) LANÇAMENTO COM DIFUSOR PERPENDICULAR, E  
(D) DESCARGA COM DIFUSOR HORIZONTAL.

Fonte: Jirka e Bleninger, 2013.

O lançamento do efluente no corpo receptor pode ocorrer através de um único ponto (a) e (b) ou por difusores (vários pontos próximos) (c) e (d), podendo estar próximos a uma margem (a) ou entre as duas margens (b), (c) e (d). Ainda é possível variar a altura do lançamento, por exemplo, na superfície ou no fundo do corpo hídrico.

As características do efluente e a escolha da forma de lançamento do mesmo, como citado acima, podem influenciar o processo de mistura no corpo receptor. Dessa forma, é possível restringir a largura da zona de mistura para uma pequena parte da largura total  $B$ , de modo que não afete a fauna local. Assim também pode-se estimar o comprimento da zona de mistura, para que possa reduzir concentrações elevadas ao longo do corpo hídrico.

É importante notar que nos quatro casos o processo de mistura completa foi afetado pela forma de descarga, mas o  $L_{ZM}$  (comprimento da zona de mistura legal vertical) e a  $B_{ZM}$  (largura da zona de mistura legal) não sofreram alterações.

Alguns autores propõem fórmulas simples para o cálculo da zona de mistura legal. Jirka, et al (2004) sugere a aplicação de equações que restringem os comprimentos da ZM a uma fração das dimensões do corpo hídrico.

$$B_{ZM} = n_B B \quad (8)$$

Onde:

$$- n_B = 0,1 \text{ a } 0,5$$

$$L_{ZM} = n_L B \quad (9)$$

Onde:

$$-n_L = 1 \text{ a } 5.$$

Pode-se estabelecer outros valores para  $n_B$  e  $n_L$  pelas autoridades responsáveis pela gestão dos recursos hídricos com base em considerações regionais que tomem em consideração o tipo de corpo de água, uso de água e características biológicas.

### 2.2.2. Zona de Diluição Tóxica

Para casos em que o efluente lançado no corpo receptor é tóxico deve-se considerar uma zona de diluição tóxica (ZDT), como observado na imagem abaixo (FIGURA 5). A ZDT deve ser uma parcela da ZML, onde são permitidas concentrações de substâncias tóxicas acima do exigido para a classe daquele corpo hídrico.

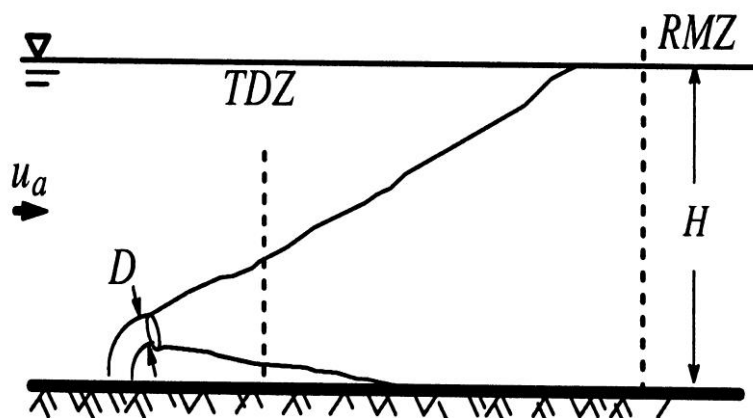


FIGURA 5: ZONA DE DILUIÇÃO TÓXICA PARA LANÇAMENTOS DE EFLUENTES TÓXICOS

Fonte: Cormix, 2015.

Para que se possa lançar o efluente tóxico no corpo hídrico primeiramente deve-se seguir dois critérios, o primeiro tem o objetivo de evitar efeitos agudos ou letais e o segundo de proteger contra efeitos crônicos, sendo o primeiro deles o mais restritivo.

### 2.3. MODELOS DE ZONA DE MISTURA FÍSICA

Modelos de zona de mistura são versões mais simples de modelos de qualidade da água. Eles são capazes de descrever de maneira detalhada os processos de mistura física, porém se limitam no cálculo da cinética de poluentes

relativamente simples, assumindo tanto substâncias conservativas ou cinética de degradação lineares.

As equações (5), (6) e (7) apresentadas nos itens anteriores podem representar um modelo simplificado na obtenção do comprimento da zona de mistura, podendo criar modelos de fácil utilização em planilha eletrônica.

Dentre os diversos modelos que projetam a pluma de dispersão de um poluente líquido e assim, o comprimento da zona de mistura, tem-se o Cormix, o Def3D, o Mike e o Model Mixing Lengths.

O Cormix é um modelo comercial, muito utilizado devido a sua fácil utilização, que serve de suporte ao órgão de Proteção Ambiental Americano (EPA) (DONEKER e JIRKA, 2001) para avaliação de impacto ambiental em zona de mistura legal resultante de descargas contínuas de fontes pontuais. A metodologia do CORMIX contém sistemas que são capazes de modelar lançamentos pontuais, descargas por difusores multiseriais e fontes de descarga na superfície.

De forma rápida pode-se prever detalhadamente o comportamento da mistura de diversos tipos de descarga. O programa é capaz de apresentar a trajetória da pluma para longas distâncias, com suas concentrações e previsões de diluição. É possível também observar a pluma de dispersão sobre a zona de mistura legal e zona de diluição tóxica.

#### 2.4. LEGISLAÇÃO NACIONAL REFERENTE À QUALIDADE DE CORPOS HÍDRICOS

A Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a Política Federal de Saneamento Básico, apresenta treze princípios fundamentais ao serviço público de saneamento básico.

Dentre eles tem-se a universalização do acesso; o abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizadas de maneira apropriada à saúde pública e à proteção do meio ambiente; juntamente com a utilização de tecnologias que considerem a

capacidade de pagamento dos usuários, tomando medidas de soluções graduais e progressivas (BRASIL, Lei 11.445, 2007, art. 2).

Uma boa gestão dos recursos hídricos com a prevenção de poluição dos corpos de água tem total importância para que seja possível cumprir quaisquer dos princípios requeridos pela Lei 11.445, de 2007. Tendo como exemplo um corpo hídrico muito poluído, é inviabilizada a captação de água para abastecimento público, já que o seu tratamento para disponibilização da água em qualidade exigida encarece o custo da água oferecida à população, que talvez não seja capaz de pagar.

Apesar da importância dos recursos hídricos para o saneamento básico, no artigo 4º da lei, considera-se que estes não estão integrados. Sendo responsável pela sua utilização na prestação os serviços públicos de saneamento básico a outorga de direito de uso, apresentada pela Política Nacional de Recursos Hídricos.

As duas políticas mostram a importância de se realizar uma boa gestão para a preservação da qualidade e quantidade de água em corpos hídricos. Apesar de as leis não estarem integradas é evidente que devem ser analisadas em conjunto a fim de obter resultados efetivos.

A Lei Federal nº 9.433 (1997) que implementa a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH em seu artigo 2º apresenta como objetivos assegurar às gerações a disponibilidade hídrica nos padrões adequados ao uso da água, a sua utilização racional juntamente com a preservação e a defesa contra eventos hidrológicos críticos (BRASIL, Lei 9.433, 1997).

Em seu artigo 5º são apresentados os instrumentos da política, sendo eles os Planos de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso, a compensação a municípios (vetado) e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, instituído pela Lei nº 6.938 (1981) que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto nº 99.274 (1990). O órgão é responsável também pelo desenvolvimento de Resoluções, Diretrizes e Normas Técnicas, critérios e

padrões nacionais relativos à proteção ambiental e ao uso sustentável dos recursos ambientais.

Criada como desdobramento da Lei nº 9.443 (1997) a Agência Nacional de Águas (ANA), é incumbida de regulamentar os instrumentos de gestão da PNRH, sendo responsável por desempenhar ações de regulação, apoio à gestão e planejamento dos recursos hídricos, monitoramento de rios e reservatórios, de maneira a oferecer informações que estimulem uma adequada gestão e uso racional dos recursos hídricos.

A Resolução do CNRH nº 91 (2008) define procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, sendo o enquadramento um dos instrumentos da PNRH, fundamental para a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental.

A Resolução do CONAMA nº 357 (2005) foi criada para definir as classes dos corpos hídricos e as diretrizes para o seu enquadramento. Nela é considerado enquadramento como as metas finais que se pretende obter, podendo-se propor metas progressivas intermediárias obrigatórias. Além disso baseia-se nos níveis de qualidade que os corpos hídricos deveriam possuir para que consigam atender as necessidades da comunidade, não necessariamente empregando o estado atual da água.

As cinco classes que são definidas no enquadramento de um corpo hídrico são descritas segundo seus usos (TABELA 1) e apresentadas concentrações máximas de parâmetros que integram os padrões de qualidade de água da sua respectiva classe, separadas em águas doce, salina e salobra.

TABELA 1: CLASSES DOS CORPOS HÍDRICOS E SEUS POSSÍVEIS USOS

CLASSES	USOS POSSÍVEIS		
	ÁGUAS DOCES	ÁGUAS SALINAS	ÁGUAS SALOBRAS
<b>ESPECIAL</b>	Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.	Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.	Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

1	<p>Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário; Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; Proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.</p>	<p>Recreação de contato primário; Proteção das comunidades aquáticas; Aqüicultura e atividade de pesca.</p>	<p>Recreação de contato primário; Proteção das comunidades aquáticas; Aqüicultura e atividade de pesca; Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.</p>
2	<p>Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário; Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; Aqüicultura e atividade de pesca.</p>	<p>Pesca amadora; Recreação de contato secundário.</p>	<p>Pesca amadora; Recreação de contato secundário.</p>
3	<p>Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e e) à dessedentação de animais.</p>	<p>Navegação; Harmonia paisagística.</p>	<p>Navegação; Harmonia paisagística.</p>
4	<p>Navegação; Harmonia paisagística.</p>	-	-

Fonte: Adaptado CONAMA, 2005.

Analisando os valores limites dos parâmetros de qualidade de água (ANEXO 1) consideram-se os corpos hídricos classificados na classe especial, os mais restritivos, sendo os de melhor qualidade de água. Já as águas de classe quatro são as menos restritivas para os seus usos, permitindo valores elevados de concentrações de substâncias poluidoras.

Referente aos parâmetros de lançamento de efluentes tem-se a Resolução CONAMA nº 430 (2011). Em seu artigo 3º estabelece que os

efluentes de qualquer fonte poluidora poderão ser lançados em corpos receptores apenas após o devido tratamento e adequação às condições, padrões e exigências apresentadas.

Segundo o parágrafo 2º, do artigo 7º, Seção I, Capítulo 2, os padrões estabelecidos deverão ser analisados de acordo com um estudo de capacidade de suporte, considerando, no mínimo, a diferença entre os padrões estabelecidos pela classe e as concentrações existentes no trecho desde a montante, avaliando a concentração após a zona de mistura.

É importante destacar o artigo 13, que admite, na zona de mistura, concentrações de substâncias em desacordo com os padrões de qualidade estabelecidos para o corpo receptor. Ou seja, próximo ao lançamento do efluente são permitidas concentrações de poluentes que poderiam afetar ecossistemas existentes no corpo hídrico ou até a população que faz uso desses recursos hídricos.

Isso ocorre pelo fato de o efluente ainda não estar todo diluído na água, mas o processo de mistura permite que ocorra diluição total e qualquer ponto do rio analisado transversal ou verticalmente terá a mesma concentração, sendo esta menor do que a lançada no corpo hídrico.

Porém, o processo de mistura depende de diversos fatores, como vazão de lançamento do efluente, vazão do rio, local e forma de lançamento. Portanto, tem-se a necessidade de considerar caso a caso o comprimento e as concentrações na zona de mistura conforme o órgão outorgante assim entenda.

Apesar de se considerar a zona de mistura uma região que deve ser analisada cuidadosamente, já que possuirá concentrações elevadas podendo interferir no comportamento dos ecossistemas aquáticos que ali estão, pouco se tem na legislação a maneira de se defini-la.

O artigo 20, da Seção II, trata de emissários submarinos, exigindo que o lançamento ocorrido após o tratamento do efluente, atenda aos padrões e condições de lançamento previstas nesta Resolução, aos padrões da classe do corpo receptor, após o limite da zona de mistura, mas a mesma não é identificada.

Sendo capaz de afetar diretamente o enquadramento dos corpos hídricos, a outorga dos direitos de usos dos recursos hídricos, terceiro

instrumento da PNRH (1997, inciso III, do art. 5º da Lei Federal nº 9.433) tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos.

O poder de outorgar o direito de uso dos recursos hídricos em corpos de água de domínio da União é concedido à Agência Nacional de Águas – ANA (2000, inciso IV, do art. 4º da Lei Federal nº 9.984).

Segundo o artigo 12, da Seção III, Capítulo IV é concedida a outorga através do Poder Público ao interessado em algumas das finalidades de uso dos corpos hídricos, sendo um deles o lançamento de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, com tratamento ou não, para a sua diluição, transporte ou disposição final nos corpos de água receptores. Note-se que legislação ambiental proíbe o lançamento sem tratamento.

#### 2.4.1. Legislação do Estado de São Paulo

A Política Estadual de Recursos Hídricos – PERH/SP no estado de São Paulo foi instituída pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB através da Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Possui como instrumentos a Outorga de Direitos de Uso dos Recursos Hídricos, Infrações e Penalidades, Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos, Rateio de Custos das Obras e o Plano Estadual de Recursos Hídricos.

Coube ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE cadastrar e outorgar o direito de uso dos recursos hídricos, quanto aos aspectos quantitativos, aplicando também as sanções previstas em lei. A partir do Decreto Estadual nº 41.258 (1996) que regulamenta a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, e da Portaria DAEE nº 717 (1996) o órgão passou a desempenhar efetivamente a função de agente fiscalizador.

Através da Portaria pode-se analisar todos os detalhes para um processo de outorga de direito de uso dos recursos hídricos no estado, quais os

usos que dependem ou não de outorga, além das medidas que devem ser tomadas ao interessado no processo.

Outro documento existente é o Controle Ecotoxicológico de Efluentes Líquidos no Estado de São Paulo (Bertoletti, 2013), que trata da Ecotoxicidade dos efluentes lançados nos corpos hídricos, onde apresenta a importância de se definir a zona de mistura, já que a Resolução CONAMA nº 430 (2011) permite efeitos tóxicos na extensão da zona de mistura.

