

**ANA MARIA BEER BÄUMLE**

**AVALIAÇÃO DE BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DA DESPOLUIÇÃO HÍDRICA:  
EFEITOS DE ERROS DE CALIBRAÇÃO DE MODELOS DE QUALIDADE DA  
ÁGUA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes, Ph.D.

**CURITIBA  
2005**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**ANA MARIA BEER BÄUMLE**

**“AVALIAÇÃO DE BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DA DESPOLUIÇÃO HÍDRICA:  
EFEITOS DE ERROS DE CALIBRAÇÃO DE MODELOS DE QUALIDADE DA  
ÁGUA”**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:

---

Prof. Cristóvão V. S. Fernandes, Ph.D.  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador

MEMBROS:

---

Prof<sup>a</sup>. Maria Cristina Braga, Ph.D.  
Universidade Federal do Paraná

---

Prof<sup>a</sup>. Regina Yiemy Kishi, Ph.D.  
Universidade Federal do Paraná

---

Prof. Ademir Clamente, Dr.  
Universidade Federal do Paraná

*Dedico este trabalho às pessoas nas quais contribuíram para a realização deste meu sonho, em especial aos meus pais, ao meu noivo e a minha irmã, que nos momentos mais difíceis, me incentivaram e me compreenderam, me mostrando que eu não estava sozinha nesta caminhada.*

*Este trabalho é uma homenagem a uma pessoa que muito influenciou minha trajetória neste estudo. Representa, mesmo que em memória, o pai deste projeto, ainda que com formas e traço do meu querido orientador Cristóvão. Estou falando de **FÁBIO RAMOS**, amigo, professor, pesquisador, com idéias e um conhecimento fantástico dos problemas em recursos hídricos. Seja no lugar em que estiver, eu agradeço de todo o meu coração a oportunidade que você me deu, e espero ter aproveitado o máximo, não o decepcionando.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu querido orientador, Cristóvão Fernandes, que com o passar dos anos passei a admirar e respeitar, tendo como um amigo, que vai se conquistando aos pouquinhos e tomando conta de um espaço dentro do coração.

À toda a minha família que me apoiou e me incentivou a prosseguir nesta minha caminhada, me protegendo de problemas e confusões em que eu passei nesta caminhada.

Ao Projeto Iguaçu, que possibilitou e viabilizou o desenvolvimento deste estudo, com o fornecimento de diretrizes e dados.

À RHE – Recursos Hídricos e Energia que me proporcionou uma bolsa de estudos.

Ao FINEP que viabilizou economicamente o Projeto Iguaçu.

Às pessoas que se envolveram direta e indiretamente com este estudo.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Evidências de Interesse .....	2
1.2 Objetivos .....	4
1.3 Metodologia .....	5
1.4 Estrutura da Dissertação .....	5
<b>CAPÍTULO 2 – OS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL</b> .....	<b>7</b>
2.1 Desenvolvimento e Meio Ambiente .....	8
2.2 Política Nacional de Recursos Hídricos .....	12
2.3 Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos .....	16
2.4 Conselho Nacional de Recursos Hídricos .....	17
2.5 Agência Nacional de Águas .....	18
2.6 Comitês de Bacias Hidrográficas .....	19
2.7 Agência de Águas .....	20
2.8 Plano de Recursos Hídricos .....	21
2.9 Enquadramento dos Corpos Hídricos .....	22
2.10 Outorga de Direitos de Uso de Recursos Hídricos .....	23
2.11 Cobrança pelo Uso da Água .....	24
2.12 Sistema de Informação sobre Recursos Hídricos .....	25
2.13 Usos Múltiplos da Água .....	26
2.14 Análise Crítica do Capítulo .....	27
<b>CAPÍTULO 3 – PLANOS DE DESPOLUIÇÃO HÍDRICA – A SUA IMPORTÂNCIA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS</b> .....	<b>29</b>
3.1 Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) .....	32
3.2 Plano Diretor de Recursos Hídricos – Bacia Hidrográfica do Iguaçu – Relatórios I e II (SUDERHSA, 1994) .....	33
3.3 Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba – 2002 .....	34
3.4 Análise do Impacto do PROSAM Sobre a Qualidade da Água na Região Metropolitana de Curitiba (BIRD 3.505 BR, 2003) .....	35
3.5 Análise de Benefício Econômico em Despoluição Hídrica como Instrumento de Suporte à Tomada de Decisões em Gestão de Recursos Hídricos (MARIN, 2001) .....	35
3.6 Projeto Análise da Sustentabilidade Econômica e Ambiental de Metas de Despoluição Hídrica – Estudo de Caso: Alto Iguaçu (FERNANDES <i>et al</i> , 2005) .....	36
3.7 Análise Crítica do Capítulo .....	37
<b>CAPÍTULO 4 – MODELOS MATEMÁTICOS E SUA CALIBRAÇÃO</b> .....	<b>39</b>
4.1 Modelos e seus históricos .....	39
4.1.1 Aplicação do modelo QUAL2E em outros estudos .....	43
4.1.2 Concepção e características do modelo QUAL2E .....	46
4.1.3 Limitações do modelo QUAL2E .....	50
4.2 Calibração dos parâmetros .....	52

4.2.1 Taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C – $k_1$ e razão desedimentação da matéria orgânica – $k_3$ .....	54
4.2.2 Taxa de reaeração – $k_2$ .....	54
4.3 A calibração no contexto do Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) .....	58
4.4 A calibração no contexto Projeto Iguaçu (FERNANDES <i>et al</i> , 2005).....	59
4.5 Análise Crítica do Capítulo .....	66
<b>CAPÍTULO 5 – METODOLOGIA DE ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA</b> .....	<b>67</b>
5.1 Valor dos bens ambientais .....	68
5.2 Metodologia de desenvolvimento do algoritmo de avaliação de benefícios e custos de despoluição hídrica proposto por MARIN (2001) ..	69
5.2.1 Construção do algoritmo de avaliação de benefícios e custos de despoluição hídrica .....	71
5.2.2 Avaliação da importância relativa entre seções de controle em função dos usos dos recursos hídricos .....	72
5.2.2.1 Avaliação dos usos dos recursos hídricos .....	73
5.2.2.2 Avaliação dos pesos dos recursos hídricos .....	74
5.2.2.3 Avaliação da importância relativa das seções de controle em função dos usos dos recursos hídricos .....	74
5.2.3 Avaliação dos parâmetros de qualidade da água e sua importância relativa .....	75
5.2.3.1 Seleção dos parâmetros de qualidade da água .....	75
5.2.3.2 Peso dos parâmetros de qualidade da água .....	76
5.2.4 Quantificação dos benefícios econômicos das intervenções em despoluição hídrica .....	79
5.3 Quantificação monetária dos benefícios econômicos das intervenções em despoluição hídrica .....	81
5.4 Contribuições à metodologia de desenvolvimento do algoritmo de avaliação de benefícios e custos de despoluição hídrica proposta por MARIN (2001) .....	83
5.4.1 Considerações iniciais .....	85
5.4.2 Peso dos parâmetros de qualidade da água .....	86
5.4.3 Variação de concentração .....	87
5.4.4 Coeficiente de majoração aplicado ao oxigênio dissolvido (OD) .....	88
5.5 Avaliação do benefício econômico da receita da venda da água .....	89
5.5.1 Consideração sobre vazões .....	89
5.5.2 Considerações sobre a tarifa da água .....	90
5.5.3 Avaliação do benefício da receita da venda da água .....	90
5.6 Análise Crítica do capítulo .....	91
<b>CAPÍTULO 6 – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO IRAÍ, IRAIZINHO, PIRAQUARA E PALMITAL</b> .....	<b>92</b>
6.1 Características das Bacias .....	92
6.1.1 Iraí .....	93
6.1.2 Iraizinho .....	95
6.1.3 Piraquara .....	96
6.1.4 Palmital .....	97

6.2 Cenários considerados.....	99
6.2.1 Cenário A.....	100
6.2.2 Cenário C.....	111
6.2.3 Cenário Ideal 1.....	118
6.2.4 Cenário Ideal 2.....	125
6.3 Análise Crítica do Capítulo.....	132
<b>CAPÍTULO 7 – AVALIAÇÃO DO IMPACTO DOS ERROS DE CALIBRAÇÃO NA ESTIMATIVA DE QUALIDADE DA ÁGUA.....</b>	<b>134</b>
7.1 Cenário A.....	136
7.2 Cenário C.....	141
7.3 Cenário Ideal 1.....	147
7.4 Cenário Ideal 2.....	152
7.5 Análise Crítica do Capítulo.....	157
<b>CAPÍTULO 8 – ANÁLISE DO IMPACTO DE ERROS DE CALIBRAÇÃO NO PARÂMETRO Z.....</b>	<b>159</b>
8.1 Custos dos cenários considerados.....	160
8.2 Aplicação do parâmetro Z.....	163
8.2.1 Cenário Ideal 3.....	164
8.2.2 Cenário Ideal 4.....	172
8.2.3 Aplicação dos dados da modelagem matemática da qualidade da água no parâmetro Z (MARIN, 2001).....	180
8.2.4 Alteração na metodologia do cálculo da variação da concentração dos parâmetros de qualidade da água.....	184
8.2.5 Alteração na metodologia de aplicação do coeficiente de majoração.....	188
8.2.6 Alteração dos pesos relativos dos parâmetros de qualidade da água.....	191
8.3 Aplicação da metodologia da venda da água.....	194
8.2 Análise Crítica do Capítulo.....	195
<b>CAPÍTULO 9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>197</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>200</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>209</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>216</b>
<b>ANEXO 3.....</b>	<b>232</b>

**LISTA DE FIGURAS**

<b>FIGURA 4.1 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MODELO QUAL2E .....</b>	<b>48</b>
<b>FIGURA 4.2 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA TAXA DE DECAIMENTO DA DBO A 20°C (<math>k_1</math>) .....</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 4.3 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA RAZÃO DE SEDIMENTAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA (<math>k_3</math>) .....</b>	<b>65</b>
<b>FIGURA 4.4 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA TAXA DE DEMANDA DE OXIGÊNIO DEVIDO AOS SEDIMENTOS (<math>k_4</math>) .....</b>	<b>66</b>
<b>FIGURA 6.1 – LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO EM ESTUDO .....</b>	<b>92</b>
<b>FIGURA 6.2 – RESERVATÓRIO DO IRAÍ, FORMADO PELA BARRAGEM DO IRAÍ .....</b>	<b>95</b>
<b>FIGURA 6.3 – RESERVATÓRIO DO RIO CAYUGUAVA (PIRAQUARA I) .....</b>	<b>97</b>

**LISTA DE DIAGRAMAS**

<b>DIAGRAMA 5.1 – DIAGRAMA TOPOLÓGICO DA ÁREA DO ESTUDO DE CASO, IDENTIFICANDO SEÇÕES DE CONTROLE CONSIDERADAS .....</b>	<b>85</b>
--	-----------

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO 5.1 – BENEFÍCIOS E CUSTOS DO CENÁRIO IDEAL .....</b>	<b>85</b>
<b>GRÁFICO 5.2 – RELAÇÃO BENEFÍCIO – CUSTO DO CENÁRIO .....</b>	<b>85</b>
<b>GRÁFICO 6.1 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO A .....</b>	<b>105</b>
<b>GRÁFICO 6.2 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO A .....</b>	<b>105</b>
<b>GRÁFICO 6.3 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO A .....</b>	<b>106</b>
<b>GRÁFICO 6.4 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO A .....</b>	<b>106</b>
<b>GRÁFICO 6.5 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO A .....</b>	<b>107</b>
<b>GRÁFICO 6.6 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO A .....</b>	<b>107</b>
<b>GRÁFICO 6.7 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO A .....</b>	<b>108</b>
<b>GRÁFICO 6.8 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO A .....</b>	<b>108</b>
<b>GRÁFICO 6.9 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO C .....</b>	<b>114</b>
<b>GRÁFICO 6.10 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO C .....</b>	<b>114</b>
<b>GRÁFICO 6.11 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO C .....</b>	<b>115</b>
<b>GRÁFICO 6.12 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO C .....</b>	<b>115</b>
<b>GRÁFICO 6.13 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO C .....</b>	<b>116</b>
<b>GRÁFICO 6.14 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO C .....</b>	<b>116</b>
<b>GRÁFICO 6.15 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO C .....</b>	<b>117</b>

<b>GRÁFICO 6.16 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO C</b>	<b>117</b>
<b>GRÁFICO 6.17 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>121</b>
<b>GRÁFICO 6.18 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>121</b>
<b>GRÁFICO 6.19 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>122</b>
<b>GRÁFICO 6.20 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>122</b>
<b>GRÁFICO 6.21 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>123</b>
<b>GRÁFICO 6.22 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>123</b>
<b>GRÁFICO 6.23 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>124</b>
<b>GRÁFICO 6.24 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>124</b>
<b>GRÁFICO 6.25 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>128</b>
<b>GRÁFICO 6.26 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>128</b>
<b>GRÁFICO 6.27 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>129</b>
<b>GRÁFICO 6.28 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>129</b>
<b>GRÁFICO 6.29 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>130</b>
<b>GRÁFICO 6.30 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>130</b>
<b>GRÁFICO 6.31 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>131</b>
<b>GRÁFICO 6.32 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>131</b>
<b>GRÁFICO 7.1 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO A</b>	<b>137</b>

<b>GRÁFICO 7.2 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO A</b>	<b>137</b>
<b>GRÁFICO 7.3 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO A</b>	<b>138</b>
<b>GRÁFICO 7.4 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO A</b>	<b>138</b>
<b>GRÁFICO 7.5 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO A</b>	<b>139</b>
<b>GRÁFICO 7.6 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO A</b>	<b>139</b>
<b>GRÁFICO 7.7 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO A</b>	<b>140</b>
<b>GRÁFICO 7.8 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO A</b>	<b>140</b>
<b>GRÁFICO 7.9 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO C</b>	<b>143</b>
<b>GRÁFICO 7.10 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO C</b>	<b>143</b>
<b>GRÁFICO 7.11 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO C</b>	<b>144</b>
<b>GRÁFICO 7.12 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO C</b>	<b>144</b>
<b>GRÁFICO 7.13 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO C</b>	<b>145</b>
<b>GRÁFICO 7.14 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO C</b>	<b>145</b>
<b>GRÁFICO 7.15 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO C</b>	<b>146</b>
<b>GRÁFICO 7.16 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO C</b>	<b>146</b>
<b>GRÁFICO 7.17 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>148</b>
<b>GRÁFICO 7.18 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>148</b>
<b>GRÁFICO 7.19 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>149</b>

<b>GRÁFICO 7.20 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>149</b>
<b>GRÁFICO 7.21 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>150</b>
<b>GRÁFICO 7.22 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>150</b>
<b>GRÁFICO 7.23 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>151</b>
<b>GRÁFICO 7.24 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO IDEAL 1</b>	<b>151</b>
<b>GRÁFICO 7.25 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>153</b>
<b>GRÁFICO 7.26 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>153</b>
<b>GRÁFICO 7.27 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>154</b>
<b>GRÁFICO 7.28 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>154</b>
<b>GRÁFICO 7.29 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>155</b>
<b>GRÁFICO 7.30 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>155</b>
<b>GRÁFICO 7.31 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>156</b>
<b>GRÁFICO 7.32 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO IDEAL 2</b>	<b>156</b>
<b>GRÁFICO 8.1 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO IDEAL 3</b>	<b>167</b>
<b>GRÁFICO 8.2 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO IDEAL 3</b>	<b>167</b>
<b>GRÁFICO 8.3 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO IDEAL 3</b>	<b>168</b>
<b>GRÁFICO 8.4 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO IDEAL 3</b>	<b>168</b>
<b>GRÁFICO 8.5 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO IDEAL 3</b>	<b>169</b>

<b>GRÁFICO 8.6 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO IDEAL 3</b>	<b>169</b>
<b>GRÁFICO 8.7 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO IDEAL 3</b>	<b>170</b>
<b>GRÁFICO 8.8 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO IDEAL 3</b>	<b>170</b>
<b>GRÁFICO 8.9 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO IDEAL 4</b>	<b>175</b>
<b>GRÁFICO 8.10 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAÍ – CENÁRIO IDEAL 4</b>	<b>175</b>
<b>GRÁFICO 8.11 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO IDEAL 4</b>	<b>176</b>
<b>GRÁFICO 8.12 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO IRAIZINHO – CENÁRIO IDEAL 4</b>	<b>176</b>
<b>GRÁFICO 8.13 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO IDEAL 4</b>	<b>177</b>
<b>GRÁFICO 8.14 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PIRAQUARA – CENÁRIO IDEAL 4</b>	<b>177</b>
<b>GRÁFICO 8.15 – CONCENTRAÇÃO DE DBO PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO IDEAL 4</b>	<b>178</b>
<b>GRÁFICO 8.16 – CONCENTRAÇÃO DE OD PARA O RIO PALMITAL – CENÁRIO IDEAL 4</b>	<b>178</b>
<b>GRÁFICO 8.17 – VALORES DO PARÂMETRO Z PARA OS CENÁRIOS CONSIDERADOS, REFERENTES AOS ANOS DE 2010, 2015 E 2020</b>	<b>182</b>
<b>GRÁFICO 8.18 – VALORES DO PARÂMETRO Z PARA OS CENÁRIOS CONSIDERADOS, REFERENTES AOS ANOS DE 2010, 2015 E 2020</b>	<b>187</b>

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 – FLUXOGRAMA DO SISTEMA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS .....	17
QUADRO 4.1 – CORRESPONDENTES EM OXIGÊNIO DISSOLVIDO .....	49
QUADRO 4.2 – DADOS UTILIZADOS NA MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA .....	61
QUADRO 4.3 – VALORES DE <i>DEFAULT</i> (QUAL2E) DA CORREÇÃO DE TEMPERATURA USADOS NA MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA .....	61
QUADRO 4.4 – CENÁRIOS ANALISADOS PARA TAXA DE DECAIMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA A 20°C ( $k_1$ ) .....	63
QUADRO 4.5 – CENÁRIOS ANALISADOS PARA A RAZÃO DE SEDIMENTAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA ( $k_3$ ) .....	64
QUADRO 4.6 – CENÁRIOS ANALISADOS PARA TAXA DE DEMANDA DE OXIGÊNIO DEVIDO AOS SEDIMENTOS ( $k_4$ ) .....	65
QUADRO 5.1 – USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS E SEUS RESPECTIVOS PESOS .....	74
QUADRO 5.2 – PESO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA .....	76
QUADRO 5.3 – PESO POR FAIXA DE CONCENTRAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA, FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO FINAL DO PARÂMETRO APÓS AS INTERVENÇÕES EM DESPOLUIÇÃO HÍDRICA .....	77
QUADRO 5.4 – PORCENTAGEM APLICADA AOS PESOS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA .....	78
QUADRO 5.5 – PESOS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA (DIVERSAS HIPÓTESES) .....	87
QUADRO 5.6 – FATOR DE MAJORAÇÃO DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO .....	89
QUADRO 5.7 – RELAÇÃO DBO x VAZÃO COMERCIALIZAÇÃO .....	89
QUADRO 5.8 – VAZÕES COMERCIALIZADAS PARA CADA CASO .....	90
QUADRO 6.1 – CONSIDERAÇÕES BÁSICAS FEITAS PARA O CENÁRIO A .....	101
QUADRO 6.2 – SITUAÇÃO EM CADA TRAMO DO CENÁRIO A EM 2010 .....	101
QUADRO 6.3 – SITUAÇÃO EM CADA TRAMO DO CENÁRIO A EM 2015 .....	102
QUADRO 6.4 – SITUAÇÃO EM CADA TRAMO DO CENÁRIO A EM 2020 .....	103

<b>QUADRO 6.5 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO C – 2010 .....</b>	<b>111</b>
<b>QUADRO 6.6 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO C – 2015 E 2020 .....</b>	<b>112</b>
<b>QUADRO 6.7 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO IDEAL 1 – 2010, 2015 E 2020 .....</b>	<b>119</b>
<b>QUADRO 6.8 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO IDEAL 2 – 2010, 2015 E 2020 .....</b>	<b>126</b>
<b>QUADRO 7.1 – VALORES CONSIDERADOS PARA TAXA DE DECAIMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA A 20°C .....</b>	<b>135</b>
<b>QUADRO 8.1 – CUSTOS POR UNIDADES CARACTERÍSTICAS PARA AS MEDIDAS EM DESPOLUIÇÃO HÍDRICA APLICADOS NOS CENÁRIOS CONSIDERADOS .....</b>	<b>160</b>
<b>QUADRO 8.2 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO IDEAL 3 – 2010, 2015 E 2020 .....</b>	<b>165</b>
<b>QUADRO 8.2 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO IDEAL 4 – 2010, 2015 E 2020 .....</b>	<b>172</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 5.1 – PESOS DAS SEÇÕES DE CONTROLE .....</b>	<b>86</b>
<b>TABELA 6.1 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO C - 2020 .....</b>	<b>118</b>
<b>TABELA 6.2 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO IDEAL 1 - 2020 .....</b>	<b>125</b>
<b>TABELA 6.3 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO IDEAL 2 - 2020 .....</b>	<b>132</b>
<b>TABELA 6.4 – VALORES DAS CONCENTRAÇÕES DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA .....</b>	<b>133</b>
<b>TABELA 7.1 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO A - 2020 .....</b>	<b>141</b>
<b>TABELA 7.2 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO C - 2020 .....</b>	<b>147</b>
<b>TABELA 7.3 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO IDEAL 1 - 2020 .....</b>	<b>152</b>
<b>TABELA 7.4 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO IDEAL 2 - 2020 .....</b>	<b>157</b>
<b>TABELA 7.5 – VALORES DAS CONCENTRAÇÕES DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA .....</b>	<b>158</b>
<b>TABELA 8.1 – CUSTOS DOS CENÁRIOS CONSIDERADOS, PARA OS ANOS DE 2010, 2015 E 2020 .....</b>	<b>161</b>
<b>TABELA 8.2 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO IDEAL 3 - 2020 .....</b>	<b>171</b>
<b>TABELA 8.3 – CUSTOS DO CENÁRIO IDEAL 3, PARA OS ANOS DE 2010, 2015 E 2020 .....</b>	<b>171</b>
<b>TABELA 8.4 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO IDEAL 4 - 2020 .....</b>	<b>179</b>
<b>TABELA 8.5 – CUSTOS DO CENÁRIO IDEAL 4, PARA OS ANOS DE 2010, 2015 E 2020 .....</b>	<b>179</b>
<b>TABELA 8.6 – VALORES DO PARÂMETRO Z PARA CADA CENÁRIO, REFERENTES AOS ANOS DE 2010, 2015 E 2020 .....</b>	<b>181</b>
<b>TABELA 8.7 – VALORES DE BENEFÍCIOS ECONÔMICOS PARA O ANO DE 2020, REFERENTES AOS CENÁRIOS CONSIDERADOS .....</b>	<b>183</b>

<b>TABELA 8.8 – CONCENTRAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA O ANO DE 2020 (<math>k_1</math> – PDH)</b> .....	<b>184</b>
<b>TABELA 8.9 – CONCENTRAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA O ANO DE 2020 (<math>k_1</math> – 0,1 d<sup>-1</sup>)</b> .....	<b>185</b>
<b>TABELA 8.10 – VALORES DO PARÂMETRO Z PARA CADA CENÁRIO, REFERENTES AOS ANOS DE 2010, 2015 E 2020 – ANÁLISE 3</b> .....	<b>186</b>
<b>TABELA 8.11 – VALORES DE BENEFÍCIOS ECONÔMICOS PARA O ANO DE 2020, REFERENTES AOS CENÁRIOS CONSIDERADOS – ANÁLISE 3</b> .....	<b>188</b>
<b>TABELA 8.12 – VALORES DO PARÂMETRO Z, NO CENÁRIO C, CONSIDERADAS AS HIPÓTESES DE APLICAÇÃO DO COEFICIENTE DE MAJORAÇÃO NO OXIGÊNIO DISSOLVIDO</b> .....	<b>189</b>
<b>TABELA 8.13 – VALORES DO PARÂMETRO Z, NO CENÁRIO IDEAL 1, CONSIDERADAS AS HIPÓTESES DE APLICAÇÃO DO COEFICIENTE DE MAJORAÇÃO NO OXIGÊNIO DISSOLVIDO</b> .....	<b>189</b>
<b>TABELA 8.14 – VALORES DO PARÂMETRO Z, NO CENÁRIO IDEAL 3, CONSIDERADAS AS HIPÓTESES DE APLICAÇÃO DO COEFICIENTE DE MAJORAÇÃO NO OXIGÊNIO DISSOLVIDO</b> .....	<b>190</b>
<b>TABELA 8.15 – BENEFÍCIO ECONÔMICO CONSIDERANDO AS HIPÓTESES DE APLICAÇÃO DO COEFICIENTE DE MAJORAÇÃO NO OXIGÊNIO DISSOLVIDO</b> .....	<b>191</b>
<b>TABELA 8.16 – VALORES DO PARÂMETRO Z, CONSIDERADAS AS HIPÓTESES DE ALTERAÇÃO DO PESO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA</b> .....	<b>192</b>
<b>TABELA 8.17 – BENEFÍCIO ECONÔMICO CONSIDERANDO AS HIPÓTESES DE ALTERAÇÃO DO PESO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA</b> .....	<b>193</b>
<b>TABELA 8.18 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DA RECEITA DA ÁGUA PARA O ANO DE 2020</b> .....	<b>194</b>
<b>TABELA 8.19 – COMPARAÇÃO DOS BENEFÍCIOS ECONÔMICOS ENTRE A METODOLOGIA DE MARIN (2001) E A DA RECEITA - 2020</b> .....	<b>195</b>

## SIGLAS

SUDERHSA	SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO RECURSOS HÍDRICOS SANEAMENTO AMBIENTAL
PNRH	POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS
SNGRH	SISTEMA NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE
MMA	MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
ANA	AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
CERH	CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS
CNRH	CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS
DHI	DANISH HYDRALIC INSTITUTE
VKI	VON KARMAN INSTITUTE
SEMA	SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS
PROSAM	PROGRAMA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA
PMA	PROJETOS PARA MELHORIA DA QUALIDADE AMBIENTAL
PRA	PROJETO DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL
EPA	ENVIRONERNTAL PROTECTION AGENCY
PEB	PROJETO PARA ESTRUTURAÇÃO DA BASE
RMC	REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA
FINEP	FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
OD	OXIGÊNIO DISSOLVIDO
DBO	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO
DQO	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO
SANEPAR	COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ
APA	ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
ETE	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Ralf	REATOR ANAERÓBIO DE LODO FLUODIZADO
MCP	MEDIDAS PARA CONTROLE DA POLUIÇÃO
PDH	PLANO DE DESPOLUIÇÃO HÍDRICA DA BACIA DO ALTO IGUAÇU
PDHBAI	PLANO DE DESPOLUIÇÃO HÍDRICA DA BACIA DO ALTO IGUAÇU

## RESUMO

O presente trabalho compreende uma avaliação do impacto proporcionado por erros na calibração matemática do modelo de qualidade da água QUAL2E, aplicado nas bacias do rio Irai, Iraizinho, Piraquara e Palmital, localizados na nascente da Bacia do Rio Iguaçu. A avaliação dos impactos é desenvolvida sob a perspectiva da análise de benefícios econômicos de cenários futuros de medidas em despoluição hídrica. Para esta análise de benefícios econômicos optou-se por utilizar a metodologia do parâmetro Z proposta por MARIN, em 2001. Além desta metodologia, desenvolveu-se uma nova metodologia, na qual é considerada a receita proveniente da venda da água após a aplicação das medidas em despoluição hídrica. No que diz respeito ao parâmetro Z, este estudo trabalhou com variações em sua formulação, permitindo demonstrar a sensibilidade do parâmetro ao se utilizar dados resultantes da modelagem matemática fundamentado em modelos não calibrados.

## ABSTRACT

This paper aims at evaluating the impact provided by mathematical calibration mistakes in the water quality model QUAL2E applied to the basins of the rivers Irai, Iraizinho, Piraquara and Palmital, which are located in the Rio Iguaçu Basin riverhead. The impact assessment has been carried out under the perspective of the economic benefit analysis of future scenarios of river decontamination measures. For this economic benefit analysis, it was decided to use the Z parameter methodology proposed by MARIN in 2001. Further to this methodology, a new methodology was developed that takes into account the revenues obtained with the sale of water after applying the river decontamination measures. As regards the Z parameter, this study used variations in its development, which enabled to demonstrate the sensitivity of the parameter, by using data derived from the mathematical modeling based on non-calibrated models.

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

A gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas tem ganhado cada dia um espaço especial dentro das políticas brasileiras. Através de um processo de discussão, desde a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano em 1972, o tema tem se destacado de forma significativa no contexto ambiental. Juntamente à Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1992, que enfatiza o fato de cada Estado ter o direito soberano de explorar as suas riquezas e estabelecer políticas próprias de meio ambiente e desenvolvimento, passando pela Agenda 21, que corresponde a um plano de ação para ser adotado global, nacional e localmente, por organizações do sistema das Nações Unidas, governos e pela sociedade civil, em todas as áreas em que a ação humana impacta o meio ambiente. Desta forma, a comunidade internacional concebeu e aprovou a Agenda 21 durante a Rio 92, assumindo, assim, compromissos com a mudança da matriz de desenvolvimento no século XXI, consolidando conceitos de sustentabilidade e preservação econômica e ambiental.

Esta mudança de paradigma culminou com a Política Nacional de Recursos Hídricos, consagrada na Lei 9.433, em 1997. FREITAS (2000) define a importância da referida Lei quando expressa que a mesma "configura um marco que reflete uma profunda mudança valorativa no que se refere aos usos múltiplos da água, às prioridades desses usos, ao seu valor econômico, à sua finitude e à participação popular na sua gestão".

Esta Lei tem como objetivos e metas, resumidamente, a garantia da quantidade dos recursos hídricos e sua qualidade, sendo que a questão da quantidade diz respeito à disponibilidade de água; a promoção do desenvolvimento sustentável; a preservação e defesa dos recursos hídricos, promovendo seu uso racional; o estabelecimento de uso prioritário em situações de escassez, como sendo o de consumo humano e dessedentação de animais; promoção dos usos; e gestão descentralizada dos recursos hídricos.

Diante disto, a Lei Federal que institui a Política de Recursos Hídricos prevê instrumentos para alcançar seus objetivos e metas, a saber: os planos de recursos

hídricos (planos de bacia hidrográfica, planos estaduais de recursos hídricos e o plano nacional de recursos hídricos); o enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes; a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos; a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o sistema de informações sobre recursos hídricos. Define, também, órgãos próprios como os Comitês de Bacias Hidrográficas, as Agências de Bacias e os Conselhos de Recursos Hídricos.

Os Conselhos correspondem a colegiados que desenvolvem regras de mediação entre os diversos usuários da água sendo, assim, um dos grandes responsáveis pela implementação da gestão dos recursos hídricos em todo o País. Os Comitês são órgãos colegiados com atribuições normativas, deliberativas e consultivas a serem exercidas na bacia hidrográfica de sua jurisdição. As Agências de Bacia ou também chamadas de Agências de Águas fazem parte do Sistema Nacional de Recursos Hídricos as quais serão instaladas para atuar como Secretaria Executiva de um ou mais Comitês de Bacia.

Em síntese, a consolidação dos instrumentos de gestão de Recursos Hídricos e todo o seu arcabouço institucional, sem dúvida alguma, passa por uma sólida estrutura de assuntos de caráter teórico. Dentro deste contexto, os modelos matemáticos assumem papel relevante ao permitir avaliação de cenários em ambiente de planejamento.

Esta pesquisa se insere no ambiente de avaliação do impacto de medidas em despoluição hídrica, em especial, no que concerne a sua sustentabilidade econômica, financeira e ambiental. Mais especificamente, uma visão crítica de modelos matemáticos de qualidade da água.

### **1.1 Evidências de Interesse**

Nas últimas décadas, o crescimento urbano no Brasil ficou concentrado em regiões metropolitanas e em cidades de porte médio, que atuam como pólos regionais de atração ao desenvolvimento sócio-econômico. Como consequência deste processo tem-se constatado problemas com os sistemas de abastecimento de água, tratamento de esgoto sanitário e sistema de drenagem urbana, os quais não

acompanharam o crescimento das cidades, afetando negativamente o meio ambiente e a qualidade de vida das pessoas. A escassez da água que era considerada no passado recente como uma hipótese restrita a regiões áridas, assume uma importância estratégica em todas as regiões do mundo. A compreensão da água como recurso natural renovável mais limitado é algo recente. Desta forma, atualmente os recursos hídricos começam a ser entendidos como sinônimo de oportunidade de desenvolvimento, e que muito provavelmente serão os grandes limitadores do crescimento humano.

Assim, coloca-se este problema como comum à maior parte das metrópoles brasileiras, uma vez que são gerados níveis cada vez maiores de poluição, resultantes de conflitos de usos e utilização inadequada dos recursos hídricos. Como exemplo, ocorreram lançamentos de grandes quantidades de efluentes, domésticos e industriais, com baixos índices de tratamento, com efeitos perversos sobre o meio ambiente e parcela das populações urbanas, resultando em elevados prejuízos materiais e disseminação de doenças de veiculação hídrica. Essa situação tem-se tornado cada vez mais crítica, ano após ano, culminando no comprometimento da qualidade da água dos mananciais urbanos, no mesmo compasso do crescimento das cidades.

Diante desta situação, há a necessidade de se desenvolver estudos buscando a solucionar estes problemas, ou, dentro do possível, a minimização dos impactos proporcionados por esta realidade.

A consolidação dos Comitês de Bacias Hidrográficas está no foro descentralizado do planejamento. Dentro deste ambiente, as necessidades de estudos de planejamento do uso dos recursos hídricos serão pertinentes. A implementação de modelos hidrológicos, de qualidade da água e de transporte de sedimentos, conectados com metodologias de outorga de uso, enquadramento de corpos d'água e cobrança pelos usos dos recursos hídricos exigirão a utilização de modelos matemáticos para sua consolidação, destacando-se como ferramentas do planejamento.

Por conseguinte, procedimentos relativos à implementação – calibração – verificação de modelos serão atividades fundamentais neste ambiente. Esta pesquisa enfoca impactos de erros de calibração de modelos neste ambiente de planejamento.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho possui como objetivo principal, avaliar o impacto de erros na calibração de um modelo matemático de qualidade da água na análise de viabilidade econômica de cenários futuros de medidas de despoluição hídrica.

A área em estudo compreende parte da Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. Localiza-se nas proximidades da Serra do Mar, sendo um dos principais mananciais de abastecimento da região, daí sua importância quanto a disponibilidade de água de boa qualidade.

Este estudo não pretende definir nem julgar os cenários propostos para a área do estudo, uma vez que estes já foram analisados no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000), mas visa proporcionar uma análise crítica sobre a necessidade da calibração de modelos com uma melhor representação da realidade física, química e biológica de um rio no contexto das complexas iterações dentro da bacia hidrográfica.

Diante disto, foram propostos e analisados cenários futuros, com medidas de despoluição utilizando valores para a taxa de decaimento da DBO ( $k_1$ ) comuns no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e valores de referência bibliográfica, a fim de demonstrar o impacto da falta da calibração e de um banco de dados. O Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) tem como objetivo o planejamento de ações no sentido de recuperação de qualidade das águas dos rios da região. Este possui três objetivos fundamentais, a saber: a concepção de medidas de controle de poluição dos cursos de água da região, dando seqüência às ações do PROSAM; a ação catalisadora à institucionalização do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos proposto para o Estado do Paraná, mais especificamente, para a bacia do Alto Iguaçu; e por fim, a ampla participação dos setores usuários de recursos hídricos, antecipando as negociações entre Estado e usuários, garantia para o sucesso da gestão das águas no Paraná.

### **1.3 Metodologia**

Para o presente estudo foi seguida uma metodologia em que primeiramente foi realizado o levantamento dos estudos existentes sobre o tema e sobre a região abordada. Em seguida foram desenvolvidas matrizes de fontes de poluição, utilizando com banco de dados os estudos levantados inicialmente. As matrizes foram desenvolvidas para cada sub-bacia da área em estudo. Paralelamente ao desenvolvimento das matrizes, foi implantado um modelo matemático para análise da qualidade da água, sendo utilizado o modelo QUAL2E (EPA, 1988).

Adicionalmente à análise do impacto de erros de calibração do modelo, basearam-se simulações com os coeficientes do Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e valores definidos em literatura, confrontando-se os resultados.

Como estratégia de avaliação de benefícios econômicos, foi realizada a análise do algoritmo proposto no Plano de Despoluição dos Recursos Hídricos (SUDERHSA, 2000) proposto por MARIN (2001). Por fim, aplicou-se a metodologia do parâmetro Z conforme proposto por MARIN (2001), juntamente com as alterações propostas neste trabalho, confrontando os resultados. Além disto, uma nova metodologia para análise econômica, de forma mais simplificada é proposta nesta dissertação, considerando a receita bruta da venda da água.

### **1.4 Estrutura da Dissertação**

A dissertação é composta por 9 capítulos. O primeiro capítulo corresponde a introdução do assunto, visando demonstrar os interesses relevantes sobre o tema, colocando a metodologia adotada no estudo.

Em um segundo capítulo, contextualiza-se a Política Nacional de Recursos Hídricos, dentro do Sistema Nacional de Recursos Hídricos, instituído pela Lei 9.433/97, abordando a importância do tema no contexto geral da política Nacional de Recursos Hídricos.

Em um momento posterior, já no capítulo 3, é exposta a importância do desenvolvimento de um Plano de Despoluição Hídrica, fazendo uma análise dos estudos desenvolvidos para o estudo de caso.

No capítulo 4 é feito um estudo sobre modelos matemáticos de qualidade da água, destacando suas semelhanças e diferenças, salientando a necessidade de calibração dos mesmos com dados de campo a fim de obter maior semelhança possível para a condição de projeto.

A análise da sustentabilidade é desenvolvida com base nos estudos do Plano de despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e com base no algoritmo proposto pela MARIN (2001). Desta forma, o capítulo 5 apresenta a metodologia proposta nos estudos, sendo propostas algumas alterações para o cálculo do algoritmo, de forma a se adequar com as necessidades do estudo. Juntamente com esta metodologia do algoritmo, foi proposta, ainda que de forma simplificada, uma metodologia visando a venda da água, uma vez que corresponde a um bem de domínio público, limitado, dotado de valor econômico.