Dessa forma, tem-se como importante fator conhecer o processo de diluição do efluente ao longo do corpo receptor até a mistura total. Uma alternativa é analisar a pluma de dispersão física do poluente através de isolinhas de diluição, já que condições locais específicas influenciam diretamente no dimensionamento da homogeneização total do efluente com o corpo hídrico.

#### 2.4.2. Legislação do Estado do Paraná

Criados pela Lei nº 12.726 (1999) a Política Estadual de Recursos Hídricos – PERH/PR do estado do Paraná e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SEGRH/PR, foram designados pelo Poder Público do Estado, compostos pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA, em parceria com o Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Paraná – CERH/PR, e trouxeram ao Paraná de forma mais efetiva o gerenciamento dos recursos hídricos.

Assim como na Política Nacional de Recursos Hídricos, no Artigo 2º do Capítulo 2 da presente Lei, são apresentados os fundamentos da Política, onde considera a bacia hidrográfica a unidade territorial capaz de receber a implementação da Política e do SEGRH/PR, além de considerar a gestão dos recursos hídricos descentralizada, tendo participação dos setores Público, de usuários e comunidade.

Diferentemente da Política Nacional, a PERH/PR apresenta em seus instrumentos de gestão o Plano Estadual e o Plano de Bacias Hidrográficas Estaduais. E segundo Roorda (2005), a gestão integrada dos recursos hídricos

ocorre principalmente devido aos instrumentos da PERH/PR, sendo eles interdependentes e complementares do ponto de vista conceitual.

No estado do Paraná os órgãos responsáveis pelo cumprimento dos objetivos da Política Estadual de Recursos Hídricos através de seus instrumentos, são o CERH/PR a SEMA/PR, e, como órgão executivo o Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANÁ).

De acordo com Roorda (2005) a SEMA possui como função a Presidência do CERH/PR e a formulação da PERH/PR. E cabe ao Instituto das Águas do Paraná integrar o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SEGRH/PR, como órgão gestor e coordenador, além de executar a PERH/PR.

Apesar de a Política Estadual só ter sido criada em 1999, o AGUASPARANÁ, na qualidade de órgão estadual gestor de recursos hídricos já possuía responsabilidade sobre a fiscalização e outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos, monitoramento quantitativo e qualitativo dos mesmos e estudos hidrológicos. A partir da publicação da Lei 12.726 (1999) o órgão ganhou outras atribuições, como a emissão da outorga de lançamentos de efluentes.

#### *2.4.2.1. Outorgas dos direitos de uso de recursos hídricos no estado do Paraná*

Um dos instrumentos das Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos, a outorga, é definida através da Resolução nº 16 (2001) do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, como um ato administrativo, onde o órgão outorgante autoriza ao interessado o direito de uso dos recursos hídricos, por prazo determinado e nos termos e condições expressas pelo outorgante.

O processo de outorga para os diversos usos dos recursos hídricos, no estado do Paraná, é tratado através do Decreto nº 9.957 (2014), que dispõe sobre o regime de outorga de direitos de uso de recursos. O Decreto detalha os usos que dependem ou não de outorgas, além de todo o procedimento a ser seguido pelo outorgado e pelo órgão responsável para análise dos requerimentos de outorga.

O lançamento de efluentes, um dos usos dos recursos hídricos que necessitam de processo de outorga, deve ser analisado cuidadosamente, já que além de poder afetar o regime hidrológico do rio como nos outros usos, pode também alterar a classe do rio e afetar diretamente o enquadramento do corpo hídrico.

O Manual de Outorgas (2006) é um documento do AGUASPARANÁ utilizado para orientar os processos de pedido de outorga, independente da finalidade de uso dos recursos hídricos. Todos os processos de outorga de captação são analisados segundo a sua vazão outorgável, apresentada na imagem abaixo, sendo esta a máxima vazão outorgável numa determinada seção do corpo hídrico, que pode ser quantificada a seguinte forma:

$$Q_{\text{outorgável } i} = 0,5 * (Q_{95\%})_i - Q_{\text{não disponível } i} \quad (10)$$

$$Q_{\text{não disponível } i} = \sum Q_{\text{outorgadas } m} + \sum Q_{\text{outorgadas } j} \quad (11)$$

Onde:

- $Q_{\text{outorgável } i}$  é a vazão máxima que pode ser outorgada na seção  $i$  do corpo hídrico;
- $(Q_{95\%})_i$  é a vazão natural com permanência de 95% do tempo na seção  $i$ ;
- $\sum Q_{\text{outorgadas } m}$  é a somatória das vazões outorgadas à montante da seção  $i$ ;
- $\sum Q_{\text{outorgadas } j}$  é a somatória das vazões outorgadas à jusante, que dependem da vazão na seção  $i$ .

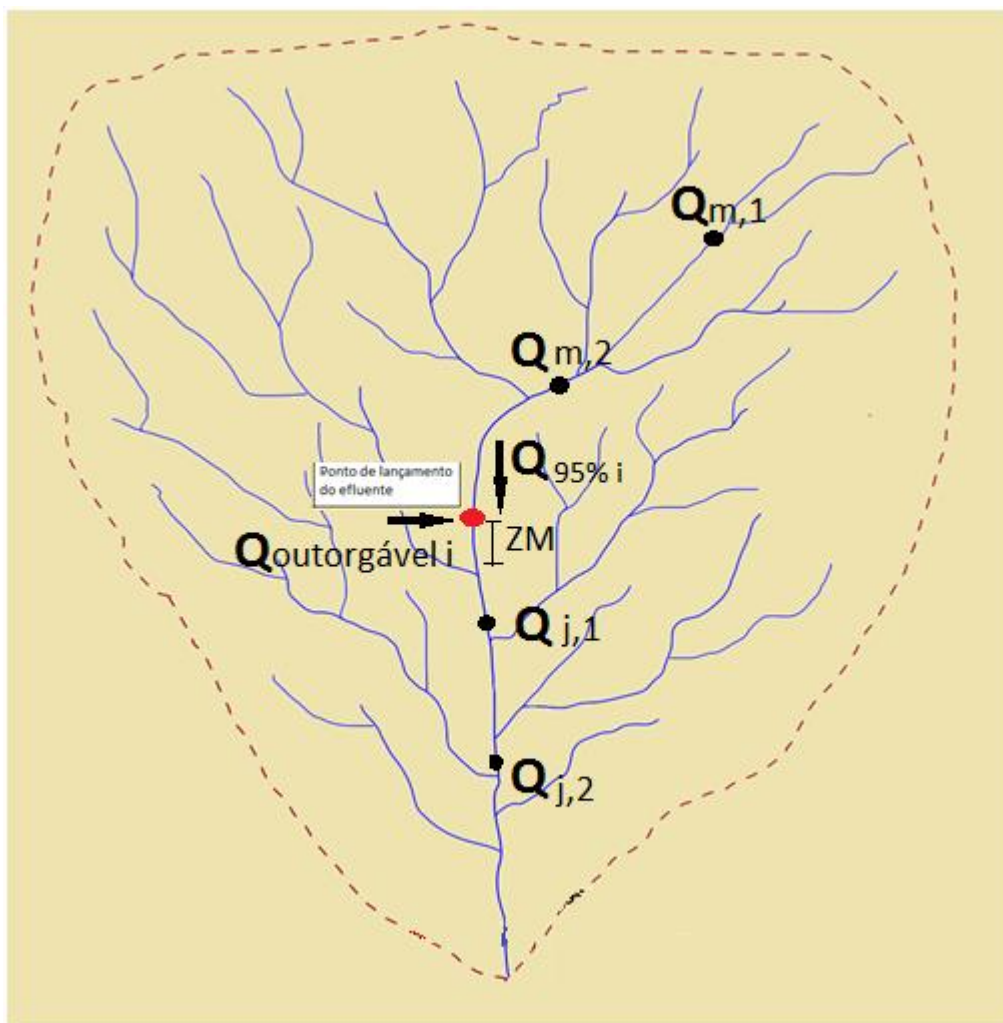


FIGURA 6: PONTO DE INTERESSE DE USO DO RECURSO HÍDRICO  
Fonte: O Autor (2015)

Considera-se na figura o ponto vermelho como o ponto de interesse para o lançamento do efluente e os pontos pretos, pontos que já possuem outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Onde as vazões  $Q_{m\ i}$  são as vazões à montante do ponto de interesse, que limitam a  $Q_{outorgável\ i}$ , e as vazões  $Q_{j\ i}$  são as vazões à jusante do ponto de interesse.

Para que o parecer do órgão outorgante seja positivo a vazão requerida deve ser menor do que a  $Q_{outorgável\ i}$ . Na outorga de lançamento de efluentes, além desta vazão são analisadas também as variáveis Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO da mistura e Oxigênio Dissolvido – OD da mistura.

O cálculo da  $DBO_{mistura}$  é uma simplificação, realizando um balanço de massa entre o corpo hídrico e o efluente lançado e considerando que ocorra mistura instantânea, que não é possível ocorrer fisicamente (AGUASPARANÁ, 2006):

$$DBO_{mistura} = \frac{Q_{outorgável} * DBO_{lim} + Q_e * DBO_{efluente}}{Q_{outorgável} + Q_{efluente}} \quad (12)$$

Onde:

- $DBO_{mistura}$  é a concentração de mistura (rio + efluente) do parâmetro DBO (mg/L);
- $Q_{outorgável}$  é vazão máxima que pode ser outorgada na seção i do corpo hídrico;
- $DBO_{lim}$  é a concentração de DBO definida pelo enquadramento (mg/L);
- $DBO_{efluente}$  é a concentração de DBO do efluente (mg/L).

O cálculo da  $OD_{mistura}$  é realizado através da seguinte equação (AGUASPARANÁ, 2006):

$$OD_{mistura} = \frac{Q_{outorgável} * OD_{lim} + Q_e * OD_{efluente}}{Q_{outorgável} + Q_{efluente}} \quad (13)$$

Onde:

- $OD_{mistura}$  é a concentração de mistura (rio + efluente) do parâmetro OD (mg/L);
- $OD_{lim}$  é a concentração de OD no rio (mg/L);
- $OD_{efluente}$  é a concentração de OD do efluente (mg/L).

Para que seja possível uma análise do comportamento da mistura do lançamento do efluente no corpo hídrico realiza-se uma comparação dos cálculos mostrados acima com os valores limites propostos no enquadramento. Destacando-se aqui o fato de que os cálculos acima apresentados não consideram uma zona de mistura, imaginando-se que o processo de mistura do efluente ocorre instantaneamente após o seu lançamento no corpo hídrico.

A carga poluidora resultante do lançamento do efluente é obtida da seguinte forma (AGUASPARANÁ, 2006):

$$C = \frac{K}{Q_e} \quad (14)$$

Onde:

- C é a concentração;
- K é a carga.

Para que o corpo hídrico consiga diluir a carga poluidora  $C$  é considerada que possua uma Vazão Adequada para Diluição –  $Q_a$ , calculada com a equação a seguir.

$$Q_r * C_{ri} = Q_a * C_{ri} + (Q_r - Q_a) * C_{ri} \quad (15)$$

Onde:

- $Q_r$  é a vazão do rio a montante do lançamento;
- $C_{ri}$  é a concentração do poluente  $i$  a montante do lançamento;
- $Q_a$  é a vazão adequada para diluição do poluente  $i$ .

A figura a seguir (FIGURA 7) esquematiza um lançamento de uma carga pontual de vazão  $Q_e$  e concentração do poluente  $C_{ei}$ . Como visto acima, a carga a montante do lançamento,  $Q_r * C_{ri}$ , pode ser analisada também pela soma da carga  $Q_a * C_{ri}$ , referente à diluição do efluente, com a carga  $(Q_r - Q_a) * C_{ri}$ , que representa a carga do rio não responsável pela diluição.

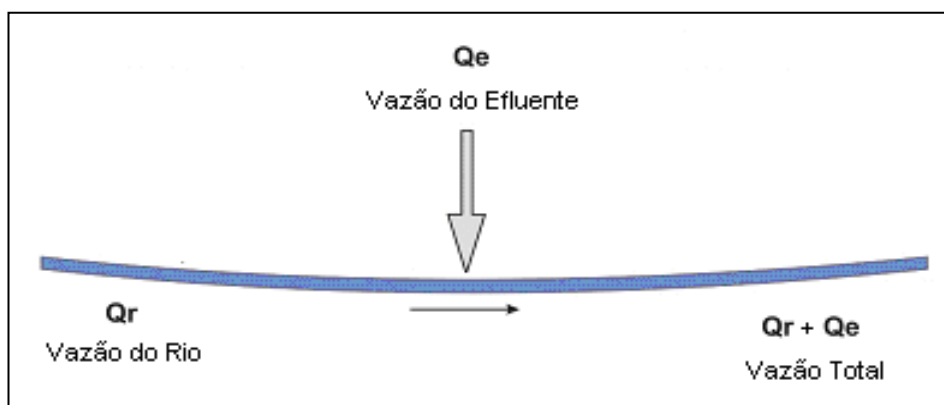


FIGURA 7: LANÇAMENTO DE CARGA PONTUAL  
Fonte: AGUASPARANÁ (2006)

É possível obter a carga a jusante do lançamento também como a soma de parcelas como a equação abaixo. Sendo uma delas ligada à concentração limite para o poluente  $i$  naquele trecho de rio, e uma segunda, que mantém a concentração  $C_{ri}$  original daquele trecho de rio:

$$(Q_r + Q_e) * C_{mist i} = (Q_e + Q_a) * C_{lim i} + (Q_r - Q_a) * C_{ri} \quad (16)$$

Onde:

- $C_{mist i}$  é a concentração de mistura do poluente  $i$ ;

-  $C_{lim\ i}$  é a concentração limite admitida para o poluente  $i$  naquele trecho do rio, podendo ser de até 50% das concentrações máximas admissíveis de lançamento, estabelecidas pelo Poder Público Licenciador.