O estudo de caso inicia-se no capítulo 6, e prossegue nos demais capítulos. Neste capítulo é realizada uma avaliação da qualidade da água para os cenários considerados, descrevendo as medidas a serem implementadas para os anos de 2010, 2015 e 2020.

No capítulo 7 é desenvolvida uma análise do impacto da falta de calibração ou da realização de uma calibração inadequada frente os resultados da modelagem matemática no QUAL2E.

No capítulo 8 é apresentada uma análise do impacto da calibração frente ao parâmetro de avaliação econômica, parâmetro Z. Por fim, no capítulo 9 é apresentada a conclusão.

## CAPÍTULO 2

### RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

A Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, juntamente com o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SNGRH foram instituídos com advento da Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997. FREITAS define a importância da referida Lei quando expressa que a mesma "configura um marco que reflete uma profunda mudança valorativa no que se refere aos usos múltiplos da água, às prioridades desses usos, ao seu valor econômico, à sua finitude e à participação popular na sua gestão"( FREITAS, 2000).

Coloca-se que o assunto foi abordado por outros instrumentos legislativos como o Código Civil de 1916, o Código de Águas, Constituições Brasileiras, Resoluções do CONAMA. Desde o Código das Águas de 1934 que se tem instrumentos destinados à gestão dos recursos hídricos, porém por falta de regulamentação não houve a implementação de tal gestão. Este Código classificou as águas em públicas, comuns e particulares. A exemplo do Código de Águas a maioria das normas hídricas vigente restaram inócuas, principalmente porque a estrutura institucional hídrica, quando existente, mostrava-se ineficaz. Razão pela qual, durante décadas os recursos hídricos foram utilizados insustentavelmente, ou melhor, sem qualquer planejamento. Tal fato deu-se principalmente, a partir da década de 50, época que o Brasil buscava seu desenvolvimento através da industrialização "a qualquer custo".

Fruto deste período apresentou-se litígio quanto qualidade e quantidade dos recursos hídricos. Como consequência, começou-se a discutir sobre o tema, visando formular uma política nacional de recursos hídricos e um modelo mais adequado de gestão da água, chegando a seu ponto máximo na promulgação da Lei 9.433, em 08 de janeiro de 1997. Esta lei tem como objetivos e metas, resumidamente, a garantia da quantidade dos recursos hídricos e sua qualidade, sendo que a questão da quantidade diz respeito à disponibilidade de água; a promoção do desenvolvimento sustentável; a preservação e defesa dos recursos hídricos, promovendo seu uso racional; o estabelecimento de uso prioritário, em situações de escassez, como

sendo o de consumo humano e dessedentação de animais; e promoção dos usos múltiplos da água, favorecendo a sua utilização simultânea para diversas finalidades. Estas metas e objetivos são alcançados através de instrumentos propostos na lei, que correspondem aos planos de recursos hídricos, ao enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes, a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos, à cobrança pelo uso dos recursos hídricos e ao Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. Estes serão definidos pelos Comitês, Agências e Conselhos locais.

Inserir-se neste aspecto a necessidade de trabalhar com a modelagem matemática de parâmetros de qualidade da água, visando obter cenários possíveis para a bacia, de modo a proporcionar a melhor gestão. Ressalta-se que estes modelos necessitam de calibração, para que possam representar mais fielmente as reações físicas, químicas e biológicas presentes no corpo hídrico. Dentro deste contexto, inserir-se a importância deste tema abordado.

## **2.1 Desenvolvimento e Meio Ambiente**

A atividade humana está intimamente relacionada com os recursos oferecidos pela natureza. A extensão do impacto humano sobre a Terra depende do número de pessoas existentes e da quantidade de recursos utilizados, fazendo com que o uso máximo de recursos que o planeta ou uma determinada região pode sustentar defina a sua capacidade de provisão. Esta capacidade pode ser aumentada pelo uso de novas tecnologias, que em alguns casos pode ocasionar uma redução da diversidade biológica ou da perturbação de processos ecológicos. Desta forma, a capacidade de provisão é limitada pela capacidade da natureza de se recompor ou absorver resíduos de modo seguro. A civilização humana está ameaçada em virtude da má utilização dos recursos e perturbação dos sistemas naturais, que pressionam a Terra até os limites de sua capacidade.

O desenvolvimento populacional desde o início da era industrial tem sido enorme, em decorrência disto se teve um grande impacto sobre o meio ambiente, proporcionando uma diminuição na diversidade de vida na Terra. Em menos de duzentos anos, o planeta perdeu seis milhões de quilômetros quadrados de

florestas. Há uma grande quantidade de terras desgastadas pela erosão e o volume de sedimentos nos rios cresceu três vezes nas principais bacias e oito vezes nas bacias menores e mais utilizadas. A degradação do meio ambiente é reflexo da adoção de diversos modelos econômicos, entre os quais a preocupação com o meio ambiente vinha em segundo plano, ou em algumas vezes, nem era lembrada. O principal modelo tem seu foco na industrialização, visando atender as necessidades de consumo da população mundial, com o crescimento da urbanização, transformação da tecnologia, por meio de um processo que pode ser considerado a “Terceira Revolução Industrial”.

Centenas de milhões de pessoas lutam na pobreza, privadas de uma qualidade de vida tolerável. A cada ano, milhões de pessoas morrem de desnutrição e de doenças que podem ser evitadas. Esta situação não é apenas injusta, ela ameaça a paz e a estabilidade de muitos países e do mundo.

Segundo GRINOVER (1994), no início do século XIX, apenas 3% da população mundial era urbanizada, foi estimado que até o final do século XX mais da metade da humanidade se concentraria nas cidades. ALLAIS (1992) pesquisou junto ao Departamento das Populações das Nações Unidas, que as grandes cidades, nos países em desenvolvimento, duplicarão de tamanho a cada doze ou quinze anos, e os bairros periféricos no máximo de sete em sete anos. Conforme a autora, em 1960, três cidades tinham mais de dez milhões de habitantes, todas as três situadas em países desenvolvidos. Em 1980, existiam dez cidades desse porte e foram previstas 21 cidades para o ano 2000, das quais 18 estavam situadas em países em desenvolvimento.

Os modelos clássicos de desenvolvimento econômico implementados no mundo ao longo dos tempos têm-se demonstrado predatórios ao meio ambiente, uma vez que se fundamentam em premissas falsas, as quais estabelecem a natureza como elemento imutável e como fonte inesgotável de matéria-prima, em caráter imediatista e sem se preocupar com as gerações futuras.

O problema de se adotar a concepção do meio ambiente imutável e como fonte inesgotável de matéria-prima, acentuado com a concentração populacional fez com que, na grande maioria das vezes, o crescimento populacional não viesse acompanhado de uma política pública adequada que se viabiliza a implantação da

infra-estrutura necessária para tender a todas as necessidades básicas da população.

Coloca-se que os recursos naturais são a base do desenvolvimento econômico, mas sabe-se que proteção ambiental e desenvolvimento econômico são inseparáveis, contudo, economia sem pronto acesso à adequação ou do uso apropriado de recursos naturais tende a ser frágil e pouco sólida. Entretanto, o desenvolvimento não pode ser sustentado com uma base de recursos naturais deteriorados, e o meio ambiente não pode ser protegido quando os projetos teimam em não levar em consideração o preço da destruição ambiental e em dispor de recursos para preveni-la. Para que as economias nacionais cresçam e sejam promissoras, os recursos naturais devem ser conservados.

Desta forma, com a conscientização da sociedade passou-se a perceber que os recursos ambientais são limitados, necessitando de cuidados para sua manutenção, resultando em um novo paradigma de desenvolvimento.

Este novo paradigma é caracterizado pelo desenvolvimento sustentável, tratando de questões fundamentais quanto à questão e planejamento dos recursos naturais e a capacidade de gerar consenso entre os diversos agentes, com interesses fundamentais diferentes, responsáveis pela tomada de decisões quanto à otimização do bem-estar social. Assim, desenvolvimento sustentável é, em essência, integrado. Integra a preocupação em proteger a base dos recursos naturais com a preocupação em reduzir a pobreza, de modo que as pessoas não sejam forçadas a, destruir o solo e as florestas para sobreviverem. Ele integra a necessidade do uso sustentável e eficiente para conservar as fontes de energia, com a necessidade de cidades despoluídas e ecossistemas globais preservados. Ele integra o valor da saúde humana com a importância dos recursos humanos para as economias nacionais. Tal integração deve também ser refletida em uma mudança institucional nas Agências e organizações que criam programas que afetam o desenvolvimento, uma vez que devem unir desenvolvimento e meio ambiente; bem como atar os fatores sociais e políticos à indústria, agricultura e comércio.

Para que as economias nacionais cresçam e sejam promissoras, os recursos naturais devem ser conservados. Desta maneira a Agenda 21 – construída a partir de um esforço conjunto de 179 países reunidos na Rio 92 – está voltada para os problemas prementes de hoje e tem o objetivo, de preparar o mundo para os

desafios do próximo século. Reflete um consenso mundial e um compromisso político no nível mais alto no que diz respeito ao desenvolvimento e cooperação ambiental. O êxito de sua execução é responsabilidade, antes de tudo, dos Governos. Para concretizá-la, são cruciais as estratégias, os planos, as políticas e os processos nacionais. A cooperação internacional deverá apoiar e complementar tais esforços nacionais. A força geradora de cooperação internacional para iniciar de maneira global a transição para o desenvolvimento sustentável não se fundamenta apenas no reconhecimento ético de como estão mal repartidos os problemas e os meios para enfrentá-los. No plano ético, a transformação se afigura mais profunda: nossas sociedades, ou pelo menos alguns setores sociais importantes, estão começando a propor novas normas para determinar não somente nossas relações mútuas, individuais ou grupais, como também, as que nos vinculam ao mundo natural.

A percepção de novos fenômenos globais vem reforçar a necessidade de encarar a nossa biosfera por um prisma sistêmico, um mecanismo de ligação entre processos econômicos, ecológicos e culturais. Assim, uma atividade é sustentável, em termos práticos, pode continuar para sempre. Desempenhar uma atividade de modo sustentável agora não irá pôr em risco esta mesma atividade no futuro.

Para COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (1988) “o desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades”. Desta forma o desenvolvimento sustentável refere-se à melhoria na qualidade de vida humana, respeitando-se ao mesmo tempo os limites da capacidade de provisão dos ecossistemas nos quais vivemos. Uma economia sustentável, por sua vez, é o produto do desenvolvimento sustentável, ela conserva sua fonte de recursos naturais, mas consegue se desenvolver pela adaptação e pelo aprimoramento no conhecimento, na organização, na eficácia e, não menos importante, na sabedoria.

Diante do exposto, coloca-se a necessidade de aplicação de modelos matemáticos, formulando possíveis cenários de medidas a serem adotadas, buscando o desenvolvimento sustentável, de forma a minimizar os impactos gerados pelas atividades humanas. Estes modelos devem representar a realidade de forma mais fiel possível, daí a necessidade de calibração.

## 2.2 Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9433/97)

A Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH foi instituída pela Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Essa Lei estabelece que a Política Nacional de Recursos Hídricos tem como fundamento a água como um bem de domínio público; sendo um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Ressalta, que em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é para o consumo humano e de animais, com gestão dos recursos hídricos proporcionando sempre o uso múltiplo das águas. Apresenta como unidade fundamental a bacia hidrográfica que corresponde a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Considera-se que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Consoante à Constituição da República de 88, a água é elevada a um bem de uso comum do povo, posto que é essencial à sadia qualidade de vida. Resta esclarecer o que é bem de uso comum do povo, e para isto cito os dizeres de FIORILLO (*apud* FREITAS, 2000) no qual esclarece que, “o bem de uso comum do povo é o bem que pode ser desfrutado por toda e qualquer pessoa dentro dos limites constitucionais”. Também para PETRELLA (2002) “o acesso básico à água deve ser considerado um direito fundamental político, econômico e social para indivíduos e coletividades, já que a segurança biológica, econômica e social de todos os seres humanos e de todas as comunidades humanas depende do gozo desse direito”.

MACHADO (2003) ressalta que “o domínio público da água não transforma o Poder Público Federal e Estadual em proprietário da água, mas o torna gestor desse bem, no interesse de todos. O ente público não é proprietário, senão no sentido formal (tem poder de autotutela do bem), na substância é um simples gestor do bem de uso coletivo”. Salientando como consequência de tal conceituação que “o uso da água não pode ser apropriado por uma só pessoa, física ou jurídica, com exclusão absoluta dos outros usuários em potencial; o uso da água não pode significar a poluição ou agressão desse bem; o uso da água não pode esgotar o próprio bem utilizado; e a concessão ou a autorização (ou qualquer tipo de outorga) do uso da água deve ser motivada ou fundamentada pelo gestor público”.

Ressalta-se que a água como um recurso natural, apresentasse de forma limitada, uma vez que corresponde a um recurso finito, posto que não atenderá perpetuamente a ilimitada e crescente necessidade humana. Ou seja, sua renovação cíclica não acompanha a crescente utilização da água pelo ser humano. Como conseqüência deste ponto de vista tem-se a escassez, proporcionando que a mesma tornou-se um recurso natural dotado de valor econômico, passível de cobrança. Para MACHADO (2003) “a valorização econômica da água deve levar em conta o preço da conservação, da recuperação e da melhor distribuição desse bem”. A cobrança objetiva reconhecer a água como um bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor, conforme dispõe o artigo 19, I, da Lei 9.433/97. Desta forma a outorga visa a dar uma “garantia quanto à disponibilidade de água, assumida como insumo básico do processo produtivo” (KELMAN, 1997).

Para SILVA (1998, *apud* MACHADO, 2003) “o valor de uso dos recursos naturais não pode ser somente econômico e inserir-se no quadro do mercantilismo dos recursos, mas deve ser dotado de um valor ético. Se a dimensão econômica desses recursos refletem sua raridade, certos limites devem ser impostos para que cada um, razoavelmente, tenha direito ao acesso, em quantidade e qualidade, à água e ao ar sadio”. Desta forma, embora a utilização da água seja objeto de cobrança, tem-se alguns casos previstos na lei, em que não será permitido a cobrança, uma vez que se vise satisfazer as necessidades básicas da vida, como dessedentação, higiene e cozimento dos alimentos. Diante disto, tem-se sua essencialidade para toda atividade antrópica quer seja comercial, industrial, agrícola, recreativa, esportiva.

Assim, ao contrário do que se previa no Código de Águas, que priorizava a produção energética em detrimento dos demais usos, a PNRH prioriza o uso múltiplo das águas, ou seja, uso urbano, industrial, geração de energia elétrica, navegação, lazer e irrigação, permitindo, apenas quando houver a escassez do recurso, a suspensão parcial ou total de outorgas que prejudiquem o uso para consumo humano e dessedentação de animais. Entende-se por consumo humano a satisfação das primeiras necessidades da vida, tais como: água para beber (dessedentação), preparo de alimentos e higienização. Desta forma, o uso múltiplo das águas deve ser procurado através do Plano de Recursos Hídricos, quando for abordar as prioridades para outorga de direitos de usos dos recursos hídricos, de

forma a permitir o maior número de usos possíveis e viáveis, gerindo a complexa e infinita cadeia de usuários e suas necessidades, sem deixar de considerar a sustentabilidade, assegurando à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade do bem. Como consequência, o Poder Público responsável pela concessão de outorgas está proibido de conceder outorgas que favoreçam um uso em detrimento dos demais, pois as outorgas concedidas em oposição ao interesse público estão sujeitas à anulação administrativa, pois ofendem o princípio da gestão visando os usos múltiplos adotado pela PNRH.

A implementação da Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos terá como unidade territorial a bacia hidrográfica, que abrange a bacia de drenagem dos cursos de água, separados em principais e tributários. Assim sendo a gestão terá como âmbito territorial a bacia hidrográfica e não as fronteiras administrativas e políticas dos entes federados. O problema está que a Lei não definiu o que se entende por bacia hidrográfica, desta forma, quando se tem como rio principal um rio federal e como rios secundários rios estaduais, não se define de quem é a competência para liberação de outorga e administração da bacia. GRANZIEIRA (2001) coloca a bacia hidrográfica como "uma área com um único exutório comum para o escoamento de suas águas". Desta forma, baseando-se nas diretrizes do art. 37 da Lei, concomitantemente com os Comitês de Bacia Hidrográfica, será possível a efetivação da idéia de bacia hidrográfica como unidade territorial básica para a efetivação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Assim, MACHADO (2003) coloca que "os Comitês de Bacia Hidrográfica irão atuar abrangendo uma bacia hidrográfica, um grupo de bacias hidrográficas contíguas ou através de um conjunto misto – bacia do curso de água principal e duas sub-bacias hidrográficas".

Dentro dos fundamentos da PNRH está a gestão descentralizada e participativa. Salienta BRASIL (*apud* CAUBET, 2004) que "a filosofia por trás da chamada gestão descentralizada é a seguinte: tudo quanto pode ser decidido em níveis hierárquicos mais baixos de governo não será resolvido pelos níveis mais altos dessa hierarquia. Em outras palavras, o que pode ser decidido no âmbito dos governos regionais, e mesmo locais, não será tratado em Brasília ou nas capitais dos Estados. Quanto à gestão participativa, trata-se de um processo que permite que os usuários, a sociedade civil organizada, as ONG's e outros organismos possam influenciar no processo da tomada de decisão".

A gestão é descentralizada porque realizada no âmbito de bacia hidrográfica, através dos Comitês de Bacias, ou seja, a gestão não é realizada na esfera estadual ou federal. É participativa, posto que a Lei prevê que a gestão não se realizará somente por órgãos públicos, mas também pelos usuários e organizações civis.

Para TUNDISI (2003) “a Lei 9.433/97 é avançada e importante para a ordenação territorial do País, mas implica mudanças importantes dos administradores públicos e dos usuários, já que requer receptividade ao processo de construção de parcerias”. As parcerias ocorrem visando o atendimento dos usos múltiplos e dos demais fundamentos da PNRH.

Dos instrumentos da PNRH é possível citar: os Planos de Recursos Hídricos (planos de bacia hidrográfica, planos estaduais de recursos hídricos e o plano nacional de recursos hídricos), o enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes, a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Os Planos de Recursos Hídricos correspondem aos planos diretores destinados a fundamentar e orientar a implantação do Plano Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento de recursos hídricos, de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos. Para sua viabilização utiliza-se da modelagem matemática de parâmetros físicos, químicos e biológicos, a ponto de buscar representações futuras, visando a introdução de medidas em despoluição hídricas e sua análise de viabilidade econômica e ambiental.

A modelagem matemática da qualidade da água em rios, reservatórios e lagos, deve ser entendida como uma importante ferramenta para o apoio ao processo de tomada de decisões em gestão de recursos hídricos. A perspectiva de se poder prever o impacto de medidas de controle, ainda é uma motivação para muitos pesquisadores. Diante disto, considera-se a necessidade de utilização de modelos nos quais se aproxime o máximo da realidade presente, o que ocorre através da calibração e validação dos mesmos.

Colocasse que a calibração de um modelo matemático serve para representar a realidade física, química e biológica de um corpo d'água, de tal sorte que as

aferições matemáticas de sua representação possam ser consistentes. Saliendo o interesse do presente estudo.

### **2.3 Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos compreende o conjunto de órgãos e entidades que atuam na gestão dos recursos hídricos. Esta denominação é definida no art. 21, inciso XIX da Constituição da República de 88. MACHADO (2003) coloca que “a existência de um sistema hídrico não elimina a autonomia dos entes federados”. Não há um “Sistema Federal de Recursos Hídricos” e um “Sistema Estadual de Recursos Hídricos”, isolados e com regras não-convergentes. Desta forma, o Sistema Nacional de Recursos Hídricos tem como objetivos a coordenação e gestão integrada das águas; intermediar os conflitos relacionados com os recursos hídricos; implementar a PNRH; planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos e promover a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

Coloca MACHADO (2003) que “a gestão das águas é descentralizada no Sistema Nacional de Recursos Hídricos, mas não pode ser antagônica e descoordenada. As Agências de Água, os Comitês de Bacia Hidrográfica, os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos e o Conselho Nacional de Recursos Hídricos são ligados por laços de hierarquia e de coordenação. O arbitramento dos possíveis conflitos de águas não será feita somente pelo Poder Judiciário, mas passa a ter instâncias administrativas anteriores – as do próprio Sistema Nacional de Recursos Hídricos.”

Integra o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos; os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; os Comitês de Bacia Hidrográfica; os órgãos dos poderes públicos federais, estaduais e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos; e as Agências de Água.

O Quadro 2.1 apresenta o fluxograma da estrutura do Sistema Nacional de Recursos Hídricos, destacando os Conselhos com função de subsidiar a formulação da Política de Recursos Hídricos e dirimir conflitos; o MMA/SRH formulando a

Política Nacional de Recursos Hídricos e subsidiando a formulação do Orçamento da União; a ANA implementando o Sistema Nacional de Recursos Hídricos, outorgando e fiscalizando o uso de recursos hídricos de domínio da União; os Órgãos Estaduais outorgando e fiscalizando o uso de recursos hídricos de domínio do Estado; os Comitês de Bacia decidindo sobre o Plano de Recursos Hídricos; e as Agências de Água funcionando como escritórios técnicos dos Comitês.

QUADRO 2.1 – FLUXOGRAMA DO SISTEMA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

ÂMBITO	FORMULAÇÃO DA POLÍTICA		IMPLEMENTAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE POLÍTICA	
	ORGANISMOS COLEGIADOS	ADMINISTRAÇÃO DITERA	PODER OUTORGANTE	ENTIDADE DA BACIA
NACIONAL	CNRH	MMA/SRH	ANA	
	Comitê de Bacia	-	-	Agência de Bacia
ESTADUAL	CERH	Secretaria de Estado	Entidades Estaduais	-
	Comitê de Bacia	-	-	Agência de Bacia

FONTE: Ministério do Meio Ambiente

## 2.4 Conselho Nacional de Recursos Hídricos

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos é um colegiado que desenvolve regras de mediação entre os diversos usuários da água sendo, assim, um dos grandes responsáveis pela implementação da gestão dos recursos hídricos no País. Por articular a integração das políticas públicas no Brasil é reconhecido pela sociedade como orientador para um diálogo transparente no processo de decisões no campo da legislação de recursos hídricos.

Dentro de suas competências estão o de analisar propostas de alteração da legislação pertinente a recursos hídricos; estabelecer diretrizes complementares para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos; promover a articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos nacionais, regionais, estaduais e dos setores usuários; arbitrar conflitos sobre recursos hídricos; deliberar sobre os projetos de aproveitamento de recursos hídricos cujas

repercussões extrapolem o âmbito dos Estados em que serão implantados; aprovar propostas de instituição de Comitês de Bacia Hidrográfica; estabelecer critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos e para a cobrança por seu uso; e aprovar o Plano Nacional de Recursos Hídricos e acompanhar sua execução.

A composição do conselho foi estabelecida pela Lei, sendo composto por representantes dos ministérios e secretarias de Presidência da República com atuação no gerenciamento ou no uso de recursos hídricos; representantes indicados pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos; representantes dos usuários dos recursos hídricos e das organizações civis de recursos hídricos.

MACHADO (2003) ressalta que “diferentemente do CONAMA, onde todas as unidades federadas estão representadas, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos terá somente cinco representantes indicados pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos. Assim, não será obrigatoriamente integrado por todos os Conselhos Estaduais”.

No âmbito estadual, pode-se dizer que os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos desempenham, dentro das fronteiras de seus respectivos Estados, papel semelhante ao do Conselho Nacional de Recursos Hídricos em todo o país. Dentre as atribuições dos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos destaca-se o de formulação de temas como a Política Estadual de Recursos Hídricos, as diretrizes principais da outorga e da cobrança, além das decisões sobre conflitos relevantes. Ressalta-se que os Conselhos Estaduais, assim como o Conselho Nacional não têm por missão o enquadramento dos corpos de água em classes.

## **2.5 Agência Nacional de Águas (ANA)**

A Agência Nacional de Águas é uma autarquia, com autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, sendo instituída através da Lei 9.984, de 17/07/2000. A Agência é dirigida por uma Diretoria Colegiada, composta de cinco membros e nomeada pelo Presidente da República. Pode-se considerar que a ANA corresponde a um braço executivo do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

A ANA tem dois grandes campos de atuação, de competência concernente à Política Nacional de Recursos Hídricos e outra referente às águas de domínio da União. O primeiro decorrente das competências legadas pela Política Nacional de Recursos Hídricos, dentre as quais citam-se: supervisionar, controlar e avaliar as ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação federal hídrica; disciplinar, em caráter normativo, a implementação, operacionalização, controle e a avaliação dos instrumentos da PNRH; o planejamento e a promoção de ações destinadas a prevenir ou minimizar os efeitos de secas e inundações; implementação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos; fomentar a pesquisa e a capacitação de recursos humanos para a gestão dos recursos hídricos e ainda, prestação de apoio aos Estados na criação de órgãos gestores de recursos hídricos. E ainda, a especial missão de cuidar das águas de domínio da União, as quais pertençam rios ou quaisquer correntes de água que banhem mais de um Estado, sirvam de limite com outros países ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham. Neste sentido, incumbe à ANA outorgar o direito de uso da água de domínio da União; arrecadar, distribuir e aplicar receitas auferidas pela cobrança e fiscalizar o uso desses recursos.

## **2.6 Comitês de Bacias Hidrográficas**

Os Comitês são órgãos colegiados com atribuições normativas, deliberativas e consultivas a serem exercidas na bacia hidrográfica de sua jurisdição. São compostos por representantes da União; dos Estados e do Distrito Federal cujos territórios se situem, ainda que parcialmente, em suas respectivas áreas de atuação; dos Municípios situados, no todo ou em parte, em sua área de atuação; dos usuários das águas de sua área de atuação; e das entidades civis com atuação comprovada na bacia.

Possui como principais atribuições o de promover o debate das questões relacionadas aos recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes; arbitrar em primeira instância os conflitos relacionados aos recursos hídricos, aprovar e acompanhar a execução do plano de recursos hídricos da bacia; e estabelecer mecanismos de cobrança e sugerir os valores a serem cobrados.

MACHADO (2003) faz uma consideração com relação aos Comitês e sua personalidade jurídica, considerando que “uma gestão dos recursos hídricos descentralizada – (...) – levará os Comitês de Bacia Hidrográfica a terem personalidade jurídica, o que lhes dará não somente maior autonomia, mas uma maior facilidade para caracterizar sua responsabilidade jurídica frente à eficiência ou ineficiência de sua atuação”.

A Lei 9.433/97 estabelece que o número dos representantes de cada um dos setores supramencionados, bem como os critérios para sua indicação serão estabelecidos nos regimentos dos respectivos Comitês. A Resolução CNRH 05/00, que disciplina a formação e funcionamento dos Comitês, coloca como assuntos abordados nos regimentos de cada Comitê o número de votos dos representantes dos poderes executivos da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, obedecido o limite de quarenta por cento do total de votos; o número de representantes de entidades civis, proporcional à população residente no território de cada Estado e do Distrito Federal, com pelo menos, vinte por cento do total de votos; o número de representantes dos usuários dos recursos hídricos, cujos usos dependem de outorga, obedecido quarenta por cento do total de votos. Desta forma os comitês serão formados por 40% de representantes da União, Estados e Distrito Federal e Municípios; 20% de representantes das entidades civis e 40% de representantes dos usuários.

Ainda com base na resolução do Conselho existe a diferenciação entre usuários com outorga em vigor e usuários que solicitam volumes de água considerados insignificantes. Os primeiros compõem uma classe a parte, enquanto que os últimos terão que integrar associações regionais, locais ou setoriais de recursos hídricos para participarem do Comitê.

## **2.7 Agência de Águas**

As Agências de Bacia ou também chamadas de Agências de Águas fazem parte do Sistema Nacional de Recursos Hídricos serão instaladas para atuar como Secretaria Executiva de um ou mais Comitês de Bacia. Seu funcionamento deve ser

autorizado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos. A criação das Agências de Bacia está condicionada à comprovação prévia da sua viabilidade financeira, assegurada pela cobrança pelo uso da água na respectiva bacia. Competirá às Agências de Bacia, entre outras atividades a de atuar como Secretaria Executiva do Comitê de Bacia; manter balanço atualizado da disponibilidade dos recursos hídricos em sua área de atuação; manter o cadastro de usuários de recursos hídricos; elaborar o Plano da Bacia para apreciação do Comitê; e acompanhar a administração financeira dos recursos arrecadados com a cobrança.

## **2.8 Plano de Recursos Hídricos**

Os Planos de Recursos Hídricos correspondem aos planos diretores destinados a fundamentar e orientar a implantação do Plano Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento de recursos hídricos, de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos.

MACIEL JR (2000) ressalta com muita propriedade que o “ conceito do Plano de Recursos Hídricos como instrumento de gestão revela que o mesmo não se constitui apenas em um produto final consolidado, mas em uma ferramenta de trabalho das Agências, dos Comitês de Bacias, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, enfim do Sistema Nacional. O Plano deve ser dinâmico, permitindo inserir as mudanças e ajustes necessários, de acordo com a evolução do setor de recursos hídricos em nível de bacias e do Brasil.”

Desta maneira, o Plano de Recursos Hídricos deve dispor sobre o diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos; a análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo; o balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação dos conflitos em potencial; metas de racionalização de uso, aumento de quantidade e melhoria da qualidade dos recursos; medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos para o atendimento das metas previstas; prioridades para outorga de direitos de uso dos recursos hídricos; diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso

dos recursos hídricos; e propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos.

Assim, os planos têm por função orientar, articular, controlar e racionalizar a utilização dos recursos hídricos. Também podemos defini-los como, instrumentos preventivos e conciliadores dos conflitos entre os setores usuários e usuários.

A confecção do Plano é atribuição da agência de água e sua aprovação compete ao comitê de bacia. É de louvável valor que antes dos planos serem apreciados e submetidos a votação pelos Comitês de bacia, os mesmos fossem amplamente publicados para que a comunidade pudesse tomar ciência de seu conteúdo e manifestar suas intenções e assim, de uma forma indireta estaria comprometendo-se com o seu cumprimento. Poder-se-ia publicar os planos na imprensa local: jornais, folhetins, informes municipais ou ainda, através da realização de audiências públicas. O ideal é que assim funcionasse e se isto ocorresse poderíamos dizer que os planos seriam resultado de um acordo social representando o desejo da população, dos usuários e do poder público acerca do futuro das águas e do meio ambiente.

## **2.9 Enquadramento dos Corpos Hídricos**

Entende-se por enquadramento o estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado e/ou mantido em um dado segmento do corpo de água ao longo do tempo. Assim, enquadrar um corpo d'água não significa identificar sua classe atual e sim propor que, o corpo adquira ou mantenha um nível de qualidade (classe) em determinado período, de acordo com os usos a que se destina.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, em sua Resolução nº 20 de 1986, prevê nove classes de águas no Brasil, sendo cinco classes em relação às águas doces. Contudo, a classificação das águas é o reconhecimento da diferença e da multiplicidade de usos desses recursos.

No que diz respeito à qualidade o enquadramento dos corpos d'água visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas a diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

O procedimento para a realização do enquadramento deverá seguir 4 etapas, conforme estabelece a Resolução CNRH 12/2000, correspondentes ao diagnóstico do uso e da ocupação do solo e dos recursos hídricos na bacia hidrográfica; ao prognóstico do uso e da ocupação do solo e dos recursos hídricos na bacia hidrográfica; a elaboração da proposta de enquadramento; e a aprovação da proposta de enquadramento e respectivos atos jurídicos.

O enquadramento dos corpos d'água em classe de uso é importante para se estabelecer objetivos de qualidade e garantir a qualidade necessária para atendimento dos usos pretendidos pela sociedade.

A competência para propor o enquadramento aos Comitês de Bacias é das Agências de Água. Após a aprovação dos comitês, estes encaminharão a proposta para *referendum* do Conselho Estadual ou Federal de Recursos Hídricos, conforme o domínio do respectivo curso ou corpo d'água.

## **2.10 Outorga de Direitos de Uso de Recursos Hídricos**

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos é um dos princípios instrumentos da gestão de recursos hídricos. Através destes instrumentos, o Sistema de gestão poderá fazer o controle para o uso racional dos recursos hídricos, garantindo a disponibilidade aos usuários outorgados e subsidiando a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Desta forma a outorga tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

A outorga é o ato administrativo pelo qual a autoridade outorgante concede ao outorgado o direito de uso dos recursos hídricos, por prazo determinado e de acordo com os termos e condições preestabelecidas. Assim sendo, a outorga não representa alienação (venda) das águas, posto que são inalienáveis.

Para GRANZIEIRA (2001), “à medida que, o recurso hídrico deixa de ser entendido como um bem infinito, e passa a ser considerado escasso e de valor econômico, o controle sobre seu uso assume contornos de garantia de sobrevivência. E é justamente neste quadro que vislumbro, hoje, a outorga de direito

de uso da água, assim como os demais instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos”.

Dentre os usos dos recursos hídricos sujeitos a outorga tem-se a derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; o lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou dissipação final; e outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água. Independem da outorga os usos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural, além das derivações, captações, lançamentos e acumulações de água consideradas insignificantes.

A competência para editar normas sobre outorga é do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, sendo que a outorga efetivar-se-á por ato da autoridade competente do Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal e está condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos Diretores de Recursos Hídricos, devendo respeitar a classe em que o corpo d'água estiver enquadrado, além da manutenção quando for o caso, das condições para o transporte viário.

MACHADO (2003) ressalta que “a outorga não será definitiva, pois a própria lei já estipulou sua validade máxima de 35 anos, ainda que possa haver renovação, prorrogação do prazo ou sua suspensão”.

### **2.11 Cobrança pelo Uso da Água**

A cobrança pelo uso da água objetiva reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor, incentivando a racionalização do uso da água e obtendo recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos Planos de Recursos Hídricos.

Antes de tudo é necessário deixar claro que a cobrança não é uma tarifa, imposto ou taxa, é definida como um preço público, ou seja, é uma retribuição que o usuário faz à sociedade por utilizar privativamente um bem que é de uso comum.

Atualmente, são pagos os serviços de tratamento e captação da água e não a utilização do bem ambiental, da água.

A cobrança pelo uso da água, bem como dos demais recursos naturais, é a forma adotada para a aplicação do *Princípio 16* da Declaração do Rio de Janeiro da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992, em que há a internalização dos custos da proteção do meio ambiente, levando-se em consideração que, em princípio o poluidor deverá assumir o custo da sua poluição, tendo em vista o interesse público. Caso contrário, teremos a internalização dos lucros e externalização dos custos, usual na sociedade contemporânea.

No modelo brasileiro, os Comitês de Bacias Hidrográficas terão a atribuição de definir os valores da cobrança, com base em preços unitários e limites máximos e mínimos estabelecidos. Os valores limites serão estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, no caso de corpos d'água de domínio da União ou pelos governos estaduais, para as águas sob seu domínio. A cobrança dos recursos hídricos se dará em base participativa, descentralizada e integrada, segundo o Plano de Recursos Hídricos referente a cada bacia hidrográfica, com objetivo de evitar o desperdício e promover o tratamento e o uso adequado das águas, assim como a qualidade do meio ambiente como um todo.

Assim, como consequência da cobrança pelo uso da água tem-se a possibilidade de financiar as ações dos Planos de Recursos Hídricos, operacionalizando as Agências de Água, sendo um instrumento essencial para dar equilíbrio entre a oferta e a demanda de água, evitando desperdício e dando ao usuário à noção de seu real valor.

## **2.12 Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos**

Dentre os instrumentos listados na Política Nacional de Recursos Hídricos está o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, sendo responsável pela coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos, bem como sobre fatores intervenientes em sua gestão, com dados gerados pelos órgãos do Sistema nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Este Sistema funciona baseado em três princípios, a saber, a descentralização na obtenção e produção de dados e informações, a coordenação unificada do Sistema e a garantia de acesso às informações para toda a sociedade.

Seus objetivos são reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil; atualizando permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos em todo território nacional, e fornecendo subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos.

### **2.13 Usos Múltiplos da Água**

A partir de 1997 com a Lei 9433, o princípio dos usos múltiplos foi instituído como uma base da Política Nacional dos Recursos Hídricos e os diferentes setores dos recursos hídricos passaram a ter igualdade de direitos de acesso à água, com exceção, estabelecida pela própria Lei, de que em situações críticas, de escassez, a prioridade do uso da água é o abastecimento público e a dessedentação de animais.

O gerenciamento integrado dos recursos hídricos irá organizar disputas e conflitos pelo uso da água, garantindo os direitos individuais de cada usuário. Para minimizar os conflitos são necessários que sejam estabelecidos certos princípios e sejam criados instrumentos, os quais permitam assegurar um tratamento simétrico a todos os seus usuários.

Muitas vezes, costuma-se levar em conta, primordialmente, o aspecto quantitativo relacionado ao uso da água. Mas não se podem dissociar os aspectos quantitativos e qualitativos na gestão dos recursos hídricos, sobretudo porque, as águas quando contaminadas, não pode ser consideradas como parte das disponibilidades para a maioria dos usos.

Os diversos usos da água podem ter caráter consultivo ou não consultivo. No primeiro há perdas entre o que é retirado (derivado) e o que retorna ao curso natural, neste caso devem-se considerar os usos para elaboração do balanço entre a disponibilidade e a demanda. No segundo caráter, toda água captada retorna ao curso do rio.

Dentre os usos da água como caráter consultivo destacam-se o abastecimento urbano e industrial, irrigação, dessedentação de animais e piscicultura. Com caráter não consultivo destacam-se a geração de energia, navegação, assimilação de esgoto doméstico, industrial e difuso, recreação e lazer, e usos ecológicos.

## **2.14 Análise Crítica do Capítulo**

A Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (Lei 9.433/97) que tem como fundamento a água como um bem de domínio público, sendo um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, é de extremo avanço nas políticas públicas do país.

Esta política considera como unidade fundamental a bacia hidrográfica que corresponde a unidade territorial para implementação das medidas de gestão, que por sua vez devem ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Para que ocorra esta participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades, existe a necessidade do desenvolvimento de estudos, os quais procuram definir as medidas ótimas a serem adotados pelos gestores da bacia hidrográfica. Alguns destes estudos são desenvolvidos através de modelos matemáticos, que por sua vez visam a representação de um determinado sistema. Esse sistema pode ser tão grande quanto a biosfera ou uma simples população de ciliados em um frasco de culturas. A premissa básica de todo modelo, por mais complexo que possa ser, é que se trata de um método limitado de representar a natureza. Assim, todo modelo precisa ser testado e validado.

Diante desta situação, destacam-se alguns modelos como os hidrodinâmicos, os hidrológicos, os de mapeamento de terreno, os de qualidade da água entre outros, os quais necessitam ser implementados e calibrados para obtenção dos resultados mais próximos da realidade do sistema. Para este estudo salienta-se o modelo de qualidade da água, no qual a calibração do modelo é o foco de análise.

No desenvolvimento de instrumentos de tomada de decisão, referentes aos recursos hídricos, são utilizados modelos matemáticos para a representação das

características do sistema. Diante disto, a coleta de dados hidráulicos e hidrológicos torna-se essencial para qualquer planejamento adequado, servindo de referência para a calibração do modelo. A ausência de calibração pode proporcionar uma falsa representação da realidade da bacia hidrográfica, uma vez que apenas se trabalha no campo do hipotético, sem ter consistência nos dados.

A calibração dos modelos matemáticos passa a ser essencial dentro do contexto de análise e definição de planos diretores, que servirão de base para a implementação da Política de Recursos Hídricos pelos Comitês e Agências de Bacias.

### **CAPÍTULO 3**

#### **PLANOS DE DESPOLUIÇÃO HÍDRICA – A SUA IMPORTÂNCIA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Nos últimos anos, o crescimento urbano na maioria das cidades do mundo, incluindo no Brasil, têm-se concentrado em regiões metropolitanas e em cidades de porte médio, que atuam como pólos regionais de atração ao desenvolvimento sócio-econômico. Como consequência deste processo, tem-se a desestruturação da infraestrutura urbana, afetando os sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana, que não acompanharam o crescimento das mesmas, pelo contrário, se deterioraram e afetaram negativamente o meio ambiente e a qualidade de vida de suas populações. Dentre os principais problemas enfrentados têm-se a degradação ambiental dos mananciais; o aumento do risco das áreas de abastecimento com a poluição orgânica e química; a contaminação dos rios por esgotos doméstico, industrial e pluvial; enchente urbana gerada pela inadequada ocupação do espaço e pelo gerenciamento inadequado da drenagem urbana; e falta de coleta e disposição do lixo urbano.

Diante desta situação destaca-se a necessidade do desenvolvimento de Planos Diretores para cada município, conforme delimitado pelo Estatuto das Cidades (Lei Federal 10.257/01), no qual considera o Plano Diretor como um instrumento básico, e essencial para os municípios conseguirem alcançar os objetivos de ordenação da cidade. O Plano Diretor permite que os municípios possam se reestruturar de forma coerente e coordenada. Destaca-se que para a elaboração destes planos diretores a necessidade de investimento por parte dos responsáveis, porém é de conhecimento que o custo de controle na fase de planejamento é muito menor que o custo de medidas corretivas, desta forma recomenda-se investir em estudos que tenham como resultado a minimização dos investimentos com consequente maximização dos resultados.

Os Planos de Recursos Hídricos estão contidos dentro destes planos diretores, uma vez que estes correspondem a planos diretores destinados a fundamentar e orientar a implantação do Plano Nacional de Recursos Hídricos e o

gerenciamento de recursos hídricos, de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos. Funcionam como instrumento estratégico que estabelecem diretrizes gerais sobre os recursos hídricos, devendo ser elaborados de forma participativa para que possam refletir os anseios, necessidades e metas das populações das regiões e bacias hidrográficas. Assim, os planos têm por função orientar, articular, controlar e racionalizar a utilização dos recursos hídricos. Também podemos defini-los como, instrumentos preventivos e conciliadores dos conflitos entre os setores usuários e usuários.

Desta maneira, o plano deve dispor sobre o diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos; a análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo; o balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação dos conflitos em potencial; metas de racionalização de uso, aumento de quantidade e melhoria da qualidade dos recursos; medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos para o atendimento das metas previstas; prioridades para outorga de direitos de uso dos recursos hídricos; diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos; e propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos.

Dentro deste contexto é possível definir metas de qualidade da água para propor medidas a serem tomadas, priorizando os efeitos. As metas de qualidade da água constituem a expressão maior dos objetivos públicos para a gestão ambiental do setor hídrico. Com isto, essas metas deveriam corresponder ao resultado final de um processo que leve em conta fatores tanto ambientais quanto sociais e econômicos. Inevitavelmente, tal processo exigirá soluções de compromisso que espelhem as pressões sobre os recursos disponíveis bem como a avaliação de prioridades ambientais e as escolhas públicas ou políticas sobre a importância relativa dos objetivos concorrentes. Uma vez definidas, essas metas devem ser traduzidas em indicadores mensuráveis que poderão ser então utilizados pelos responsáveis pelas decisões cotidianas sobre o gerenciamento operacional e a seleção de projetos, bem como pelos encarregados da fiscalização e monitoramento dos objetivos estabelecidos.

Com relação à área em estudo foi realizado um levantamento dos estudos já realizados, sendo possível constatar a presença de alguns estudos relacionados com o aspecto da poluição, dentre eles destacam-se os seguintes:

- a) Projeto Análise da Sustentabilidade Econômica e Ambiental de Metas de Despoluição Hídrica – Estudo de Caso: Alto Iguaçu – FERNANDES *et al* – 2005;
- b) Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu – SUDERHSA – 2000;
- c) Plano Diretor de Drenagem da Bacia do Alto Iguaçu – SUDERSHA – 2000;
- d) Plano Diretor de Recursos Hídricos – Bacia Hidrográfica do Iguaçu – Relatórios I e II – SUDERHSA – 1994;
- e) Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba – PROSAM – 2002;
- f) Modelo para avaliação não pontual na Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu – desenvolvido pelo consórcio DHI, VKI E INTERTECHNE – 1997;
- g) Modelo de Qualidade da Água do Alto Iguaçu – desenvolvido pelo consórcio DHI, VKI E INTERTECHNE – 1997;
- h) Análise do Impacto do PROSAM Sobre a Qualidade da Água na Região Metropolitana de Curitiba – BIRD 3.505 BR – 2003;
- i) Análise de Benefício Econômico em Despoluição Hídrica como Instrumento de Suporte à Tomada de Decisões em Gestão de Recursos Hídricos – dissertação de mestrado desenvolvida por Maria Cristina Marin – 2001;
- j) Comparação do Desempenho dos Modelos QUAL-2E e MIKE11 na Região do Alto Iguaçu – dissertação de mestrado desenvolvida por Marcelo Bizzoni – 2000.

Alguns estudos foram proporcionados pela SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. A SUDERHSA é um órgão vinculado à Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA. Suas atividades de gestão de recursos hídricos e de desenvolvimento de normas técnicas e acompanhamento de projetos de controle de erosão e saneamento ambiental colocam-na em destaque entre os órgãos com competências relativas à temática da despoluição hídrica, uma vez que para o Estado do Paraná

ainda não existem Comitês de Bacia e nem Agência de Bacias para desempenhar tal papel.

Em especial, o Plano de Despoluição Hídrica coordenado pela SUDERHSA, deverá gerar subsídios para o planejamento urbano da Região Metropolitana, com decorrências na geração de normas e parâmetros de uso e ocupação do solo e ajustes das normas existentes, na aferição da capacidade suporte natural das sub-bacias hidrográficas e na adequação das obras de despoluição e de drenagem urbana da região.

Nos próximos tópicos serão apresentados um resumo dos principais estudos analisados.

### **3.1 Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000)**

Este plano tem como objetivo principal o planejamento de ações no sentido de recuperação da qualidade da água dos rios da região. Dentro disto encontra-se a concepção de medidas de controle de poluição dos cursos de água da região, dando seqüência às ações do PROSAM; a ação catalisadora à institucionalização do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos proposto para o Estado do Paraná, mais especificamente, para a bacia do Alto Iguaçu; e a ampla participação dos setores usuários de recursos hídricos, antecipando as negociações entre Estado e usuários, garantia para o sucesso da gestão das águas no Paraná.

Assim, a partir da análise das condições ambientais atuais, foram definidos planos e cenários futuros e propostas medidas de controle de poluição, tendo em vista a melhoria de qualidade das águas locais, que serão implementados pelo Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SEGRH/PR, criado a partir da Lei Estadual 12.726/99, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos, no qual se localiza a SUDERHSA.

Para a análise das condições atuais e futuras da qualidade das águas dos rios da bacia do Alto Iguaçu, foi utilizado o modelo matemático de simulação Mike 11, desenvolvido pelo DHI. Trata-se de um modelo unidimensional dinâmico, sendo uma ferramenta aplicável a gerenciamento, projeto e operação de sistemas simples

e complexos. Um inconveniente deste modelo matemático é o alto custo para sua aquisição.

Este modelo apresenta módulos básicos para simulação, dentre eles cita-se o hidrodinâmico, de advecção-dispersão, de qualidade da água, de simulação de precipitação-vazão, de hidrogramas, de rompimento de barragens, de eutrofização, etc. Para tal estudo foram utilizados os três primeiros. Os parâmetros utilizados para a simulação foram o OD, a temperatura, a amônia, a nitrato, a DBO, e os coliformes fecais e totais. As vazões de projeto utilizadas foram a de 50%, 95% de permanência e a  $Q_{7,10}$ .

O modelo Mike 11, aplicado na bacia do Alto Iguaçu, foi calibrado para vazões pequenas, onde preponderam significativamente as cargas permanentes, domésticas e industriais. Para essas vazões foram calculadas também as contribuições das cargas difusas, calculadas com os mesmos coeficientes de aporte e uso e ocupação do solo utilizado pelo DHI. Nessa situação, foram ajustados os coeficientes cinéticos, dentro das faixas aceitáveis pela literatura, por trecho de rio, de forma a reproduzir os dados monitorados.

O Plano de Despoluição deverá ser institucionalizado no SEGRH/PR, através da sua inserção no Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu, a ser elaborado pela respectiva Associação de Usuários de Recursos Hídricos, beneficiando-se dos recursos financeiros oriundos da cobrança citada, que comporão o Fundo Estadual de Recursos Hídricos.

### **3.2 Plano Diretor de Recursos Hídricos – Bacia Hidrográfica do Iguaçu – Relatórios I e II (SUDERHSA, 1994)**

Este plano diretor está objetivado em entender a atual condição da qualidade da água de rio na área do estudo; avaliando a condição atual da poluição da água com base nos padrões brasileiros de qualidade de água; predizendo a futura qualidade da água (2005 e 2015) através da análise da qualidade; assim como a formulação de um plano para a melhoria da qualidade da água para o ano 2015, isto tudo em relação ao Estado do Paraná, incluindo 11 bacias hidrográficas.

Primeiramente foi estudada a condição atual da qualidade da água através de dados coletados e foi realizado o prognóstico da qualidade da água, ao longo dos anos 2005 e 2015, com base no crescimento de cargas poluidoras. Foram também, identificadas as características e problemas da qualidade da água em cada bacia, e elaborados planos para a redução da carga poluente e melhoria da qualidade da água para o ano 2015.

### **3.3 Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba – 2002**

O programa teve início em 1993 com previsão de conclusão em 1998, porém ocorreram atrasos fazendo com que o mesmo fosse estendido até 2002. Com objetivo de assegurar qualidade da vida à população de municípios da Região Metropolitana de Curitiba – RMC. O PROSAM compreendeu um conjunto amplo e integrado de ações voltadas para conservação, recuperação e gestão do meio ambiente na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu e de melhoria e ampliação dos serviços públicos de água tratada e esgoto.

Os projetos componentes do PROSAM foram agrupados em três grandes áreas de atuação, segundo seus objetivos correspondendo aos projetos para estruturação da base para gestão (PEB) - ações que visam capacitar os órgãos públicos que atuam na bacia do Alto Iguaçu para gerenciar adequadamente a ocupação dos mananciais e preparar a população para um convívio equilibrado entre as atividades humanas e os recursos naturais; Projetos para Melhoria da Qualidade Ambiental (PMA) - ações que promovam o reordenamento territorial da região dos mananciais, com vistas ao uso e ocupação adequados do solo urbano e rural; e Projetos de Recuperação Ambiental (PRA) - ações destinadas a sanear e recuperar o ambiente.

### **3.4 Análise do Impacto do PROSAM Sobre a Qualidade da Água na Região Metropolitana de Curitiba (BIRD 3.505 BR, 2003)**

Este trabalho visou quantificar a influência das ações do Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba – PROSAM, na qualidade da água do Rio Iguaçu. O impacto do PROSAM foi analisado comparando-se os valores de alguns parâmetros de qualidade da água ao longo do Rio Iguaçu com e sem as ações do programa. Essa comparação foi feita com o auxílio de um modelo computacional, desenvolvido para simular a qualidade da água no Rio Iguaçu, na região de abrangência do PROSAM, utilizando o programa QUAL-2E, distribuído pela Environmental Protection Agency dos Estados Unidos (US-EPA).

### **3.5 Análise de Benefício Econômico em Despoluição Hídrica como Instrumento de Suporte à Tomada de Decisões em Gestão de Recursos Hídricos (MARIN, 2001)**

Visa uma análise de benefício econômico em despoluição hídrica como instrumento de suporte à tomada de decisões em gestão de recursos hídricos, propondo como instrumento um algoritmo representado pela letra Z. Desta forma, aborda os benefícios econômicos proporcionados por intervenção pública, enfocando, principalmente, as intervenções em despoluição hídrica passíveis de serem implantadas numa bacia hidrográfica. A análise realizada sobre os benefícios em despoluição consubstanciou a construção de um instrumento de suporte à tomada de decisões, auxiliando a Agência de Águas na construção do Plano de Despoluição Hídrica de uma bacia qualquer. Este instrumento será utilizado para este estudo, da mesma forma como foi utilizado no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu.

### **3.6 Projeto Análise da Sustentabilidade Econômica e Ambiental de Metas de Despoluição Hídrica – Estudo de Caso: Alto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005)**

O Projeto Análise da Sustentabilidade Econômica e Ambiental de Metas de Despoluição Hídrica – estudo de caso: Alto Iguaçu foi custeado pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos – Ministério da Ciência e Tecnologia) tendo por finalidade avaliar a proposição de metas alternativas de enquadramento dos corpos d'água, segundo as reais necessidades e anseios da sociedade atual e para as expectativas das gerações futuras, como institui a Agenda 21, para tanto se fez necessário avaliar as restrições físicas e orçamentárias para o custeio das intervenções em recursos hídricos e a disposição a pagar pela sociedade por estas intervenções.

No âmbito deste Projeto foram reconstruídas as matrizes de fontes de despoluição presentes no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000), visando a compatibilização da matriz ao modelo de qualidade de água adotado neste projeto, o modelo QUAL2E. Esta atividade não estava prevista para este Projeto, pois foi considerado, que tal situação havia sido desenvolvido no âmbito no Projeto de Análise de Outorga (SUDERHSA-2002), porém, por haver incompatibilidade nas versões utilizadas em cada Projeto, houve a necessidade do desenvolvimento de tal atividade. As considerações a cerca da construção das matrizes de fontes de poluição desenvolvidas neste Projeto estão presentes no anexo 1.

Resumidamente ressalta-se que se optou por dividir as cargas poluidoras em dois grandes grupos: as cargas pontuais e as cargas difusas. As cargas pontuais, por sua vez, foram subdivididas em grandes usuários e demais usuários. Os grandes usuários correspondem à captação de água e/ou lançamento de efluentes que apresentam valores significativos, merecendo uma análise individual. Dentro deste grupo de usuários encontra-se, além da SANEPAR, um conjunto de grandes usuários industriais conforme consta no Cadastro de Usuários dos Recursos Hídricos da Bacia do Alto Iguaçu, desenvolvido pela SUDERHSA, 2000. Os demais usuários correspondem a um grupo de usuários que individualmente possuem pequena relevância, mas que em conjunto apresentam valores significativos para a

modelagem da qualidade da água. Por fim, para a quantificação das cargas difusas adotou-se a mesma hipótese considerada no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000). A carga difusa é obtida pelo produto entre concentração média de DBO em função do uso do solo, a vazão específica e a área correspondente ao tipo de uso do solo em análise.

Ainda dentro deste Projeto, foram realizadas as simulações do diagnóstico e do prognóstico das bacias para os anos de 2005 e 2010, respectivamente, possibilitando a observação de taxas de decaimento de matéria orgânica a 20°C muito altas para os padrões de literatura. Diante desta situação, elegeu-se a bacia do rio Palmital, em que apresentava taxa de decaimento de matéria orgânica a 20°C no valor de  $3,4 \text{ d}^{-1}$ , e simulou-se a mesma com valores iguais a  $0,1 \text{ d}^{-1}$  e  $0,01 \text{ d}^{-1}$ . Os resultados obtidos com tais simulações foram apresentados no XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica, 2004, São Pedro, São Paulo, Brasil, e estão expostos no capítulo seguinte, quando é abordado o tema da calibração.

No ambiente deste Projeto, foi desenvolvido um levantamento a cerca de possíveis medidas em despoluição hídrica, usando como referência e ponto de partida as medidas elencadas no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000).

Assim, salienta-se que este Projeto de Análise de Sustentabilidade Econômica e Ambiental de Metas de Despoluição Hídrica (FERNANDES *et al*, 2005) forneceu todos os subsídios técnicos e conceituais para a realização desta pesquisa, proporcionando a avaliação do impacto de erros na calibração na estimativa da qualidade da água sob a perspectiva da avaliação de benefícios econômicos em cenários de medidas em despoluição hídrica.

### **3.7 Análise Crítica do Capítulo**

Diante das considerações feitas, salienta-se que muitos estudos foram desenvolvidos a certa da área analisada, porém, cada estudo encontra-se individualizado, não permitindo a integração dos resultados, uma vez que os bancos de dados produzidos em cada estudo não eram compatíveis com as entradas de

dados dos estudos seguintes. Dado a simplificações e necessidades encontradas, na maioria dos casos, cada estudo se inicializou do ponto zero ou próximo dele.

Da Política Nacional de Recursos Hídricos existe a gestão participativa, ressalta-se a importância do desenvolvimento de planos de despoluição hídrica, utilizando-se de um banco de dados confiável e de fácil acesso, para proporcionar a interação de todos os usuários dos recursos hídricos e servir de suporte para a tomada de decisões.

Nesta linha encontra-se o Plano de Despoluição que deverá gerar subsídios para o planejamento urbano da Região Metropolitana, com decorrências na geração de normas e parâmetros de uso e ocupação do solo e ajustes das normas existentes, na aferição da capacidade suporte natural das sub-bacias hidrográficas e na adequação das obras de despoluição e de drenagem urbana da região. Para tal formulação, tem-se a necessidade da aplicação da modelagem matemática referentes aos parâmetros físicos, químicos e biológicos.

Por conseqüência, este trabalho está em conformação com este aspecto, uma vez que pretende demonstrar o grau de necessidade da calibração do modelo matemático de qualidade da água utilizado como ferramenta no cálculo das variáveis de qualidade utilizadas para a análise de viabilidade econômica de cenários futuros, dentro das ferramentas utilizadas pelos Comitês de Bacias, ou qualquer outro órgão responsável pela gestão dos recursos hídricos.

## CAPÍTULO 4

### MODELOS MATEMÁTICOS E SUA CALIBRAÇÃO

#### 4.1 Modelos e seus históricos

Simulações dos processos físicos, químicos e biológicos ocorrendo em um sistema, podem ser realizadas através de modelos matemáticos. Estes modelos vêm se aperfeiçoando nas últimas décadas, conforme constatado por GASTALDINI (1982) (*apud* FISHER, 1995). GASTALDINI (1982) apresenta um histórico das modificações e evolução dos modelos de simulação do oxigênio dissolvido (OD) e da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) em águas superficiais, e salienta que a grande maioria dos modelos usados atualmente tem como precursores duas equações, propostas por Streeter e Phelps (1917).

O modelo Streeter e Phelps une dois mecanismos primários que controlam o oxigênio dissolvido num corpo d'água que recebe esgoto, que são a decomposição de matéria orgânica e a reaeração. Desta forma, as equações são utilizadas para descrever o processo de consumo de oxigênio, no momento que as cargas de DBO são lançadas nos rios, e a capacidade de reaeração apresentada em função das características físicas do corpo receptor. O modelo Streeter e Phelps é definido na forma de equações diferenciais ordinárias de primeira ordem, aplicadas em rios de escoamentos uniformes, conforme equações 4.1 e 4.2 a seguir.

$$\frac{dC}{dt} = -k_1 * L + k_2 * (C_s - C) \quad (4.1)$$

$$dL = -k_1 * L \quad (4.2)$$

Em que C equivale à concentração de OD (mg/l),  $C_s$  à concentração de saturação de OD (mg/l); L à demanda bioquímica de oxigênio DBO (mg/l), t ao tempo (d),  $k_1$  à taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C (1/d) e  $k_2$  ao coeficiente de reaeração (1/d).

BITTENCOURT *et al* (1996) (*apud* LIMA, 2001) apresentou uma evolução cronológica dos modelos de qualidade da água e as características inerentes a cada um deles, possibilitando observar as contribuições inseridas às equações de Streeter e Phelps. Primeiramente cita-se CAMP (1963) (*apud* LIMA, 2001) que adicionou às equações originais de Streeter e Phelps o termo referente à sedimentação e/ou resuspensão, bem como a DBO do escoamento superficial e a fotossíntese.

Seguindo a evolução cronológica, tem-se a consideração proposta por DOBBINS (1964), em que apresenta a simulação do OD e DBO na forma de equações diferenciais de segunda ordem, considerando os efeitos da demanda bentônica, da fotossíntese e da respiração no acréscimo do OD.

O`CONNOR (1967) utiliza uma equação em que os termos referentes à demanda bioquímica de oxigênio carbonácea (DBO carbonácea) e à demanda bioquímica de oxigênio nitrificante (DBO nitrificante) apresentavam-se separadas.

A Texas Water Development Board (1970) apresentava o modelo DOSAG I em que mostrava, de forma integrada, a equação de Streeter Phelps, sendo aplicável a sistemas unidimensionais sem considerar os efeitos da dispersão. Neste mesmo ano, a EPA (Environmental Protection Agency) apresentava um melhoramento do modelo anterior, possibilitando a simulação de um número maior de parâmetros.

Um ano depois, a mesma Texas Water Development Board apresentava o modelo QUAL I, no qual usava equações unidimensionais de dispersão-adevecção pela solução das diferenças finitas. Era diferente dos modelos acima citados, que utilizam um trecho como um elemento computacional e necessitam apenas de lançamento no início e final de cada trecho a ser alimentado. Utilizava um elemento computacional padrão de um comprimento estabelecido através do sistema. Elementos computacionais com propriedades hidrológicas e físicas similares eram agrupados no mesmo trecho. O modelo CE-QUAL- ICM poderia ser aplicado em uma, duas ou três dimensões e deveria ser ligado a um modelo hidrodinâmico. Incluía processo detalhado de qualidade d'água para temperatura, salinidade, balanço de OD/carbono, ciclos de nitrogênio, fósforo e sílica e interações de fitoplâncton, zooplâncton, bactéria e sedimentos. O CE-QUAL-ICM requeria uma grande quantidade de dados para calibragem de processos químicos e biológicos.

A EPA (1972) apresentou o QUAL-II, aplicável para rios com grandes profundidades e dentríticos, podendo simular variações temporais e espaciais de até treze parâmetros de qualidade de água. No modelo, o transporte de poluentes por advecção e dispersão estava ligado à hidrodinâmica, e transformações de poluentes também eram simuladas .

O modelo SIMOX (1974) inclui simulação de bactéria (Chick`s Law) e uma substância conservativa.

Com relação à evolução dos modelos de qualidade da água, pode-se salientar que o ano de 1976 foi um ano importante. Nele, foram apresentados os modelos QUAL-SEMOG, CE-QUAL-W2, QUAL2E, HSPF e MIKE 11.

O QUAL II / SEMOG (1976) é um modelo matemático determinístico, unidimensional de qualidade de água, desenvolvido pela firma Water Resource Engineering para o Southeast Michigan Council of Governments, a partir dos modelos QUAL I e QUAL II. Podendo ser operado tanto em regime permanente quanto dinâmico, embora, em termos hidráulicos, forneça apenas soluções permanentes.

O modelo CE-QUAL - W2 (1976) é bidimensional vertical, hidrodinâmico e de Qualidade da água. Inclui temperatura, salinidade, ciclo de OD/carbono, ciclos de nitrogênio, fósforo, fitoplâncton e bactéria. Vários níveis de complexidade são possíveis devido à organização modular das simulações de qualidade d'água. O CE-QUAL -W2 tem sido aplicado largamente para rios, lagos, reservatórios e estuários nos Estados Unidos.

O QUAL2E (1976) é um modelo unidimensional de estado permanente, usado freqüentemente para simular os efeitos das descargas de poluição de fontes pontuais e não-pontuais na qualidade da água de rios. Ciclos detalhados de OD/DBO e de nutriente são simulados, considerando os efeitos de respiração de algas, reaeração e demanda de oxigênio de sedimentos. Os metais podem ser simulados arbitrariamente como constituintes conservativos ou não. Sua hidrodinâmica baseia-se na equação unidimensional de advecção-dispersão, sendo um modelo amplamente utilizado em todo o mundo, havendo diversos exemplos de aplicação no Brasil, como será demonstrado a seguir.

O modelo HSPF (1976) corresponde a Hydrologic Simulation Program Fortran. Este modelo combina as cargas de escoamento da bacia e cargas,

transporte e transformação, nos rios de OD/DBO, nutrientes, algas e pesticidas/tóxicos. O HSPF requer uma extensa gama de dados de entrada e coeficientes para parametrizar cada processo de qualidade e quantidade de água. As simulações detalhadas de ciclo de nutriente incluem nitrificação e desnitrificação, absorção de amônia e de ortofósforo, uptake (coletor acedente de gás), vaporização e imobilização. As transformações de tóxicos no rio abrangem solubilidade, volatilização, fotólises, oxidação e biodegradação. Somente a variação em uma dimensão é considerada no corpo de água. O HSPF inclui três compartimentos de algas e considera a respiração, crescimento, assentamento e morte usando a cinética Michaelis- Menten. É um modelo altamente detalhado e tem sido largamente aplicado nos Estados Unidos.

Este modelo foi desenvolvido pelo Instituto Dinamarquês de Hidráulica para simular processos de águas pluviais, escoamento em bacias e qualidade da água em corpos de águas unidimensionais. Sua hidrodinâmica é baseada em uma solução diferencial finita para as equações completas de ST. Venant para escoamento de canal aberto; é simulado escoamento não - permanente. Os módulos de águas pluviais-escoamento usam uma abordagem parâmetro global para simular escoamentos, mas as cargas poluentes não são simuladas.

O WASP – Water Analysis Simulation Program (1985) corresponde a um programa de simulação de análise da água foi desenvolvido para simular os processos de hidrodinâmica e de grande qualidade de água em 1, 2 ou 3 dimensões para avaliar o destino e transporte de contaminantes convencionais e tóxicos. Ciclos de OD/DBO detalhados, nitrogênio, fósforo e fitoplancton são simulados, usando o componente de qualidade da água neutro.

Desta forma, percebe-se que a complexidade dos modelos se estabelece na medida de uma melhor caracterização da representação de velocidades e de outros detalhes na interação entre os diversos fatores que afetam a qualidade da água.

Dentro deste contexto, ressalta-se a importância de um determinado modelo de qualidade da água, o QUAL2E. Este modelo é de domínio público, de fácil compreensão e manuseio, permitindo que um grupo de pessoas, por exemplo, um Comitê de Bacia Hidrográfica, opere sem maiores dificuldades e minimizando o investimento em programas de modelagem da qualidade da água.

#### 4.1.1 Aplicação do modelo QUAL2E em outros estudos

Ao longo dos últimos 20 anos, diversos autores vêm utilizando o QUAL2E como ferramenta para auxiliar e otimizar o gerenciamento de recursos hídricos, possibilitando diagnosticar e prognosticar as bacias hidrográficas. Seguindo uma ordem cronológica é possível destacar os estudos realizados pela SONDOTÉCNICA (1987), no qual utilizou o modelo de Qualidade QUAL II/SEMOG, um dos modelos precursores do QUAL2E, para avaliar a influência da Usina Hidrelétrica de Manso nos rios Manso e Cuiabá, na área da bacia do rio Cuiabá. Para tal estudo foram utilizados os parâmetros oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), amônia, nitrato e fósforo.

Já no âmbito do modelo QUAL2E, BAUERMANN (1992) (*apud* LIMA, 2001) associou o modelo às planilhas do Lotus1-2-3 permitindo que fossem gerados índices de qualidade da água, no estudo da bacia hidrográfica do rio Potiribu, considerada uma zona de produção de soja, trigo e pecuária, localizada no estado do Rio Grande do Sul. As simulações foram realizadas em cima dos parâmetros do oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), série N, série P, coliformes, substâncias conservativas como demanda química de oxigênio (DQO), Cloretos e Sulfetos, além de uma substância não-conservativa arbitrária, o Ferro Total.

MENDONÇA (1992) utilizando o mesmo modelo determinou o impacto ambiental de uma fábrica de papel e celulose, de nome CENIBRA, localizada na bacia hidrográfica do rio Doce, em Minas Gerais. Para a avaliação do impacto foi utilizado nas simulações vazões de estiagem, possibilitando perceber a variação da concentração da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) com a vazão de descarga de efluente constante e a variação da vazão de descarga de efluente com a concentração da demanda bioquímica de oxigênio fixa (DBO fixa). Para a calibração do modelo utilizou monitoramento de 11 (onze) pontos de amostragem, permitindo a avaliação dos parâmetros oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), pH, condutividade, turbidez, nitrogênio, fosfato, resíduos sedimentáveis e coliformes.

Ainda neste ano, VAN ORDEN e UCHRIN (1992), com base no modelo QUAL2E, desenvolveram um novo modelo para simulação da dinâmica do oxigênio dissolvido (OD), aplicado na bacia do rio Whippany, localizado a Nordeste de Nova Jersey, nos Estados Unidos. Este modelo permitiu-se um estudo intensivo da qualidade da água, considerando as duas maiores fontes de poluição por matéria orgânica na bacia, sendo as estações de tratamento de esgotos domésticos das cidades de Morristown e Hanover.

No Brasil, TEIXEIRA (1994) aplicou o modelo QUAL2E às bacias do rio Coxipó e do rio Cuiabá, buscando avaliar as cargas orgânicas para os anos de 1993, 1995 e 2005. Para tal situação, foram consideradas as hipóteses de remoção de cargas domésticas na ordem de 80%, 50% e nulas, com vazões hidrológicas mínimas e médias da ordem de 80 m<sup>3</sup>/s e 407 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Como consequência destas simulações foram formulados cenários futuros para os níveis de tratamento de esgoto, nos quais atendessem aos padrões estabelecidos para rios de classe I e II, conforme Resolução CONAMA nº 20/86.

No ano seguinte, FISHER (1995), aplicando o modelo QUAL2E para um trecho de 20 Km na bacia do Ribeirão do Feijão, calibrado com o objetivo de determinar o grau de contaminação desse rio, provocado principalmente pelo resíduo proveniente do aterro não-controlado (lixão), que constitui a maior fonte de poluição na bacia. Em suas conclusões, ressalta que os resultados foram satisfatórios.

GOSH e MCBEAN (1995) calibraram o QUAL2E para um trecho de 10 km do rio Kali, cuja área de drenagem é basicamente agrícola. Nesta calibração, a taxa de sedimentação da DBO-5 foi estimada experimentalmente através de valores de turbidez, enquanto os demais parâmetros seguiram correlações do próprio QUAL2E ou mesmo correlações externas, sendo posteriormente ajustados em função do resultado da calibração, apresentando grande proximidade com os dados observados na estiagem.

DROLC e KONCAN (1996), através do modelo QUAL2E, que sofreu pequenas alterações para adequar às necessidades do estudo, em que se maximizou os efeitos sobre a concentração do oxigênio dissolvido (OD), realizaram a modelagem da qualidade da água do rio Sava, na Eslovênia, com o objetivo de

avaliar o impacto da descarga de dois tributários, na região de Ljubljana. Os resultados obtidos foram satisfatórios frente aos resultados de campo.

SIQUEIRA (1996) (*apud* LIMA, 2001) utilizou o QUAL2E na modelagem de oxigênio dissolvido (OD) no rio Meia Ponte, em Goiás, em um trecho de 19 Km, para um período de vazões baixas. Foram determinados os coeficientes do modelo relativos a reaeração atmosférica ( $k_2$ ) e a demanda bioquímica de oxigênio ( $k_1$ ).

CHAUDHURY *et al* (1998) através do modelo QUAL2E, calibraram-no para o rio Blackstone, nos EUA, utilizando dados de estiagem coletados em 1991, sendo que os resultados consideravam os efeitos da fotossíntese, da demanda bentônica e da nitrificação, permitindo uma validação muito bem sucedida na tentativa de identificar previamente os efeitos de uma alocação pontual de descarga de poluentes no rio.

CIRAVOLO *et al* (2000) aplicaram o QUAL2E para a bacia do rio Simeto, na região da Sicília, Itália. O objetivo principal de tal modelagem era a busca da avaliação dos efeitos de tratamento de descargas de poluentes e reciclagem de efluentes municipais na agricultura, de forma a atingir os limites legais de emissão. A calibração mostrou-se satisfatória com os resultados de campo, sendo possível desenhar indicações sobre a qualidade de água diante de diversos graus de depuração impostos, explorando a ferramenta de gerenciamento disponível com o modelo.

NING *et al* (2000) aplicaram o QUAL2E para a bacia do rio Kao-Ping, nos seus 110 km, localizada em Taiwan, analisando os parâmetros oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio sob a forma de amônia e fósforo total. A calibração foi realizada através dos dados constantes na estiagem e a validação da calibração ocorreu com os dados constantes nas cheias, possibilitando resultados satisfatórios.

BIZZONI (2001) aplicou os dados presentes na modelagem da bacia do Alto Iguaçu, modelo MIKE 11, presentes no Plano de Despoluição da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) ao modelo QUAL2E, obtendo resultados similares na modelagem da qualidade da água.

#### 4.1.2 Concepção e características do modelo matemático QUAL2E

A modelagem matemática representa a resposta de um sistema físico ao estímulo externo, estabelecendo a relação entre o lançamento de esgoto e a concentração resultante no corpo receptor.

A equação básica do modelo QUAL2E é a de balanço de massa, considerando advecção, dispersão, bem como reações cinéticas, conforme Equação 4.3 a seguir, que é integrada numericamente, num intervalo de tempo, para cada constituinte de qualidade de água simulado.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial(A_x D_L \frac{\partial c}{\partial x})}{\partial x} dx - \frac{\partial(A_x u c)}{\partial x} + V \frac{dc}{dt} \pm s \quad (4.3)$$

Variação do	Dispersão	Advecção	Reações	Fontes
constituinte	└──────────────────────────┘		cinéticas	externas
	Transporte			

Desta equação de balanço de massa o primeiro termo representa a variação do constituinte ao longo do tempo, o segundo e o terceiro termos representam o transporte de um constituinte quanto à dispersão e advecção, respectivamente, e o quarto corresponde às reações cinéticas, isto é, geração e extinção do constituinte através das reações físicas, químicas ou biológicas com outras grandezas ou com o próprio fluido. O último termo refere-se as entradas e saídas, ou seja, os lançamentos e as captações.

A advecção corresponde ao transporte de um constituinte pelo campo de velocidades do meio fluido que o contém, ou seja, resulta de um fluxo unidimensional que não muda a identidade da substância transportada. A dispersão corresponde ao espalhamento de partículas devido ao efeito combinado de tensão tangencial e de difusão (tanto molecular quanto turbulenta), ou seja, é o resultado de diferentes velocidades no espaço. A difusão molecular corresponde ao espalhamento aleatório de partículas devido ao movimento aleatório das moléculas, representada matematicamente pela primeira Lei de Fick, indicada na Equação 4.4 a

seguir (CHAPRA, 1997). Para Fick, o fluxo é proporcional ao gradiente da concentração.

$$q = -D \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \quad (4.4)$$

Em que  $q$  corresponde ao fluxo de massa [ $\text{ML}^{-2}\text{T}^{-1}$ ];  $C$  à concentração de massa [ $\text{ML}^{-3}$ ];  $D$  ao coeficiente de difusividade [ $\text{L}^2\text{T}^{-1}$ ];  $x$  ao comprimento na direção  $x$  [ $\text{L}$ ].

A difusão turbulenta é análoga a difusão molecular, porém com origem no movimento turbulento dos fluidos, causada por vórtices dos mais variados tamanhos e orientações existentes no escoamento.

O escoamento considerado nesse modelo, tipo permanente uniforme, ocorre quando o gradiente de profundidade com o espaço são nulos e a velocidade constante e no sentido longitudinal, predominante em rios, permitindo, assim, uma representação por equação unidimensional.