Na determinação da vazão  $Q_a$  específica para diluição do lançamento  $C_e$   $i$  é possível admitir  $C_{r\ i} = 0$ , obtendo-se:

$$Q_a = \frac{Qe*(C_e\ i - C_{lim\ i})}{C_{lim\ i}} \quad (17)$$

Os demais parâmetros apresentados pelo outorgado são analisados segundo o limite máximo estipulado para a classe do corpo receptor, através da Resolução CONAMA 357 (2005) e dos enquadramentos fixados pelos Comitês de Bacia Hidrográfica.

## 2.5. LEGISLAÇÃO ESTRANGEIRA REFERENTE À QUALIDADE DE CORPOS HÍDRICOS

Alguns países, se tratando de estudos referentes a comprimento de uma zona de mistura possuem legislações mais rigorosas sobre o tema aqui abordado, destacando principalmente países da União Europeia e os Estados Unidos.

Os Estados Unidos é um dos poucos países que define um cálculo simplificado para a obtenção de um comprimento de zona de mistura completa. Dessa forma, este item abordará de uma maneira geral a definição de zona de mistura para os Estados Unidos da América.

### 2.5.1. Estados Unidos da América

United States Environmental Protection Agency (EPA) é o órgão americano que tem como missão a proteção da saúde humana e ambiental. Certificando-se de que esforços nacionais para minimizar os riscos ambientais

são baseados nas melhores informações científicas, de que as leis federais de proteção à saúde humana e ao ambiente sejam justas e eficazes.

EPA define zona de mistura como uma área que abrange a diluição inicial de um lançamento de efluente e a mistura secundária no corpo hídrico. A zona de mistura é uma área de impacto, onde os critérios de qualidade de água podem ser excedidos, desde que não se atinjam níveis de condições tóxicas agudas (USEPA, 1991). O órgão define que os seus membros estaduais podem incluir nas políticas padrões que reflitam na aplicação e execução de zona de mistura.

Segundo o Documento Técnico de Suporte ao Controle de Qualidade de Água com Substâncias Tóxicas (USEPA, 1991), equações para zona de mistura de lançamento de efluentes possibilitam a previsão de concentrações na zona de mistura legal, onde a mistura do efluente para as suas concentrações predominam sobre a mistura natural do corpo receptor. A partir desse ponto o efluente passa a sofrer apenas a ação turbulenta ambiente. Dessa forma, é possível por modelos de mistura estimar as concentrações de poluentes até a mistura completa no rio.

Quando não houver uma mistura vertical induzida pela ação do jato de lançamento, essa mistura vertical ocorrerá de forma natural, podendo se estender na ordem de 50 a 100 vezes a profundidade do corpo hídrico, quando o efluente possuir flutuabilidade neutra. Para um lançamento que seja mais leve ou pesada, ou seja, densidade do efluente maior ou menor que a da água do corpo receptor, a distância para a mistura ocorrer será ainda maior.

#### *2.5.1.1. Cálculo de dimensionamento de zona de mistura*

No geral, a mistura ambiente também se realizará ao longo da largura da massa de água. Em casos onde a largura da zona de mistura for muito menor do que a largura do rio, a distância  $L$  da mistura completa será:

$$L = \frac{mB^2U}{Dy} \quad (18)$$

Onde:

$D_y$  = coeficiente de dispersão lateral;

$m$  = um parâmetro cujo valor depende do grau de uniformidade usado para definir "mistura completa" sobre a localização transversal da desembocadura no corrente.

Para condições de mistura completa definidas como uma variação  $S$  da concentração ao longo da largura do escoamento considera-se  $m$  como 0,1 para lançamentos perto do centro do escoamento do rio e 0,4 para lançamento próximo a margem do corpo receptor. Em casos de incertezas, é possível ocorrer variações através da largura, para isso  $m$  é considerada aproximadamente 0,06 para um lançamento perto do centro de escoamento do rio e cerca de 0,24 para um lançamento perto da borda do rio.

O coeficiente de dispersão lateral ( $D_y$ ) para a maioria dos rios pode ser calculada com a seguinte equação:

$$D_y = 0,6 h u^* \pm 50\% \quad (19)$$

O coeficiente (0,6) pode variar de 0,3 até valores acima de 1, dependendo o tipo e grau de irregularidade das secções transversais do canal. Para escoamentos uniformes e retos menor será o valor e para escoamentos irregulares, resultante de curvas e interferências na parede do corpo hídrico, maior será o valor do coeficiente.

A velocidade de cisalhamento pode ser obtida através da equação (2).

Quando se considera o lançamento através de difusores que, inicialmente, espalham o efluente em uma significativa parte da largura do rio, os valores de  $m$  e  $L$ , podem ser menores do que os indicados aqui.

Para distâncias mais curtas, máximas concentrações podem ser muito maiores do que aqueles previstos por modelos de mistura completa e deve ser estimada utilizando a seguinte equação:

$$C_L = \frac{C_e Q_e B}{Q_s \sqrt{(\pi D_y X U)}} \quad (20)$$

Onde

$C_L$  = máxima concentração do poluente na distância  $X$ ;

$C_e$  = concentração efluente; e

$Q_s$  = vazão do escoamento.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Como anteriormente apresentado, poucos países ou estados norte-americanos possuem uma metodologia mais genérica para uma rápida definição de zonas de mistura legal. Situações de grandes empreendimentos, como lançamento de efluentes de grandes indústrias ou de grandes aglomerações urbanas são objeto de estudos específicos. O modelo matemático Cormix é muito utilizado nesses casos, eventualmente havendo necessidade de obras físicas (difusores) para acelerar a mistura.

Várias questões se colocam: qual a razão entre concentrações ou vazões do efluente e do corpo receptor que dispensariam o uso de difusores? No caso da não utilização de difusores, com base em que variáveis se pode definir o comprimento de mistura?

O trabalho aqui apresentado será então realizado em três principais etapas.

#### 3.1. COMPARAÇÃO DAS NORMAS APRESENTADAS COM AS EXISTENTES NO BRASIL

Com base na necessidade de se propor uma metodologia para dimensionamento da ZML não só para o Paraná, mas para todo o Brasil, nesta etapa serão avaliadas as legislações já existentes no Brasil em relação a algum país que já possua uma metodologia.

Realizando-se uma análise do panorama nacional em relação ao internacional com base ainda no referencial teórico.

### 3.2. ESTUDO E ANÁLISE DE LEGISLAÇÕES PARA METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DE ZONA DE MISTURA LEGAL

Sendo a segunda das etapas, a apresentação de legislações com propostas de dimensionamento da zona de mistura legal. Analisando se é possível o comprimento de mistura ser definido apenas com base na largura dos rios, como se propõe por Jirka et al (2004). Ou se poderia ser levado em conta outras variáveis como vazão e/ou velocidade do corpo receptor, declividade do mesmo ou outra variável.

Enfim, através de pesquisa bibliográfica e de cálculos realizados se pretende analisar como se comporta a distância da zona de mistura quando considerando apenas a largura do corpo hídrico ou várias variáveis. Eventualmente, chegando a alguma definição de ordem prática, que possa orientar os estudos para concessão de outorga de efluentes. Trata-se de uma primeira aproximação que certamente necessitará de desenvolvimentos para eventualmente chegar a ser adotada como uma norma para outorga de efluentes.

### 3.3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DE ZONA DE MISTURA

Nesta análise escolheu-se ver o comportamento do dimensionamento da ZM para dois rios que possuem grande importância ao estado do Paraná. Porém, um dos rios possui grandes dimensões, tendo grande extensão, largura, profundidade e vazão, enquanto o outro rio possui escala muito menor.

Na análise dos poluentes lançados nos corpos hídricos tem-se lançamentos industriais e sanitários, possuindo características distintas e relevantes. Mas para simplificações, escolheu-se analisar a carga de DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio lançada nos efluentes.

### 3.3.1. RIO TIBAGI

O intuito desta etapa é realizar alguns testes através das equações encontradas para pontos de descargas de efluentes no rio Tibagi e analisar se a falta de um cálculo de zona de mistura afeta a qualidade do corpo hídrico neste caso, podendo prejudicar a preservação dos ecossistemas aquáticos desse trecho do Rio Tibagi.

Escolheu-se trabalhar com o rio Tibagi (FIGURA 8), já que seus aspectos econômicos, físicos, biológicos e hidrológicos fazem da Bacia hidrográfica do Rio Tibagi uma das mais importantes do Brasil. Sua riqueza e a diversidade de espécies são comparáveis àquelas das regiões tradicionalmente consideradas de alta biodiversidade, como a Amazônia (COPATI, 2013).

O Rio Tibagi possui 550 quilômetros de extensão, com nascente localizada na Serra das Almas entre as cidades de Ponta Grossa e Palmeira, a 1.100 metros de altitude, e foz no Rio Paranapanema a 298 metros de altitude. A sua Bacia hidrográfica abrange 49 municípios e aproximadamente 1,9 milhões de habitantes em sua totalidade de 25.239 quilômetros quadrados, ocupando 13% do território Paranaense.

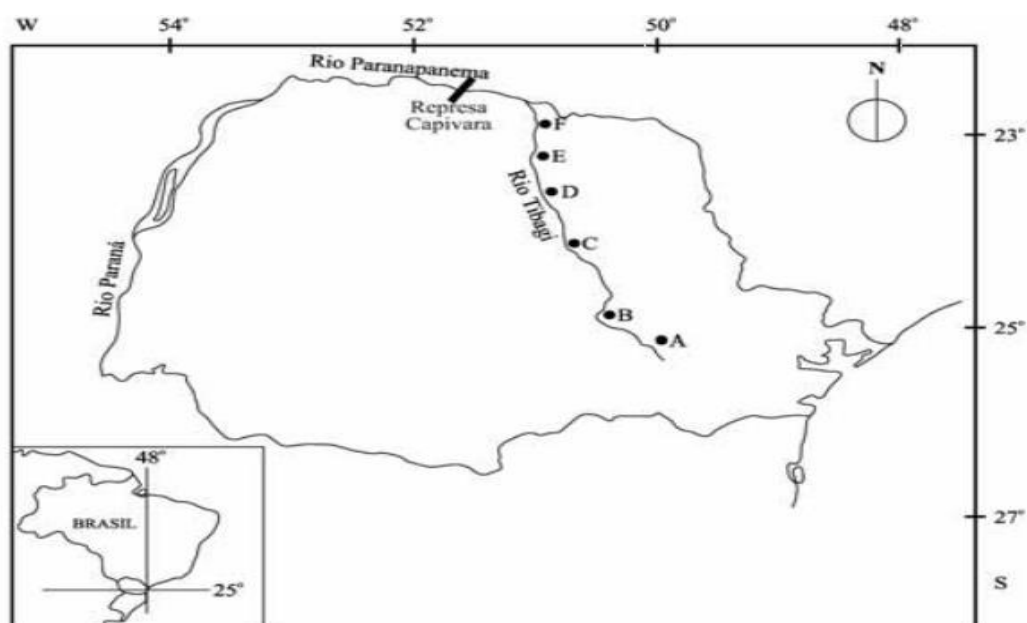


FIGURA 6: RIO TIBAGI

Fonte: Medri et al, 2002.

A Figura 8 mostra no estado do Paraná, onde nasce e desagua o rio Tibagi, apresentando seis pontos localizados na extensão do rio Tibagi, cada um deles possui uma profundidade e largura média diferente. O ponto A está localizado em Ponta Grossa, com largura do rio de aproximadamente 20 m e com profundidade de até 2,5 m. No ponto B, em Ipiranga, o rio tem largura aproximada de 60 m e profundidade de 5 m. O ponto C em Telêmaco Borba a largura é 100 m e a profundidade é cerca de 4 m. O próximo ponto, D, localizado em Sapopema possui largura de 300 m. O ponto E está situado em Londrina, com profundidade média de 5 m e largura de 100 m. O último dos pontos, F, próximo à foz está localizado em Sertanópolis, o rio apresenta uma largura média de 500 m.

### 3.3.2. RIO BARIGUI

O rio Barigui (FIGURA 9) será outro corpo hídrico analisado já que também possui grande importância ao estado do Paraná devido sua localização, estando situado na região metropolitana de Curitiba, atravessando a capital do estado do Paraná. A bacia do rio Barigui percorre os municípios de Almirante Tamandaré, Curitiba e Araucária, em uma extensão de 67 km entre suas nascentes e a foz no rio Iguaçu, com área total de drenagem de 279 km<sup>2</sup> (MATASUL, 2004).

Em sua nascente, o rio Barigui possui de 2 a 3 m de largura e no máximo 2 m de profundidade. A vazão média do corpo hídrico próximo a sua foz é de 6,47 m<sup>3</sup>/s (ZORZAL et al, 2005).

Percebe-se facilmente a diferença entre os dois corpos hídricos, sendo o primeiro deles de grande extensão, largura e profundidade e o outro com dimensões mais reduzidas, mas não de menos importância. Dessa forma, deseja-se estudar se as metodologias apresentadas são aplicáveis a corpos hídricos de diferentes extensões.



FIGURA 7: RIO BARIGUI

Fonte: MATASUL, 2004

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. ANÁLISE DAS LEGISLAÇÕES APRESENTADAS

Assim como o esperado pelo estudo realizado foi possível observar a legislação nacional que visa a preservação dos corpos hídricos com o objetivo de assegurar a vida dos ecossistemas que ali vivem e para preservar a qualidade da água usada para abastecimento humano.

A Lei Federal 11.445/2007 que implementa diretrizes para o saneamento básico e cria a Política Federal de Saneamento Básico, apresenta como objetivo a universalização do saneamento básico, que inclui abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas. Dessa maneira vê-se a necessidade de boa gestão dos recursos hídricos, para que seja possível distribuir água aos seus diversos usos para a atual e futuras gerações.

Como visto a importância da água para a vida, tem-se então a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997), que apresenta instrumentos de gestão para assegurar a preservação dos corpos hídricos. Dentre os instrumentos criados pela lei, tem-se o enquadramento dos corpos hídricos em classes.

A Resolução do CONAMA 357/2005 estabelece parâmetros de qualidade de água aos corpos hídricos segundo as classes em que foram enquadrados, considerando que a saúde e o bem-estar humano, assim como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas.

As legislações aqui apresentadas possuem grande importância em cada uma de suas funções, porém, devem ser analisadas conjuntamente, para que se complementem e assim, consiga realizar efetiva gestão dos corpos hídricos e conservação da qualidade da água.