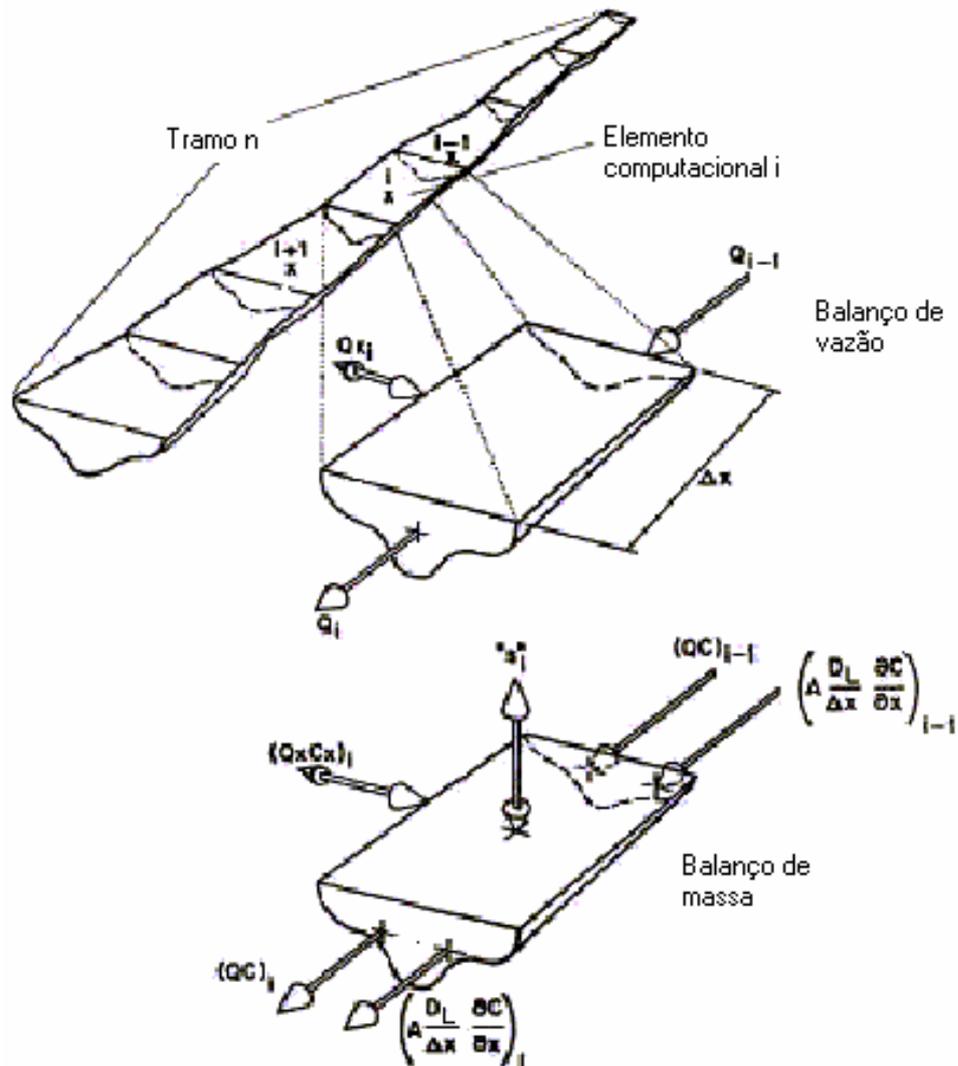
O modelo QUAL2E (EPA, 1985) resolve a equação de balanço de massa por diferenças finitas. Neste método se substitui as derivadas parciais de uma equação diferencial por aproximações baseadas em expansões das séries de Taylor na região dos pontos de interesse, feitas as substituições das derivadas parciais pelas aproximações de diferenças finitas na equação diferencial, esta pode ser resolvida de “trás para frente”, ou seja, da data de maturidade da opção até a data atual.

Outra consideração acerca do modelo é que o mesmo utiliza o estado estacionário, uma vez que o sistema poderá ser submetido a uma carga constante por um determinado tempo, atingindo um equilíbrio dinâmico, caracterizando acumulação zero. Além disso, o modelo apresenta simplificações com relação ao transporte unidimensional de poluentes no rio, características hidrogeométricas únicas para cada tramo e parâmetros biológicos e químicos constantes para os mesmos.

Como uma das principais características da simulação se tem a divisão dos rios em tramos, estes apresentam as mesmas características geofísicas e climatológicas em toda a sua extensão. Cada tramo é constituído de elementos computacionais que representam volumes de controle. Estes são delimitados em

distâncias tais que correspondem a um número inteiro. A Figura 4.1 a seguir apresenta um esquema destas considerações.

FIGURA 4.1 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MODELO QUAL2E



FONTE: Manual do QUAL2E – EPA, 1985.

A caracterização das cargas de poluentes alocadas em cada um dos elementos computacionais de cada tramo é feita com base nos dados de uso do solo e nos usuários dos recursos hídricos distribuídos ao longo da bacia. Os dados de uso do solo e dos usuários dos recursos hídricos estão consolidados na matriz de fontes de poluição, conforme anexo 1.

Além disto, o modelo QUAL2E permite a escolha dos parâmetros que se pretende simular. Dentro destes parâmetros tem-se temperatura, demanda bioquímica de oxigênio, algas, ciclo do fósforo, ciclo do nitrogênio, oxigênio dissolvido, coliformes fecais, três elementos conservativos e um elemento não conservativo.

Para o estudo foram definidos como parâmetros simulados a demanda bioquímica de oxigênio e o oxigênio dissolvido, utilizando como coeficiente de conversão da DBO<sub>5</sub> em DBO última o valor de 0,23 (padrão do programa). Os valores típicos da DBO<sub>5</sub> varia de 0,05 a 0,5 d<sup>-1</sup>, sendo o valor médio de aproximadamente 0,1d<sup>-1</sup> (CHAPRA, 1997).

Com relação ao oxigênio dissolvido, por consequência dos estudos utilizados como referência não apresentarem dados para estes parâmetros, optou-se por arbitrar valores em função das concentrações da demanda bioquímica de oxigênio, conforme o Quadro 4.1.

QUADRO 4.1 – CORRESPONDENTES EM OXIGÊNIO DISSOLVIDO

FAIXA DE DBO (MG/L)	CORRESPONDENTE DE OD (MG/L)
0 ≤ DBO ≤ 5	8
5 < DBO ≤ 10	6
10 < DBO ≤ 15	4
15 < DBO ≤ 25	2
DBO ≤ 25	0

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al* – 2005).

O modelo QUAL2E pode ser operado como permanente ou dinâmico, sendo no primeiro caso utilizado para estudo do impacto dos despejos (magnitude, qualidade e localização) na qualidade da água do rio, correspondendo a  $\frac{\partial Q}{\partial t} = 0$ . Na forma dinâmica, permite o estudo dos efeitos das variações diárias dos dados meteorológicos na qualidade da água (oxigênio dissolvido e temperatura) e das variações do oxigênio dissolvido, devido ao crescimento e respiração das algas.

No que tange ao aspecto da velocidade média, o modelo QUAL2E, utiliza-se da equação da continuidade, Equação 4.5, cumulada com a equação de Manning,

Equação 4.6, possibilitando a obtenção da profundidade média do escoamento, e por fim chega-se a velocidade pretendida. O modelo leva em consideração a divisão em tramos, nos quais têm-se constantes as propriedades hidrogeométricas (CHAPRA, 1997).

$$\bar{u} = a \cdot Q^b \quad (4.5)$$

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A_x \cdot R_x^{2/3} \cdot S_e^{1/2} \quad (4.6)$$

Em que Q corresponde à vazão (m<sup>3</sup>/s); n ao coeficiente de Manning; A à área (m<sup>2</sup>); R ao raio hidráulico (m); e S à declividade da linha de energia (adimensional).

Com estes dados, profundidade média e velocidade média, calcula-se o coeficiente de reaeração, como será mostrado mais à frente.

Outra consideração relevante é com relação à dispersão longitudinal. Esta corresponde ao espalhamento de partículas ou nuvem de poluentes pelos efeitos combinados da difusão e advecção diferenciada. O cálculo da dispersão longitudinal é baseado na equação de Fisher (1979) e é expressa pela Equação 4.7.

$$D_L = 3,82 \cdot K \cdot n \cdot \bar{u} \cdot d^{5/6} \quad (4.7)$$

Em que: D<sub>L</sub> = o coeficiente de dispersão longitudinal (m<sup>2</sup>/s); K = a constante de dispersão adimensional; n = o coeficiente de rugosidade de Manning; u = a velocidade média (m/s); e d = a profundidade (m).

#### 4.1.3 Limitações do modelo QUAL2E

Assim como os demais modelos de qualidade da água, o QUAL2E utiliza-se de certas simplificações e aproximações, para a validação dos resultados. Estas podem gerar limitações específicas para certas aplicações, devendo ser consideradas na escolha do modelo.

Diante disto pode-se salientar que o modelo QUAL2E trata o rio como um sistema unidimensional, porém, sabe-se que nenhuma emissão de poluente é instantaneamente misturada ao longo da seção transversal do rio, assim, percebe-se que a previsão de concentrações médias de poluentes no rio deveria ser muito menor do que as coletadas no ponto de descarga do efluente (PALMIERI, 2003).

PALMIERI (2003) salienta ainda que o princípio básico dos modelos de qualidade de água é a conservação de massa, desta forma, “existe uma preocupação na abordagem atual quanto à má definição da DBO como variável de estado, o que significa que os balanços não podem ser fechados, pois não estarão considerando toda a matéria orgânica presente no meio. Em vez de uma única substância, a DBO é um resultado das mudanças ocorridas no substrato consumido e na biomassa produzida, que podem variar consideravelmente. Os modelos que utilizam a DBO como única substância com respectiva taxa de decaimento não levam em conta tais variações. Isso significa que uma DBO proveniente de um esgoto urbano pode não ter decaimento similar à proveniente de um despejo industrial mais refratário”.

Outra consideração que deve ser ressaltada, relacionada com a taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C é o impacto que esta produz na concentração final do oxigênio dissolvido (OD). No presente estudo, foi detectado que ao se utilizar valores de taxa na ordem de  $3,4d^{-1}$ , obteve-se resultados na concentração do oxigênio dissolvido (OD) menor do que quando simulados com valores da ordem de  $0,1d^{-1}$ . Estas considerações serão desenvolvidas quando entrarmos no aspecto matemático dos coeficientes e taxas para o cálculo das concentrações finais de cada parâmetro.

No que diz respeito, novamente ao balanço de massa, SHANAHAN *et al* (1998), demonstrou que existem problemas no tocante ao fechamento dos balanços envolvendo interações com o sedimento, mesmo apesar do coeficiente de demanda bentônica ( $K_4$ ) presente nas equações do modelo, uma vez que alguns constituintes, como a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e nitrogênio orgânico, são perdidos no balanço de massa devido à sedimentação de fundo.

Ainda, o modelo QUAL2E simula períodos de tempo durante os quais tanto a vazão do rio como as cargas poluidoras são essencialmente constantes, o que não ocorre na realidade. Assim, as cargas não pontuais, presentes na bacia, são

transformadas em cargas pontuais, para fins de simulação, descaracterizando sua particularidade.

Seu uso requer, ainda, conhecimento e domínio nas áreas de hidráulica, hidrologia, estatística e computação. O programa apresenta algumas limitações de impressão gráfica e no formato de entrada e saída das informações, o que impõe a necessidade de se acoplarem planilhas para o tratamento dos dados a serem introduzidos no modelo e de se utilizarem outros aplicativos que façam a interface gráfica para a saída dos dados.

## **4.2 Calibração dos parâmetros**

Tem-se que uma das mais difíceis etapas ao se desenvolver ou utilizar um modelo matemático é a calibração. A calibração de um modelo matemático ajusta os parâmetros das equações matemáticas que representam a realidade física, química e biológica de um corpo d'água, de tal forma que os resultados da simulação representem, dentro de uma precisão desejada, o sistema em estudo. Evidentemente, a etapa de calibração não é simples, pois depende de uma combinação de dados hidráulicos, hidrológicos e de qualidade da água. Assim, é uma atividade que demanda tempo e uma certa estrutura de apoio de campo e laboratorial, conseqüentemente de recursos financeiros. Em muitos casos, a calibração é preservada como informação privilegiada, pois a partir dela se desenvolverá o estudo propriamente dito.

A calibração é composta de duas etapas básicas, que correspondem à coleta dos dados de campo, juntamente com a discretização do sistema, dentro das limitações do modelo adotado e à validação dos parâmetros de calibração em simulações prováveis, de forma a prever danos à qualidade da água ou ao volume hídrico. Pretende-se definir parâmetros de aspectos hidrológicos, hidráulicos e de qualidade da água que reproduzem cenário de informações obtidas no campo. Assim, a calibração consiste em variar parâmetros do modelo para obter um resultado ótimo entre os cálculos do modelo e os cenários de dados de campo. Os dados de calibração são estabelecidos visando a maior semelhança possível do rio, para a condição de projeto que está sendo estudado, diante disto a importância de

se utilizar conjuntos de dados que representem condições diferentes, porém reais para a calibração e validação.

Dentre os parâmetros comumente utilizados para a calibração do QUAL2E está o coeficiente de reaeração ( $k_2$ ), para o qual as previsões do modelo se mostram bem sensíveis, no que diz respeito às descargas intermitentes associadas à drenagem urbana, transbordamentos ou chuvas intensas geram fontes não pontuais que inferem variações no fluxo do rio. Para PALMIERI (2003) é no mínimo incorreta a suposição de que o coeficiente de reaeração ( $k_2$ ) permanece um valor sempre constante em cada trecho.

Outro ponto salientado por PALMIERI (2003) diz respeito à unicidade da combinação dos parâmetros ajustados, isso porque, deverão existir diversas combinações entre coeficientes, especialmente entre a taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C ( $k_1$ ) e o coeficiente de reaeração ( $k_2$ ) que levarão a simulação ao mesmo resultado.

Dentre os parâmetros mais comumente utilizados para a calibração pode-se citar o coeficiente de reaeração ( $k_2$ ), a taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C ( $k_1$ ), a razão de sedimentação da matéria orgânica ( $k_3$ ) e a taxa de demanda de oxigênio devido aos sedimentos ( $k_4$ ).

Assim, um modelo matemático de qualidade da água em rios, reservatórios e lagos, devidamente calibrado, serve como uma importante ferramenta para o apoio ao processo de tomada de decisões em gestão de recursos hídricos. A perspectiva de se poder prever o impacto de medidas de controle, ainda é uma motivação para muitos pesquisadores.

Não obstante a importância do processo de calibração de modelos, boa parte dos estudos similares não apresenta a metodologia de forma clara, em geral, havendo falta de dados de campo para estabelecer a relação entre os cálculos do modelo e os cenários de dados. Além disto, a calibração é feita visando acertos com os dados de laboratório, produzindo alterações artificiais de constantes que representam as realidades físicas, químicas e biológicas. A metodologia de calibração pressupõe tempo. Isto requer custo, que muitas vezes é alto. Desta maneira, é muito comum, não investir muito na calibração e no treinamento de pessoas para realização de tais tarefas visando minimizar os gastos nesta fase do projeto.

#### 4.2.1 Taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C – $k_1$ e razão de sedimentação da matéria orgânica – $k_3$

Considerando a demanda bioquímica de oxigênio carbonácea, o modelo QUAL2E assume uma reação de primeira ordem para descrever a desoxigenação última da DBO carbonácea no escoamento. A função da DBO quando expressa no modelo leva em conta não só a remoção de matéria orgânica devido ao consumo de oxigênio por microorganismos, como também devido à sedimentação, arraste e floculação, fatores que não exercem uma demanda de oxigênio, como expresso na Equação 4.8.

$$\frac{dL}{dt} = -k_1L - k_3L \quad (4.8)$$

Em que L corresponde à concentração da DBO carbonácea última (mg/l);  $k_1$  à taxa de desoxigenação da DBO carbonácea ou também conhecida como taxa de decaimento da DBO a 20°C ( $d^{-1}$ ); e  $k_3$  à razão de sedimentação da matéria orgânica ( $d^{-1}$ ).

#### 4.2.2 Taxa de reaeração – $k_2$

O balanço de oxigênio dissolvido em um corpo d'água depende da capacidade de reaeração do próprio sistema. Esta capacidade é função do processo de advecção e difusão do sistema, das fontes externas e da perda de oxigênio (FERNANDES *et al*, 2005).

A equação diferencial utilizada pelo modelo QUAL2E para descrever as alterações na concentração de oxigênio dissolvido no sistema é dada pela Equação 4.9.

$$\frac{dO}{dt} = k_2(O^* - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho)A - k_1L - \frac{k_4}{d} - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2N_2 \quad (4.9)$$

Em que  $k_2$  representa a taxa de reaeração ( $d^{-1}$ ),  $\alpha_3$  a taxa de oxigênio produzido por fotossíntese, por unidade de alga (mg-O/mg-A),  $\alpha_4$  a taxa de remoção de oxigênio por unidade de alga respirada (mg-O/mg-A),  $\alpha_5$  a taxa de remoção de oxigênio por unidade de oxidação de amônia (mg-O/mg-N),  $\alpha_6$  a taxa de remoção de oxigênio por unidade de oxidação de nitrito (mg-O/mg-N),  $\mu$  a taxa de crescimento de algas, dependente da temperatura ( $d^{-1}$ ),  $\rho$  a taxa de respiração das algas, dependente da temperatura ( $d^{-1}$ ),  $A$  a concentração de biomassa algal (mg-A/L),  $k_4$  o coeficiente cinético da demanda bentônica de oxigênio, dependente da temperatura ( $g/m^2.d$ ),  $\beta_1$  o coeficiente cinético da oxidação de amônia, dependente da temperatura ( $d^{-1}$ ),  $\beta_2$  o coeficiente cinético da oxidação de nitrito, dependente da temperatura ( $d^{-1}$ ),  $N_1$  a concentração de amônia (mg-N/L), e  $N_2$  a concentração de nitrito (mg-N/L).

O déficit de oxigênio é calculado pela Equação 4.10 a seguir.

$$D = O_s - O = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) \quad (4.10)$$

Em que  $k_2$  representa a taxa de reaeração ( $d^{-1}$ ),  $k_1$  ao decaimento da matéria orgânica a 20°C ( $d^{-1}$ ),  $t$  a temperatura (°C),  $O_s$  ao oxigênio de saturação (mg/l).

Assim, como foi citado em seção anterior, uma das limitações do modelo QUAL2E está quando se utiliza valores da taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C ( $k_1$ ) superiores ao do coeficiente de reaeração ( $k_2$ ), gerando um déficit positivo, quando na realidade deveria ser negativo. Desta forma, o limite máximo da taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C não deve ser superior ao valor do coeficiente de reaeração, caso isso ocorra, os valores do oxigênio dissolvido não apresentarão resultados confiáveis.

Diante disto, tem-se que as principais fontes de oxigênio são a reaeração atmosférica, a fotossíntese das algas e o oxigênio contido na massa líquida que entra no sistema. A perda do oxigênio dissolvido ocorre através da oxidação bioquímica da matéria orgânica carbonácea e nitrogenada, da demanda bêmica de oxigênio e o oxigênio utilizado para a respiração das algas (FERNANDES *et al* – 2005).

A taxa de oxigênio dissolvido numa água sem contaminação por matéria orgânica é próxima da taxa de saturação. A emissão de um poluente num corpo d'água eleva os níveis de matéria orgânica, e sólidos dissolvidos. Isso causa dois impactos. Primeiramente, o material sólido, em suspensão, aumenta a turbidez da água provocando a diminuição da penetração da luz no corpo d'água, limitando o crescimento de plantas. Uma parte do material sólido vai se sedimentando ao longo do curso d'água formando "camas de lodo", que podem emitir odores desagradáveis. O segundo impacto causado pela matéria orgânica é o suprimento de alimento para os organismos heterotróficos. Conseqüentemente a decomposição de matéria orgânica torna-se dominante, desequilibrando o ciclo natural. Como há grande quantidade de matéria orgânica, cresce a população de organismos heterotróficos que ao degradarem a matéria orgânica causam a depleção do oxigênio dissolvido na água. Além disso, também passa a ocorrer decomposição da matéria orgânica nas camas de lodo, e uma demanda de oxigênio no sedimento passa a contribuir na depleção do oxigênio dissolvido. À medida que o nível de oxigênio cai, o oxigênio na atmosfera passa a se dissolver na água para compensar o déficit causado pela decomposição da matéria orgânica. Inicialmente, o consumo de oxigênio na água e no sedimento se sobrepõe a essa reatuação. (CHAPRA, 1997).

Para o cálculo do coeficiente de reaeração existem vários modelos, dos quais alguns serão apresentados a seguir. Para estes modelos tem-se como dados fundamentais à utilização da velocidade média e da profundidade média do escoamento.

Primeiro modelo permite que o usuário pré-determine os valores de  $k_2$  a serem utilizados, opção normalmente adotada em casos incomuns, tais como congelamento de superfícies.

Um segundo modelo, corresponde à equação de CHURCHILL (1962) (*apud* BIZZONI, 2001), conforme Equação 4.11 a seguir.

$$k_2 = 11,6 \frac{U^{0,969}}{h^{1,673}} 1,0241^{(T-293,15)} \quad (4.11)$$

Em que U corresponde à velocidade média (m/s), h à profundidade média (m) e T à temperatura absoluta (K).

O modelo de O'CONNOR e DOBBINS (1958) (*apud* BIZZONI, 2001) propôs uma equação baseada na característica turbulenta do rio, levando em consideração baixas velocidades e condições isotrópicas, conforme Equação 4.12 a seguir.

$$k_2 = 86.400 \frac{D^{1/2} S^{1/4} g^{1/4}}{2,31 h^{5/4}} \quad (4.12)$$

Em que U corresponde à velocidade média (m/s), h à profundidade média (m), D ao coeficiente de difusão molecular (m<sup>2</sup>/d), S à inclinação do leito (m/m), e g à aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

OWENS (1954) (*apud* BIZZONI, 2001) apresenta o modelo é expresso pela Equação 4.13 a seguir.

$$k_2 = \frac{20,488 E^{0,4081}}{h^{0,66}} \quad (4.13)$$

Em que E = U\*S\*g, com U corresponde à velocidade média (m/s), h à profundidade média (m), S à inclinação do leito (m/m), e g à aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

THAKSTON e KRENKEL (1966) (*apud* BIZZONI, 2001) propuseram o seguinte modelo conforme Equação 4.14 a seguir.

$$k_2 = 10,80 \left( 1 + Fr^{1/2} \right) \frac{U^*}{h} \quad (4.14)$$

Em que U\* = (h Se g)<sup>1/2</sup>, com Se correspondendo à inclinação do gradiente de energia (adimensional), Fr ao número de Froude, h à profundidade média (m) e g à aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

### **4.3 A calibração no contexto do Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001)**

No contexto do Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000), foi utilizado o modelo matemático de qualidade da água Mike 11, desenvolvido pelo DHI – Danish Hydraulic Institute. Trata-se de um modelo unidimensional dinâmico, sendo uma ferramenta aplicável a gerenciamento, projeto e operação de sistemas simples e complexos. Um inconveniente deste modelo matemático é o alto custo para sua aquisição. Este modelo apresenta alguns módulos básicos para simulação, dentre eles cita-se o hidrodinâmico, de advecção-dispersão, de qualidade da água, de simulação de precipitação-vazão, de hidrogramas, de rompimento de barragens, de eutrofização, etc. Para tal estudo foram utilizados os três primeiros. Os parâmetros utilizados para a simulação foram o OD, a temperatura, a amônia, a nitrato, a DBO, e os coliformes fecais e totais.

Neste sentido, para a calibração do modelo foram utilizadas como condições de contorno as vazões calculadas em cada sub-bacia, referidas às vazões observadas no ponto controlado do tributário, através de postos de medição, ou com base nos resultados da simulação efetuada pelo DHI. Neste caso, utilizou-se vazões históricas ocorridas na data do monitoramento específico realizada para os estudos do DHI, no período de junho e julho de 1997. As datas do monitoramento nos tributários foram 03/06/97, 10 a 12/06/97, 01/07/97 e 08 a 10/07/97.

As datas que apresentaram consistentemente menor vazão, dentre as supra citadas, foram 10 a 12/06/97. A escolha da data da calibração recaiu sobre os dias 10 e 11/06/97, pois o histograma de vazões para os 60 dias (01 de junho a 31 de julho de 1997) do período de amostragem mostrou que, 3 a 4 dias antes dessa data, os rios apresentaram vazões igualmente baixas. Os resultados dos monitoramentos nas datas 03/06/97 e 08 a 10/07/97 podem ser utilizados para balizar os de 10 e 11/06/97, quando eles se apresentarem muito discrepantes. O monitoramento de 01/07/97 foi feito em período de vazões altas, reflexo de chuvas nas bacias, não podendo ser utilizado para a calibração. Estas simulações foram realizadas utilizando o módulo WQ em seu nível 4 (OD, temperatura, amônia, nitrato e DBO), incluindo coliformes fecais e totais, com a interação do leito do rio.

A calibração foi realizada para vazões pequenas, onde preponderam significativamente as cargas permanentes, domésticas e industriais. Para essas vazões foram calculadas também as contribuições das cargas difusas, calculadas com os mesmos coeficientes de aporte e uso e ocupação do solo utilizado pelo DHI. Nessa situação, foram ajustados os coeficientes cinéticos, dentro das faixas aceitáveis pela literatura, por trecho de rio, de forma a reproduzir os dados monitorados.

Para os parâmetros DBO, OD, temperatura, amônia, nitrato, coliformes fecais e coliformes totais, foram elaborados gráficos, considerando o efeito da mistura dos poluentes nas águas dos rios, através do módulo AD, bem como o efeito da degradação, da reaeração, do lodo e da insolação, por meio do módulo WQ. Para as seções em que se dispunha de dados de monitoramento, foram elaborados gráficos da variação temporal dos parâmetros.

A bacia do Palmital com 95 km<sup>2</sup>, uma população de 128.820 habitantes, foi dividida em seis áreas de contribuição, que alimentam trechos do rio, sendo a área média por trecho de 15,4 km<sup>2</sup>. Nessa bacia, considerou-se para a segmentação o próprio rio Palmital, sendo que seus afluentes foram considerados como carga lateral. A exutória da bacia apresenta vazão mínima de 0,65 m<sup>3</sup>/s.

Levando em conta os efeitos dos seguintes elementos: variação diurna da temperatura, reaeração, degradação da matéria orgânica, depósito e ressuspensão de sedimentos, ou seja, o módulo de qualidade da água WQ, observou-se que o perfil longitudinal do parâmetro OD flutuou entre 1,0 e 8,0 mg/l, a DBO entre 5 e 60 mg/l e a amônia entre 0,5 e 9,0 mg/l.

#### **4.4 A calibração no contexto do Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005)**

Com base nos dados utilizados no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu se alimentou o modelo matemático QUAL2E (EPA, 1985) utilizado no contexto do Projeto de Análise da Sustentabilidade Econômica e Ambiental de Metas de Despoluição Hídrica – Estudo de Caso: Alto Iguaçu. Assim, a calibração do modelo matemático de qualidade da água QUAL2E, foi prevista a partir de resultados de calibração de modelo MIKE11. Porém, o processo de calibração

adotado neste estudo não permitiu uma inserção muito clara, existindo falta de dados para seu aperfeiçoamento. Desta maneira está sendo necessário trabalhar com simplificações.

Ao se comparar os resultados do dois modelos evidenciaram-se diferenças que podem ser significativas em projetos de gestão de recursos hídricos. Desta maneira faz-se necessário uma análise crítica sobre a calibração de modelos de qualidade da água, com o enfoque de se destacar como critérios distintos podem produzir resultados absolutamente diferentes. Juntamente a isto, se desenvolveu uma análise de sensibilidade de alguns parâmetros, como a taxa de decaimento da DBO a 20°C ( $k_1$ ), a razão de sedimentação da matéria orgânica ( $k_3$ ), e a taxa de demanda de oxigênio devido aos sedimentos ( $k_4$ ), visando detectar o impacto destes na modelagem da qualidade da água para o estudo de caso do rio Palmital.

No âmbito deste Projeto foram reconstruídas as matrizes de fontes de despoluição do Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu, visando a compatibilização da matriz ao modelo de qualidade de água adotado neste projeto, o modelo QUAL2E. Desta forma, optou-se por dividir as cargas em dois grandes grupos: as cargas pontuais e as cargas difusas. As cargas pontuais por sua vez foram subdivididas em grandes usuários e demais usuários. Os grandes usuários correspondem à captação de água e/ou lançamento de efluentes que apresentam valores significativos, merecendo uma análise individual. Dentro deste grupo de usuários encontra-se, além da SANEPAR, um conjunto de grandes usuários industriais conforme consta no Cadastro de Usuários dos Recursos Hídricos da Bacia do Alto Iguaçu, desenvolvido pela SUDERHSA, 2000. Os demais usuários correspondem a um grupo de usuários que individualmente possuem pequena relevância, mas que em conjunto apresentam valores significativos para a modelagem da qualidade da água.

A partir das informações constantes na matriz de fontes de poluição, fez-se a modelagem da qualidade da água na bacia do rio Palmital. Como no âmbito deste Projeto a calibração não está prevista, optou-se por confrontar os resultados desta modelagem com os resultados da modelagem da qualidade da água, realizada pelo modelo Mike 11 (1976), no âmbito do Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu. Para tanto, considerou-se, quando possível, os mesmos valores de reações

cinéticas utilizadas na calibração do modelo Mike 11 como dados de entrada no modelo QUAL2E.

A modelagem da qualidade da água do rio Palmital, através do QUAL2E, foi realizada, para os parâmetros OD e DBO, considerando a vazão de 95% de permanência. Para esta modelagem considerou-se, quando possível, os mesmos parâmetros utilizados na modelagem através do Mike 11, no âmbito do Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu. Entre os principais parâmetros utilizados no modelo QUAL2E, retirados das informações constantes no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu, tem-se os apresentados no Quadro 4.2.

QUADRO 4.2 – DADOS USADOS NA MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA, QUAL2E

DADOS USADOS NA MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA NO MODELO QUAL2E – CENÁRIO DE REFERÊNCIA		
PARÂMETROS	UNIDADE	PLANO DE DESPOLUIÇÃO DA BACIA DO ALTO IGUAÇU (MIKE 11)
Taxa de decaimento da DBO a 20°C ( $k_1$ )	1 / d	3,4
Razão de sedimentação da matéria orgânica ( $k_2$ )	1 / d	0,8
Taxa de demanda de oxigênio devido aos sedimentos ( $k_4$ )	$gO_2/ m^2 d$	1,5

FONTE: Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (2000).

Os fatores de correção de temperatura, pela ausência de dados, foram utilizados os valores default do QUAL2E, caracterizados no Quadro 4.3.

QUADRO 4.3 – VALORES DE DEFAULT (QUAL2E) DA CORREÇÃO DE TEMPERATURA USADOS NA MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA

FATORES DE CORREÇÃO DE TEMPERATURA	DEFAULT DO QUAL2E
Decaimento da DBO	1,047
Sedimentação da DBO	1,024
Reaeração	1,024
Demanda de oxigênio no sedimento	1,060

FONTE: Manual QUAL2E (1985).

O resultado da modelagem da qualidade da água pelo QUAL2E para o rio Palmital é apresentado na Figura 4.2. Nesta figura, também se encontra o resultado do Mike 11. Pode-se observar que as diferenças entre os resultados da modelagem da qualidade da água entre os dois modelos não foram acentuadas. Na foz do rio Palmital, a diferença de concentração de DBO foi da ordem de 5 mg/l entre os dois modelos. Os resultados obtidos na simulação no QUAL2E (Gráfico 1) apresentaram algumas diferenças por se tratar de modelos diferentes, além disto a locação das cargas no modelo QUAL2E apresenta limitações em função da delimitação de um delta x padrão para toda a bacia. A utilização de dados default considerando a falta da caracterização de dados no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu também caracteriza um fator relevante para as diferenças apresentadas, bem como as hipóteses simplificadoras adotadas para o preenchimento da matriz de fontes de poluição.

Destacam-se, entretanto, as quedas acentuadas da concentração de DBO ao longo do rio, especialmente entre os quilômetros 0 a 4 e de 5 a 9, em função do valor  $k_1$  igual a  $3,4 \text{ dia}^{-1}$ . Este é um valor consideravelmente alto para decaimento, em especial, em relação ao definidos na literatura. Os valores das constantes  $k_1$ ,  $k_3$  e  $k_4$  utilizados neste cenário estão definidos no Quadro 4.2. Este cenário levou a um estudo mais específico para este decaimento, para isto optou-se para realizar uma análise de sensibilidade do coeficiente de reaeração, da taxa de decaimento da DBO e da razão de sedimentação da matéria orgânica e a taxa de demanda de oxigênio devido ao sedimento. Com relação ao balanço de oxigênio dissolvido em um corpo d'água, tem-se que este depende da capacidade de reaeração do próprio sistema ( $k_2$ ). No presente estudo, optou-se pelo modelo proposto por Churchill (QUAL2E – EPA, 1985).

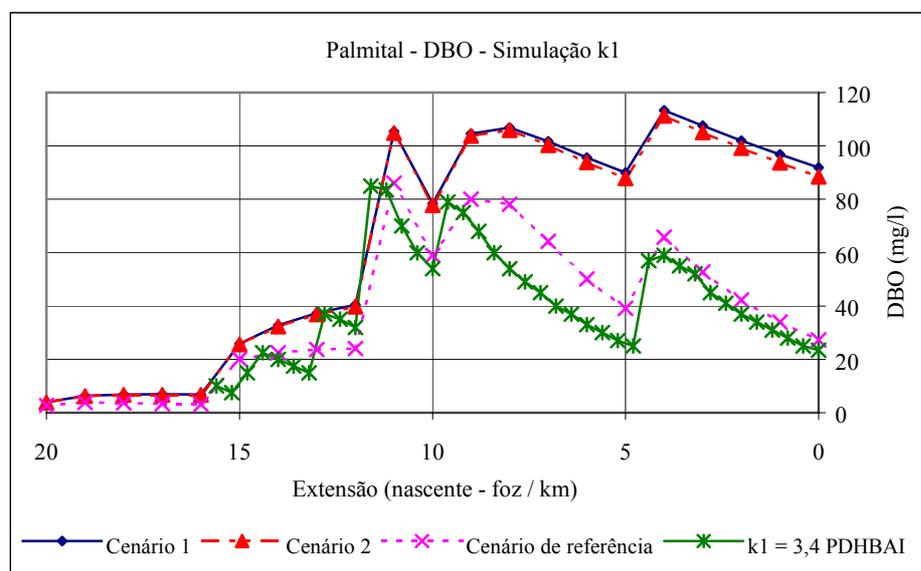
A análise de sensibilidade foi desenvolvida a partir do cenário de referencia indicado na Tabela 4.5. Esta análise foi feita em três grupos de simulação, sendo desconsiderados os afluentes do rio Palmital. Inicialmente se analisou a sensibilidade da taxa de decaimento da DBO a  $20^\circ\text{C}$  ( $k_1$ ), enquanto para a taxa de decaimento foram definidos mais 2 cenários como indicado no Quadro 4.4. Os resultados desta análise estão na Figura 4.2.

QUADRO 4.4 – CENÁRIOS ANALISADOS PARA TAXA DE DECAIMENTO DA DBO A 20°C ( $K_1$ )

CENÁRIO	$K_1$ ( $D^{-1}$ )
Projeto de Sustentabilidade – Cenário de referência	3,4
Cenário 1	0,01
Cenário 2	0,1

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

FIGURA 4.2 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA TAXA DE DECAIMENTO DA DBO A 20°C ( $K_1$ )



FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

Os resultados, compilados na Figura 4.2, permitem observar o impacto de tal coeficiente na simulação. Valores muito pequenos deste coeficiente, menores que  $0,1 \text{ dia}^{-1}$  apresentam uma pequena variação no resultado, tanto que a variação de  $0,01 \text{ dia}^{-1}$  para  $0,1 \text{ dia}^{-1}$  apresentou uma diferença de  $5 \text{ mg/l}$  de DBO no trecho final do rio, não caracterizando um impacto relevante em comparação ao resultado apresentado com valores superiores a  $1 \text{ dia}^{-1}$ . Em contra partida, valores maiores que  $0,1$  proporcionam variações significativas na concentração de DBO final. Isto pode ser observado ao se confrontar os resultados obtidos no cenário 1 e 2 com os

resultados obtidos no cenário de referência, caracterizando uma variação da ordem de 70 mg/l.

Questiona-se neste aspecto, que uma calibração inadequada pode produzir resultados inconsistentes. Tem-se que um erro da ordem de  $1 \text{ dia}^{-1}$ , para o parâmetro  $K_1$ , pode acarretar uma variação significativa no resultado final, podendo em alguns casos inviabilizar medidas de despoluição hídrica que poderiam ser adotadas para recuperação do rio.

Uma segunda análise foi feita em relação à razão de sedimentação da matéria orgânica ( $k_3$ ). Optou-se por manter os demais coeficientes variando apenas os valores da razão de sedimentação da matéria orgânica. Desta maneira, criou-se mais dois cenários, conforme o Quadro 4.5. Os resultados desta análise estão na Figura 4.3.

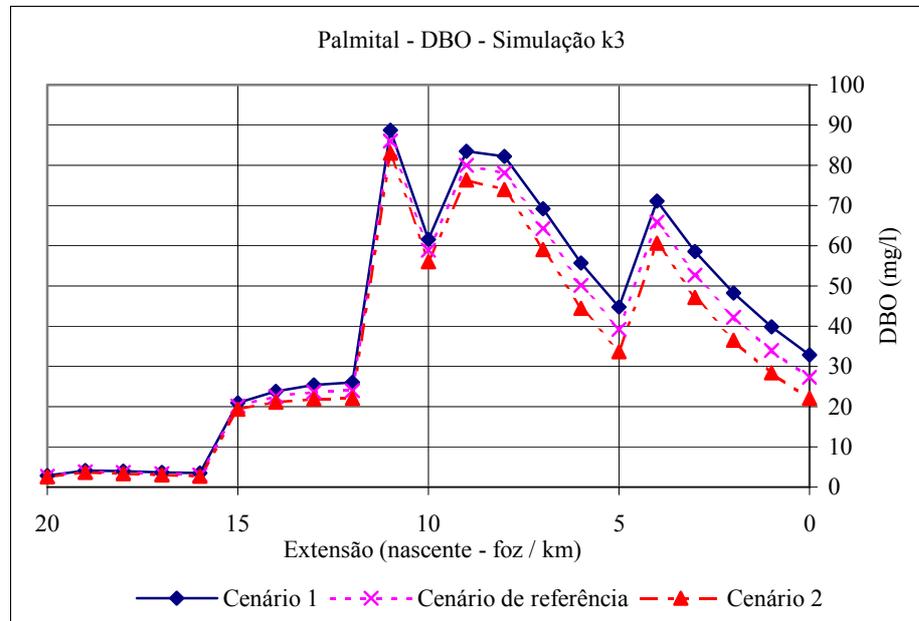
QUADRO 4.5 – CENÁRIOS ANALISADOS PARA RAZÃO DE SEDIMENTAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA ( $K_3$ )

CENÁRIO	$K_3 \text{ (d}^{-1}\text{)}$
Projeto de Sustentabilidade – Cenário de referência	0,8
Cenário 1	0,2
Cenário 2	1,5

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

A análise da Figura 4.3 demonstra que o impacto de tal coeficiente na simulação é evidente e sensível. Uma variação de  $0,2 \text{ dia}^{-1}$  para  $1,5 \text{ dia}^{-1}$  implica em uma variação de 10 mg/l, que comparado com a variação total dos picos é muito significativa.