Dessa forma, tem-se a importância do dimensionamento da zona de mistura, já que uma má interpretação do comprimento da ZM poderia prejudicar

a qualidade do corpo hídrico à jusante do lançamento de um efluente, estando um corpo hídrico enquadrado em uma certa classe, porém, se analisar a qualidade real do rio, estaria ele fora de classe.

Além de prejudicar a vida dos organismos ali presentes, poderia afetar outros usos da água do rio, devendo, por exemplo, uma coleta de água para abastecimento público ser suspensa ou necessitar de tratamento mais sofisticado e mais custoso.

Em alguns casos, apenas o efluente lançado no rio não afetaria o corpo hídrico, porém, quando analisado com outro lançamento que ocorreria a jusante, mas que ainda dentro da zona de mistura, onde é permitido concentrações mais elevadas, poderia aumentar a concentração de poluentes, ultrapassando os limites exigidos na legislação.

Através da análise de legislações estrangeiras, pôde-se constatar que em algumas regiões do Estados Unidos foram adotadas equações de dimensionamento de ZM apresentadas na literatura.

Escolheu-se empregar equações para o cálculo do comprimento da zona de mistura, onde a mistura completa ocorre quando há mistura completa vertical e horizontal. A distância para que ocorra mistura completa vertical pode ser obtida pela equação (5), a distância para que ocorra mistura completa transversal pode ser obtida pela equação (6). Sendo o coeficiente de difusividade turbulenta transversal encontrado pela equação (4) e o coeficiente de difusividade turbulenta vertical encontrado pela equação (3). A velocidade de atrito pode ser obtida pela equação (2), e a concentração máxima, pela equação (7).

## 4.2. RIO TIBAGI

O Rio Tibagi, devido ao fato de atravessar grande parte do Estado e alguns dos maiores municípios do Paraná, como Ponta Grossa e Londrina, possui grande importância ao Estado. O rio em seus 550 km de extensão recebe nove lançamentos de efluente, outorgados pelo Instituto das Águas do Paraná

(AGUASPARANÁ, 2016). O rio apresenta também diferentes características devido à sua grande extensão, dentre elas estão a largura e profundidade do corpo hídrico, conforme dito anteriormente.

Escolheu-se analisar o lançamento de uma empresa de serviços de saneamento, e uma indústria, sendo a primeira a Companhia de Saneamento do Paraná Sanepar, que descarta seus efluentes no município de Tibagi, e a indústria é a Klabin, descartando efluentes em Telêmaco Borba e Ortigueira.

A figura abaixo (FIGURA 10) apresenta, através dos pontos vermelhos onde ocorrem os três lançamentos dos efluentes que serão analisados ao longo do corpo hídrico.



FIGURA 8 - PONTO DE LANÇAMENTO DOS EFLUENTES AO LONGO DO RIO TIBAGI

Fonte: Adaptado de Google Maps, 2016.

O lançamento do efluente da Sanepar, em Tibagi ocorre a montante do lançamento da Klabin em Telêmaco Borba, distanciando as duas descargas de aproximadamente 42 km. Já a descarga do efluente da Klabin em Ortigueira ocorre a aproximadamente 22 km a jusante do lançamento em Telêmaco Borba.

Para a análise dos dados do lançamento da Sanepar, em Tibagi, foi utilizado informações de uma estação fluviométrica da Companhia Paranaense de Energia COPEL, localizada também no município de Tibagi. Para os outros dois lançamentos foram utilizados dados de medições fluviométricas em uma

estação da COPEL, em Telêmaco Borba, obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas (SIH) do AGUASPARANÁ.

#### 4.2.1. COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ

A empresa Sanepar possui uma outorga de lançamento de efluente com finalidade de diluição de efluente sanitário, que a autoriza lançar no rio Tibagi efluentes a uma vazão de  $0,255 \text{ m}^3/\text{s}$ , 24 horas por dia, 30 dias por mês durante 6 anos.

A vazão média do rio Tibagi à montante do lançamento foi considerada de  $230 \text{ m}^3/\text{s}$ , com largura média  $B$  do rio de 106 metros e profundidade média  $h$  de 3,11 metros.

Primeiramente calculou-se a declividade do canal próximo à descarga do efluente.

So			Ho		Hf		I	
Declividade do Leito		=	Altitude inicial do canal	m	Altitude final do canal	m	Comprimento do canal	m
0,003	‰		695	m	693	m	600	m

Com a declividade do canal foi possível obter a velocidade de cisalhamento, através da equação (2):

U*			G		H		So	
Velocidade de cisalhamento		=√	Aceleração da Gravidade		Profundidade média		Declividade do Leito	
0,319	m/s		9,81	$\text{m/s}^2$	3,11	m	0,003	‰

A velocidade de cisalhamento possibilitou o cálculo dos coeficientes das difusividades turbulentas lateral (4) e vertical (3).

$E_y$			$a_y$	U*		h	
Difusividade turbulenta lateral		=	Fator para rios com variabilidade moderada	Velocidade de cisalhamento		Profundidade média	
0,496	$\text{m}^2/\text{s}$		0,5	0,319	m/s	3,11	m

Ez			az	U*		h	
Difusividade turbulenta vertical		=	Fator para rios com variabilidade moderada	Velocidade de cisalhamento		Profundidade média	
0,069	m <sup>2</sup> /s		0,07	0,319	m/s	3,11	m

Considerando a velocidade do corpo hídrico  $U=0,6985$  m/s, calculada através da área da seção transversal e da vazão, pode-se dizer que o efeito de advecção é tão importante quanto o efeito da difusão, representado pelo coeficiente de difusividade turbulenta lateral no processo de dispersão do poluente lançado no corpo hídrico.

Esses coeficientes são necessários para os cálculos das distâncias de misturas completas vertical (5) e transversal (6).

Lmv			U		H		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
38,923	m		0,698	m/s	3,11	m	0,6943	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
6330,384	m		0,698	m/s	106	m	0,496	m <sup>2</sup> /s

Os resultados das distâncias de mistura completa mostraram que em apenas 3,89 metros o efluente já se misturou verticalmente, porém, a mistura transversal ocorre em 6330 metros.

Através da difusividade turbulenta vertical também foi possível calcular a concentração máxima em um dado ponto, sendo possível obter a concentração máxima após a zona de mistura, lembrando que o rio Tibagi, nesta localidade, está classificado como rio de classe 2, onde a concentração máxima de DBO 5 dias a 20°C é 5 mg/L, ou 5 g/m<sup>3</sup>, O<sub>2</sub>, conforme a Resolução do CONAMA 357/2005.

Q <sub>co</sub>			Co		Qo	
Carga de lançamento do efluente		=	Concentração de DBO do efluente		Vazão de descarga	
22,95	g/s		90	g/m <sup>3</sup>	0,255	m <sup>3</sup> /s

$C_{max}$		Fator	$Q_{co}$		$h$		$4*\pi$	$E_y$	$U$	$X$	
Concentração máxima de DBO	=	Efeito de reflexão da fronteira impermeável	( Carga de lançamento do efluente	//	Profundidade média	√	Fator	Difusividade turbulenta lateral	Velocidade de água	Distância do ponto de introdução	)
0,089 (g/m <sup>3</sup> )		2	22,95 g/s		3,11 m		12,566	0,496 m <sup>2</sup> /s	0,698 m/s	6330,384 m	

A concentração máxima obtida acima significa que em qualquer ponto verticalmente ou transversalmente a máxima concentração de DBO no corpo hídrico resultante do lançamento do efluente será de aproximadamente 0,09 g/m<sup>3</sup>, bem abaixo do exigido na legislação.

Os processos de autorização de outorga de efluente no estado do Paraná consideram mistura instantânea, equação (12), sendo então a concentração máxima de DBO:

$C_{max}$			$C_o$		$C_r$		$Q_o$		$Q_r$	
Concentração máxima de DBO		=	Concentração de DBO do efluente		Concentração de DBO do rio		Vazão de descarga		Vazão do rio	
0,010	g/m <sup>3</sup>		90	g/m <sup>3</sup>	0	g/m <sup>3</sup>	0,255	m <sup>3</sup> /s	230	m <sup>3</sup> /s

Os cálculos considerando mistura instantânea apresentam resultados próximos dos encontrados na equação anterior, também com concentração bem abaixo do que é permitido pela Resolução 357/2005.

#### 4.2.1.1. *Varição de Parâmetros*

Nos cálculos acima considerou-se variáveis médias do rio, mas deseja-se saber como se comportaria o comprimento da Zona de Mistura para casos extremos.

Para o caso de baixa vazão do Rio Tibagi, dentre as informações obtidas da estação fluviométrica escolheu-se a vazão de 46,13 m<sup>3</sup>/s, onde 90% das medições da estação escolhida apresentaram vazões superiores a essa. Tendo o corpo hídrico uma largura de 103 metros e 2,6 metros de profundidade.

Da mesma forma que calculado anteriormente foi possível obter as distâncias para que ocorra mistura completa na vertical e transversal.

Lmv			U		H		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
8,741	m		0,172	m/s	2,6	m	0,053	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
1957,914	m		0,172	m/s	104	M	0,379	m <sup>2</sup> /s

Para uma baixa vazão, a variação da área da seção transversal não sofreu grandes alterações, lembrando que a velocidade é vazão dividida pela área, então a velocidade do corpo hídrico diminuiu significativamente. Dessa forma, o efeito da advecção, representado pela velocidade, se tornou menos importante que o efeito difusivo, representado pelos coeficientes de difusividade, fazendo com que a mistura completa ocorresse mais rapidamente, com mistura completa no corpo hídrico em aproximadamente 2 quilômetros.

Neste caso, como a concentração máxima é inversamente proporcional à raiz quadrada do comprimento de zona de mistura completa, a concentração máxima após a mistura completa foi de  $C_{MAX}=0,441$  mg/L, diminuindo o comprimento Lmh, aumenta a concentração máxima.

Para o caso oposto ao analisado acima, tem-se para o corpo hídrico uma vazão de  $1013$  m<sup>3</sup>/s, tendo ele profundidade de 6,08 metros e 115,6 metros de largura. Dessa forma obteve-se como distância para mistura completa:

Lmv			U		H		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
112,33	m		1,442	m/s	6,08	m	0,1898	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
5685,043	m		1,442	m/s	115,6	m	1,355	m <sup>2</sup> /s

Assim como no caso de baixa vazão houve pouca variação da área transversal do corpo hídrico, dessa maneira, com o aumento da vazão, houve grande aumento da velocidade da água no rio. Tornando o efeito de advecção e os efeitos de difusão importantes, significando que a advecção tende que o poluente se disperse rapidamente na direção do escoamento do rio, mas ao mesmo tempo, os efeitos de difusão tendem que o poluente se disperse rapidamente vertical e transversalmente.

A concentração máxima após a zona de mistura foi de  $C_{MAX}=0,020$  mg/L, mostrando que para que ocorra uma boa diluição de uma alta carga de poluente é importante que se ocorra em altas vazões.

Outro caso relevante a ser analisado é para o corpo hídrico com trecho de alta rugosidade, dessa forma a velocidade de cisalhamento  $U^*$  se torna 10% da velocidade do rio. Quando a velocidade de cisalhamento se torna função da velocidade do corpo hídrico, a distância para que ocorra mistura completa passa a não depender mais da velocidade do rio ou do coeficiente de difusividade, apenas da profundidade média e da largura média do trecho do rio. Como as escalas de dimensionamento da largura e profundidade são bem maiores que da velocidade e coeficiente de difusividade turbulenta, então os comprimentos transversal, equação (6a), e vertical, equação (5a), serão significativamente maiores que no primeiro caso, de rugosidade média.

Lmv				h	
Distância para mistura completa vertical		=	Fator	Profundidade média	
155,5	m		50	3,11	m

Lmh				B			H	
Distância para mistura completa transversal		=	Fator	Largura média			Profundidade média	
28902,89	m		8	106	m		3,11	m

O caso oposto a esse, considera um canal com baixa rugosidade, tendo então  $a_v=0,25$  e  $a_z=0,035$  assim, os coeficientes de difusividade turbulenta apresentaram valores significativos, acima da velocidade do corpo hídrico, tornando a difusão mais importante no processo de dispersão do poluente na água do rio. Isso faz com que a mistura no corpo hídrico se misture mais rapidamente. Portanto, obtém-se como comprimento de mistura completa:

Lmv			U		h		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
91,370	m		0,820	m/s	3,11	m	0,035	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
14860,200	m		0,820	m/s	106	m	0,248	m <sup>2</sup> /s

Tanto para o caso de alta rugosidade, quanto o caso de baixa rugosidade a concentração máxima após a zona de mistura é de 0,076 mg/L. representando que a rugosidade e velocidade do corpo hídrico nesses casos só importam para se determinar o ponto de mistura completa, mas a concentração de DBO não é afetada.

Para o lançamento do efluente da Sanepar, a maior concentração após a zona de mistura se deu para o caso de baixa vazão, podendo considerar que a vazão é importante no processo de diluição do corpo hídrico. Porém, apresentaram em todos os casos concentrações de DBO, após a mistura completa, dentro dos padrões exigidos pela legislação.

Observou-se que nos quatro casos analisados, a mistura completa se deu antes que ocorresse outro lançamento, não ocorrendo lançamento de um efluente na zona de mistura do efluente lançado anteriormente.

#### 4.2.2. KLABIN S.A. – TELÊMACO BORBA

A indústria Klabin possui uma outorga de lançamento de efluente com finalidade de diluição de efluente industrial, que a autoriza lançar no rio Tibagi, no município de Telêmaco Borba, efluentes a uma vazão de  $10,69 \text{ m}^3/\text{s}$ , 24 horas por dia, 30 dias por mês durante 5 anos e 8 meses.

A vazão média do rio Tibagi à montante do lançamento foi considerada de  $276 \text{ m}^3/\text{s}$ , com largura média  $B$  do rio de 110 metros e profundidade média  $h$  de 3 metros. Através da vazão, largura e profundidade encontrou-se a velocidade média da água no trecho do rio analisado, sendo  $U=0,869 \text{ m/s}$ .

Primeiramente calculou-se a declividade do canal próximo à descarga do efluente.