FIGURA 4.3 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA RAZÃO DE SEDIMENTAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA ( $K_3$ )



FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

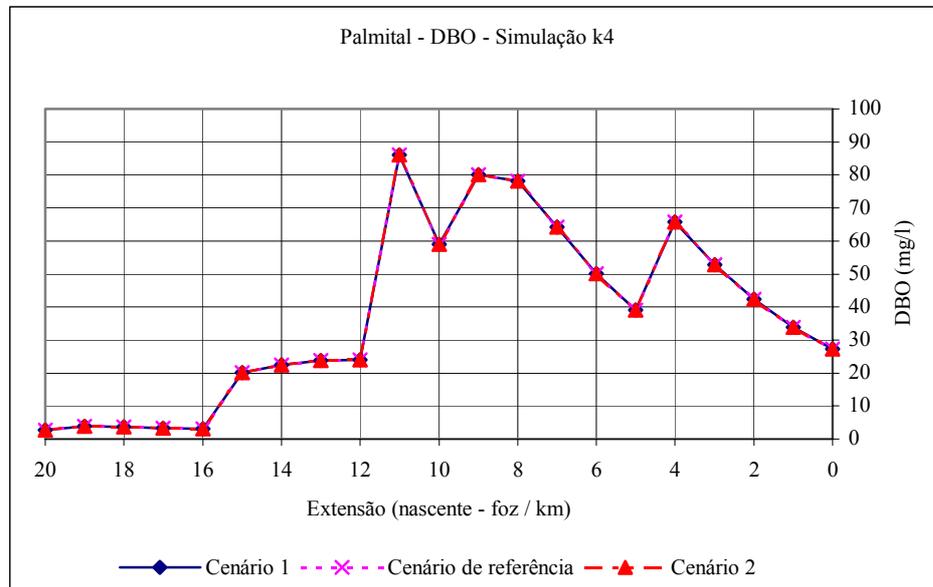
Por último foi feita uma análise em relação à taxa de demanda de oxigênio devido aos sedimentos ou razão de demanda de sedimento ( $k_4$ ). Deste modo, como nas análises anteriores, se manteve os demais coeficientes variando apenas os valores da taxa de demanda de oxigênio devido aos sedimentos. Desta maneira criaram-se mais dois cenários, conforme o Quadro 4.6. Os resultados desta análise estão indicados na Figura 4.4.

QUADRO 4.6 – CENÁRIOS ANALISADOS PARA TAXA DE DEMANDA DE OXIGÊNIO DEVIDO AOS SEDIMENTOS ( $K_4$ )

CENÁRIO	$K_4$ ( $GO_2/M^2D$ )
Projeto de Sustentabilidade – Cenário de referência	1,5
Cenário 1	0,5
Cenário 2	3,0

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

FIGURA 4.4 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA TAXA DE DEMANDA DE OXIGÊNIO DEVIDO AOS SEDIMENTOS ( $K_4$ )



FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

A Figura 4.4 demonstra que a variação na taxa de demanda de oxigênio devido aos sedimentos, para o caso em questão, não apresenta variações consideráveis, podendo, para este caso específico, ser considerada calibrada.

#### 4.5 Análise crítica do capítulo

Dentro deste contexto foi possível perceber que a complexidade dos modelos se estabeleceu na medida de uma melhor caracterização da representação de fatores físicos, químicos e biológicos, promovendo o detalhamento entre diversos parâmetros que afetam a qualidade da água. Assim, a necessidade de cuidados na calibração dos modelos matemáticos, buscando simulação das variáveis de qualidade da água mais próximos dos observados na realidade.

## **CAPÍTULO 5**

### **METODOLOGIA DE ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA**

Os recursos hídricos no país ganharam uma real importância desde o surgimento de leis que os protegem, podendo ser citada a Lei 9.433/97 que instrumentaliza a Política Nacional de Recursos Hídricos. Os princípios que regem esta Lei consideram o acesso aos recursos hídricos como um direito de todos; a água como um bem econômico; a bacia hidrográfica adotada como unidade de planejamento; a disponibilidade da água distribuída segundo critérios sociais, econômicos e ambientais; necessidade de haver a presença de um órgão central e normativo de um Sistema de Planejamento e Controle; cooperação internacional visando o intercâmbio científico e tecnológico; a participação dos usuários na administração da água; uma avaliação sistemática dos recursos hídricos como responsabilidade nacional; assegurar recursos financeiros para o planejamento e gerenciamento. Isto tudo proporcionou a classificação da água como bem de domínio público, um recurso natural limitado e dotado de valor econômico (artigo 1, I e II), a descentralização do gerenciamento em nível regional e local, contando com a participação ativa do poder público, dos usuários e das comunidades (artigo 33) e a criação da cobrança pelo seu uso (artigo 19), instituindo efetivamente a figura do usuário-pagador. Desta maneira, tem-se a necessidade do planejamento e gestão destes recursos, permitindo a compatibilização entre as necessidades e disponibilidades, no espaço e tempo, em quantidade e qualidade. Diante disto, é necessário o desenvolvimento de metodologias que auxiliem a compatibilizar os vários usos dos recursos hídricos em uma mesma bacia. Para isto está sendo utilizado um algoritmo desenvolvido no âmbito do Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e proposto por MARIN (2001), como uma ferramenta de tomada de decisão para apoiar os representantes dos usuários, quanto ao planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. O algoritmo tem como principal objetivo quantificar os benefícios de intervenções em despoluição hídrica.

## 5.1 Valor dos bens ambientais

Para a avaliação de benefícios de medidas de despoluição hídrica deve-se considerar que as intervenções de caráter público objetivam a provisão de bens e serviços que aumentem o bem-estar da sociedade e que a variação do nível de qualidade da água altera o nível de bem-estar das pessoas. Assim, é possível identificar através de avaliações agregadas da sociedade o quanto que esta está disposta a pagar ou aceitar em relação as variações, necessitando verificar a percepção da sociedade como um todo, ou apenas parte dela, do benefício pretendido. Não deve-se ignorar que esta não possui sensibilidade para tal avaliação, desta maneira, como ressalva RAMOS (2000), “É uma decisão da sociedade que os corpos d'água atinjam graus de qualidade que atendam o seu enquadramento, segundo legislação específica, decisão esta tomada pelos legítimos representantes desta sociedade, tanto a nível federal, estadual ou municipal”. Nesse contexto, admite-se que a decisão de investir na melhoria de qualidade da água esteja tomada.

Assim, o próximo passo está em quantificar, estabelecer um valor para um bem ambiental. A maioria destes bens não é comprado ou vendido no mercado e, com frequência, as próprias pessoas não querem que se atribua valor, ou seja, poucos aceitam pagar pela qualidade de vida, embora todos queiram uma elevada qualidade. Segundo MOTTA (1998), o valor econômico de um recurso ambiental é determinado através da estimativa do valor monetário deste em relação aos outros bens e serviços disponíveis na economia. PEARCE (1997) considera o valor dos bens ambientais classificado em três categorias:

- a) valor de uso: refere-se ao preço dos recursos naturais como os minérios, madeira de uma floresta, água (se retirada vai passar a ser cobrada), alimentos (peixes, frutos, fibras vegetais), animais para caça, ativos da biodiversidade, produtos agrícolas em geral, entre outros. Esses valores também são referidos como sendo de “uso direto”;
- b) valor de opção: refere-se à preservação do bem ambiental para uso no futuro, de forma direta ou indireta, ou seja, um uso potencial. Trata-se de um valor de não-uso do recurso no presente, que permitirá um ganho futuro;

c) valor de existência: refere-se a um valor normalmente intangível, ou seja, percebe-se que ele existe, porém é de difícil mensuração.

Uma das alternativas para analisar a questão da alocação de um orçamento financeiro limitado, em contraposição às alternativas de gastos com diferentes opções de investimento, pode ser realizada através da análise custo-benefício. Para alguns autores esta análise nem sempre é trivial, pois requer a capacidade de identificar os custos e benefícios e a definir critérios que tornem as estimativas destes comparáveis entre si e no tempo (MOURA, 2003).

Para MARIN (2001) a dificuldade em identificar claramente os benefícios e custos de uma determinada intervenção ocorre especialmente quando se analisa a viabilidade de implementação de uma ação pública, que visa a provisão de bens e serviços que aumentam o bem-estar das pessoas.

Desta maneira, coloca MOTTA (1998), utiliza-se uma análise social de benefícios e custo, que atribui um valor social a todos os efeitos de um determinado projeto, investimento ou política. Ainda segundo o autor “a determinação dos custos e benefícios sociais pela sua contribuição ao bem-estar das pessoas, é a base da teoria microeconômica do bem estar e dela derivam os métodos de valoração monetária dos recursos ambientais. Estes métodos propõem justamente essa forma de análise de custo-benefício, em que os valores sociais dos bens e serviços são considerados de forma a refletir variações de bem-estar e não somente seus respectivos valores de mercado.”

## **5.2 Metodologia de desenvolvimento do algoritmo de avaliação de benefícios e custos de despoluição hídrica proposto por MARIN (2001)**

A quantificação de benefício de intervenção urbana pode ser feita através do método de composição de benefícios ou através do método de valores agregados (MARIN, 2001). O primeiro procura quantificar todos os benefícios derivados da intervenção urbana, para todos os beneficiados, e o segundo utiliza avaliações agregadas da sociedade para a quantificação dos benefícios advindos da intervenção. Desta maneira, o método da composição de benefícios freqüentemente

é mais adequado à avaliação de benefícios financeiros, enquanto o método de agregação de valores é mais apropriado para avaliação de benefícios econômicos.

Ressalta-se ainda que a sociedade não possui sensibilidade quanto a percepção dos benefícios de despoluição hídrica, uma vez que, na maioria das vezes a poluição ocorre em áreas distintas e freqüentemente distantes de sua origem. Posto isto, considera-se que a decisão de recuperar a qualidade dos recursos hídricos é uma decisão de caráter global, de recuperação do ambiente global, decisão está fundamental à sobrevivência da espécie humana, e por isso já foi tomada. Esta decisão esta tomada pelos legítimos representantes desta sociedade, tanto a nível federal, estadual ou municipal. Todavia, a questão de se ter um método de avaliação de benefícios envolve a hierarquização dos investimentos, seu cronograma de implantação e a capacidade de sustentação econômica desta atividade pela sociedade local. Para tal, aplica-se como metodologia de avaliação do benefício como uma função da grandeza da remoção do poluente, conforme Equação 5.1.

$$B = \Delta C_t \quad (5.1)$$

Em que B corresponde ao Benefício de Redução de Concentração e  $\Delta C_t$  à redução da concentração do poluente C no horizonte de tempo "t".

MARIN (2001) propõe uma extensão deste conceito em que se empregam pesos relativos para avaliar os benefícios da despoluição hídrica ao longo de uma bacia hidrográfica, possibilitando, desta maneira, que a importância da redução da concentração de poluentes em um rio situado em área de manancial poderá ser distinta em relação a mesma redução ocorrendo em rios sem usos específicos.

Nestes estudos, no tocante aos parâmetros de qualidade da água, utilizados na avaliação dos benefícios, procurou-se estabelecer graus relativos da importância da redução das concentrações de poluentes. As importâncias relativas, traduzidas em pesos relativos, puderam ser definidas pelos representantes dos usuários dos recursos hídricos.

Resumidamente, a avaliação de benefícios, como um instrumento de tomada de decisão, é função não só da redução da concentração de poluentes, mas

também dos pesos relativos dos usos dos recursos hídricos e dos parâmetros de qualidade da água, conforme Equação 5.2 a seguir.

$$B = \Delta C_t * p \quad (5.2)$$

Em que B corresponde ao Benefício de Redução de Concentração,  $\Delta C_t$  à redução da concentração do poluente C no horizonte de tempo “t” e p ao peso relativo dos recursos hídricos.

A expressão acima pode ser traduzida em termos de moeda de despoluição, adotando-se, por exemplo, uma relação linear com a moeda financeira. Desta forma, aceitando-se a relação de linearidade entre elas, a hierarquização de decisões de despoluição é a mesma, quer se utilize a moeda (em R\$) ou a própria despoluição.

### **5.2.1 Construção do algoritmo de avaliação de benefícios e custos de despoluição hídrica**

A construção do algoritmo proposto por MARIN (2001) considera a quantificação de benefícios de medidas de despoluição hídrica através da avaliação direta de benefícios em grandezas de redução das concentrações de poluentes. Desta forma, pode-se dizer que a quantificação do benefício é estruturada como função de três variáveis, sendo o peso relativo dos usos dos recursos hídricos, o peso dos parâmetros de qualidade analisados e a redução das concentrações de cada parâmetro considerado.

A medição das reduções de concentração de poluentes é realizada através de seções transversais ao longo da Bacia do Alto Iguaçu, as quais são localizadas estrategicamente, funções da vocação de cada bacia hidrográficas, sendo denominadas de seções de controle. Cada seção de controle apresenta um peso relativo, sendo função dos usos dos recursos hídricos da bacia.

Diante disto, uma mesma redução de concentração de poluente tem importância distinta quando ocorrer em rios situados em área de manancial, em relação aos rios que tenham uso de atividades econômicas ou de caráter cênico. Desta maneira, cada área incremental que drena uma seção de controle é

quantificada quanto aos usos dos recursos hídricos. Sendo assim, é possível construir uma relação entre a importância relativa dos usos dos recursos hídricos entre cada seção de controle.

Por outro lado, a escolha dos parâmetros de qualidade da água envolvida na análise está relacionada na avaliação dos benefícios de despoluição hídrica. Estes caracterizam todos os tipos de fontes de poluição e todos os tipos de poluentes que influenciam na degradação da qualidade da água. Neste sentido, a metodologia apresentada por MARIN (2001) previu a alocação de pesos aos parâmetros de qualidade da água, refletindo a importância relativa entre os parâmetros avaliados.

Assim, os benefícios econômicos relativos às intervenções em despoluição hídrica foram quantificados através de um parâmetro de decisão, denominado de parâmetro Z, que visou identificar o cenário de medidas de despoluição hídrica mais adequado à bacia em estudo, dentro de um horizonte de projeto estabelecido, fornecendo bases para a hierarquização dos investimentos. Este parâmetro Z corresponde a uma média ponderada entre as reduções de concentração de poluentes e os pesos dos parâmetros de qualidade da água e dos usos dos recursos hídricos em todas as seções de controle da Bacia do Alto Iguaçu, proporcionando não apenas a avaliação do benefício local de despoluição, mas também os reflexos das medidas em relação à bacia como um todo.

### **5.2.2 Avaliação da importância relativa entre seções de controle em função dos usos dos recursos hídricos**

A avaliação dos benefícios de medidas de despoluição hídrica em uma bacia hidrográfica considera não apenas a redução da concentração de parâmetros de qualidade de água, função das medidas de despoluição hídrica, mas também a importância dessa redução de concentração em relação à vocação da bacia hidrográfica que se beneficia pela implementação da medida em questão. Assim, identifica-se a vocação do rio Iguaçu e seus afluentes quanto aos usos dos recursos hídricos, através das seções de controle.

Diante disto, foi realizado um levantamento dos usos dos recursos hídricos predominantes na Bacia do Alto Iguaçu, com a quantificação do grau de ocorrência

de cada uso em relação às seções de controle, possibilitando a atribuição de pesos relativos a estes usos.

### **5.2.2.1 Avaliação dos usos dos recursos hídricos**

Os usos dos recursos hídricos predominantes na Bacia do Alto Iguaçu e inseridos na avaliação de benefícios das medidas de despoluição hídrica (MARIN, 2001) correspondem ao abastecimento urbano, que contempla abastecimento doméstico, industrial, comercial e público; ao abastecimento industrial, contemplando o processo de incorporação ao auto-produto, refrigeração, geração de vapor e sanitário; à irrigação artificial de culturas agrícolas segundo diversos métodos; à dessedentação de animais; à piscicultura, com fins comerciais de espécies naturais ou introduzidas através de estações de piscicultura; à geração hidrelétrica, relativo ao acionamento de turbinas hidráulicas; à navegação, quanto a manutenção de calados mínimos e eclusagem; à assimilação de esgoto doméstico, industrial e difuso, relativo a diluição, autodepuração e transporte de esgoto; à recreação e lazer, considerando natação e outros esportes com contato direto, iatismo, motonáutica e lazer contemplativo; e aos usos ecológicos. Neste último, adotou-se a hipótese de que estes usos caracterizam os rios enquadrados nas classes especial e 1, conforme a Resolução do Conama nº 20/86.

A quantificação do uso foi realizada através da porcentagem de ocorrência de determinado uso em uma determinada área incremental. Desta forma, é possível avaliar a importância relativa do uso em questão entre as seções de controle. A avaliação dos usos dos recursos hídricos relativos a cada seção de controle, teve como referência cenário decorrente da não aplicação de medidas de despoluição, ao longo do horizonte de projeto. Este cenário, denominado de Cenário A, servirá como cenário base de comparação de avaliação de benefícios dos cenários propostos de despoluição.

### 5.2.2.2 Avaliação dos pesos dos recursos hídricos

A avaliação dos pesos dos recursos hídricos proposta por MARIN (2001), foi obtida por consenso entre técnicos e especialistas da SUDERHSA, da CH2M HILL e da RHE que fizeram um ensaio para quantificar os pesos dos usos dos recursos hídricos, os quais variam desde 10 para o caso de abastecimento urbano até 0,5, para o caso da navegação, conforme apresentados no Quadro 5.1.

QUADRO 5.1 – USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS E SEUS RESPECTIVOS PESOS

USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS	PESOS
Abastecimento Urbano	10
Usos ecológicos	8
Abastecimento Industrial	5
Recreação e lazer	3
Irrigação	2
Dessedentação de animais	2
Assimilação de esgoto doméstico	2
Assimilação de esgoto industrial	2
Assimilação de esgoto difuso	2
Piscicultura	2
Geração Hidrelétrica	1
Navegação	0,5

FONTE: Plano de despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (2000) e MARIN (2001).

### 5.2.2.3 Avaliação da importância relativa das seções de controle em função dos usos dos recursos hídricos

Como já explanado, para a identificação dos pesos relativos das seções de controle quanto ao uso dos recursos hídricos em relação a Bacia do Alto Iguaçu, foi relacionado o grau de ocorrência de cada uso do recurso hídrico, na seção de controle estudada, com o respectivo peso do uso dos recursos hídricos. Isto proporcionou que o peso relativo de uma determinada seção de controle fosse composto através do somatório do produto entre a porcentagem de ocorrência do uso “i” na seção de controle pelo peso relativo deste uso, compondo sua pontuação. Cada total de pontos por seção de controle foi dividido pelo somatório dos totais de

pontos de todas as seções de controle que compõem a Bacia do Alto Iguaçu, definindo a importância relativa de cada seção de controle em relação à bacia quanto ao uso do recurso hídrico.

### **5.2.3 Avaliação dos parâmetros de qualidade da água e sua importância relativa**

Conforme considerado anteriormente, para a avaliação da eficiência e dos benefícios das medidas de despoluição hídrica, selecionaram-se os parâmetros de qualidade da água que caracterizavam as diversas fontes poluidoras da bacia hidrográfica e todos os tipos de poluentes que levavam à degradação da qualidade da água.

#### **5.2.3.1 Seleção das variáveis de qualidade da água**

Para a avaliação de benefícios em despoluição hídrica para MARIN (2001) os parâmetros de qualidade selecionados foram o OD, que é considerado um dos parâmetros mais importantes para a manutenção da fauna e flora aquática; a DBO, que avalia a quantidade de matéria orgânica biodegradável presente no corpo d'água; e coliformes fecais, que são indicadores da qualidade bacteriológica da água e estão relacionados com o lançamento de esgotos doméstico. Estes parâmetros caracterizam exclusivamente a matéria orgânica, encontrada predominantemente nos efluentes domésticos. Não obstante, as fontes predominantes de poluição da Bacia do Alto Iguaçu são de origem doméstica, industrial e difusa. Para o presente estudo, adotou apenas os parâmetros OD e DBO.

No estudo de MARIN (2001) os parâmetros de qualidade da água que caracterizam efluentes industriais, como metais pesados, e efluentes difusos, como os sólidos em suspensão, não foram considerados. Isto se deve, ao fato de que os dados de campo relativos a estes parâmetros são praticamente inexistentes nas redes de monitoramento situadas na região em estudo, o que dificultaria em sobremaneira a calibragem do modelo matemático utilizado para a simulação de qualidade da água da Bacia do Alto Iguaçu. Além do mais, segundo os estudos, a

escolha de outros parâmetros ficou restrita também, pois a versão do modelo de qualidade da água, MIKE 11, utilizado para simulação dos níveis de concentração dos poluentes no corpo d'água, não possibilitava a simulação de parâmetros que não estavam em seu "default", como é o caso dos metais pesados, sólidos em suspensão e da demanda química de oxigênio – DQO, entre outros.

### 5.2.3.2 Peso dos parâmetros de qualidade da água

O Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) quantificaram o grau relativo de importância entre o aumento de concentração de oxigênio dissolvido e a redução da concentração da demanda bioquímica de oxigênio com a redução de coliformes fecais no corpo d'água através da atribuição de pesos relativos aos parâmetros de qualidade da água.

Para estes estudos, os pesos relativos adotados para os parâmetros de qualidade de água utilizados na avaliação de benefícios de despoluição hídrica são apresentados no Quadro 5.2.

QUADRO 5.2 – PESOS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA

PARÂMETRO DE QUALIDADE DE ÁGUA	PESO
Oxigênio Dissolvido - OD	0,5
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	0,4
Coliformes Fecais	0,1

FONTE: Plano de despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (2000) e MARIN (2001).

Incluiu-se na metodologia adotada nestes estudos, além da variação da concentração do poluente, o valor final da concentração do parâmetro de qualidade de água após a implementação das medidas de despoluição, atribuindo-se peso maior para aquela redução de concentração que mais se aproximava à concentração final do parâmetro de qualidade da água às faixas de concentração das classes de rios mais nobres. O Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (2000) e MARIN (2001) coloca o seguinte exemplo:

*“Considerar a hipótese de dois rios distintos, A e B, que após a implementação das medidas de despoluição tiveram a concentração de DBO reduzida em 30 mg/l. Considerando ainda que, esta redução leva o rio A, de uma concentração inicial de DBO de 50 mg/l, para a concentração de 20 mg/l e o rio B de uma concentração inicial de DBO de 35 mg/l para 5 mg/l. Portanto, a redução de concentração de DBO de 30 mg/l foi mais relevante no rio B, pois as características de qualidade da água do rio passou da classe 4 para a classe 2, e o rio A, apesar da melhora nas condições de qualidade da água, permanece na classe 4. Logo, deve-se atribuir peso maior à redução de concentração de DBO no rio B em relação ao rio A.”*

Desta forma, foram definidas faixas de concentração do parâmetro de qualidade da água, atribuindo-lhes uma parcela do peso global definido para o parâmetro em questão. Para as faixas que caracterizavam boa qualidade de água, os pesos atribuídos foram superiores aos das faixas que caracterizavam pior qualidade de água. As faixas de concentração dos parâmetros de qualidade da água e os respectivos pesos são apresentados no Quadro 5.3 a seguir, sendo que as faixas de concentração 1, 2, 3 e 4 coincidem respectivamente com os valores de concentrações dos parâmetros de qualidade da água relativa as classes 1, 2, 3 e 4, conforme a Resolução do CONAMA nº 20/86 (CONAMA nº 357/05).

QUADRO 5.3 – PESOS POR FAIXA DE CONCENTRAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO FINAL DO PARÂMETRO APÓS AS INTERVENÇÕES EM DESPOLUIÇÃO HÍDRICA

PARÂMETRO	PESO GLOBAL	PESO POR FAIXA DE CONCENTRAÇÃO					
		FAIXA 1 (CLASSE 1)	FAIXA 2 (CLASSE 2)	FAIXA 3 (CLASSE 3)	FAIXA 4 (CLASSE 4)	FAIXA 5	FAIXA 6
DBO (mg/l)	0,40	1<DBO≤3	3<DBO≤5	5<DBO≤10	10<DBO≤25	25<DBO≤80	DBO>80
		0,40	0,40	0,28	0,14	0,14	0,14
OD (mg/l)	0,50	OD≥6	5≤OD<6	4≤OD<5	2≤OD<4	1≤OD<2	OD<1
		0,50	0,50	0,50	0,25	0,125	0,1
Coliforme Fecal (NMP/100ml)	0,10	0<coli≤ 200	200<coli≤ 1000	1000<coli≤ 4000	4000<coli≤ 50.000	50.000<coli≤ 500.000	coli> 500.000
		0,100	0,100	0,07	0,035	0,035	0,035
Coeficiente de majoração OD	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00

FONTE: Plano de despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (2000) e MARIN (2001).

A aplicação dos pesos dos parâmetros de qualidade da água está condicionada à classe na qual o corpo hídrico se encontra após a aplicação da

medida, desta forma, atribui-se peso maior para aquela redução de concentração que mais aproxima a concentração final do parâmetro de qualidade da água às faixas de concentração das classes de rios mais nobres. Isto como um critério de bonificação do cenário, uma vez que este está se aproximando do enquadramento pretendido. Assim, para as faixas que caracterizam boa qualidade de água, os pesos atribuídos foram superiores aos das faixas que caracterizam pior qualidade de água. A proporcionalidade entre as faixas está indicada no Quadro 5.4.

QUADRO 5.4 – PORCENTAGEM APLICADA AOS PESOS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA

FAIXAS	% APLICADA AO PESO – OXIGÊNIO DISSOLVIDO	% APLICADA AO PESO – DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO
Faixa 1 – Classe 1	100	100
Faixa 2 – Classe 2	100	100
Faixa 3 – Classe 3	100	70
Faixa 4 – Classe 4	50	50
Faixa 5	50	100
Faixa 6	80	100

FONTE: Plano de despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (2000) e MARIN (2001).

O Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) faz uma ressalva para o caso do oxigênio dissolvido. Foi proposta a atribuição de um coeficiente de majoração do peso relativo, como um prêmio àquela medida de despoluição hídrica que proporcionar o acréscimo da concentração de oxigênio dissolvido no rio. Este coeficiente foi aplicado apenas para o rio que anteriormente a medida de despoluição possuía concentração de OD inferior a 2 mg/l, pois a mínima concentração de oxigênio no corpo d'água é fundamental para dar condições de sobrevivência à vida aquática. Diante disto foi considerado o seguinte exemplo:

*“Considerando os rios A e B do exemplo anterior, que após a implementação das medidas de despoluição, numa determinada seção de controle, tiveram a concentração de OD acrescida de 2 mg/l. O acréscimo da concentração do OD leva a seção de controle do rio A, de uma concentração inicial de 3 mg/l, para a concentração de 5 mg/l e a do rio B de uma concentração inicial de 1 mg/l para 3 mg/l. Para o caso da seção de controle do rio A, de acordo com o Quadro 5.2, o peso do OD deve ser 0,5 e para o rio B deve ser 0,25. No entanto, como o rio B antes da intervenção possuía concentração de OD inferior a 2 mg/l, propõe-se a aplicação do coeficiente de majoração igual a 5,00 sobre o*

*peso do OD constante na Quadro 5.3. Logo, o peso do OD para o caso do rio B, a ser considerado na avaliação dos benefícios das medidas de despoluição hídrica, é de 1,25.”*

#### **5.2.4 Quantificação dos benefícios econômicos das intervenções em despoluição hídrica**

As quantificações dos benefícios econômicos relativos às intervenções em despoluição hídrica foram realizadas através de um parâmetro de decisão, denominado de parâmetro Z, como objetivo, identificar o cenário de medidas de despoluição hídrica mais adequado à bacia em estudo, dentro de um horizonte de projeto estabelecido, e principalmente fornecer bases para a hierarquização dos investimentos. Este parâmetro permitiu traduzir em benefícios econômicos as reduções de concentrações de poluentes no corpo d'água função da implementação de medidas de despoluição, levando em conta a importância relativa dos usos dos recursos hídricos da bacia hidrográfica em questão (MARIN, 2001).

Diante disto, o cálculo do parâmetro representa a média ponderada entre as reduções de concentração de poluentes e a importância dos parâmetros de qualidade da água e dos usos dos recursos hídricos de todas as seções de controle da Bacia do Alto Iguaçu. Os benefícios dos cenários de medidas de despoluição foram avaliados, tendo como base de comparação o cenário A, o qual corresponde à situação decorrente da não aplicação de medidas de despoluição hídrica. Assim, a Equação 5.3 representa o cálculo de Z.

$$Z_n = \frac{B_1 \cdot \text{peso}_1 + B_2 \cdot \text{peso}_2 + \dots + B_n \cdot \text{peso}_n}{\text{peso}_1 + \text{peso}_2 + \dots + \text{peso}_n} \quad (5.3)$$

Em que  $Z_n$  corresponde ao benefício quanto à implementação das medidas de despoluição hídrica de um determinado cenário de despoluição, sendo o parâmetro Z representando o benefício de um determinado conjunto de medidas em relação à bacia hidrográfica estudada como um todo; n à seção mais de jusante da área em estudo;  $\text{peso}_i$  ao peso da seção de controle “i” de acordo com a utilização dos recursos hídricos; e  $B_i$  ao benefício localizado na seção de controle “i” quanto à

implementação das medidas de despoluição hídrica de um determinado cenário. Este termo é função da redução de concentração dos parâmetros de qualidade de água e do peso do parâmetro de qualidade da água  $p$ , conforme mostra a Equação 5.4.

$$B_i = \Delta C_{OD}^i \cdot p_{OD}^i + \Delta C_{DBO}^i \cdot p_{DBO}^i + \Delta C_{Coli}^i \cdot p_{Coli}^i \quad (5.4)$$

Em que  $\Delta C_i$  corresponde à redução da concentração do poluente na seção “i”, relativo aos parâmetros oxigênio dissolvido – OD, demanda bioquímica de oxigênio – DBO e coliforme fecal – Coli; e  $p$  ao peso do parâmetro de qualidade da água, sendo  $p_{OD}$  o peso do oxigênio dissolvido,  $p_{DBO}$  o peso da demanda bioquímica de oxigênio e  $p_{Coli}$  o peso do coliforme fecal.

A redução da concentração dos poluentes foram transformados em uma mesma escala, uma vez que a variação do oxigênio dissolvido (OD) era de 0 a 10 mg/l, da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) era de 0 a 100 mg/l, e dos coliformes fecais era de 0 a 1.000.000 NMP/100ml. Isto possibilitou que os três parâmetros fossem articulados em conjunto, ou seja, pudessem ser somados. Assim, a redução da concentração para o oxigênio dissolvido (OD) corresponde a Equação 5.5, para a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) corresponde a Equação 5.6, e para os coliformes fecais correspondem a Equação 5.7.

$$\Delta C_{OD}^i = \frac{|(C_{OD\ final}^i - C_{OD\ inicial}^i)|}{1} \quad (5.5)$$

$$\Delta C_{DBO}^i = \frac{|(C_{DBO\ final}^i - C_{DBO\ inicial}^i)|}{100} \quad (5.6)$$

$$\Delta C_{Coli}^i = \frac{|(C_{Coli\ final}^i - C_{Coli\ inicial}^i)|}{1.000.000} \quad (5.7)$$

Em que  $C$  corresponde a concentração de cada parâmetro de qualidade da água, cada qual em sua unidade padrão.

Com relação aos pesos dos parâmetros de qualidade da água considerados, estes devem necessariamente somar 1 para cada seção de controle “i”, conforme expresso na Equação 5.8 a seguir.

$$P_{OD}^i + P_{DBO}^i + P_{Coli}^i = 1 \quad (5.8)$$

Uma vez calculado o valor de Z, é necessário perceber que este é um valor futuro, considerado no final do horizonte de projeto, assim, MARIN (2001) propôs que este valor fosse trazido ao valor presente, possibilitando a comparação dos benefícios em despoluição hídrica, conforme Equação 5.9.

$$VPL(Z) = \sum_{m=1}^n \frac{Z}{(1+j)^m} \quad (5.9)$$

Em que VPL(Z) corresponde ao valor presente do parâmetro de decisão Z; Z ao valor futuro do parâmetro de decisão Z em relação ao cenário de medidas de despoluição hídrica proposto; j à taxa de juros anual; e m à ordem de cada ano, com m variando de 1 a n (n equivalendo ao horizonte de projeto).

### **5.3 Quantificação monetária dos benefícios econômicos das intervenções em despoluição hídrica**

A quantificação monetária dos benefícios econômicos das intervenções em despoluição hídrica propostos por MARIN (2001) é uma função do parâmetro Z, e de um coeficiente monetário k, uma vez que o parâmetro Z está associado ao fato gerador da mudança das condições físico-químico-biológica dos corpos d'água e do valor de uso dos recursos hídricos perante a sociedade, proporcionando o coeficiente monetário k a dimensão econômica da despoluição hídrica.

MARIN (2001) optou pela aplicação de uma função linear entre o benefício da despoluição hídrica em termos monetários e o parâmetro Z representando o benefício da despoluição hídrica. Desta maneira a função Benefício B, em termos monetários, é representada pela Equação 5.10.

$$B = k * Z \quad (5.10)$$

Em que B corresponde ao benefício da despoluição hídrica em termos monetários (R\$); k ao coeficiente monetário (R\$/Z); e Z ao parâmetro de decisão que representa o benefício da despoluição hídrica.

MARIN (2001) define o coeficiente monetário com base na meta relativa aos objetivos de qualidade pretendida pelo enquadramento dos corpos hídricos. Ressaltaram que, muitas vezes a meta é determinada por lei, visando o enquadramento dos corpos hídricos a uma classe específica, na qual atende aos múltiplos usos dos recursos hídricos. Diante disto, propuseram um cenário de medidas que proporcione seu alcance, obtendo assim, um valor do parâmetro Z.

Este cenário correspondeu ao cenário ideal, proporcionando o cálculo de  $Z_{ideal}$ . Sendo assim, entendeu-se que, uma vez atingida a meta proposta, com a implantação de cenário ideal de medidas de despoluição, não haverá mais incentivo a investir em despoluição hídrica. Logo, nesta situação, o parâmetro de decisão Z é definido como o parâmetro  $Z_{ideal}$  e a relação Benefício/Custo (B/C) do cenário ideal é igual a um. Os Gráficos 5.1 e 5.2 ilustram estas relações.

GRÁFICO 5.1 – BENEFÍCIO E CUSTO DO CENÁRIO IDEAL

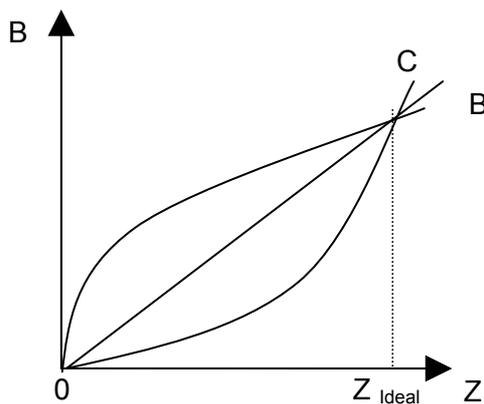
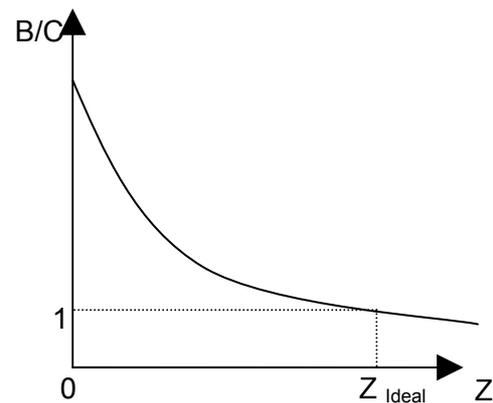


GRÁFICO 5.2 – RELAÇÃO BENEFÍCIO-CUSTO DO CENÁRIO



FONTE: MARIN (2001).

MARIN (2001) percebeu com o Gráfico 5.1 que no início do Plano de Despoluição Hídrica, onde se alocou a primeira parcela dos recursos financeiros devido à implantação das medidas de despoluição, o grau de redução de

concentração de poluente proporcionou um ganho significativo de benefícios. À medida que se avança no Plano de Despoluição e se implementam as demais medidas que compõem o cenário ideal, os custos aumentam de forma acentuada. O encontro das duas curvas corresponde ao valor do  $Z_{ideal}$ .

Consideraram também que o Gráfico 5.2, a relação B/C no início das intervenções era muito superior à unidade, porém havia uma tendência a diminuir ao longo do horizonte de projeto até alcançar a unidade. Desta forma, a relação B/C igual a um representa a situação em que a meta de despoluição hídrica foi satisfeita. Concluindo que, a partir desta situação qualquer ganho de benefício não compensaria os investimentos realizados.

Desta forma, a obtenção do coeficiente monetário  $k$  ocorreu considerando a implantação do cenário ideal para o atendimento da meta de despoluição hídrica proposta, conforme Equação 5.10, resultando na Equação 5.11.

$$\frac{B}{C} = 1 \therefore B = C$$

$B = C = k.Z$ , logo, para a situação da implantação do cenário ideal, tem-se:

$$k = \left( \frac{C}{Z_{ideal}} \right) \quad (5.11)$$

Em que  $k$  corresponde ao coeficiente monetário (R\$/Z);  $C$  ao custo do cenário ideal de despoluição hídrica (R\$); e  $Z_{ideal}$  ao parâmetro  $Z$  para o cenário ideal de despoluição hídrica.