So			Ho		Hf		L	
Declividade do Leito		=	Altitude inicial do canal		Altitude final do canal		Comprimento do canal	
0,022	‰		652	m	641	m	500	m

Com a declividade do canal foi possível obter a velocidade de cisalhamento. Neste caso, a velocidade de cisalhamento estava próxima da velocidade do corpo hídrico.

U*			g		H		So	
Velocidade de cisalhamento		=√	Aceleração da Gravidade		Profundidade média		Declividade do Leito	
0,805	m/s		9,81	m/s <sup>2</sup>	3	m	0,022	‰

A velocidade de cisalhamento possibilitou o cálculo dos coeficientes das difusividades turbulentas lateral e vertical. Como a velocidade de cisalhamento apresentou valor mais elevado, então os coeficientes de difusividade turbulenta também apresentaram valores elevados.

E <sub>y</sub>			a <sub>y</sub>	U*		h	
Difusividade turbulenta lateral		=	Fator para rios com variabilidade moderada	Velocidade de cisalhamento		Profundidade média	
1,207	m <sup>2</sup> /s		0,5	0,805	m/s	3	m

<b>Ez</b>			az	<b>U*</b>		h	
Difusividade turbulenta vertical		=	Fator para rios com variabilidade moderada	Velocidade de cisalhamento		Profundidade média	
0,169	m <sup>2</sup> /s		0,07	0,805	m/s	3	m

Esses coeficientes são necessários para os cálculos de comprimentos de misturas vertical e transversal. Como dito acima, os coeficientes da difusividade turbulenta terão um peso maior que a velocidade do corpo hídrico no cálculo da zona de mistura, destacando, então, a difusão no processo de dispersão do poluente lançado no corpo hídrico. Isso resultou em mistura completa, em aproximadamente 3,5 quilômetros.

<b>Lmv</b>			U		H		<b>Ez</b>	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
18,509	m		0,869	m/s	3	m	0,169	m <sup>2</sup> /s

<b>Lmh</b>			U		B		<b>Ey</b>	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
3483,744	m		0,869	m/s	110	m	1,207	m <sup>2</sup> /s

Através da difusividade turbulenta vertical também foi possível calcular a concentração máxima em um dado ponto, sendo possível obter a concentração máxima após a zona de mistura, lembrando que o rio Tibagi, nesta localidade, está classificado como rio de classe 2, onde a concentração máxima de DBO 5 dias a 20°C é 5 mg/L O<sub>2</sub>, conforme a Resolução do CONAMA 357/2005.

<b>Q<sub>co</sub></b>			Co		Qo	
Carga de lançamento do efluente		=	Concentração de DBO do efluente		Vazão de descarga	
427,6	g/s		40	g/m <sup>3</sup>	10,69	m <sup>3</sup> /s

$C_{max}$		Fator	$Q_{co}$		h		$4*\pi$	$E_y$	U	X	
Concentração máxima de DBO	=	Efeito de reflexão da fronteira impermeável	( Carga de lançamento do efluente	/	Profundidade média	√	Fator	Difusividade turbulenta lateral	Velocidade de água	Distância do ponto de introdução	)
1,331 g/m <sup>3</sup>		2	427,6 g/s		3 m		12,566	1,207 m <sup>2</sup> /s	0,869 m/s	3483,744 m	

Os processos de autorização de outorga de efluente no estado do Paraná consideram mistura instantânea. Considerando que o corpo hídrico à montante do lançamento não possui mais concentrações de DBO, tem-se então a concentração máxima de DBO:

$C_{max}$			$C_o$		$C_r$		$Q_o$		$Q_r$	
Concentração máxima de DBO		=	Concentração de DBO do efluente		Concentração de DBO do rio		Vazão de descarga		Vazão do rio	
1,492	g/m <sup>3</sup>		40	g/m <sup>3</sup>	0	g/m <sup>3</sup>	10,69	m <sup>3</sup> /s	276	m <sup>3</sup> /s

#### 4.2.2.1. Variação de Parâmetros

Para o caso de baixa vazão do Rio Tibagi, dentre as informações obtidas da estação fluviométrica escolheu-se a vazão de 72 m<sup>3</sup>/s, onde 90% das medições apresentaram vazões superiores a essa. Tendo o corpo hídrico uma largura de 108 metros e 2 metros de profundidade.

Assim como no item anterior, quando a vazão diminuiu significativamente e a área da seção transversal não sofre grande alteração, resulta em uma velocidade baixa da água no trecho analisado. Dando, então, maior importância ao efeito de difusão e baixa influência da advecção no processo de dispersão do efluente lançado no corpo hídrico. Isso pode ser visualizado abaixo, com um comprimento da zona de mistura de aproximadamente 2,7 quilômetros.

Da mesma forma que calculado anteriormente foi possível obter as distâncias de mistura completa.

Lmv			U		H		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
6,659	m		0,383	m/s	2	m	0,092	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
2718,604	m		0,383	m/s	108	m	0,657	m <sup>2</sup> /s

Neste caso, a concentração máxima após a ZM foi de  $C_{MAX}=4,613$  mg/L.

Para o caso oposto ao analisado acima, tem-se para o corpo hídrico uma vazão de 1050 m<sup>3</sup>/s, tendo ele profundidade de 5 metros e 113 metros de largura. Assim como para o primeiro lançamento de efluente, quando a vazão aumenta e a área da seção transversal não muda significativamente, a velocidade do escoamento aumenta. Porém, nesse caso, a declividade alta e a elevação da profundidade tornaram os coeficientes de difusividade turbulenta altos.

Portanto, o efeito da difusão se torna mais importante que o efeito da advecção, representado pela velocidade de escoamento. Como a velocidade ainda está elevada, possui influência significativa na determinação do comprimento da zona de mistura. Dessa forma obteve-se como distância de mistura completa:

Lmv			U		H		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
51,634	m		1,877	m/s	5	m	0,364	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
3692,207	m		1,877	m/s	113	m	2,597	m <sup>2</sup> /s

A concentração máxima após a zona de mistura foi de  $C_{MAX}=0,360$  mg/L.

O caso onde o corpo hídrico possui alta rugosidade, torna, como falado anteriormente, a velocidade de cisalhamento  $U^*$  10% da velocidade do rio. Considerando a velocidade média do rio, como  $U= 0,869$  m/s, então,  $U^*= 0,087$  m/s. Dessa forma, os coeficientes de difusividade turbulenta estão em função da velocidade do corpo hídrico, e acabam sendo anulados no cálculo do comprimento da ZM. Portanto, o comprimento vertical da mistura depende apenas da profundidade, e o comprimento transversal da mistura depende da profundidade e largura do trecho analisado no corpo hídrico.

Como a largura do trecho é alta, a mistura completa ocorrerá em aproximadamente 32,3 quilômetros. Lembrando que a mesma indústria faz outro lançamento de efluente 22,0 quilômetros abaixo do primeiro lançamento, portanto, o terceiro lançamento de efluente que ocorre no trecho do rio Tibagi que aqui é analisado está dentro da zona de mistura do segundo lançamento.

Lmv				H	
Distância para mistura completa vertical		=	Fator	Profundidade média	
150	m		50	3	m

Lmh				B		h	
Distância para mistura completa transversal		=	Fator	Largura média		Profundidade média	
32266,67	m		8	110	m	3	m

A concentração máxima apenas para o lançamento de efluente da Klabin de Telêmaco Borba, após mistura completa é 1,331 mg/L, mas à montante do ponto onde ocorre o lançamento do efluente em Ortigueira, a concentração máxima referente ao lançamento anterior é de 1,611 mg/L.

Quando considera um caso oposto a esse, ou seja, um canal com baixa rugosidade, com  $a_Y=0,25$  e  $a_Z=0,035$ . Os efeitos de difusão turbulenta apresentam relevância, fazendo com que a mistura completa demore mais para ocorrer.

Lmv			U		H		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
37,017	m		0,869	m/s	3	m	0,084	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
6967,49	m		0,869	m/s	110	m	0,804	m <sup>2</sup> /s

Para o caso de baixa rugosidade a concentração máxima após a zona de mistura é de 1,331 mg/L.

É importante destacar a diferença no comprimento da zona de mistura quando analisado um lançamento de efluente em trecho de rio com alta e baixa rugosidade.

#### 4.2.3. KLABIN S.A. – ORTIGUEIRA

A indústria Klabin possui também uma outorga de lançamento de efluente com finalidade de diluição de efluente industrial no município de Ortigueira, que a autoriza lançar no rio Tibagi, efluentes a uma vazão de 10,278 m<sup>3</sup>/s, 24 horas por dia, 30 dias por mês durante 6 anos.

A vazão média do rio Tibagi à montante do lançamento foi considerada de 276 m<sup>3</sup>/s, com largura média B do rio de 272 metros e profundidade média h de 4 metros.

Como nos outros casos, primeiramente calculou-se a declividade do canal próximo à descarga do efluente.

So			Ho		Hf		l	
Declividade do Leito		=	Altitude inicial do canal	m	Altitude final do canal	m	Comprimento do canal	m
0,002	‰		620	m	617	m	1410	m

Com a declividade do canal obteve-se a velocidade de cisalhamento.

U*			g		h		So	
Velocidade de cisalhamento		=√	Aceleração da Gravidade	m/s <sup>2</sup>	Profundidade média	m	Declividade do Leito	‰
0,289	m/s		9,81	m/s <sup>2</sup>	4	m	0,002	‰

No trecho do rio anterior a declividade era alta, como os coeficientes de difusividade turbulenta são diretamente proporcionais à declividade do leito do canal, eles possuíam valores elevados. Nesse trecho do rio a declividade é mais baixa, fazendo com que a difusividade turbulenta vertical e a difusividade turbulenta transversal sejam mais baixas, conforme mostrado abaixo.

E <sub>y</sub>			a <sub>y</sub>	U*		H	
Difusividade turbulenta lateral		=	Fator para rios com variabilidade moderada	Velocidade de cisalhamento	m/s	Profundidade média	m
0,578	m <sup>2</sup> /s		0,5	0,289	m/s	4	m

E <sub>z</sub>			a <sub>z</sub>	U*		H	
Difusividade turbulenta vertical		=	Fator para rios com variabilidade moderada	Velocidade de cisalhamento	m/s	Profundidade média	m
0,0809	m <sup>2</sup> /s		0,07	0,289	m/s	4	m

Esses coeficientes são necessários para os cálculos de comprimentos de misturas vertical e transversal. Aqui a velocidade de escoamento também está mais baixa, porque o corpo hídrico possui uma largura muito elevada, comparando aos outros trechos do rio Tibagi.

L <sub>mv</sub>			U		H		E <sub>z</sub>	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água	m/s	Profundidade média	m	Difusividade turbulenta vertical	m <sup>2</sup> /s
20,815	m		0,263	m/s	4	m	0,0809	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
13474,458	m		0,263	m/s	272	m	0,578	m <sup>2</sup> /s

Através da difusividade turbulenta vertical também foi possível calcular a concentração máxima em um dado ponto, sendo possível obter a concentração máxima após a zona de mistura, lembrando que o rio Tibagi, nesta localidade, está classificado como rio de classe 2, onde a concentração máxima de DBO 5 dias a 20°C é 5 mg/L O<sub>2</sub>, conforme a Resolução do CONAMA 357/2005.

Q <sub>co</sub>			Co		Qo	
Carga de lançamento do efluente		=	Concentração de DBO do efluente		Vazão de descarga	
205,56	g/s		20	g/m <sup>3</sup>	10,278	m <sup>3</sup> /s

C <sub>max</sub>		Fator	Q <sub>co</sub>		h		4*π	Ey	U	X
Concentração máxima de DBO	=	Efeito de reflexão da fronteira impermeável	( Carga de lançamento do efluente	/	Profundidade média	√	Fator	Difusividade turbulenta lateral	Velocidade de água	Distância do ponto de introdução
0,641 g/m <sup>3</sup>		2	205,56 g/s		4 m		12,57	0,578 m <sup>2</sup> /s	0,2632 m/s	13474,458 m

A concentração máxima de DBO nos processos de autorização de outorga de efluente no estado do Paraná, que consideram mistura instantânea:

C <sub>max</sub>			Co		Cr		Qo		Qr
Concentração máxima de DBO		=	Concentração de DBO do efluente		Concentração de DBO do rio		Vazão de descarga		Vazão do rio
0,718	g/m <sup>3</sup>		20	g/m <sup>3</sup>	0	g/m <sup>3</sup>	10,278	m <sup>3</sup> /s	276

#### 4.2.3.1. Variação de Parâmetros

Para o caso de baixa vazão do Rio Tibagi, dentre as informações obtidas da estação fluviométrica escolheu-se a vazão de 72 m<sup>3</sup>/s, onde 90% das medições apresentaram vazões superiores a essa. Tendo o corpo hídrico uma largura de 270 metros e 3 metros de profundidade.

Como nos casos dos outros dois lançamentos, quando a vazão estiver muito baixa, mas a área da seção transversal não sofrer grande alteração a velocidade diminuirá significativamente e não possuirá grande relevância no processo de dispersão, representando o efeito de advecção.

Lmv			U		h		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
6,959	m		0,102	m/s	3	m	0,053	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
7891,304	m		0,102	m/s	270	m	0,375	m <sup>2</sup> /s

Dessa maneira o comprimento de mistura completa será de aproximadamente 8 quilômetros. Porém, a concentração máxima após a ZM foi de  $C_{MAX}=2,229$  mg/L, sendo quase quatro vezes maior do que para o caso de vazão média do rio.

Para o caso oposto ao analisado acima, tem-se para o corpo hídrico uma vazão alta, de  $1050$  m<sup>3</sup>/s, tendo ele profundidade de 6 metros e 257 metros de largura. Dessa forma obteve-se como distância de mistura completa:

Lmv			U		H		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
62,257	m		0,643	m/s	6	m	0,149	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
18309,59	m		0,643	m/s	275	m	1,062	m <sup>2</sup> /s

A concentração máxima após a zona de mistura foi de  $C_{MAX}=0,173$  mg/L. Apesar da concentração máxima estar bem baixa, são necessários 18,3 quilômetros para que ocorra mistura completa do efluente lançado no corpo hídrico.

O caso de trecho do rio possuir alta rugosidade deve ser tratado com relevância quando houver alta largura do corpo hídrico, já que o comprimento da zona de mistura depende apenas da profundidade e largura. Sendo necessário de quase 150 quilômetros para que o corpo hídrico possua concentração igual em qualquer ponto de uma área transversal ao escoamento. Conforme mostrado abaixo.

Lmv					h	
Distância para mistura completa vertical		=	Fator		Profundidade média	
200	m		50		4	m

Lmh				B		h	
Distância para mistura completa transversal		=	Fator	Largura média		Profundidade média	
147968	m		8	272	m	4	m

O caso oposto a esse, considera um canal com baixa rugosidade, tendo então  $a_v=0,25$  e  $a_z=0,035$ . Portanto, obtém-se como distância de mistura completa:

Lmv			U		H		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
41,629	m		0,263	m/s	4	m	0,040	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
26948,9	m		0,263	m/s	272	m	0,867	m <sup>2</sup> /s

Para o caso de baixa rugosidade a concentração máxima após a zona de mistura é de aproximadamente 0,641 mg/L.

#### 4.3. RIO BARIGUI

O Rio Barigui, devido ao fato de atravessar a região metropolitana de Curitiba vem sofrendo com a urbanização ao seu entorno, tendo grande parte do seu trajeto sofrido retificação. O rio em seus 67 km de extensão recebe nove lançamentos de efluente, assim como o rio Tibagi, outorgados também pelo Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANÁ, 2016).

Escolheu-se analisar o lançamento de uma empresa de serviços e uma indústria (FIGURA 11), sendo a primeira a Essencis Soluções Ambientais, que descarta seus efluentes na Cidade Industrial de Curitiba, Curitiba – PR, e a indústria a Petrobras, descartando seus efluentes em Thomaz Coelho, Araucária – Paraná. A escolha desses dois lançamentos de efluentes para serem estudados ocorreu pelo fato de estarem a uma distância de 7,37 quilômetros no rio Barigui. É importante destacar que a 2,26 km a jusante do lançamento do efluente da Petrobras ocorre um lançamento de efluente industrial da Araucária Nitrogenados S.A.

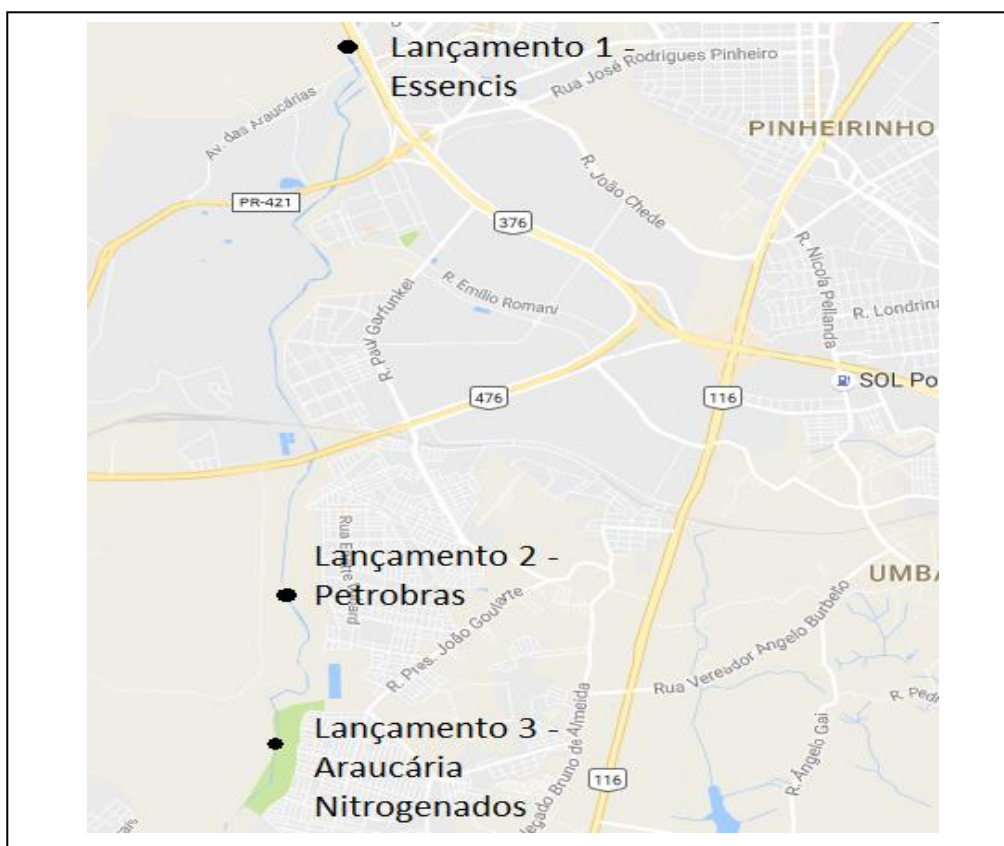


FIGURA 9 - PONTO DE LANÇAMENTO DOS EFLUENTES AO LONGO DO RIO BARIGUI  
 Fonte: Adaptado de Google Maps, 2016.

Para a análise dos dados dos dois lançamentos foram utilizados dados de medições fluviométricas em uma estação da ANA chamada de Ponte da Caximba, obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas (SIH) do AGUASPARANÁ.

#### 4.3.1. ESSENCIS SOLUÇÕES AMBIENTAIS

A empresa Essencis Soluções Ambientais possui uma outorga de lançamento de efluente com finalidade de diluição, que a autoriza lançar no rio Barigui efluentes a uma vazão de  $0,025 \text{ m}^3/\text{s}$ , 24 horas por dia, 30 dias por mês durante 2 anos.

A vazão média do rio Barigui à montante do lançamento foi considerada de  $7,26 \text{ m}^3/\text{s}$ , com largura média B do rio de 20 metros e profundidade média h

de 0,543 metros. Portanto, a velocidade média de escoamento da água no corpo hídrico  $U$  é 0,670 m/s. Observa-se que apesar da diferença de dimensões entre os rios Barigui e Tibagi, as velocidades médias são próximas.

Primeiramente calculou-se a declividade do canal próximo à descarga do efluente.

$S_o$			$H_o$		$H_f$		$l$	
Declividade do Leito		=	Altitude inicial do canal		Altitude final do canal		Comprimento do canal	
0,002	‰		887	m	884	m	1420	m

Com a declividade do canal obtida acima calculou-se a velocidade de cisalhamento, equação (2), como a profundidade média e a declividade foram baixas, a velocidade de cisalhamento que é diretamente proporcional à raiz quadrada do produto entre essas duas variáveis, deu-se baixa também.

$U^*$			$g$		$h$		$S_o$	
Velocidade de cisalhamento		=√	Aceleração da Gravidade		Profundidade média		Declividade do Leito	
0,106	m/s		9,81	m/s <sup>2</sup>	0,543	m	0,002	‰

O mesmo correu para os coeficientes de difusividade turbulenta vertical (3) e transversal (4).

$E_y$			$a_y$		$U^*$		$h$	
Difusividade turbulenta lateral		=	Fator para rios com variabilidade moderada		Velocidade de cisalhamento		Profundidade média	
0,029	m <sup>2</sup> /s		0,5		0,106	m/s	0,543	m

$E_z$			$a_z$		$U^*$		$h$	
Difusividade turbulenta vertical		=	Fator para rios com variabilidade moderada		Velocidade de cisalhamento		Profundidade média	
0,004	m <sup>2</sup> /s		0,07		0,106	m/s	0,543	m

Esses coeficientes são necessários para os cálculos das distâncias de misturas completas vertical (5) e transversal (6).

Para esse trecho do rio Barigui a velocidade se mostrou significativamente maior que os coeficientes de difusividade turbulenta, portanto o efeito de advecção será mais relevante no processo de dispersão do poluente, do que a difusão. Dessa forma, a distância para que ocorra mistura completa é de 3,7 quilômetros.

LMV			U		h		Ez	
Distância para mistura completa vertical	=		Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
19,614	m		0,670	m/s	0,543	m	0,004	m <sup>2</sup> /s

LMH			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal	=		Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
3719,679	m		0,670	m/s	20	m	0,029	m <sup>2</sup> /s

Através da difusividade turbulenta vertical também é possível calcular a concentração máxima em um dado ponto, sendo possível obter a concentração máxima após a zona de mistura, lembrando que o rio Barigui está classificado como rio de classe 3, onde a concentração máxima de DBO 5 dias a 20°C é 10 mg/L (= g/m<sup>3</sup>) O<sub>2</sub>, conforme a Resolução do CONAMA 357/2005.

Q <sub>co</sub>			Co			Qo	
Carga de lançamento do efluente (massa / hora)	=		Concentração de DBO do efluente			Vazão de descarga	
1	g/s		40	g/m <sup>3</sup>		0,025	m <sup>3</sup> /s

C <sub>max</sub>		Fator		Q <sub>co</sub>		h		4*π	E <sub>y</sub>	U	x
Concentração máxima de DBO	=	Efeito de reflexão da fronteira impermeável	(	Carga de lançamento do efluente	/	Profundidade média	√	Fator	Difusividade turbulenta lateral	Velocidade de água	Distância do ponto de introdução
0,122 g/m <sup>3</sup>		2		1 g/s		0,543 m		12,566	0,029 m <sup>2</sup> /s	0,670 m/s	3719,679 m

Nos processos de outorga de efluente no estado do Paraná, a mistura instantânea, equação (12), leva a uma concentração máxima de DBO mostrada abaixo:

$C_{max}$			$C_o$		$C_r$		$Q_o$		$Q_r$	
Concentração máxima de DBO		=	Concentração de DBO do efluente		Concentração de DBO do rio		Vazão de descarga		Vazão do rio	
0,137	$g/m^3$		40	$g/m^3$	0	$g/m^3$	0,025	$m^3/s$	7,260	$m^3/s$

#### 4.3.3.1. Variação de Parâmetros

Para o caso de baixa vazão do Rio Barigui, dentre as informações obtidas da estação fluviométrica escolheu-se a vazão de 2,27  $m^3/s$ , onde 90% das medições apresentaram vazões superiores a essa. Tendo o corpo hídrico uma largura de 16,3 metros e 0,35 metros de profundidade, a velocidade do escoamento da água no rio é 0,402  $m/s$ .

Da mesma forma que calculado anteriormente foi possível obter as distâncias de mistura completa, obtendo mistura completa em 3,1 quilômetros.

$L_{mv}$			$U$		$H$		$E_z$	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
10,366	M		0,402	$m/s$	0,35	m	0,002	$m^2/s$

$L_{mh}$			$U$		$B$		$E_y$	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
3147,698	M		0,402	$m/s$	16,3	m	0,014	$m^2/s$

Neste caso, a concentração máxima após a ZM foi de  $C_{MAX}=0,389$   $mg/L$ .

Para o caso oposto ao analisado acima, tem-se para o corpo hídrico uma vazão de 25,4  $m^3/s$ . Tendo ele profundidade de 1,31 metros e 21 metros de largura, a velocidade é de 0,924  $m/s$ . Dessa forma obteve-se como distância de mistura completa:

Lmv			U		H		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
46,076	m		0,924	m/s	1,31	m	0,014	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
1657,658	m		0,924	m/s	21	m	0,098	m <sup>2</sup> /s

Como os coeficientes de difusividade turbulenta deram mais elevados que nos casos anteriores de vazão média ou baixa, aqui a difusão é mais representativa e a dispersão ocorre mais rapidamente. Onde a distância para que ocorresse mistura completa foi menor. A concentração máxima após a zona de mistura foi de  $C_{MAX}=0,035$  mg/L.

No caso onde o trecho analisado possui alta rugosidade, como já falado, a velocidade de cisalhamento  $u^*$  se torna 10% da velocidade do rio. Isso faz com que a velocidade do escoamento das equações (5) e (6) se anule com a velocidade da equação da velocidade de cisalhamento. Portanto, o comprimento de mistura dependerá apenas da profundidade e largura.

Lmv				h	
Distância para mistura completa vertical		=	Fator	Profundidade média	
27,17	m		50	0,543	m

Lmh				B		H	
Distância para mistura completa transversal		=	Fator	Largura média		Profundidade média	
5888,848	m		8	20	m	0,543	m

Para o caso de alta rugosidade a concentração máxima após a mistura completa é de 0,01mg/L.

O caso oposto a esse, considera um canal com baixa rugosidade, tendo então  $a_y=0,25$  e  $a_z=0,035$ . Portanto, obtém-se como distâncias para mistura completa aproximadamente 8,1 quilômetros. Neste caso antes que ocorra mistura completa já ocorre o lançamento do próximo efluente, exatamente à montante do segundo lançamento, a concentração máxima de DBO é de 0,129 mg/L.

Lmv			U		H		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
43,047	m		0,670	m/s	0,5434	m	0,002	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
8163,743	m		0,670	m/s	20	m	0,013	m <sup>2</sup> /s

Para o caso de baixa rugosidade a concentração máxima após a zona de mistura é de 0,122 mg/L.

#### 4.3.2. PETRÓLEO DO BRASIL S.A

A empresa Petróleo do Brasil S.A. Petrobras, possui uma outorga de lançamento de efluente com finalidade de diluição, que a autoriza lançar no rio Barigui efluentes a uma vazão de 0,583 m<sup>3</sup>/s, 24 horas por dia, 30 dias por mês durante 6 anos.

A vazão média do rio Barigui à montante do lançamento foi considerada de 7,2851 m<sup>3</sup>/s (vazão de 7,26 m<sup>3</sup>/s mais a vazão do efluente da empresa Essencis), com largura média B do rio de 17 metros e profundidade média h de 0,6 metros.

A declividade do canal próximo à descarga do efluente foi de 0,0018, consideravelmente baixa, se comparada aos outros trechos analisados.

So			Ho		Hf		I	
Declividade do Leito		=	Altitude inicial do canal		Altitude final do canal		Comprimento do canal	
0,002	‰		884 m		882 m		1140 m	

A seguir obteve-se a velocidade de cisalhamento.

U*			G		H		So	
Velocidade de cisalhamento		=√	Aceleração da Gravidade		Profundidade média		Declividade do Leito	
0,102	m/s		9,81 m/s <sup>2</sup>		0,6 m		0,0018 ‰	

Obtendo os coeficientes das difusividades turbulentas lateral e vertical.