#### **5.4 Contribuições à metodologia de desenvolvimento do algoritmo de avaliação de benefícios e custos de despoluição hídrica proposta por MARIN (2001)**

Visando observar o erro produzido no parâmetro  $Z$  proposto por MARIN (2001) acarretado pela ausência ou pela falta de consistência de uma calibração do

modelo de qualidade da água, foram realizadas algumas considerações a cerca do parâmetro Z.

O modelo matemático utilizado para o cálculo das concentrações dos parâmetros utilizados no cálculo do parâmetro Z foi o MIKE 11, conforme exposto no capítulo 4 desta dissertação. Porém, tendo em vista a possibilidade dos Comitês de bacias utilizarem ferramentas minimizando custos de investimentos em softwares, foi proposto a alimentação do modelo matemático QUAL2E com os dados utilizados no modelo MIKE 11, sem proporcionar a calibração dos mesmos. Salienta-se que o modelo matemático QUAL2E está disponível gratuitamente no site da EPA - Environmental Protection Agency, enquanto o MIKE 11 é comercializado pela DHI Water and Environment.

Diante disto, passou-se a analisar três aspectos distintos utilizados no cálculo do parâmetro Z. Primeiramente, trabalhou-se com a alteração dos pesos dos parâmetros de qualidade da água, pois para este estudo foi considerado apenas o oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), havendo a necessidade de redistribuição dos mesmos apenas para dois parâmetros, diferentemente do proposto pelo Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001), uma vez que, dentro da concepção do modelo, a somatória dos pesos dos parâmetros de qualidade da água deve ser constante e igual a um.

Um segundo aspecto trabalhado foi com relação ao cálculo das reduções de concentração dos parâmetros de qualidade da água. Neste sentido, foram propostas outras formas de cálculo das reduções de concentração dos parâmetros de qualidade da água.

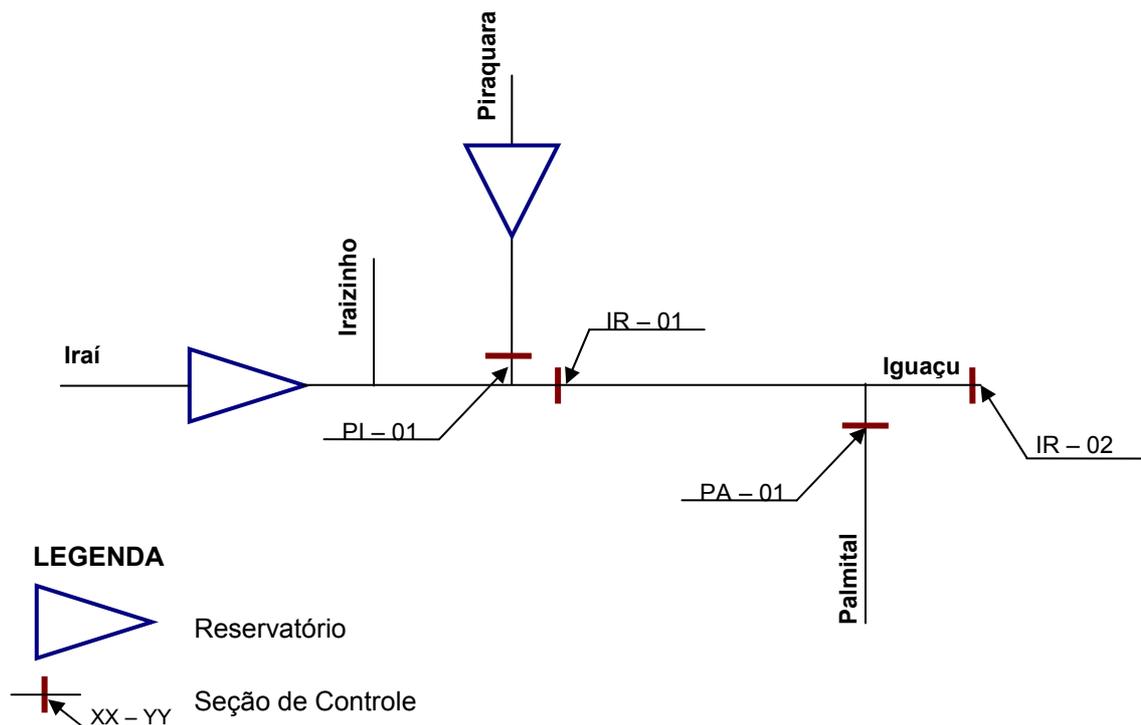
Por fim, o terceiro aspecto analisado corresponde ao fator de majoração aplicado ao oxigênio dissolvido (OD). Como resultado, teve-se a hipótese de alterar o valor ou mudar o critério de aplicação. Estes aspectos serão descritos nos itens a seguir.

### 5.4.1 Considerações iniciais

Este estudo foi desenvolvido em cima de uma área menor do que a utilizada pelo Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001). Estes abrangeram a Bacia do Alto Iguaçu, enquanto aquele se limitou as áreas de manancial presentes no início da Bacia do Alto Iguaçu.

Assim, para o estudo de caso em tela foi considerada a possibilidade de quantificar os benefícios em pontos determinados da bacia, para tal foram definidas seções de controle de forma a possibilitar a análise nos pontos críticos, como exemplo na foz do rio Palmital. O diagrama 5.1 corresponde ao diagrama topológico e apresenta as seções de controle consideradas.

DIAGRAMA 5.1 – DIAGRAMA TOPOLÓGICO DA ÁREA DO ESTUDO DE CASO, IDENTIFICANDO AS SEÇÕES DE CONTROLE CONSIDERADAS



FONTE: O Autor.

Foram consideradas para o estudo, quatro seções de controle, correspondendo às seções PI-01, IR-01, PA-01 e IR-02 presentes no estudo de

MARIN (2001). Uma vez que a área considerada é menor houve a necessidade de adequação dos pesos relativos das seções de controle. Isto ocorreu de forma que se levantou cada usos dos recursos hídricos para as seções consideradas, adotando que o somatório da nova área, referente a cada uso, corresponderia à totalidade de cada uso, permitindo que para cada seção fosse definido um peso relativo. Assim, a Tabela 5.1 apresenta os pesos relativos de cada seção de controle considerada, para os anos analisados.

TABELA 5.1 – PESO DAS SEÇÕES DE CONTROLE

SEÇÃO	2010	2025	2020
PI – 01	0,4894	0,4889	0,4889
IR – 01	0,3650	0,3621	0,3621
PA – 01	0,0847	0,0880	0,0880
IR – 02	0,0610	0,0610	0,0610
TOTAL	1,00	1,00	1,00

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

#### 5.4.2 Peso dos parâmetros de qualidade da água

Ressalta-se que os pesos dos parâmetros de qualidade de água devem refletir a importância relativa entre todos os parâmetros avaliados. Desta forma, os pesos quantificarão a importância da redução ou ganho de concentração de um determinado parâmetro de qualidade de água em relação aos outros parâmetros utilizados na avaliação de benefícios de medidas de despoluição hídrica. Assim, visando obter a sensibilidade da influência de cada parâmetro de qualidade da água no cálculo do benefício econômico utilizou seis hipóteses de ponderação para o oxigênio dissolvido (OD) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), conforme definido no Quadro 5.5.

QUADRO 5.5 – PESOS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA (DIVERSAS HIPÓTESES)

PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA	PESO – OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)	PESO – DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)
Hipótese 1	0	1
Hipótese 2	0,2	0,8
Hipótese 3	0,4	0,6
Hipótese 4	0,6	0,4
Hipótese 5	0,8	0,2
Hipótese 6	1	0

FONTE: O autor.

### 5.4.3 Variação de concentração

Considerando a hipótese contida no estudo de MARIN (2001) no qual o parâmetro Z era adimensional, foram levantadas três possibilidades para o seu cálculo. A primeira seria a adotada por MARIN (2001), conforme explanado no item 5.2.4.

A segunda corresponderia à variação relativa do parâmetro, ou seja, a diferença da concentração final com a inicial em relação à concentração inicial, conforme as equações 5.12 e 5.13 a seguir.

$$\Delta C_{OD}^i = \frac{(C_{OD_{final}} - C_{OD_{inicial}})}{C_{OD_{inicial}}} \quad (5.12)$$

$$\Delta C_{DBO}^i = \frac{(C_{DBO_{final}} - C_{DBO_{inicial}})}{C_{DBO_{inicial}}} \quad (5.13)$$

A terceira consideração foi feita buscando visualizar o efeito da variação do parâmetro de forma objetiva, assim, pretendendo manter a adimensionalidade do parâmetro Z, a variação das concentrações dos parâmetros de qualidade da água foi dividida por uma unidade de concentração, possibilitando a anulação das unidades. Esta variação corresponde à diferença absoluta do valor da concentração final e inicial dividido por um valor de concentração igual a um para todos os cenários, isto

para proporcionar equivalência nas concentrações. A variação das concentrações está representada nas Equações 5.14 para o oxigênio dissolvido (OD) e 5.15 para a demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

$$\Delta C^i_{OD} = \frac{|(C_{OD_{final}} - C_{OD_{inicial}})|}{1 \left( \frac{mg}{l} \right)} \quad (5.14)$$

$$\Delta C^i_{DBO} = \frac{|(C_{DBO_{final}} - C_{DBO_{inicial}})|}{1 \left( \frac{mg}{l} \right)} \quad (5.15)$$

#### 5.4.4 Coeficiente de majoração aplicado ao oxigênio dissolvido (OD)

MARIN (2001) fez uma consideração com relação ao oxigênio dissolvido (OD), uma vez que apresenta variação muito pequena, desta forma observou-se que para o corpo hídrico ganhar oxigênio dissolvido (OD) ele necessita fazer maior “força”. Para tal situação, foi proposta a atribuição de um coeficiente de majoração do peso relativo, como um prêmio àquela medida de despoluição hídrica que proporcionar o acréscimo da concentração de oxigênio dissolvido (OD) no rio. Para fins da análise deste estudo, se consideraram três possibilidades. A primeira é baseada no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) que propôs a utilização do coeficiente de majoração apenas para o rio que anteriormente a medida de despoluição possuía concentração de OD inferior a 2 mg/l.

A segunda possibilidade corresponde a aplicação do coeficiente de majoração para todos os casos uma vez que estamos analisando parâmetros inversamente proporcionais (oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio) e possuem escalar de variação diferentes.

Por fim, uma terceira possibilidade foi considerada, e esta consiste em aplicar o coeficiente de majoração cada vez que é produzida mudança de faixa.

Dentro deste aspecto, foi proposta a alteração do valor do coeficiente, conforme Quadro 5.6.

QUADRO 5.6 – FATOR DE MAJORAÇÃO DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO

POSSIBILIDADE	FATOR DE MAJORAÇÃO APLICADO NO OD
MARIN (2001)	5,00
Possibilidade 1	2,00
Possibilidade 2	1,00

FONTE: O autor.

## 5.5 Avaliação do benefício econômico da receita da venda da água

Uma hipótese para a avaliação do benefício da implementação de medidas de despoluição corresponde a disponibilidade do recurso hídrico em qualidade adequada para o consumo humano. Desta forma, destaca-se a viabilidade de comercialização do recurso hídrico para o abastecimento urbano.

### 5.5.1 Consideração sobre vazões

Esta metodologia visa a captação da água na exultória da bacia considerada, de tal forma que a limitação quanto à captação estaria apenas na qualidade da água apresentada nesta seção de controle.

Foi estabelecida no Quadro 5.7 a porcentagem da vazão que pode ser utilizada em relação à concentração do parâmetro demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

QUADRO 5.7 – RELAÇÃO DE DBO X VAZÃO COMERCIALIZADA

DBO (MG/L)	VAZÃO COMERCIALIZADA
DBO > 25	-
10 < DBO < 25	0,2 Q
5 < DBO < 10	0,6 Q
DBO < 5	Q

FONTE: O Autor.

Para o estudo foram consideradas as vazões de 95% e 80% de permanência e a vazão média de longo período. Assim, as vazões que podem ser comercializadas, para cada caso na exultória da bacia, estão definidas no Quadro 5.8.

QUADRO 5.8 – VAZÕES COMERCIALIZADAS PARA CADA CASO

VAZÃO	QUANTIDADE	UNIDADE
Q <sub>95%</sub>	3,90x10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Q <sub>80%</sub>	5,99x10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Q <sub>MLP</sub>	26,07x10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>

FONTE: O autor.

### 5.5.2 Considerações sobre tarifa da água

A área considerada para este estudo compreende parte da Região Metropolitana de Curitiba, a qual apresenta como empresa de saneamento a SANEPAR. Assim, foi levantado o valor da tarifa aplicada pela empresa, fazendo as ressalvas quanto ao pagamento da tarifa mínima. A tarifa praticada pela companhia de saneamento é de R\$ 1,64/ m<sup>3</sup>. Ressalta-se que para este caso não se considera o número de ligações, mas sim a vazão disponibilizada para a venda. A empresa cobra de seus usuários uma tarifa mínima equivalente a 10m<sup>3</sup>, porém isto não foi considerado nos cálculos.

### 5.5.3 Avaliação do benefício da receita da venda da água

Na avaliação do benefício econômico da receita é considerada a vazão a qual é possível a comercialização. Assim, cada cenário terá um benefício próprio. O benefício é calculado conforme a Equação 5.16 representada a seguir.

$$B = Q * T * FC \quad (5.16)$$

Em que B corresponde ao benefício ou Quantificação econômica (US\$); Q à vazão comercializada – f(concentração da demanda bioquímica de oxigênio); e T à tarifa SANEPAR (R\$/m<sup>3</sup>); FC ao fator de conversão monetária.

O fator de conversão monetária considerada neste estudo é de R\$ 2,20 (dólar do dia 14/11/2005).

## **5.6 Análise crítica do capítulo**

A água é tida como um direito de todos, com valor econômico, seguindo critérios sociais, econômicos e ambientais para sua distribuição. Diante disto, coloca-se a necessidade de avaliações de sustentabilidade frente aos seus usos.

Assim, este capítulo possibilitou uma análise das metodologias de avaliação dos benefícios da implantação de medidas de despoluição hídrica. Isto se tornou relevante, uma vez que este estudo tem como objetivo principal a avaliação da calibração de modelos matemáticos de qualidade da água utilizada como instrumento na análise econômica da implementação de medidas em despoluição hídrica.

Ressalta-se a necessidade de trabalhar com dados calibrados, uma vez que, se os dados não são confiáveis estaremos lidando com valores que não representam a realidade, estando muito longe das metas de despoluição pretendidas e estipuladas pela lei.

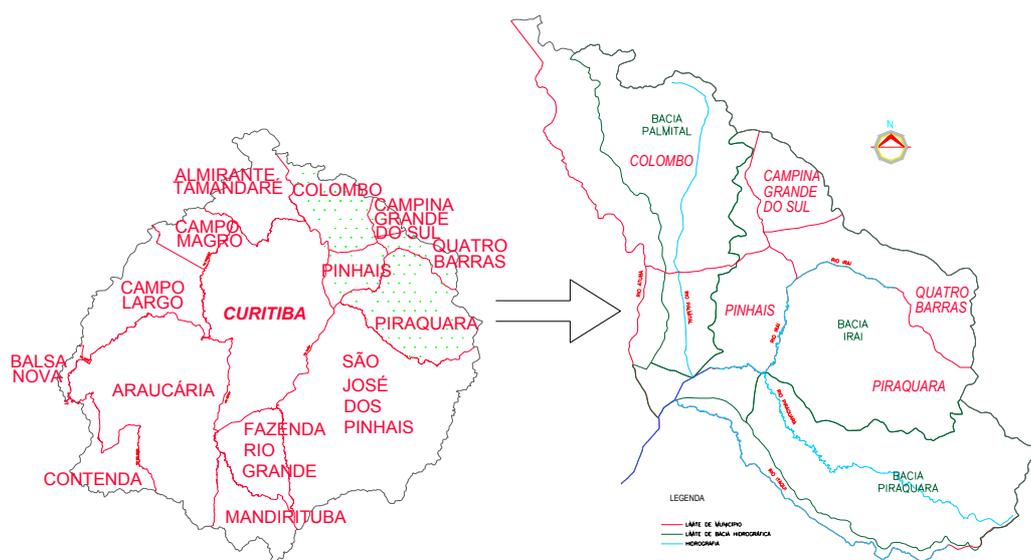
## CAPÍTULO 6

### AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO IRAÍ, IRAIZINHO, PIRAQUARA E PALMITAL

#### 6.1 Características das Bacias

O estudo de caso compreende uma área de aproximadamente 395 km<sup>2</sup>, englobando as bacias do rio Iraí, Iraízinho, Piraquara e Palmital, que correspondem a uma parte das bacias de mananciais da Região Metropolitana de Curitiba, conforme representação na Figura 6.1. Salienta-se que estas bacias estão localizadas em um ponto estratégico, correspondendo à área de influência da Serra do Mar, apresentando altíssimos níveis de precipitação pluviométrica, caracterizando por apresentarem altas vazões específicas, além também, de terem seu barramento em pontos mais afastados e a vazão regularizada alcança o ponto de captação, que se situa dentro da cidade de Curitiba, percorrendo o próprio leito do rio, sendo, portanto uma opção bastante econômica.

FIGURA 6.1 – LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO EM ESTUDO



FONTE: Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (2000).

Diante do exposto, apresentam-se as características de cada bacia do estudo.

### 6.1.1 Iraí

A bacia do rio Iraí é composta por uma área de 145 km<sup>2</sup>, com extensão do rio principal correspondendo a 21 km. Abriga uma população de 69.009 habitantes, cerca de 4,1% do total da bacia do Alto Iguaçu. Apresenta como características densidade de drenagem de 0,43 km<sup>-1</sup>; tempo de concentração de 5,36 h; coeficiente de capacidade de 1,28; fator de forma de 0,38; extensão média do escoamento superficial de 0,74 km; ordem do rio igual a 5 e sinuosidade de 1,17; vindo a formar no encontro com o rio Palmital o rio Iguaçu, conforme Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

Esta bacia apresenta uma Área de Proteção Ambiental (APA), constituindo um importante instrumento de controle de uso do solo, em especial por se tratar de área de manancial, tendo o seu zoneamento ecológico definido através de legislação federal – Resolução CONAMA nº 10/88, conforme o Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005). Esta APA tem sido utilizada, dentro da política metropolitana, como elemento chave na preservação da bacia, uma vez que abriga reservatório para abastecimento público de água, no qual o nível de restrição às atividades humanas são maiores dada a susceptibilidade de contaminação e eutrofização do reservatório. A APA do Iraí abrange uma área de 11.536 ha, tendo sido criada pelo Decreto Estadual nº 1.753, de 6/5/1993.

Na APA do Iraí foi desenvolvido a partir de um estudo de zoneamento em 2000 pelo consórcio SOGREAH-COBRAPE, no qual foi definido uma estratégia de intervenção para a implantação de um modelo técnico de zoneamento de uso e ocupação do solo.

Assim, são estabelecidas na APA as seguintes áreas: de restrição à ocupação, de ocupação orientada, de urbanização consolidada e rurais. Num nível de maior detalhamento, o zoneamento ecológico-econômico abrange, em linhas gerais, as zonas de: uso diversificado, expansão especial, chácaras, corredores de uso especial, industriais especiais, de conservação de mata nativa, especiais de

fundos de vales, de preservação, conservação da vida silvestre, de represa e de uso agropecuário.

Para cada uma dessas zonas são definidas as atividades e os usos permitidos, permissíveis, proibidos e determinados os parâmetros de ocupação, com isso possibilitando a avaliação da ocupação futura e numa eventual saturação.

Desta forma, tem-se o uso do solo voltado predominantemente para a agricultura, desde as nascentes até a foz, com a presença do uso como floresta nos dois primeiros tramos, sendo que nos demais apenas está presente o uso com a agricultura e uso urbano. A exploração agrícola de maior expressão na bacia é a Colônia Faria, que por tradição não tem uso intensivo de agrotóxicos. Como resultado desta ocupação tem-se na região das nascentes uma menor quantidade de carga orgânica, uma vez que o uso agrícola, conforme os parâmetros estabelecidos pelo consórcio formado pelo institutos dinamarqueses de hidráulica e de geografia DHI (Danish Hydraulic Institute), VKI (Von Karman Institute) em parceria com a Intertechne (1997), gera uma carga orgânica de 5 mg/l, inferior aos demais usos.

No rio principal localiza-se uma barragem da SANEPAR, de captação de água para consumo humano, que pertencente ao sub-sistema produtor Tarumã, com captação para atendimento doméstico equivalente a 1,5 m<sup>3</sup>/s (Figura 6.2). Este sistema produtor, somado ao sub-sistema Iguaçu, Passaúna e aquíferos Karst, juntamente com alguns outros “pequenos sistemas” formam o sistema integrado. Este vindo a atender a totalidade dos municípios de Curitiba, São José dos Pinhais, Araucária e Fazenda Rio Grande. Isto posto, salienta-se sua importância e por conseqüência a necessidade de maiores cuidados, pois com a construção do Contorno Leste a pressão nesta área aumentou, uma vez que o mesmo corta a bacia transversalmente, a montante da barragem, assim é necessário evitar acidentes que possam contaminar as águas da barragem.

FIGURA 6.2 – RESERVATÓRIO DO RIO IRAÍ,  
FORMADO PELA BARRAGEM DO  
RIO IRAÍ



FONTE: Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (2000).

Outro usuário relevante, além da barragem está relacionado à fonte doméstica correspondendo ao Ralf da Penitenciária Central do Estado, que atende uma população carcerária da ordem de 1500 presos, com vazão de 3,89 l/s, carga de 30,78 kgDBO/dia e eficiência de 71%, que acaba por lançar seus efluentes na bacia do rio Iraízinho. A jusante da barragem a coleta de esgoto sanitário é levado para ETE Atuba Sul, desta forma tenta-se preservar a área de manancial.

Com relação a indústria, encontra-se nesta bacia a Popasa Pottinga Papéis S/A, cuja atividade pertence ao ramo de celulose. Esta indústria capta cerca 8,7 l/s do rio Iraí e lança um efluente com vazão de 12,8 l/s, correspondendo a uma com carga de 15,3 kgDBO/dia. Na cabeceira do rio Curralinho, um dos formadores de Iraí, existe atividade de mineração o que estimula a ocupação desordenada da área.

### 6.1.2 Iraízinho

A bacia do rio Iraízinho é composta por uma área de 53 km<sup>2</sup>, com extensão do rio principal correspondendo a 19 km. Abriga uma população de 70.129 habitantes, cerca de 4,17 % do total da bacia do Alto Iguaçu, fornecendo uma vazão mínima de 156 l/s.

A bacia do rio Iraízinho é considerada área de manancial da Região Metropolitana de Curitiba. O uso do solo é voltado predominantemente para a agricultura nos dois primeiros tramos, com um pequeno uso urbano, enquanto que no último tramo o uso urbano residencial apresenta-se predominante, uma vez que abriga a cidade de Piraquara.

Na bacia do Iraízinho tem-se a presença de alguns Ralf's. O primeiro considerado é o Ralf da Sede Piraquara, com uma vazão de 30 l/s, carga total de 346,8 kgDBO/dia, apresentando uma eficiência de remoção de carga de 80%. Em seguida foram considerados o Ralf da Colônia Penal Agrícola, o Ralf Santa Mônica, o Ralf São Roque I, o Ralf São Roque II e o Ralf Vila Macedo, correspondendo a uma vazão de 35 l/s, com carga de 621,0 kgDBO/dia e eficiência de 80%.

Para a bacia do rio Iraízinho, dado o uso do solo nas nascentes ser predominantemente agrícola e a carga difusa ser função do uso do solo, tem-se concentração de matéria orgânica em menor quantidade, pois o uso agrícola, conforme os parâmetros estabelecidos pelo consórcio formado pelos institutos dinamarqueses de hidráulica e de geografia DHI (Danish Hydraulic Institute), VKI (Von Karman Institute) em parceria com a Intertechne (1997) gera uma carga orgânica de 5 mg/l, inferior aos demais usos. Já na foz desta bacia tem-se como predominante o uso urbano residencial, o qual apresenta uma concentração de 18 mg/l, superior ao uso agrícola caracterizado nas nascentes.

### **6.1.3 Piraquara**

A bacia do rio Piraquara é composta por uma área de 102,21 km<sup>2</sup>, com extensão do rio principal correspondendo a 34 km. Apresenta como características densidade de drenagem de 0,52 km<sup>-1</sup>; tempo de concentração de 0,80 h; coeficiente de capacidade de 1,35; fator de forma de 0,12; extensão média do escoamento superficial de 0,48 km; ordem do rio igual a 4 e sinuosidade de 1,32; vindo a desaguar no rio Iraí, conforme Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al* – 2005).

Para este estudo de caso, baseado nos dados pertinentes no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) não apresenta nenhum habitante, por conseqüência não apresentará carga doméstica ou industrial.

Apenas irá constar um reservatório (Figura 6.3) da SANEPAR, pertencente ao sistema Iguaçu, no qual possibilita uma captação de  $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$ .

FIGURA 6.3 – RESERVATÓRIO DO RIO CAYUGUAVA (PIRAQUARA I)



FONTE: Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (2000).

A bacia do rio Piraquara é considerada área de manancial da Região Metropolitana de Curitiba. O uso do solo voltado predominantemente para floresta e pântano, na região das nascentes, correspondendo a 42% da área da bacia. Enquanto na região da foz, o uso se caracteriza pela agricultura, com 58% da área da bacia.

Esta bacia, dado o uso do solo nas nascentes ser predominantemente floresta e pântano e a carga difusa ser função do uso do solo, tem-se concentração de matéria orgânica em maior quantidade, pois este uso, conforme os parâmetros estabelecidos pelo consórcio formado pelo institutos dinamarqueses de hidráulica e de geografia DHI (Danish Hydralic Institute), VKI (Von Karman Institute) em parceria com a Intertechne (1997) gera uma carga orgânica de  $7 \text{ mg/l}$ , superior que o uso agrícola apresentado na foz, que gera uma carga orgânica de  $5 \text{ mg/l}$ .

#### 6.1.4 Palmital

A bacia do rio Palmital é composta por uma área de  $95 \text{ km}^2$ , com extensão do rio principal correspondendo a 24 km. Abriga uma população de 162.761 habitantes,

cerca de 5,4% do total da bacia do Alto Iguaçu. Apresenta como características densidade de drenagem de  $0,71 \text{ km}^{-1}$ ; tempo de concentração de 4,85 h; coeficiente de capacidade de 1,65; fator de forma de 0,20; extensão média do escoamento superficial de 0,35 km; ordem do rio igual a 3 e sinuosidade de 1,14; apresentando uma vazão mínima de 372 l/s, vindo a formar no encontro com o rio Iraí o rio Iguaçu, conforme Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al* – 2005).

Esta bacia apresenta uma ocupação desordenada, vindo a receber diversas contribuições de esgoto de áreas densamente povoadas, tais como Vila Zumbi junto à BR-116 onde cerca de 2.000 habitações não dispõe de estrutura de coleta e tratamento de esgoto, bem como ocupações irregulares nas margens do rio. O carreamento de esgoto e lixo existente em galerias pluviais e valetas de drenagem nas etapas iniciais de chuvas, especialmente após períodos de estiagem, provocam grandes alterações na qualidade da água, chamado de efeito valetão. Isto posto, esta bacia deixou de ser utilizada para abastecimento público, sendo construído um canal paralelo, visando minimizar os efeitos de cheias e possibilitando a separação das águas provenientes dos rios mais a montante, que apresentam melhor qualidade de água para abastecimento.

Quanto à ocupação da bacia pode-se considerar que na nascente do rio principal tem-se uma ocupação baixa, com o uso do solo voltado predominantemente para a agricultura. A agricultura está presente nas demais áreas da bacia, mas em proporções menores. Nas porções mais de jusante da bacia, o uso do solo é predominantemente urbano de alta densidade, cortando o município de Colombo na Região Metropolitana de Curitiba. Nesta região está presente 76,1% da população total da bacia, compreendendo uma área de 42,4% da área total da bacia. É importante destacar a presença da estação de tratamento de esgoto ETE Guaraituba, representando um grande usuário, com uma vazão de 79 l/s, carga total de 1.455 kgDBO/dia, apresentando uma eficiência de remoção de carga de 80%. Com relação a presença de indústrias não é possível citar nenhuma de grande porte que mereça maior atenção, uma vez que a pouco tempo esta era considerada área de manancial, apresentando certo desinteresse pelas indústrias ali se fixarem.

Para a bacia do rio Palmital, dado o uso do solo nas nascentes ser predominantemente agrícola e a carga difusa ser função do uso do solo, tem-se concentração de matéria orgânica em menor quantidade, pois o uso agrícola,

conforme os parâmetros estabelecidos pelo consórcio formado pelo institutos dinamarqueses de hidráulica e de geografia DHI (Danish Hydraulic Institute), VKI (Von Karman Institute) em parceria com a Intertechne (1997) gera uma carga orgânica de 5 mg/l, inferior aos demais usos. Já na foz desta bacia tem-se como predominante o uso urbano de alta densidade, englobando parte da cidade de Colombo, a qual apresenta uma concentração de 11 mg/l, superior ao uso agrícola caracterizado nas nascentes.

## **6.2 Cenários considerados**

Este estudo tem por base os cenários propostos no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001), sendo selecionados os cenários A, C e Ideal.

O estudo foi desenvolvido considerando cenários distintos que permitiram visualizar a situação futura com maior clareza e viabilizar a necessidade de implantação de ações propostas e de tomada de decisões. Os cenários identificam não apenas a possibilidade de uma série de novos eventos, em decorrência de um conjunto de condicionantes, mas também o seu impacto e risco, sendo bastante úteis na formulação de estratégias de implantação de medidas. Assim, os cenários projetam as formas como as decisões estratégicas interagem com os eventos, de modo a ilustrar um possível futuro, através do detalhamento desses acontecimentos, conduzindo a situações específicas potenciais.

No primeiro cenário analisado, o cenário A, toma-se por referência a alternativa de não se implantar nenhuma nova medida, de forma a se medirem as proposições que forem feitas nos demais cenários estudados. A base da definição de um programa de ação fica então estabelecida através da análise de diversos cenários propostos, comparando-os com um cenário tendencial, que chamamos de prognóstico.

No segundo cenário considerado corresponde ao cenário C, proposto no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001), no qual se implementam um conjunto de medidas de despoluição hídrica.

Para a aplicação do parâmetro Z (MARIN, 2001), faz-se necessário a definição de um cenário ideal, o qual se implementam um conjunto de medidas as quais permitirão o enquadramento do rio na classe definida na lei. Diante disto, foi formulado o cenário ideal 1, baseado no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001).

Da análise dos resultados das concentrações obtidas no cenário ideal 1, foi possível perceber que o conjunto de medidas propostas possibilitava o enquadramento das bacias estudadas na classe 1, o que correspondia a uma situação além da definida em lei, que seria o enquadramento na classe 2. Foi formulado um outro cenário ideal, de tal sorte que possibilitasse um custo menor e se alcançasse a definição da classe 2, este foi denominado de cenário ideal 2.

Dentro deste contexto, foram realizadas as simulações no modelo QUAL2E (EPA, 1995), proporcionando a obtenção dos dados das concentrações dos parâmetros de qualidade da água analisados.

A seguir é exposta a consideração feita para cada cenário simulado, apresentando os gráficos das simulações para os anos de 2010, 2015 e 2020, ressaltando-se que o cenário de referência para a análise da qualidade da água é o cenário A, no qual não são implementadas medidas em despoluição hídrica.

### **6.2.1 Cenário A**

O Cenário A constitui a situação básica em que não serão implantadas novas medidas de despoluição hídrica nos rios da área em estudo para todos os anos considerados, a saber, 2010, 2015 e 2020, apenas serão aplicadas as medidas já previstas pelo PROSAM e outros programas existentes. Considera-se, dessa maneira, o aumento das contribuições de cargas poluidoras lançadas nos rios, em decorrência do crescimento da população e do setor industrial, sem a contrapartida da aplicação de novas medidas. Prevêem-se, apenas a manutenção da operação e a utilização da capacidade máxima das unidades dos sistemas de esgoto sanitário e de tratamento de efluentes industriais existentes, assim como a não eliminação de ligações irregulares de esgoto, e a permanência das atividades atuais de varrição

das ruas, com a utilização de varredeiras de baixa eficiência, na redução da carga de poluição difusa.

Com isto foi possível definir o cenário futuro dos rios no caso de não serem implementadas novas medidas em despoluição hídrica. Este vai servir de referência para o cálculo do parâmetro Z. O Quadro 6.1 a seguir apresenta as considerações básicas feitas para o Cenário A.

QUADRO 6.1 – CONSIDERAÇÕES BÁSICAS FEITAS PARA O CENÁRIO A

MEDIDAS	PREMISSAS
Coleta de esgoto doméstico	Não são previstas ações para a eliminação de ligações clandestinas de esgoto, porém prevê-se a implantação de novos trechos de rede coletora, visando manter o nível atual do atendimento por esse serviço.
Tratamento de esgoto doméstico	Não são implantadas novas obras e as estações de tratamento de esgoto (ETEs) existentes são exploradas até o alcance de suas capacidades nominais.
Tratamento de efluentes industriais	Para as indústrias existentes é mantido o nível de tratamento atualmente verificado. Para novas indústrias são implantadas unidades de tratamento de efluentes apenas suficientes para manter, ao longo do tempo, o nível de tratamento atual.
Varrição	Fica mantida a situação atual dos serviços prestados, sem aumento da área atendida e sem melhoria na eficiência da varrição.

FONTE: Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (2000) e MARIN (2001).

Assim, os Quadros 6.2, 6.3 e 6.4 apresentam a porcentagem da população contemplada com rede coletora de esgoto e a eficiência de tratamento para cada tramo, referente aos anos de 2010, 2015 e 2020, respectivamente.

QUADRO 6.2 – SITUAÇÃO EM CADA TRAMO DO CENÁRIO A EM 2010

continua

TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta_{\text{TRATAMENTO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO
1 (Iraí)	14,7	57,5	Tramo 08 (Iraízinho)
2 (Iraí)	28,3	71	Parte na Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo) e parte no tramo 02
3 (Iraí)	15,4	73	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)
4 (Iraí)	59,7	73	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)
5 (Iraí)	34	77	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
6 (Iraízinho)	-	-	-

QUADRO 6.2 – SITUAÇÃO EM CADA TRAMO DO CENÁRIO A EM 2010

conclusão

TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta_{\text{TRATAMEN TO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO
7 (Iraízinho)	27,2	73	Tramo 07
8 (Iraízinho)	25,7	73	Tramo 07
9 (Iraí)	34	77	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
10 (Piraquara)	-	-	-
11 (Piraquara)	-	-	-
12 (Piraquara)	-	-	-
13 (Piraquara)	-	-	-
14 (Piraquara)	-	-	-
15 (Piraquara)	-	-	-
16 (Iraí)	34	77	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
17 (Palmital)	-	-	-
18 (Palmital)	-	-	-
19 (Palmital)	41,2	80	Tramo 21
20 (Palmital)	-	-	-
21 (Palmital)	37,1	80	Tramo 21
22 (Palmital)	10,5	77	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
23 (Iguaçu)	-	-	-

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

QUADRO 6.3 – SITUAÇÃO EM CADA TRAMO DO CENÁRIO A EM 2015

continua

TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta_{\text{TRATAMEN TO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO
1 (Iraí)	12,1	73	Tramo 08 (Iraízinho)
2 (Iraí)	28,3	71	Parte na Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo) e parte no tramo 02
3 (Iraí)	15,4	79	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)
4 (Iraí)	45,5	79	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)
5 (Iraí)	34	77	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
6 (Iraízinho)	-	-	-
7 (Iraízinho)	27,2	73	Tramo 07
8 (Iraízinho)	28,8	57	Tramo 07
9 (Iraí)	34	77	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
10 (Piraquara)	-	-	-
11 (Piraquara)	-	-	-
12 (Piraquara)	-	-	-

QUADRO 6.3 – SITUAÇÃO EM CADA TRAMO DO CENÁRIO A EM 2015

conclusão

TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta_{\text{TRATAMENTO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO
13 (Piraquara)	-	-	-
14 (Piraquara)	-	-	-
15 (Piraquara)	-	-	-
16 (Iraí)	34	77	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
17 (Palmital)	-	-	-
18 (Palmital)	-	-	-
19 (Palmital)	41,2	80	Tramo 21
20 (Palmital)	-	-	-
21 (Palmital)	37,1	80	Tramo 21
22 (Palmital)	10,5	77	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
23 (Iguaçu)	-	-	-

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

QUADRO 6.4 – SITUAÇÃO EM CADA TRAMO DO CENÁRIO A EM 2020

continua

TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta_{\text{TRATAMENTO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO
1 (Iraí)	10	73	Tramo 08 (Iraízinho)
2 (Iraí)	28,3	71	Parte na Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo) e parte no tramo 02
3 (Iraí)	15,4	79	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)
4 (Iraí)	40,7	79	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)
5 (Iraí)	34	77	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
6 (Iraízinho)	-	-	-
7 (Iraízinho)	27,2	73	Tramo 07
8 (Iraízinho)	28,2	57	Tramo 07
9 (Iraí)	34	77	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
10 (Piraquara)	-	-	-
11 (Piraquara)	-	-	-
12 (Piraquara)	-	-	-
13 (Piraquara)	-	-	-
14 (Piraquara)	-	-	-
15 (Piraquara)	-	-	-
16 (Iraí)	34	77	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
17 (Palmital)	-	-	-
18 (Palmital)	-	-	-

QUADRO 6.4 – SITUAÇÃO EM CADA TRAMO DO CENÁRIO A EM 2020

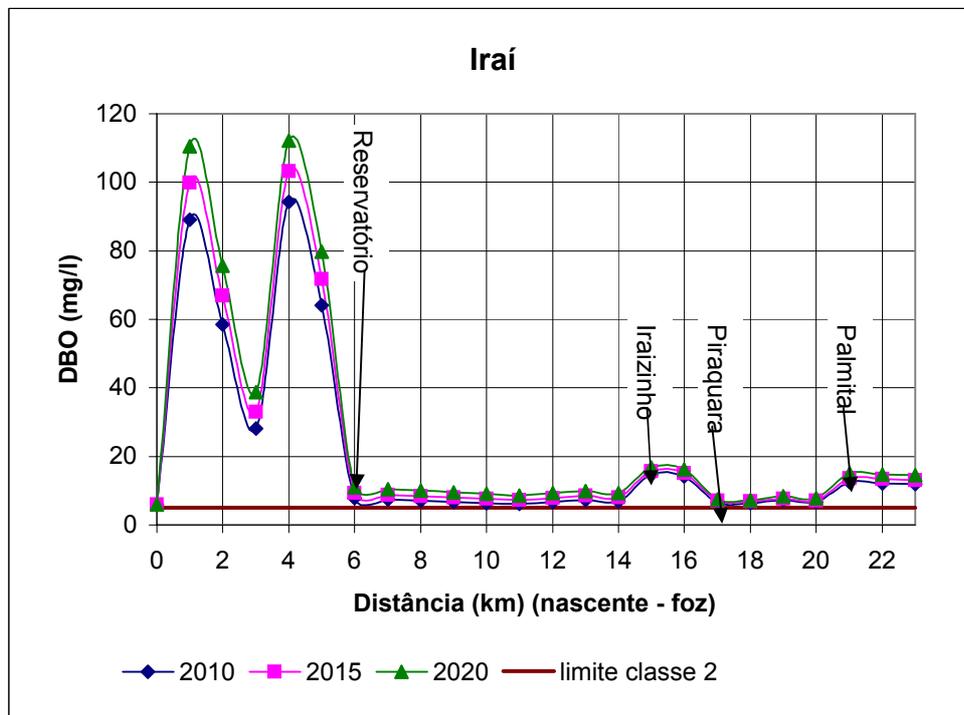
TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta_{\text{TRATAMEN TO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO
19 (Palmital)	41,2	80	Tramo 21
20 (Palmital)	-	-	-
21 (Palmital)	37,1	80	Tramo 21
22 (Palmital)	10,5	77	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
23 (Iguaçu)	-	-	-

conclusão

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

Com base nestas considerações, realizou a simulação do cenário A para os anos de 2010, 2015 e 2020, obtendo os resultados de oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio apresentados nos Gráficos 6.1 ao 6.8.

GRÁFICO 6.1 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO A



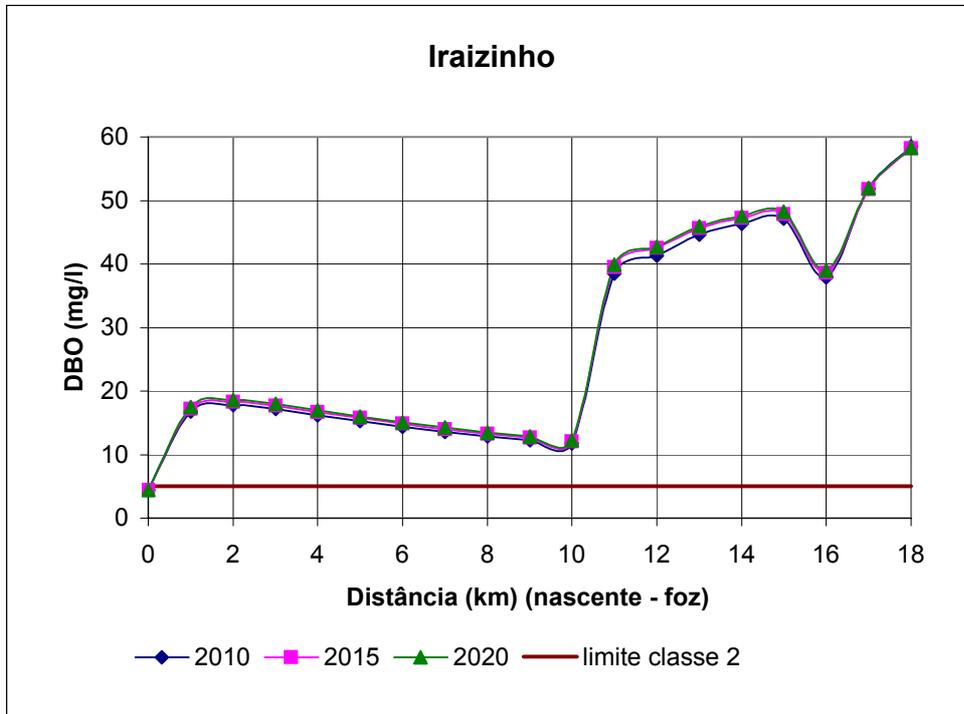
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.2 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO A



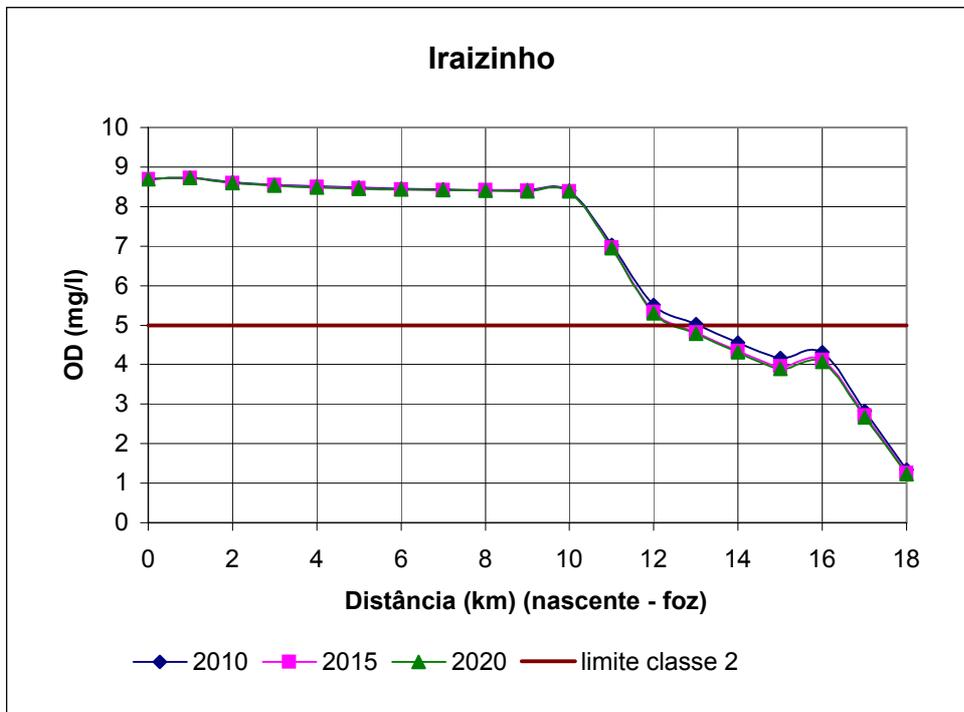
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.3 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO A



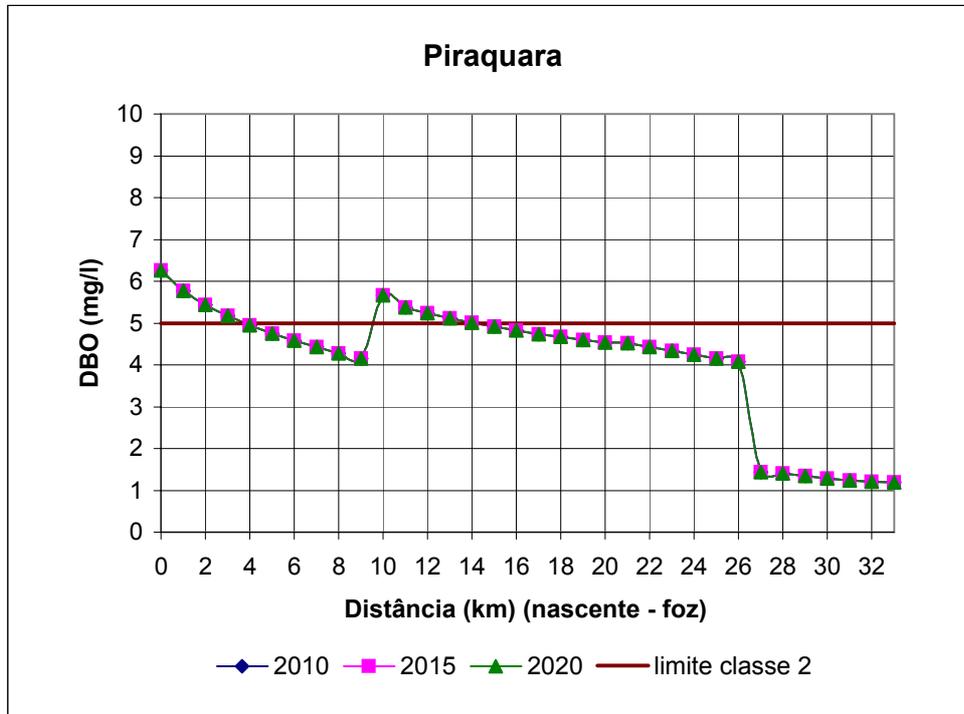
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.4 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO A



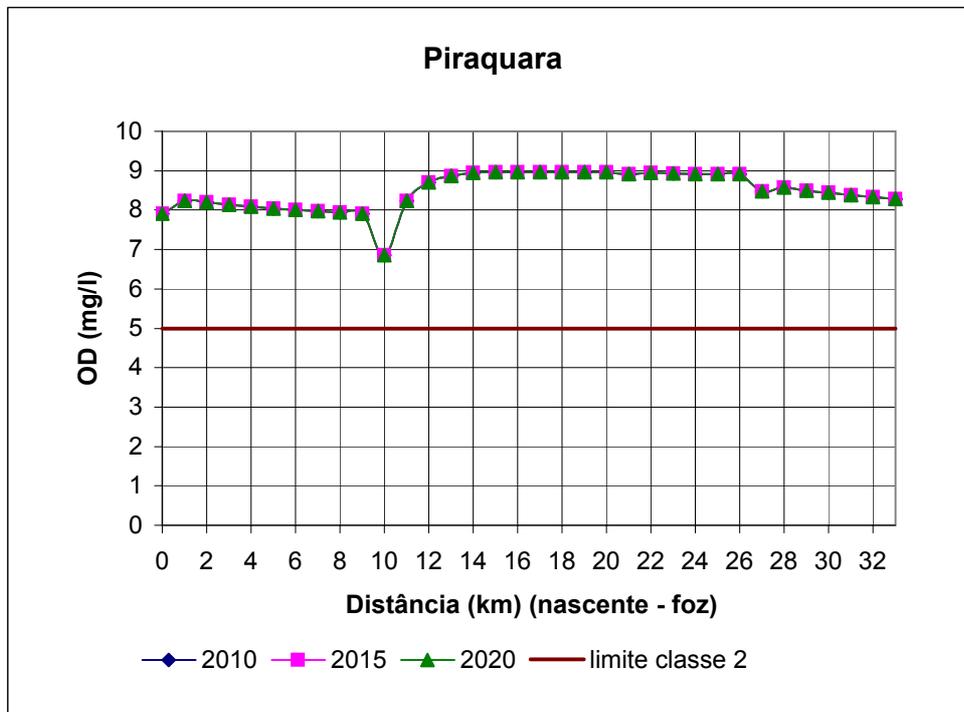
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.5 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO A



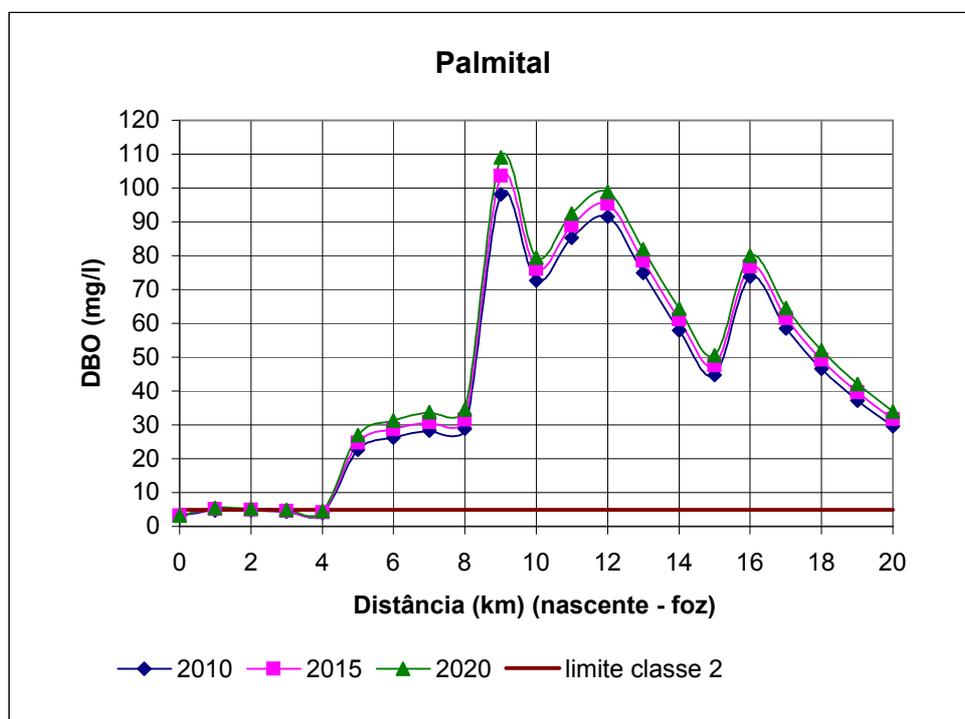
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.6 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO A



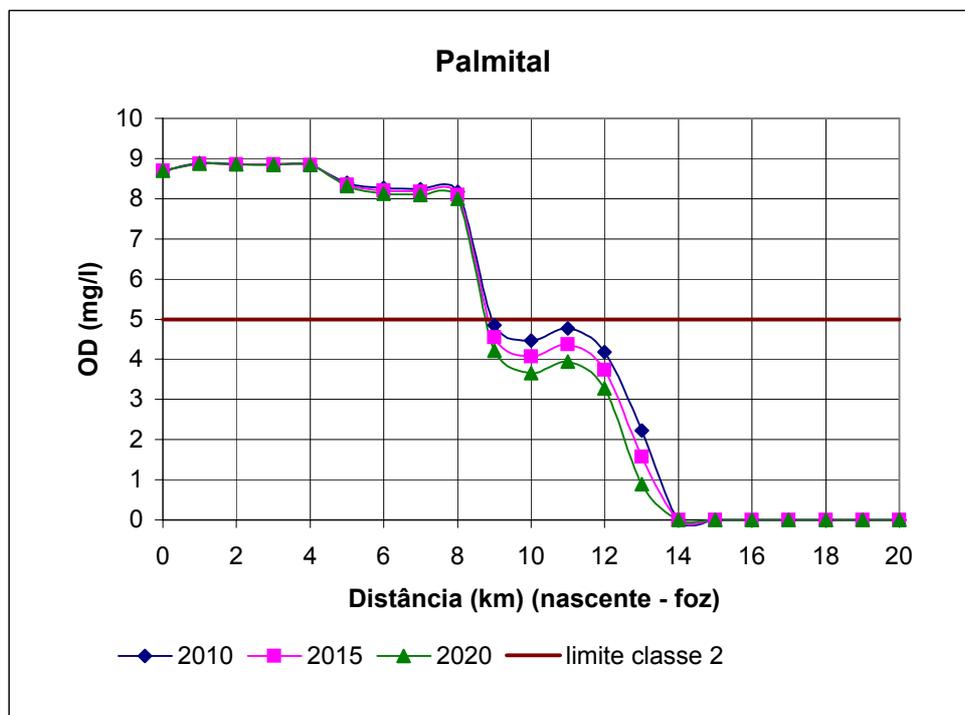
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.7 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO A



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.8 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO A



FONTE: O Autor.

O rio Iraí apresenta concentrações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) elevadas nas nascentes, pois possui uma ocupação desordenada, com sistema de coleta e tratamento de esgoto deficitário, vindo a ser despejado diretamente no rio ou em galerias pluviais que deságuam no rio. Ainda neste trecho há a presença da indústria POPASA POTINGA PAPÉIS S/A, a qual capta e lança seus efluentes no rio.

Com relação à concentração do oxigênio dissolvido (OD) o rio Iraí apresenta valores satisfatórios – dentro da classe 2 – nos três primeiros quilômetros, vindo a sofrer o impacto da ocupação desordenada acima referida, chegando a valores da ordem de 2,5 mg/l para 2020, no quilômetro 5.

No quilômetro 6 do rio Iraí há a entrada da vazão de regularização do reservatório do Iraí. Esta vazão é da ordem de 1500 l/s, a qual possibilitará uma melhora significativa na concentração da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), aproximando-se do patamar de 8 mg/l. A concentração da DBO permanece neste patamar até a entrada do afluente Iraizinho que ocorre no quilômetro 15, proporcionando um aumento na concentração deste parâmetro. Com relação ao oxigênio dissolvido, este apresenta uma melhora considerável com a entrada da vazão do reservatório, chegando a valores da ordem de 7 mg/l, em 2020, mantendo-se até a entrada do rio Iraizinho.

A bacia do Iraizinho possui uma alta taxa de ocupação em sua foz, em comparação com outras áreas de mananciais, ou seja, uma área com aproximadamente 53 km<sup>2</sup> abrigando cerca de 70 mil habitantes. Além disto, esta bacia recebe, no seu último tramo, o efluente do esgoto doméstico tratado produzido no primeiro tramo da bacia do Iraí, isto é feito para evitar o lançamento deste efluente na área do reservatório do Iraí. Portanto, constata-se concentrações elevadas da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), da ordem de 50 mg/l nos quilômetros próximos à foz. No tocante ao oxigênio dissolvido, este segue um patamar satisfatório, para classe 2, nas nascentes, vindo a alcançar valores próximos de 3 mg/l nas proximidades da foz. Como resultado desta situação tem-se um aumento na concentração da demanda bioquímica de oxigênio e um decréscimo do oxigênio dissolvido na confluência com o rio Iraí, conforme já exposto. Esta situação se mantém até o quilômetro 17 do rio Iraí, sendo alterada com a confluência do rio Piraquara.

A bacia do rio Piraquara é uma área de manancial a qual apresenta o reservatório do Piraquara, possibilitando uma vazão de 1700 l/s, que é lançado no quilômetro 27 do mesmo, proporcionando uma queda na concentração da demanda bioquímica de oxigênio. Ainda no rio Piraquara, os picos e variações na concentração dos parâmetros são resultado das cargas difusas provenientes do uso e ocupação do solo, uma vez que para fins deste estudo e com base no Plano de Despoluição hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001), não foram computados ocupação na bacia. Constata-se uma diminuição da concentração da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e uma melhora na concentração do oxigênio dissolvido (OD) na confluência com o rio Iraí. Estas condições de concentração da DBO e do OD se mantêm até a confluência do rio Iraí com o rio Palmital que por sua vez formam o rio Iguaçu.

O rio Palmital até poucos anos atrás fazia parte dos mananciais da Região Metropolitana de Curitiba. Devido a ocupação desordenada teve de ser abandonado como manancial pela SANEPAR. Sua nascente apresenta concentração de demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido satisfatórios para classe 2, porém no quilômetro 5, em que ocorre a entrada de um afluente, as concentrações de DBO começam a se elevar, proporcionando uma queda do OD. A demanda bioquímica de oxigênio chega ao seu auge no quilômetro 9, chegando a valores de concentração da ordem de 100 mg/l, em 2020. No quilômetro 10 ocorre a entrada dos efluentes da estação de tratamento Guaraituba, operada e mantida pela SANEPAR. Este ponto apresenta uma concentração inferior ao anterior, pois por consequência de uma das limitações do modelo matemático QUAL2E, optou-se por considerar em cada elemento computacional um lançamento distinto. Assim, nos pontos em que ocorre captação não ocorre lançamento de cargas pontuais, da mesma forma, como nos pontos em que há um grande usuário como exemplo uma indústria ou uma estação de tratamento, apenas foi considerado um deles, sendo que as demais cargas foram distribuídas nos demais elementos computacionais do tramo. Estas considerações estão explicadas no anexo 1 – definição da matriz de fontes de poluição. No tocante ao oxigênio dissolvido, este alcançará valor zero a partir do quilômetro 14, mantendo-se até a sua foz.

O rio Iguaçu apresenta, no seu trecho inicial, concentrações da demanda bioquímica de oxigênio da ordem de 8 mg/l, para 2020, e de oxigênio dissolvido na

ordem de 5 mg/l, enquadrando-se na classe 3. Portanto, foram considerados outros cenário, nos quais serão implementadas medidas em despoluição hídrica, pretendendo o enquadramento das seções de controle analisadas.

### 6.2.2 Cenário C

Neste cenário as proposições foram feitas visando alcançar os objetivos ambientais definidos para a região em estudo, em curto prazo e mantê-los ao longo do período de planejamento, conforme estabelecido pelo Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001).

Para tanto, considera-se a condição de execução das medidas de controle de poluição, em que estas são implantadas, de início para eliminar o déficit dos serviços existentes e recebem, ao longo do tempo, as ampliações de capacidade necessárias para atender ao crescimento das demandas, até o final do período de planejamento, ano 2020. Considera-se ainda nesse cenário o uso de tecnologias atualizadas, adequadas e usuais no Brasil para empreendimentos dessa natureza.

O cenário C considera o aumento das cargas poluidoras, com a execução de programa de medidas de controle, que seria implantado para eliminar o déficit inicial dos serviços existentes e atender o crescimento das demandas futuras para a redução da poluição dos rios.

As medidas para controle da poluição (MCPs) a serem aplicadas no Cenário C correspondem as medidas destacadas nos Quadros 6.5 e 6.6, sendo que o Quadro 6.5 refere-se as medidas aplicadas para 2010, enquanto o Quadro 6.6 referem-se as medidas aplicadas para os anos de 2015 e 2020.

QUADRO 6.5 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO C – 2010

continua

TRAMO	% REDE COLETOR A	$\eta_{\text{TRATAMENTO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO
1 (Iraí)	85	85	Tramo 08 (Iraízinho)
2 (Iraí)	85	85	Parte na Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo) e parte no tramo 02
3 (Iraí)	85	85	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)

QUADRO 6.5 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO C – 2010  
conclusão

TRAMO	% REDE COLETOR A	$\eta_{\text{TRATAMENTO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO
4 (Iraí)	85	85	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)
5 (Iraí)	85	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
6 (Iraízinho)	89	85	Tramo 07
7 (Iraízinho)	89	85	Tramo 07
8 (Iraízinho)	100	85	Tramo 07
9 (Iraí)	85	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
10 (Piraquara)	-	-	-
11 (Piraquara)	-	-	-
12 (Piraquara)	-	-	-
13 (Piraquara)	-	-	-
14 (Piraquara)	-	-	-
15 (Piraquara)	-	-	-
16 (Iraí)	85	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
17 (Palmital)	85	85	Tramo 21
18 (Palmital)	85	85	Tramo 21
19 (Palmital)	100	85	Tramo 21
20 (Palmital)	85	85	Tramo 21
21 (Palmital)	85	85	Tramo 21
22 (Palmital)	85	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)
23 (Iguaçu)	-	-	-

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

QUADRO 6.6 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO C – 2015 E 2020

continua

TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta_{\text{TRATAMENTO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO	EXTENSÃO (m) DE REDE COLETORA DE ESGOTO PARA 2020
1 (Iraí)	90	85	Tramo 08 (Iraízinho)	22.592
2 (Iraí)	90	85	Parte na Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo) e parte no tramo 02	200.279
3 (Iraí)	90	85	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)	33.053
4 (Iraí)	90	85	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)	7.404
5 (Iraí)	90	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	21.295

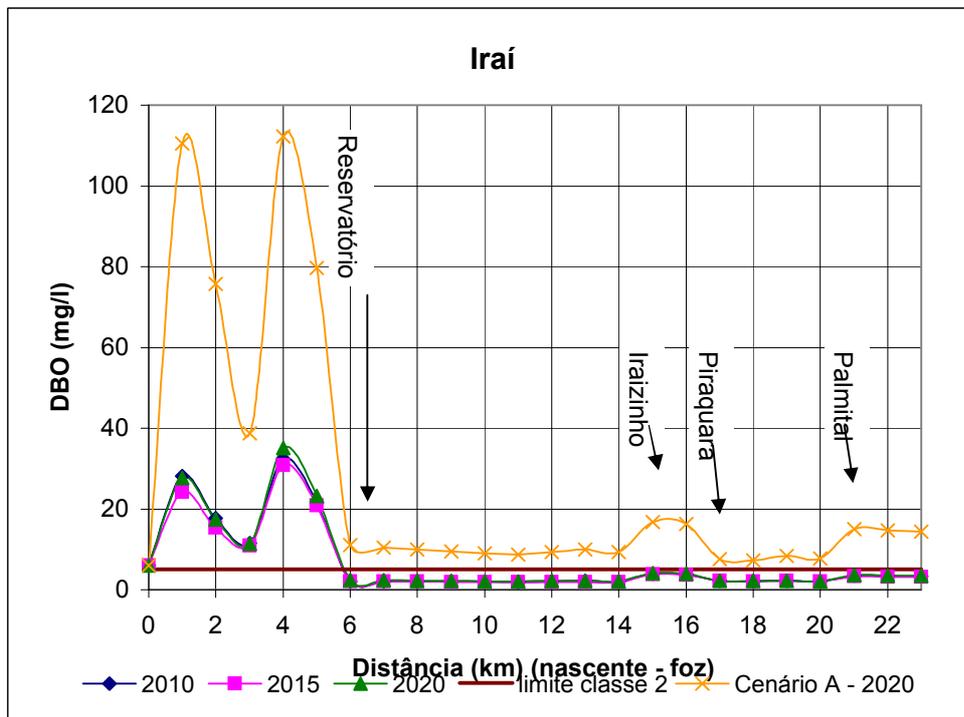
QUADRO 6.6 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO C – 2015 E 2020  
conclusão

TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta_{\text{TRATAMENTO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO	EXTENSÃO (m) DE REDE COLETORA DE ESGOTO PARA 2020
6 (Iraízinho)	90	85	Tramo 07	9.337
7 (Iraízinho)	90	85	Tramo 07	60.691
8 (Iraízinho)	100	85	Tramo 07	120.999
9 (Iraí)	90	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	21.295
10 (Piraquara)	-	-	-	-
11 (Piraquara)	-	-	-	-
12 (Piraquara)	-	-	-	-
13 (Piraquara)	-	-	-	-
14 (Piraquara)	-	-	-	-
15 (Piraquara)	-	-	-	-
16 (Iraí)	90	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	21.295
17 (Palmital)	90	85	Tramo 21	714
18 (Palmital)	90	85	Tramo 21	8.861
19 (Palmital)	100	85	Tramo 21	23.315
20 (Palmital)	90	85	Tramo 21	167.875
21 (Palmital)	90	85	Tramo 21	209.832
22 (Palmital)	90	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	282.675
23 (Iguaçu)	-	-	-	-

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

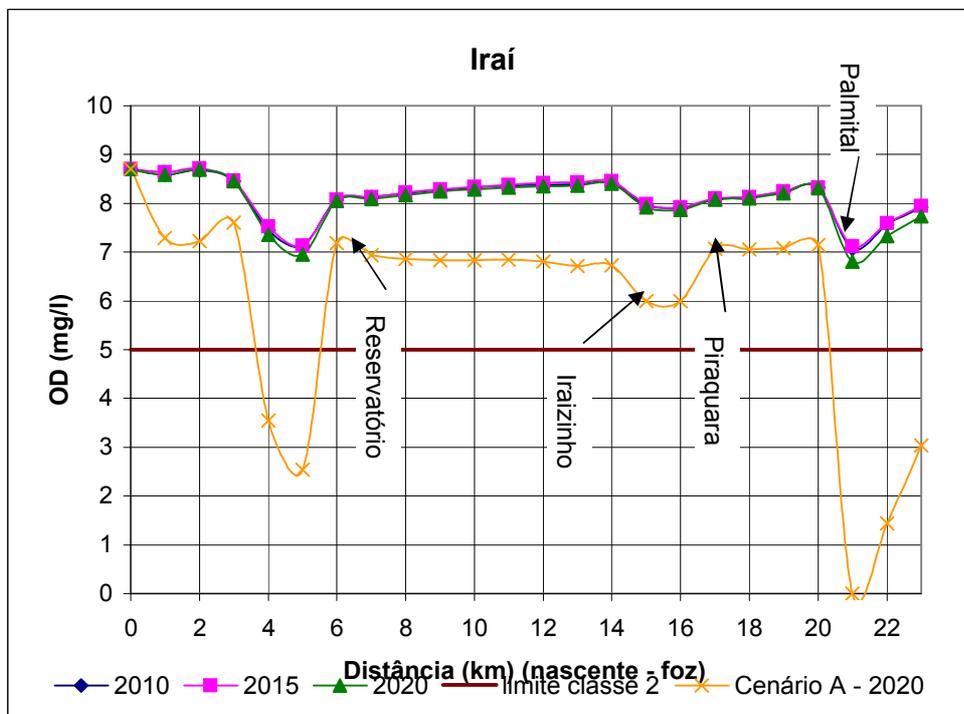
A porcentagem de implementação de rede coletora de esgoto sanitário para o ano de 2010 é menor do que as previstas para 2015 e 2020. Como consequência, as concentrações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) para 2010 serão maiores do que as estimadas para 2015. Esta considerações são observada nos Gráficos 6.9 ao 6.16.

GRÁFICO 6.9 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO C



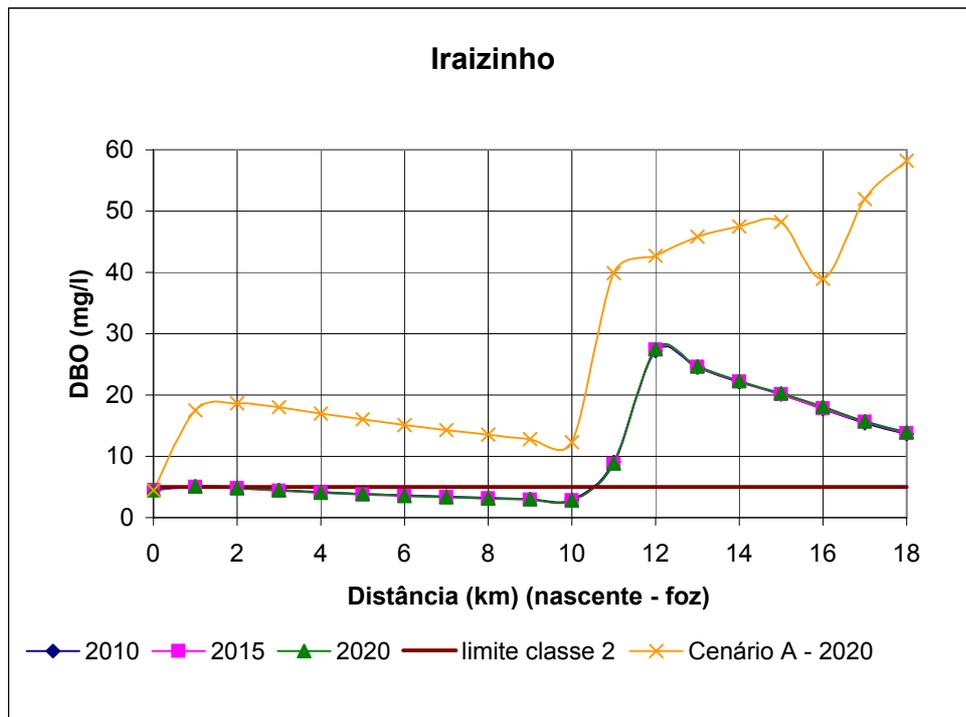
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.10 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO C



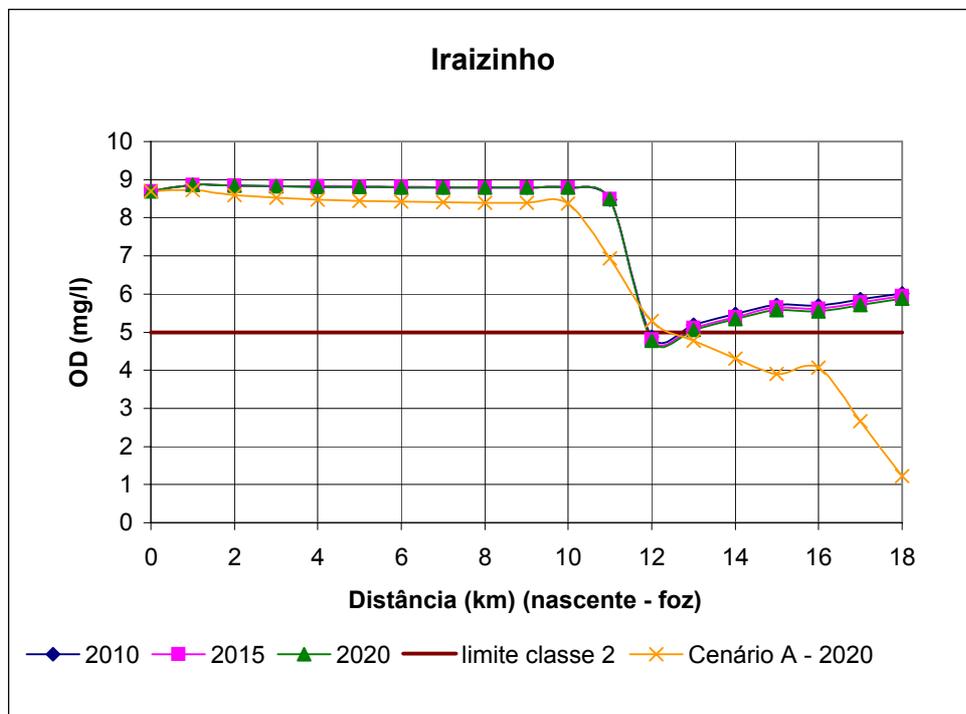
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.11 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO C



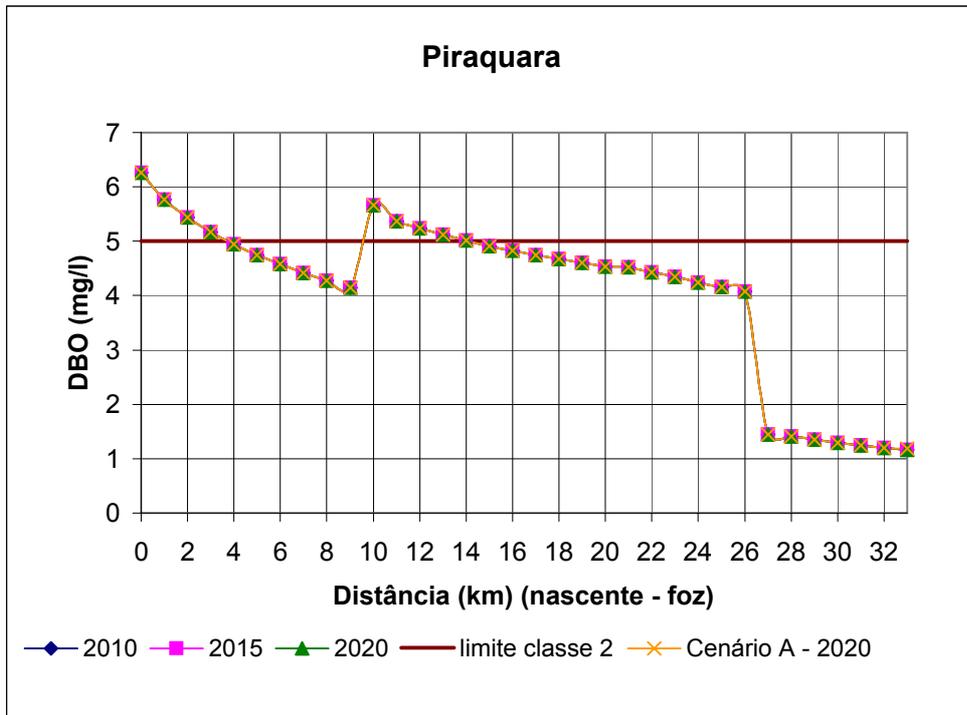
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.12 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO C



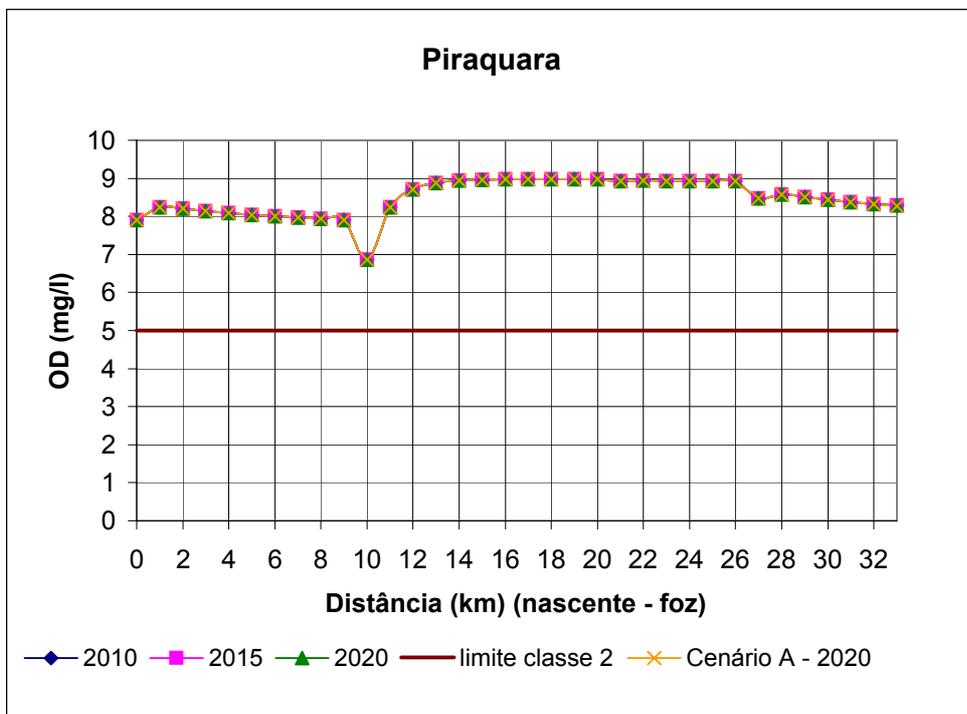
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.13 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO C



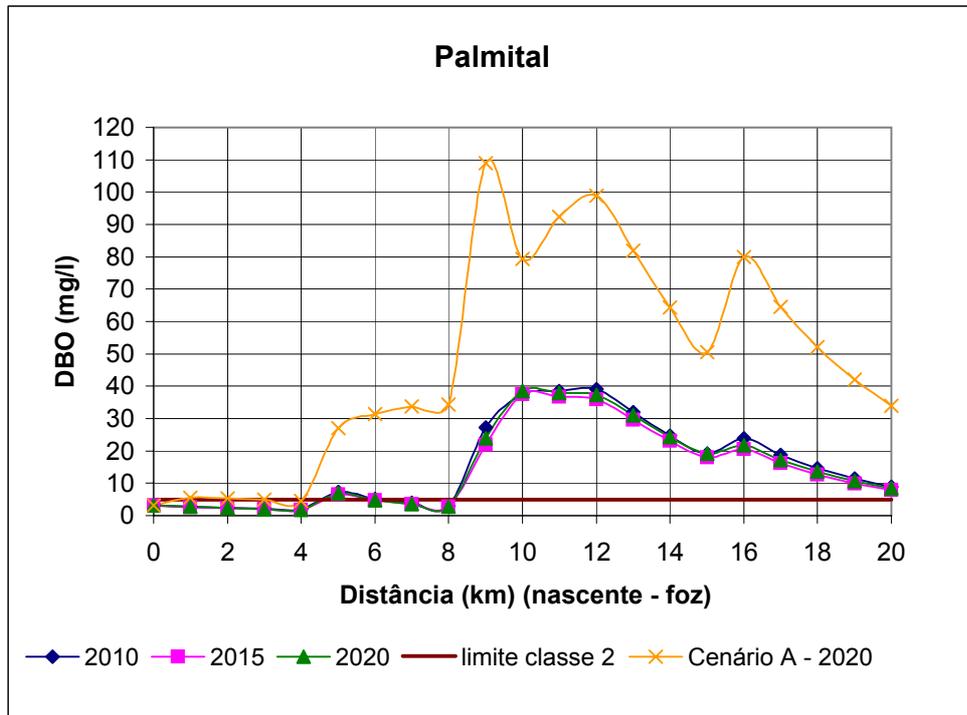
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.14 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO C



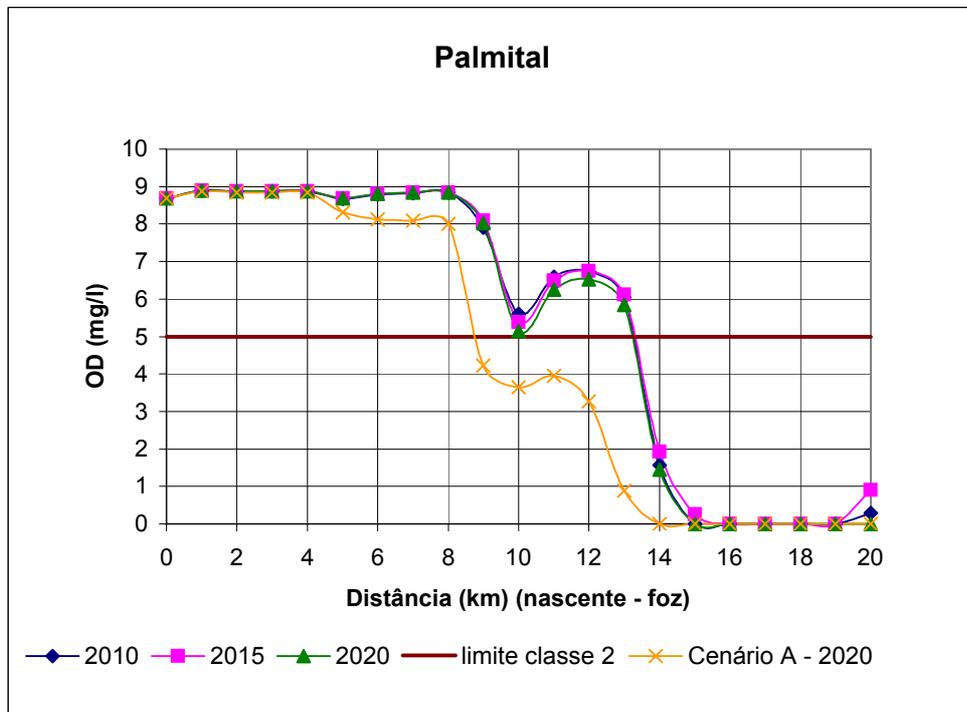
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.15 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO C



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.16 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO C



FONTE: O Autor.