E <sub>y</sub>			a <sub>y</sub>		U*		h	
Difusividade turbulenta lateral		=	Fator para rios com variabilidade moderada		Velocidade de cisalhamento		Profundidade média	
0,030	m <sup>2</sup> /s		0,5		0,102 m/s		0,6 m	

E <sub>z</sub>			A <sub>z</sub>		U*		h	
Difusividade turbulenta vertical		=	Fator para rios com variabilidade moderada		Velocidade de cisalhamento		Profundidade média	
0,004	m <sup>2</sup> /s		0,07		0,102 m/s		0,6 m	

Como os coeficientes de difusividade turbulenta se deram baixos, a distância para que ocorra mistura completa ocorreu em aproximadamente 3,0 quilômetros.

L <sub>mv</sub>			U		H		E <sub>z</sub>	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
26,027	m		0,771 m/s		0,6 m		0,004 m <sup>2</sup> /s	

L <sub>mh</sub>			U		B		E <sub>y</sub>	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
2925,163	m		0,771 m/s		17 m		0,031 m <sup>2</sup> /s	

A concentração máxima após a zona de mistura, lembrando que o rio Barigui está classificado como rio de classe 3, onde a concentração máxima de DBO 5 dias a 20°C é 10 mg/L O<sub>2</sub>.

$Q_{co}$			$C_o$		$Q_o$	
Carga de lançamento do efluente		=	Concentração de DBO do efluente		Vazão de descarga	
29,165	g/s		50	g/m <sup>3</sup>	0,583	m <sup>3</sup> /s

$C_{max}$		Fator	$Q_{co}$		$h$		$4*\pi$	$E_y$	$U$	$x$	
Concentração máxima de DBO	=	Efeito de reflexão da fronteira impermeável	( Carga de lançamento do efluente	/(	Profundidade média	√	Fator	Difusividade turbulenta lateral	Velocidade de água	Distância do ponto de introdução	)
3,307 g/m <sup>3</sup>		2	29,165 g/s		0,6 m		12,566	0,031 m <sup>2</sup> /s	0,771 m/s	2925,163 m	

Através de mistura instantânea, a concentração máxima de DBO, pela equação (12):

$C_{max}$			$C_o$		$C_r$		$Q_o$		$Q_r$	
Concentração máxima de DBO		=	Concentração de DBO do efluente		Concentração de DBO do rio		Vazão de descarga		Vazão do rio	
3,707	g/m <sup>3</sup>		50	g/m <sup>3</sup>	0	g/m <sup>3</sup>	0,583	m <sup>3</sup> /s	7,285	m <sup>3</sup> /s

#### 4.3.3.1. Variação de Parâmetros

Para o caso de baixa vazão do Rio Barigui, dentre as informações obtidas da estação fluviométrica escolheu-se a vazão de 2,295 m<sup>3</sup>/s, onde 90% das medições apresentaram vazões superiores a essa. Tendo o corpo hídrico uma largura de 16,3 metros e 0,35 metros de profundidade, e então, uma velocidade de 0,505 m/s.

Da mesma forma que calculado anteriormente foi possível obter as distâncias para que as misturas vertical e transversal ocorram.

$L_{mv}$			$U$		$H$		$E_z$	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
13,001	m		0,505	m/s	0,35	m	0,002	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
3947,721	m		0,505	m/s	16,3	m	0,0136	m <sup>2</sup> /s

A dispersão do efluente levou aproximadamente 4,0 quilômetros para que se misturasse completamente no corpo hídrico, com a concentração máxima  $C_{MAX}$  igual a 9,039 mg/L, próximo ao limite estipulado na legislação. Porém, em aproximadamente 2,26 quilômetros desse lançamento ocorre outro lançamento de efluente e neste ponto, a concentração máxima do efluente da Petrobrás é de 11,75 mg/L.

No caso oposto ao anterior, tem-se para o corpo hídrico uma vazão de 25,425 m<sup>3</sup>/s, tendo ele profundidade de 1,31 metros e 21 metros de largura. Como as difusividades turbulentas vertical e horizontal se deram elevadas, mesmo com velocidade alta, a distância para que ocorresse mistura completa deu-se baixa.

Lmv			U		H		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
47,133	m		0,945	m/s	1,31	m	0,014	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
1695,688	m		0,945	m/s	21	m	0,098	m <sup>2</sup> /s

A concentração máxima após a zona de mistura foi de  $C_{MAX}=1,00$  mg/L.

No caso de trecho do corpo hídrico com alta rugosidade, a velocidade de cisalhamento  $U^*$  se torna 10% da velocidade do rio. Deixando o efeito da difusão com menos relevância no processo de dispersão da pluma do poluente. Dessa maneira, a mistura completa se dá em aproximadamente 3,9 quilômetros.

Lmv				h	
Distância para mistura completa vertical		=	Fator	Profundidade média	
30	m		50	0,6	m

Lmh				B		h	
Distância para mistura completa transversal		=	Fator	Largura média		Profundidade média	
3853,333	m		8	17	m	0,6	M

Lembrando que após 2,26 quilômetros do lançamento da Petrobrás ocorre outro lançamento de efluente. E exatamente à montante desse próximo lançamento a concentração máxima de DBO é de 4,318 mg/L.

O caso oposto a esse, considera um canal com baixa rugosidade, tendo então  $a_y=0,25$  e  $a_z=0,035$ . Portanto, a mistura completa ocorreu em aproximadamente 2,0 quilômetros.

Lmv			U		H		Ez	
Distância para mistura completa vertical		=	Velocidade de água		Profundidade média		Difusividade turbulenta vertical	
52,054	m		0,771	m/s	0,6	m	0,002	m <sup>2</sup> /s

Lmh			U		B		Ey	
Distância para mistura completa transversal		=	Velocidade de água		Largura média		Difusividade turbulenta horizontal	
5850,327	m		0,771	m/s	17	m	0,015	m <sup>2</sup> /s

Para o caso de baixa rugosidade a concentração máxima após a zona de mistura é de 3,307 mg/L e exatamente à montante do terceiro lançamento de efluente é de 5,308 mg/L.

## 5. CONCLUSÕES

O intuito desse trabalho foi apresentar a importância do dimensionamento de uma zona de mistura legal, de maneira a não prejudicar a qualidade dos corpos hídricos com o lançamento de efluentes. Visando sempre a preservação dos ecossistemas aquáticos, da qualidade e quantidade da água, de maneira também a não afetar os diversos usos da água.

A partir da análise realizada sobre zona de mistura e os cálculos realizados para dois rios do estado do Paraná, sendo os dois de grande relevância, Rio Barigui e Tibagi, tem-se a comprovação da necessidade do dimensionamento da zona de mistura completa.

A concentração de um poluente lançado no corpo hídrico ao sofrer dispersão vai diminuindo seus picos de valor máximo devido à difusão (vertical e transversal) conforme a passagem do tempo ou do deslocamento do poluente no corpo hídrico.

Para longas distâncias, a concentração máxima irá decair exponencialmente. Quando se analisou pontos à jusante muito distantes do lançamento, quando a largura do trecho do corpo hídrico era grande, apesar de ainda não ter ocorrido mistura completa, a concentração máxima já se mostrava próxima de zero.

Na maioria dos casos a concentração máxima encontrada após a mistura completa para vazões médias do corpo hídrico se mostrou baixa, próxima de zero, e não prejudicial à qualidade do corpo hídrico ao qual está enquadrado, não havendo necessidade de restringir todo o trecho da zona de mistura apenas para a diluição daquele poluente. Podendo então autorizar outros usos para a água quando as concentrações se mostrarem baixas.

Quando o trecho analisado possui alta rugosidade espera-se que o poluente se misture mais rapidamente, sendo a distância de mistura completa menor em trechos mais rugosos. Porém, em rios onde o trecho analisado possuía largura muito elevada isso não ocorreu: a distância para que ocorresse mistura completa foi menor em trechos pouco rugosos.

Isso se deu pelo fato de a distância de mistura completa em trechos rugosos ser proporcional ao quadrado da largura. Pode-se considerar que neste caso, considerando apenas a largura e a profundidade como variáveis, causaram efeitos não esperados nos resultados. Em alguns casos muitas simplificações não é a melhor solução, alterando significativamente o resultado esperado.

Destaca-se a grande facilidade de implementação das equações analisadas em diversos problemas de lançamento de efluentes, porém, como aspecto negativo, por serem muito simplificadas não levam em consideração a concentração do poluente presente no corpo hídrico à montante do lançamento, ou alterações sofridas no corpo hídrico durante o processo de mistura, como por exemplo quedas d'água ou grandes alterações na largura do rio em algum ponto, que causaria alteração significativa na velocidade, além de afluentes de rios menores que alterariam a vazão do corpo hídrico.

Deve-se salientar a importância de se realizar monitoramento no corpo hídrico para o caso de haver baixa vazão e outros lançamentos próximos, já que para esse caso a concentração se deu mais elevada, podendo ultrapassar os limites exigidos na legislação sem considerar qualquer concentração de DBO a montante do lançamento.

Sabendo-se que o rio possui concentrações diferentes de zero, nesse caso deve-se lançar efluente com concentrações mais baixas ou alterar a forma de lançamento até que a vazão volte ao normal.

Propor também alternativas de lançamento do efluente para os casos mais complicados, como de alta rugosidade do meio quando o corpo hídrico possuir uma largura muito elevada, como solução o lançamento no meio do corpo hídrico ao invés da margem, em casos onde o comprimento de mistura se deu muito elevado. Ou também alternativas de lançamento com difusores.

Pode-se concluir que a aplicação das equações para os processos de mistura de efluentes em corpos hídricos do estado do Paraná e do Brasil se mostraram viáveis, podendo ser empregadas nas análises de processos de outorgas.

Podendo considerar as dimensões da zona de mistura legal de um lançamento de efluente em função da largura do corpo receptor, equações (8) e

(9), conforme proposto por Jirka et al (2004), porém o comprimento da zona de mistura deve variar de 1 a 20 vezes a largura do corpo hídrico, de maneira a evitar que grandes distâncias sejam sacrificadas.

## REFERÊNCIAS

AGUASPARANÁ. MANUAL TÉCNICO DE OUTORGAS. Curitiba, Paraná. 2006.

Bertoletti, E. Controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo. Governo do Estado de São Paulo Secretaria do Meio Ambiente. CETESB, 2013.

Bleninger, T., Jirka, G.H. Mixing Zone Regulation for effluent discharges into EU waters. ICE Institution of Civil Engineers. 2010.

BRASIL. DECRETO No 99.274, DE 6 DE JUNHO DE 1990. Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Republica Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF. Disponível em:< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/antigos/d99274.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm)>. Acesso em 10/11/2016.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 09 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, 09 de janeiro de 1997.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 05 de janeiro de 2007.

BRASIL. Lei Federal nº 9.984, DE 17 DE JULHO DE 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Republica Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF. Disponível em:< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9984.htm)>. Acesso em 10/11/2015.

CETESB. Decreto nº 41.258 de 31 de outubro de 1996. Aprova o Regulamento da outorga de direitos de uso dos recursos hídricos, de que tratam os artigos 9º a 13 da Lei 7.663, de 30/12/1991. Diário Oficial do Estado de São Paulo: Poder Executivo, São Paulo, SP. Disponível em:< <http://www.al.sp.gov.br/norma/?id=9983>>. Acesso em 10/11/2015.

CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu

enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providencias. Diário Oficial da União: Republica Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codegi=459>>. Acesso em: 30/11/2016.

CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. Diário Oficial da União: Republica Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, n. 92, 16 maio 2011. p. 89. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiare.cfm?codegi=646>>. Acesso em: 30/11/2016.

COPATI. O Rio Tibagi. Consórcio do Tio Tibagi. 2013. Disponível em: <<http://www.copati.org.br/index.php/copati/o-rio-tibagi.html>>. Acesso em 12/11/2015.

CNRH. Resolução CNRH nº 16, de 8 de Maio de 2001. Trata do processo de outorgo de direito de uso dos recursos hídricos. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2016.pdf>>. Acesso em 01/11/2015.

CNRH. Resolução CNRH nº 91, de 05 de Novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Disponível em: <[http://piranhasacu.ana.gov.br/resolucoes/resolucaoCNRH\\_91\\_2008.pdf](http://piranhasacu.ana.gov.br/resolucoes/resolucaoCNRH_91_2008.pdf)>. Acesso em 20/11/2016.

Cormix. Mixing Zones and Regulatory Mixing Zones. Disponível em: <<http://www.cormix.info/picgal/rmixingz.php#rmz>>. Acesso em 17/11/2016.

DAEE. Portaria DAEE nº 717 de 12 de dezembro de 1996. Aprova a Norma e os Anexos de I a XVIII que disciplinam o uso dos recursos hídricos. Disponível em: <[http://www.daee.sp.gov.br/legislacao/arquivos/850/portaria%20daee\\_717.pdf](http://www.daee.sp.gov.br/legislacao/arquivos/850/portaria%20daee_717.pdf)>. Acesso em 01/11/2015.

Doneker, R.L. and G.H. Jirka, "Expert Systems for Hydrodynamic Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Single Port Discharges (CORMIX1)", Technical Report EPA/600/3-90/012, U.S. EPA Environmental Research Laboratory, Athens, GA. 1990.

Doneker, R.L. and G.H. Jirka, "CORMIX-GI Rule-based Systems for Mixing Zone Analysis in Virtual Reality", 3rd International Symposium on Environmental Hydraulics, Tempe, AZ, Dec. 2001.

Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J. Brooks, N.H. Mixing in Inland and Coastal Waters. Academic Press, Nova Iorque. 1979.

Jirka, G.H., Bleninger, T., Burrows R., Larsen T. "Management of point source discharges into rivers: where do environmental quality standards in the new EC-water framework directive apply?". 2004.

LACTEC, CEHPAR. Diagnóstico das condições limnológicas e da qualidade da água superficial e subterrânea na região do empreendimento UHE Mauá – relatório fase rio. 2011.

PARANÁ. Lei estadual nº 12.726, de 26 de novembro de 1999. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e adota outras providências. Diário Oficial do estado do Paraná, Curitiba, Paraná, 29 de novembro de 1999.

PARANÁ. Decreto nº 9.957 de 23 de janeiro de 2014. Dispõe sobre o Regime de Outorga de direito de uso de recursos hídricos e adota outras providências. Diário Oficial do estado do Paraná, Curitiba, Paraná.

PARANÁ. Diagnóstico do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi, 2009.

Poyry. Estudo de Impacto Ambiental. Volume III – Avaliação de Impactos. Klabin – Papel e Celulose, Projeto Puma – PR. 2012.

MACHADO, M.B. Modelagem tridimensional da dispersão de poluentes em rios. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2006.

MATASUL. Projeto MATASUL Rede de Pesquisas em Bacias Representativas e Experimentais no Bioma da Mata Atlântica, na Região Sul do Brasil. BACIA DO RIO BARIGUI. Universidade Federal de Santa Maria. 2004. Disponível em: <<http://jaraca.ufsm.br/websites/matasul-ufpr/5ea8d6bfdb13e1b9183db24de7c19b26.htm>>. Acesso em 21/11/2015.

Medri, M. E., Bianchini, E., Shibatta, O. A., Pimenta, J. A. A Bacia do Rio Tibagi. Universidade Estadual de Londrina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. Londrina, Paraná. 2002.

Roorda, M.S. A CONSTRUÇÃO DA LEI DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO PARANÁ E SUA IMPLEMENTAÇÃO. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Gerenciamento Municipal de Recursos Hídricos, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná. 2005.

Rutherford, J.C. River Mixing, John Wiley, Chichester. 1994.

SÃO PAULO. LEI Nº 7.663, DE 30 DE DEZEMBRO DE 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em:< <http://www.al.sp.gov.br/norma/?id=18836>>. Acesso em 15/11/2016.

SÃO PAULO. Lei Estadual nº 13.542, de 08 DE MAIO DE 2009. Altera a denominação da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e dá nova redação aos artigos 2º e 10 da Lei nº 118, de 29 de junho de 1973. Disponível em: < <http://www.al.sp.gov.br/norma/?id=155703>>. Acesso em 10/11/2015.

STEHFEST, N. (1973). Modelltheoretische Untersuchungen zur Selbstreinigung von Fließgewässern.

SPERLING, V. M. (1996). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG.

USEPA. 1991. "Technical Support Document for Water Quality-based Toxics Control." EPA 505-290-001. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. Disponível em: <<http://www2.epa.gov/sites/production/files/2015-01/documents/technical-support-water-qualitybased.pdf>>. Acesso em 10/11/2016.

Zorzal, F. M. B., Elias, J. L., Elias, J. V. V., Jachic, J., Medina, A. S. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BARIGUI – CURITIBA/PR. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2005.

## ANEXO - RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005

### CAPÍTULO III - DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

#### Seção II

#### Das Águas Doces

Art. 14. As águas doces de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões:

I - condições de qualidade de água:

- a) não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido.
- b) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;
- c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;
- d) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;
- e) corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;
- f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;
- g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;
- h) DBO 5 dias a 20°C até 3 mg/L O<sub>2</sub>;
- i) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O<sub>2</sub>;
- j) turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);
- l) cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L; e
- m) pH: 6,0 a 9,0.

II - Padrões de qualidade de água:

<b>TABELA I - CLASSE 1 - AGUAS DOCES</b>	
<b>PADRÕES</b>	
<b>PARÂMETROS</b>	<b>VALOR MÁXIMO</b>
Clorofila <i>a</i>	10 µg/L
Densidade de cianobactérias	20.000 cel/mL ou 2 mm <sup>3</sup> /L
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L
<b>PARÂMETROS INORGÂNICOS</b>	
Alumínio dissolvido	0,1 mg/L Al
Antimônio	0,005mg/L Sb
Arsênio total	0,01 mg/L As
Bário total	0,7 mg/L Ba
Berílio total	0,04 mg/L Be
Boro total	0,5 mg/L B
Cádmio total	0,001 mg/L Cd
Chumbo total	0,01mg/L Pb
Cianeto livre	0,005 mg/L CN
Cloreto total	250 mg/L Cl
Cloro residual total (combinado + livre)	0,01 mg/L Cl
Cobalto total	0,05 mg/L Co
Cobre dissolvido	0,009 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Ferro dissolvido	0,3 mg/L Fe
Fluoreto total	1,4 mg/L F
Fósforo total (ambiente lêntico)	0,020 mg/L P
Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico)	0,025 mg/L P

Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,1 mg/L P
Lítio total	2,5 mg/L Li
Manganês total	0,1 mg/L Mn
Mercurio total	0,0002 mg/L Hg
Níquel total	0,025 mg/L Ni
Nitrato	10,0 mg/L N
Nitrito	1,0 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	3,7 mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5
Prata total	0,01 mg/L Ag
Selênio total	0,01 mg/L Se
Sulfato total	250 mg/L SO <sub>4</sub>
Sulfeto (H <sub>2</sub> S não dissociado)	0,002 mg/L S
Urânio total	0,02 mg/L U
Vanádio total	0,1 mg/L V
Zinco total	0,18 mg/L Zn
<b>PARÂMETROS ORGÂNICOS</b>	<b>VALOR MÁXIMO</b>
Acrilamida	0,5 µg/L
Alacloro	20 µg/L
Aldrin + Dieldrin	0,005 µg/L
Atrazina	2 µg/L
Benzeno	0,005 mg/L
Benzidina	0,001 µg/L
Benzo(a)antraceno	0,05 µg/L
Benzo(a)pireno	0,05 µg/L
Benzo(b)fluoranteno	0,05 µg/L
Benzo(k)fluoranteno	0,05 µg/L
Carbaril	0,02 µg/L
Clordano (cis + trans)	0,04 µg/L
2-Clorofenol	0,1 µg/L
Criseno	0,05 µg/L
2,4-D	4,0 µg/L
Demeton (Demeton-O + Demeton-S)	0,1 µg/L
Dibenzo(a,h)antraceno	0,05 µg/L
1,2-Dicloroetano	0,01 mg/L
1,1-Dicloroetano	0,003 mg/L

2,4-Diclorofenol	0,3 µg/L
Diclorometano	0,02 mg/L
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	0,002 µg/L
Dodecacloro pentaciclodecano	0,001 µg/L
Endossulfan (□ + □ + sulfato)	0,056 µg/L
Endrin	0,004 µg/L
Estireno	0,02 mg/L
Etilbenzeno	90,0 µg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,003 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Glifosato	65 µg/L
Gution	0,005 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,01 µg/L
Hexaclorobenzeno	0,0065 µg/L
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,05 µg/L
Lindano (□-HCH)	0,02 µg/L
Malation	0,1 µg/L
Metolacloro	10 µg/L
Metoxicloro	0,03 µg/L
Paration	0,04 µg/L
PCBs - Bifênilas policloradas	0,001 µg/L
Pentaclorofenol	0,009 mg/L
Simazina	2,0 µg/L
Substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno	0,5 mg/L LAS
2,4,5-T	2,0 µg/L
Tetracloroeto de carbono	0,002 mg/L
Tetracloroetano	0,01 mg/L
Tolueno	2,0 µg/L
Toxafeno	0,01 µg/L
2,4,5-TP	10,0 µg/L
Tributilestanho	0,063 µg/L TBT
Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)	0,02 mg/L
Tricloroetano	0,03 mg/L
2,4,6-Triclorofenol	0,01 mg/L
Trifluralina	0,2 µg/L
Xileno	300 µg/L

III - Nas águas doces onde ocorrer pesca ou cultivo de organismos, para fins de consumo intensivo, além dos padrões estabelecidos no inciso II deste artigo, aplicam-se os seguintes padrões em substituição ou adicionalmente:

<b>TABELA II - CLASSE I - ÁGUAS DOCES</b>	
<b>PADRÕES PARA CORPOS DE ÁGUA ONDE HAJA PESCA OU CULTIVO DE ORGANISMOS PARA FINS DE CONSUMO INTENSIVO</b>	
<b>PARÂMETROS INORGÂNICOS</b>	<b>VALOR MÁXIMO</b>
Arsênio total	0,14 µg/L As
<b>PARÂMETROS ORGÂNICOS</b>	<b>VALOR MÁXIMO</b>
Benzidina	0,0002 µg/L
Benzo(a)antraceno	0,018 µg/L
Benzo(a)pireno	0,018 µg/L
Benzo(b)fluoranteno	0,018 µg/L
Benzo(k)fluoranteno	0,018 µg/L
Criseno	0,018 µg/L
Dibenzo(a,h)antraceno	0,018 µg/L
3,3-Diclorobenzidina	0,028 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,000039 µg/L
Hexaclorobenzeno	0,00029 µg/L
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,018 µg/L
PCBs - Bifenilas policloradas	0,000064 µg/L
Pentaclorofenol	3,0 µg/L
Tetracloro de carbono	1,6 µg/L
Tetracloroeteno	3,3 µg/L
Toxafeno	0,00028 µg/L
2,4,6-triclorofenol	2,4 µg/L

Art 15. Aplicam-se às águas doces de classe 2 as condições e padrões da classe 1 previstos no artigo anterior, à exceção do seguinte:

I - não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

II - coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

III - cor verdadeira: até 75 mg Pt/L;

IV - turbidez: até 100 UNT;

V - DBO 5 dias a 20°C até 5 mg/L O<sub>2</sub>;

VI - OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/L O<sub>2</sub>;

VII - clorofila *a*: até 30 µg/L;

VIII - densidade de cianobactérias: até 50000 cel/mL ou 5 mm<sup>3</sup>/L; e,

IX - fósforo total:

- a) até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos; e,
- b) até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.

Art. 16. As águas doces de classe 3 observarão as seguintes condições e padrões:

I - condições de qualidade de água:

- a) não verificação de efeito tóxico agudo a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido;
- b) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;
- c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;
- d) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;
- e) não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;
- f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;
- g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato secundário não deverá ser excedido um limite de 2500 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para dessedentação de animais criados confinados não deverá ser excedido o limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 4000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;
- h) cianobactérias para dessedentação de animais: os valores de densidade de cianobactérias não deverão exceder 50.000 cel/ml, ou 5mm<sup>3</sup>/L;
- i) DBO 5 dias a 20°C até 10 mg/L O<sub>2</sub>;
- j) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/L O<sub>2</sub>;
- l) turbidez até 100 UNT;
- m) cor verdadeira: até 75 mg Pt/L; e,
- n) pH: 6,0 a 9,0.

II - Padrões de qualidade de água:

TABELA III - CLASSE 3 - ÁGUAS DOCES	
PADRÕES	
PARÂMETROS	VALOR MÁXIMO
Clorofila <i>a</i>	60 µg/L
Densidade de cianobactérias	100.000 cel/mL ou 10 mm <sup>3</sup> /L
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Alumínio dissolvido	0,2 mg/L Al
Arsênio total	0,033 mg/L As
Bário total	1,0 mg/L Ba
Berílio total	0,1 mg/L Be

Boro total	0,75 mg/L B
Cádmio total	0,01 mg/L Cd
Chumbo total	0,033 mg/L Pb
Cianeto livre	0,022 mg/L CN
Cloreto total	250 mg/L Cl
Cobalto total	0,2 mg/L Co
Cobre dissolvido	0,013 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Ferro dissolvido	5,0 mg/L Fe
Fluoreto total	1,4 mg/L F
Fósforo total (ambiente lântico)	0,05 mg/L P
Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico)	0,075 mg/L P
Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,15 mg/L P
Lítio total	2,5 mg/L Li
Manganês total	0,5 mg/L Mn
Mercurio total	0,002 mg/L Hg
Níquel total	0,025 mg/L Ni
Nitrato	10,0 mg/L N
Nitrito	1,0 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	13,3 mg/L N, para $\text{pH} \leq 7,5$ 5,6 mg/L N, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$ 2,2 mg/L N, para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$ 1,0 mg/L N, para $\text{pH} > 8,5$
Prata total	0,05 mg/L Ag
Selênio total	0,05 mg/L Se
Sulfato total	250 mg/L $\text{SO}_4$
Sulfeto (como $\text{H}_2\text{S}$ não dissociado)	0,3 mg/L S
Urânio total	0,02 mg/L U
Vanádio total	0,1 mg/L V
Zinco total	5 mg/L Zn
<b>PARÂMETROS ORGÂNICOS</b>	<b>VALOR MÁXIMO</b>
Aldrin + Dieldrin	0,03 $\mu\text{g/L}$
Atrazina	2 $\mu\text{g/L}$
Benzeno	0,005 mg/L
Benzo(a)pireno	0,7 $\mu\text{g/L}$

Carbaril	70,0 µg/L
Clordano (cis + trans)	0,3 µg/L
2,4-D	30,0 µg/L
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	1,0 µg/L
Demeton (Demeton-O + Demeton-S)	14,0 µg/L
1,2-Dicloroetano	0,01 mg/L
1,1-Dicloroetano	30 µg/L
Dodecacloro Pentaciclodecano	0,001 µg/L
Endossulfan (□ + □ + sulfato)	0,22 µg/L
Endrin	0,2 µg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,01 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Glifosato	280 µg/L
Guthion	0,005 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,03 µg/L
Lindano (□-HCH)	2,0 µg/L
Malation	100,0 µg/L
Metoxicloro	20,0 µg/L
Paration	35,0 µg/L
PCBs - Bifenilas policloradas	0,001 µg/L
Pentaclorofenol	0,009 mg/L
Substâncias tenso-ativas que reagem com o azul de metileno	0,5 mg/L LAS
2,4,5-T	2,0 µg/L
Tetracloroeto de carbono	0,003 mg/L
Tetracloroetano	0,01 mg/L
Toxafeno	0,21 µg/L
2,4,5-TP	10,0 µg/L
Tributilestanho	2,0 µg/L TBT
Tricloroetano	0,03 mg/L
2,4,6-Triclorofenol	0,01 mg/L

Art. 17. As águas doces de classe 4 observarão as seguintes condições e padrões:

I - materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;

II - odor e aspecto: não objetáveis;

III - óleos e graxas: toleram-se iridescências;

IV - substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes;

V - fenóis totais (substâncias que reagem com 4 - aminoantipirina) até 1,0 mg/L de C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH;

VI - OD, superior a 2,0 mg/L O<sub>2</sub> em qualquer amostra; e,

VII - pH: 6,0 a 9,0.