As concentrações das seções de controle obtidas para o cenário C estão apresentadas na Tabela 6.1, confrontando com as concentrações do cenário A, considerando o ano de 2020.

TABELA 6.1 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO C – 2020

SEÇÃO DE CONTROLE	RIO	km	CENÁRIO A – 2020		CENÁRIO C - 2020	
			OD (mg/l)	DBO (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)
1	Iraí	33	8,28	1,19	8,29	1,16
2	Piraquara	17	7,07	7,53	8,07	2,25
3	Palmital	20	0,00	33,98	0,00	8,53
4	Iguaçu	23	3,04	14,46	7,74	3,45

FONTE: O Autor.

As seções de controle 1, 2 e 4 apresentam valores satisfatórios de OD e DBO, permitindo o enquadramento na classe 2. A seção de controle 3, ainda que diminuindo a concentração de DBO, não atingiu valores adequados para a classe 2, mantendo-se na classe 4.

### 6.2.3 Cenário Ideal 1

Neste cenário as proposições são feitas visando alcançar os objetivos ambientais definidos para a região em estudo, que correspondem ao enquadramento na classe correspondente, definida pela legislação federal, representada pela Resolução CONAMA nº 20/86, na qual adotou o sistema de classificação qualitativa das águas baseada em seus usos preponderantes, prevaletentes, dominantes (art. 1º, "caput", e art. 2º, "a"). Para o Estado do Paraná, subsidiariamente à Resolução CONAMA, tem-se a Portaria SUREHMA nº 20/92, a qual definirá quais os rios que devem pertencer a cada classe proposta na Resolução. Diante disto, fica estabelecido que os rios pertencentes a área do estudo devem ser enquadrados na classe 2 prevista na Resolução CONAMA nº 20/86, definindo limites para o oxigênio dissolvido entre igual a 5 e menor que 6 mg/l, e para a demanda bioquímica de oxigênio pode variar entre 3 e igual a 5 mg/l.

Para tanto, considera-se a condição de execução das medidas de controle de poluição, em que estas são implantadas, de início para eliminar o déficit dos serviços existentes e recebem, ao longo do tempo, as ampliações de capacidade necessárias para atender ao crescimento das demandas, até o final do período de planejamento.

Considera-se ainda nesse cenário que os recursos financeiros necessários para a implantação das medidas propostas estão disponíveis, sem limitações. Admite-se também o uso de tecnologias atualizadas, adequadas e usuais no Brasil para empreendimentos dessa natureza.

As medidas para controle da poluição (MCPs) a serem aplicadas no Cenário Ideal 1 correspondem as medidas destacadas na Quadro 6.7 a seguir, sendo referentes aos anos de 2010, 2015 e 2020.

QUADRO 6.7 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO IDEAL 1 – 2010, 2015 E 2020

continua

TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta$ TRATAMENTO	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO	EXTENSÃO (m) DE REDE COLETORA DE ESGOTO PARA 2020
1 (Iraí)	90	95	Tramo 08 (Iraízinho)	24.483
2 (Iraí)	90	95	Parte na Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo) e parte no tramo 02	200.279
3 (Iraí)	90	95	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)	33.053
4 (Iraí)	90	95	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)	7.404
5 (Iraí)	90	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	21.295
6 (Iraízinho)	90	95	Tramo 07	9.337
7 (Iraízinho)	90	95	Tramo 07	60.691
8 (Iraízinho)	100	95	Tramo 07	120.999
9 (Iraí)	90	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	21.295
10 (Piraquara)	-	-	-	-
11 (Piraquara)	-	-	-	-
12 (Piraquara)	-	-	-	-
13 (Piraquara)	-	-	-	-
14 (Piraquara)	-	-	-	-

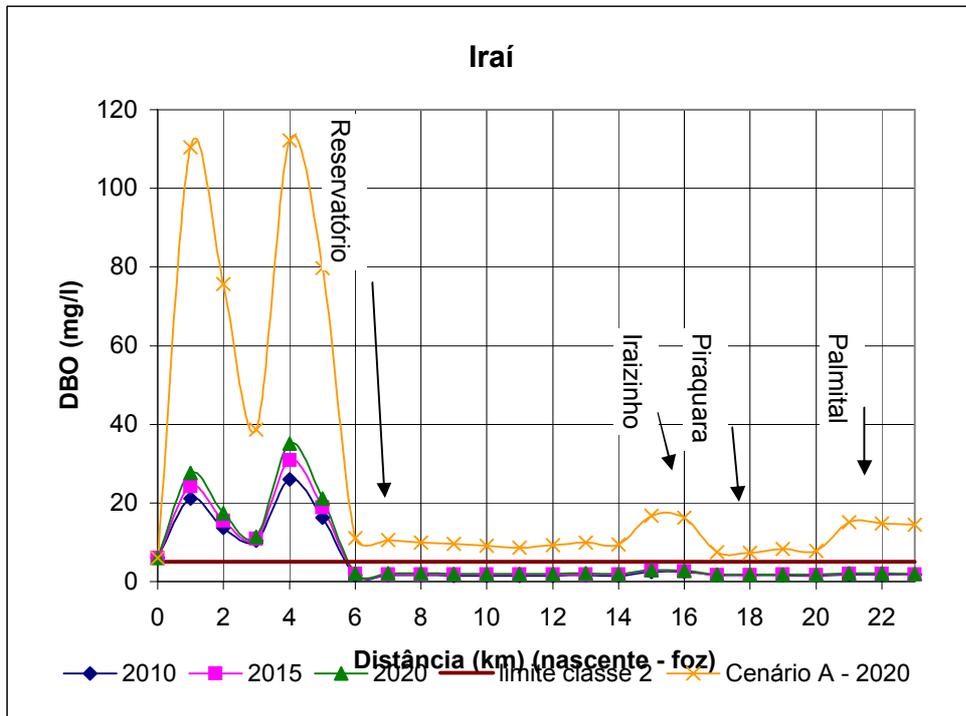
QUADRO 6.7 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO IDEAL 1 – 2010, 2015 E 2020

TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta_{\text{TRATAMENTO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO	conclusão EXTENSÃO (m) DE REDE COLETORA DE ESGOTO PARA 2020
15 (Piraquara)	-	-	-	-
16 (Iraí)	90	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	21.295
17 (Palmital)	90	95	Tramo 21	714
18 (Palmital)	90	95	Tramo 21	8.861
19 (Palmital)	100	95	Tramo 21	23.315
20 (Palmital)	90	95	Tramo 21	167.875
21 (Palmital)	90	95	Tramo 21	209.832
22 (Palmital)	100	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	318.231
23 (Iguaçu)	-	-	-	-

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

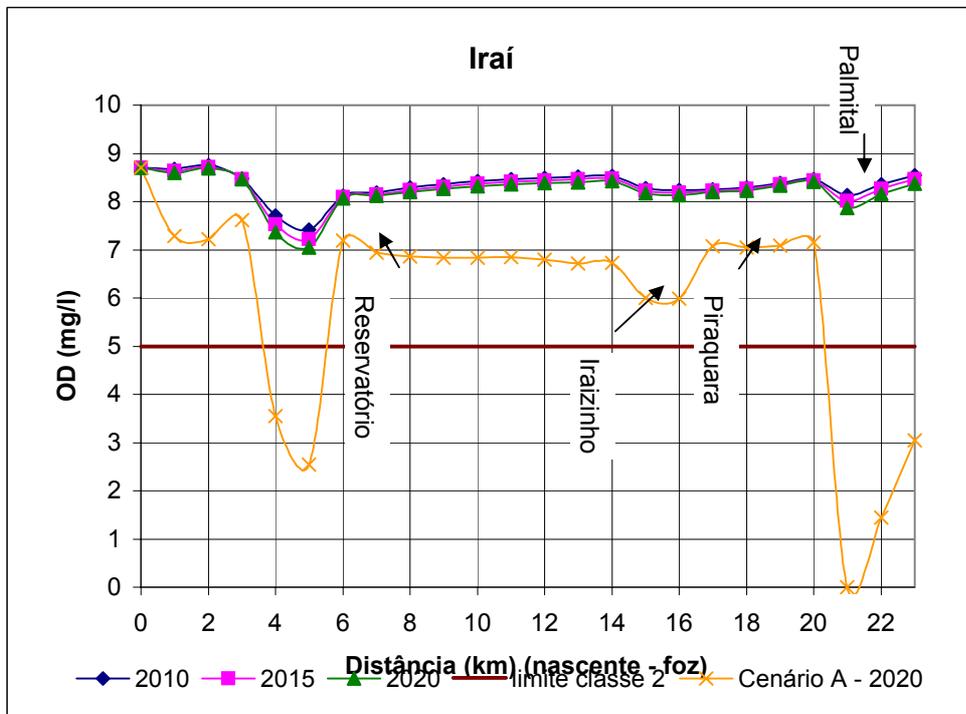
Os resultados da qualidade da água estão apresentados nos Gráficos 6.17 a 6.24 para cada rio referente aos anos de 2010, 2015 e 2020.

GRÁFICO 6.17 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO IDEAL 1



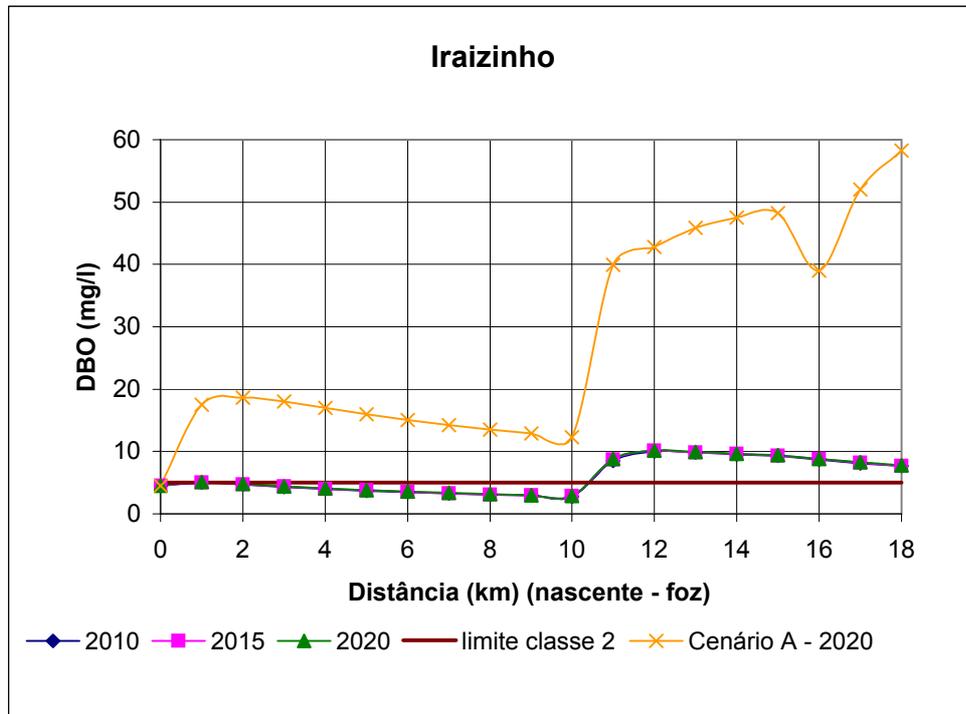
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.18 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO IDEAL 1



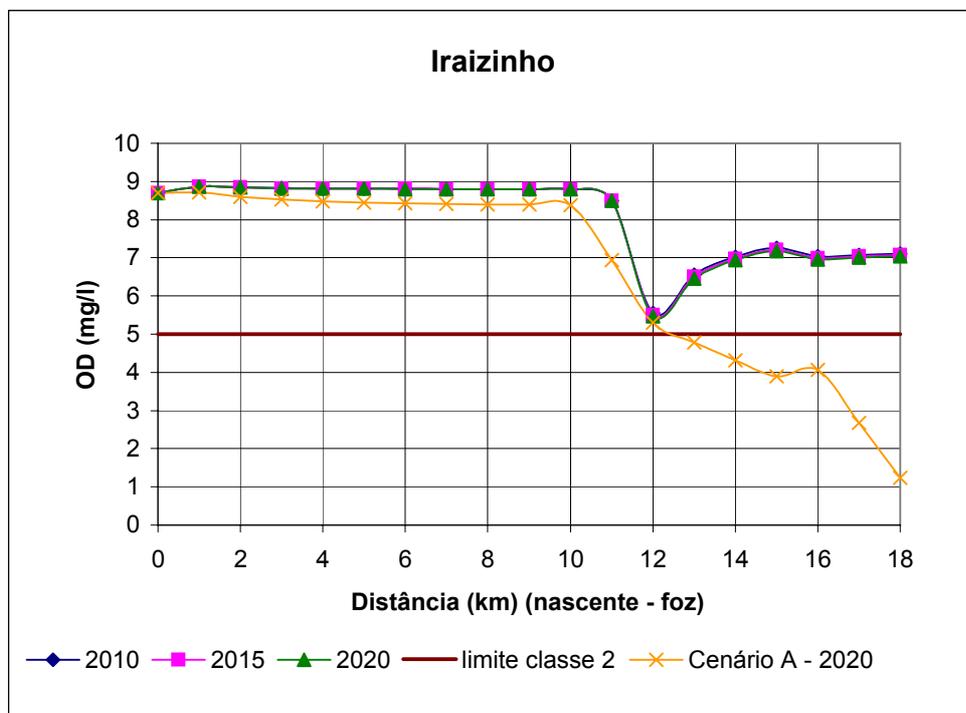
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.19 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO IDEAL 1



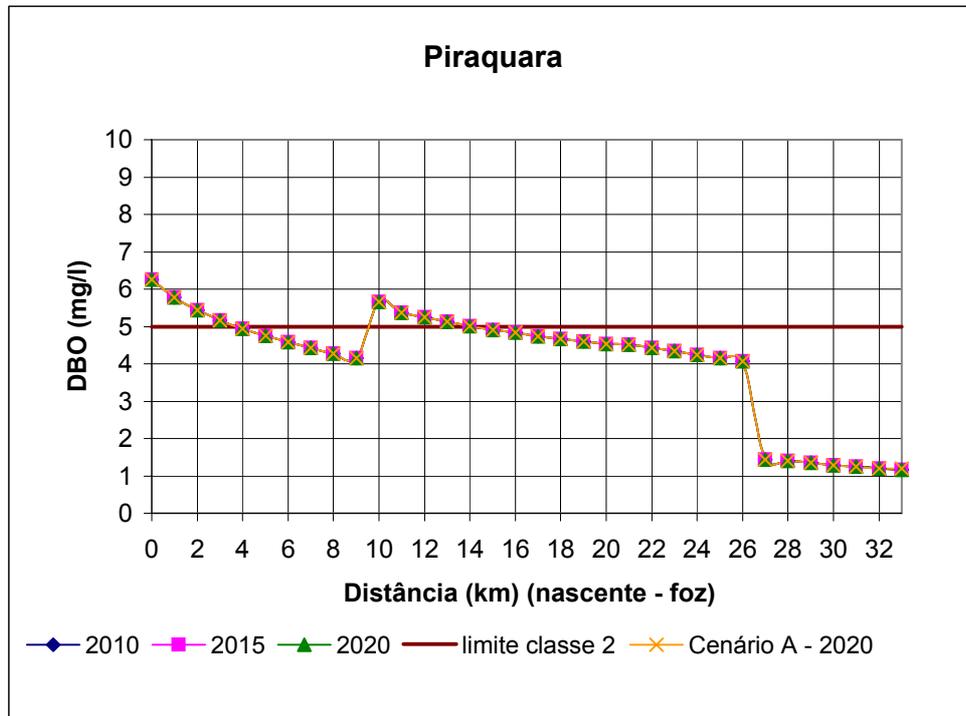
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.20 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO IDEAL 1



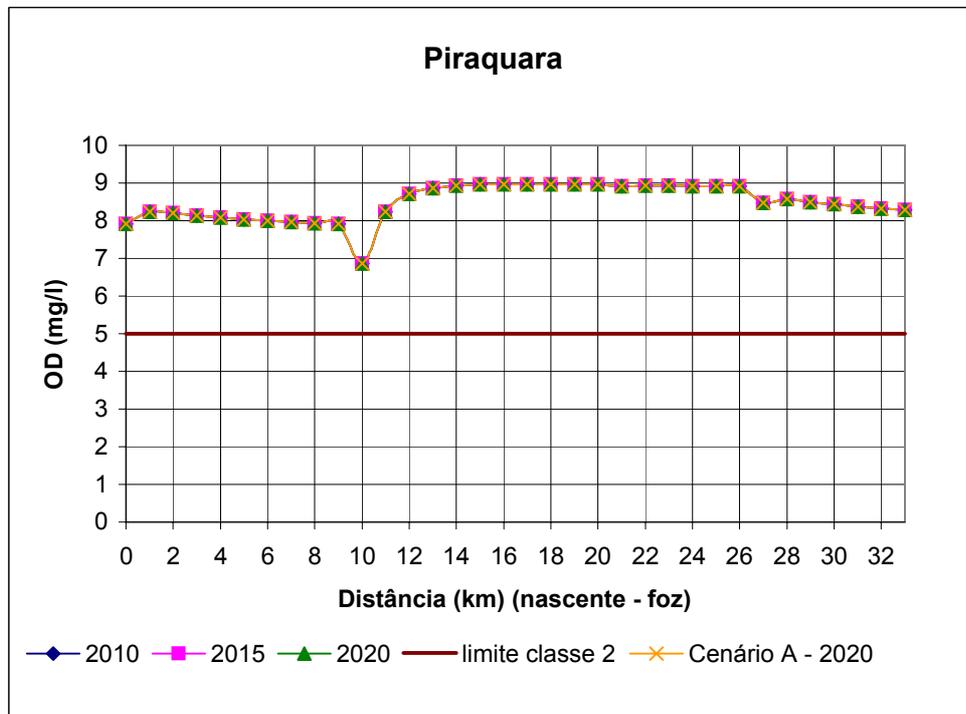
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.21 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO IDEAL 1



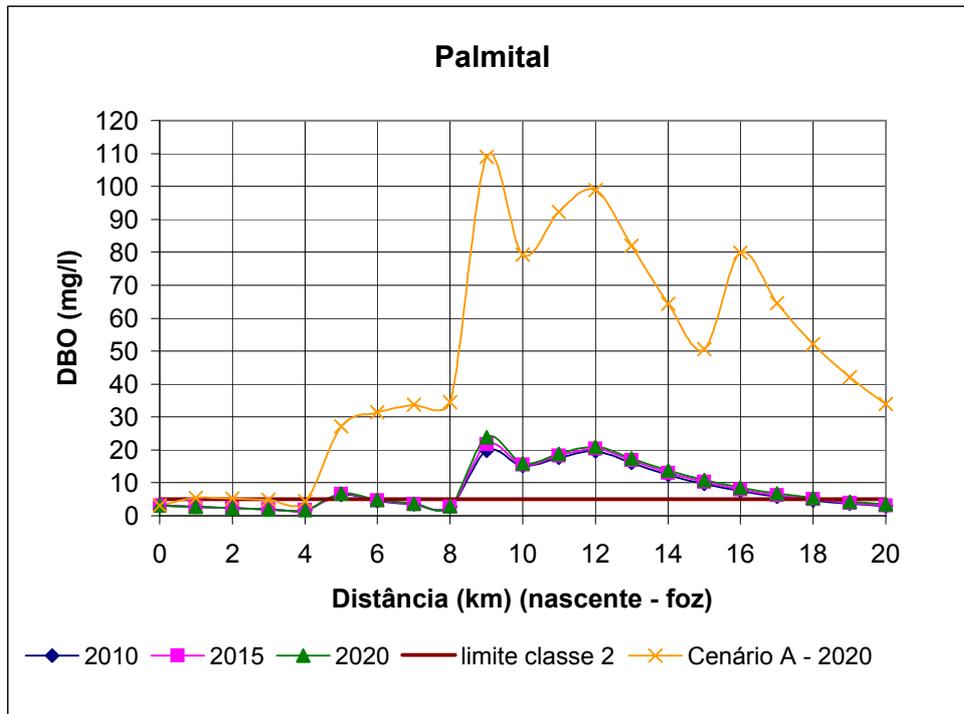
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.22 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO IDEAL 1



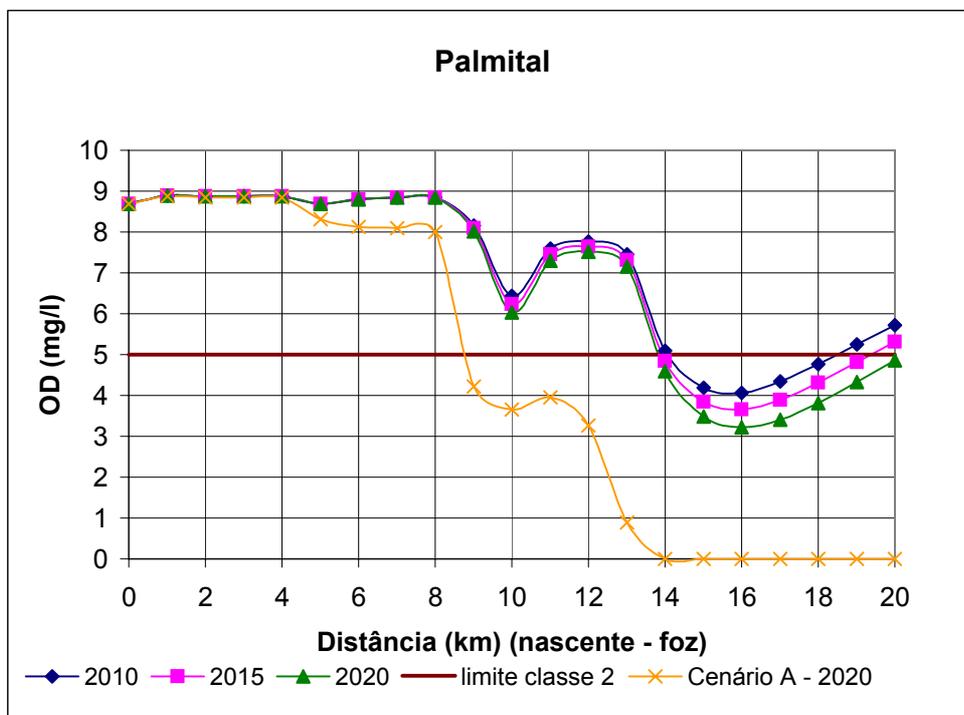
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.23 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO IDEAL 1



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.24 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO IDEAL 1



FONTE: O Autor.

As concentrações das seções de controle obtidas para o cenário ideal 1 estão apresentadas na Tabela 6.2, confrontando com as concentrações do cenário A, considerando o ano de 2020.

TABELA 6.2 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO IDEAL 1 – 2020

SEÇÃO DE CONTROLE	RIO	km	CENÁRIO A – 2020		CENÁRIO IDEAL 1 - 2020	
			OD (mg/l)	DBO (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)
1	Iraí	33	8,28	1,19	8,29	1,16
2	Piraquara	17	7,07	7,53	8,20	1,77
3	Palmital	20	0,00	33,98	4,86	3,41
4	Iguaçu	23	3,04	14,46	8,37	1,99

FONTE: O Autor.

As seções de controle 1, 2 e 4 apresentam valores satisfatórios de OD e DBO, permitindo o enquadramento na classe 2. A seção de controle 3 apresentou uma melhora significativa para o parâmetro OD e DBO. Para o primeiro, o valor obtido não é satisfatório para o enquadramento na classe 2, mas para efeitos deste estudo foi feito o arredondamento para o valor 5 mg/l, permitindo o enquadramento na classe 2.

#### 6.2.4 Cenário Ideal 2

Neste cenário, assim como no cenário anterior, as proposições são feitas visando alcançar os objetivos ambientais definidos para a região em estudo, que correspondem ao enquadramento na classe correspondente, definida pela legislação federal, representada pela Resolução CONAMA nº 20/86, na qual adotou o sistema de classificação qualitativa das águas baseada em seus usos preponderantes, prevacentes, dominantes (art. 1º, "caput", e art. 2º, "a"). Para o Estado do Paraná, subsidiariamente à Resolução CONAMA, tem-se a Portaria SUREHMA nº 20/92, a qual definiu quais os rios que devem pertencer a cada classe proposta na Resolução. Diante disto, fica estabelecido que os rios pertencentes à área de estudo devem ser enquadrados na classe 2 prevista na Resolução CONAMA nº 20/86,

definindo limites para o oxigênio dissolvido entre igual a 5 e menor que 6 mg/l, e para a demanda bioquímica de oxigênio pode variar entre 3 e igual a 5 mg/l.

Assim como salientado no cenário ideal 1, considera-se, nesse cenário, que os recursos financeiros necessários para a implantação das medidas propostas estão disponíveis, sem limitações. Admite-se também o uso de tecnologias atualizadas, adequadas e usuais no Brasil para empreendimentos dessa natureza.

Novas considerações foram feitas uma vez que os resultados obtidos na simulação do cenário anterior permitiam um super enquadramento, ou seja, as medidas aplicadas permitiam que os rios considerados no estudo fossem enquadrados na melhor classe, a classe 1. Diante disto, visando uma análise do parâmetro Z mais real, não super estimada, foi proposto a formulação deste cenário. As medidas para controle da poluição (MCPs) a serem aplicadas no Cenário Ideal 2 correspondem as medidas demonstradas no Quadro 6.8, para 2010, 2015 e 2020.

QUADRO 6.8 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO IDEAL 2 – 2010, 2015 E 2020

continua

TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta_{\text{TRATAMENTO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO	EXTENSÃO (M) DE REDE COLETORA DE ESGOTO PARA 2020
1 (Iraí)	80	85	Tramo 08 (Iraízinho)	20.700
2 (Iraí)	80	85	Parte na Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo) e parte no tramo 02	167.719
3 (Iraí)	80	85	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)	28.620
4 (Iraí)	80	85	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)	4.464
5 (Iraí)	80	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	17.258
6 (Iraízinho)	80	85	Tramo 07	8.300
7 (Iraízinho)	80	85	Tramo 07	53.948
8 (Iraízinho)	80	85	Tramo 07	86.239
9 (Iraí)	80	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	17.258
10 (Piraquara)	-	-	-	-
11 (Piraquara)	-	-	-	-
12 (Piraquara)	-	-	-	-

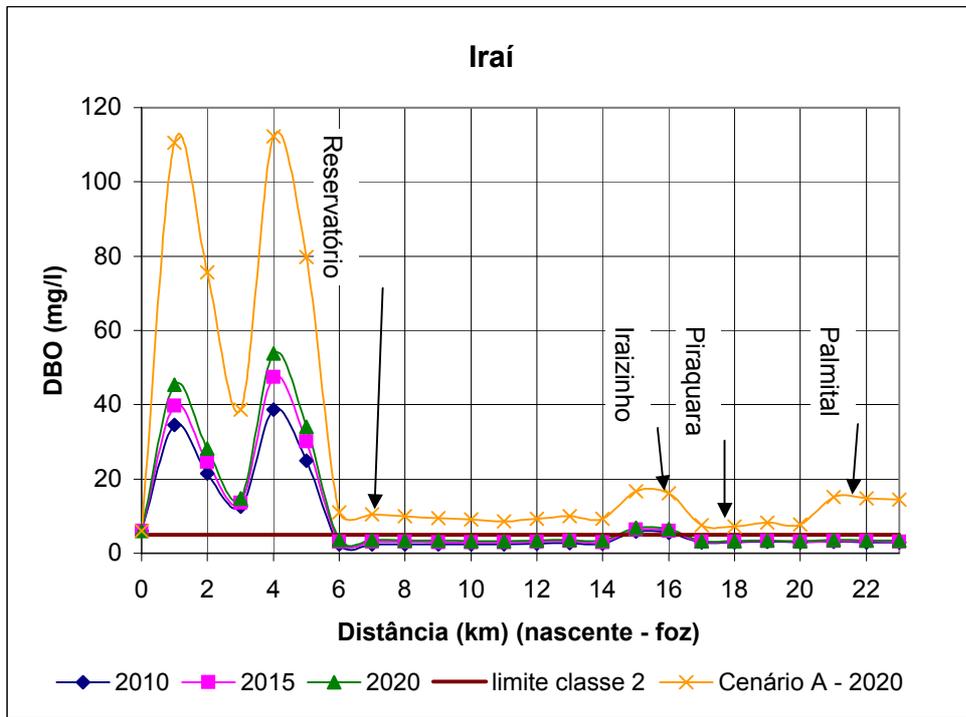
QUADRO 6.8 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO IDEAL 2 – 2010, 2015 E 2020

TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta_{\text{TRATAMENTO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO	EXTENSÃO (M) DE REDE COLETORA DE ESGOTO PARA 2020
13 (Piraquara)	-	-	-	-
14 (Piraquara)	-	-	-	-
15 (Piraquara)	-	-	-	-
16 (Iraí)	80	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	17.258
17 (Palmital)	90	95	Tramo 21	714
18 (Palmital)	90	95	Tramo 21	8.861
19 (Palmital)	100	95	Tramo 21	23.315
20 (Palmital)	90	95	Tramo 21	167.875
21 (Palmital)	90	95	Tramo 21	209.832
22 (Palmital)	95	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	300.453
23 (Iguaçu)	-	-	-	-

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

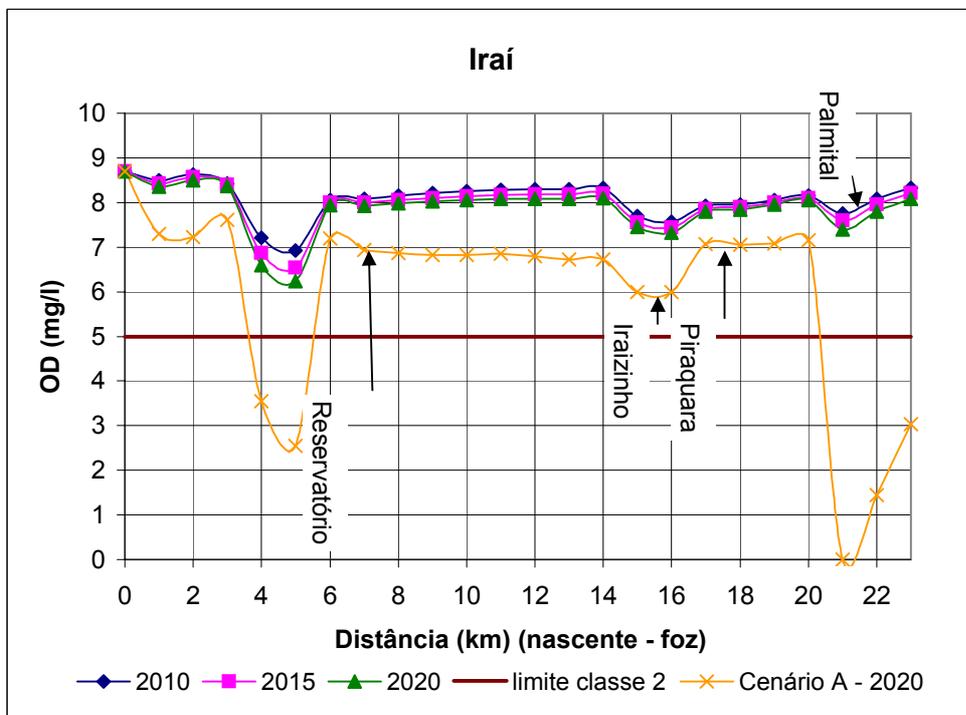
Os resultados da qualidade da água estão presentes nos Gráficos 6.25 a 6.32 para cada rio referente aos anos de 2010, 2015 e 2020.

GRÁFICO 6.25 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO IDEAL 2



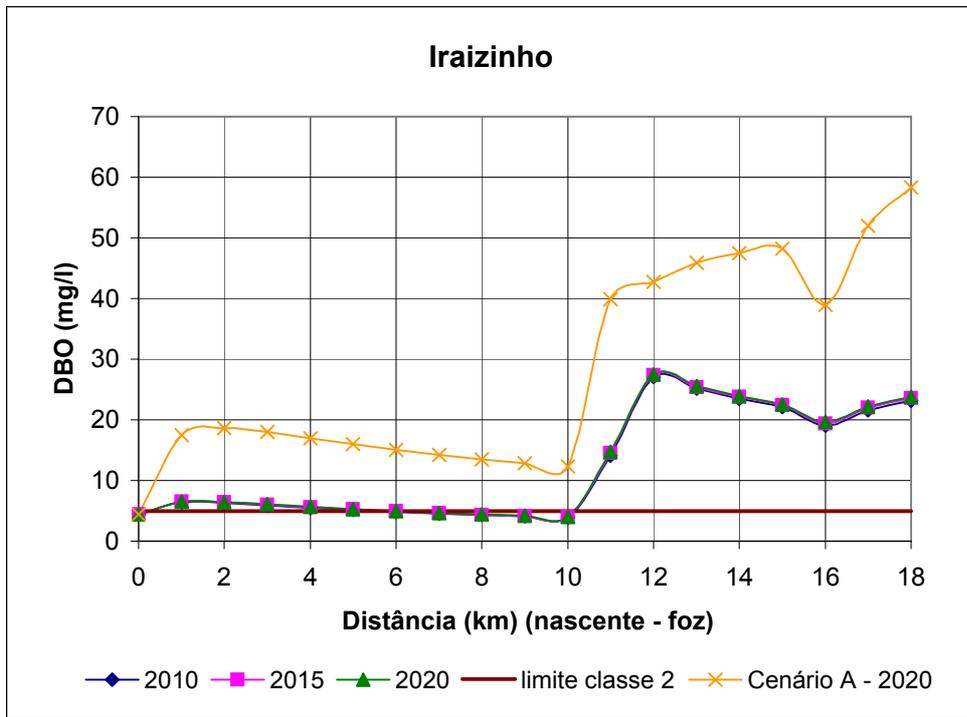
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.26 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO IDEAL 2



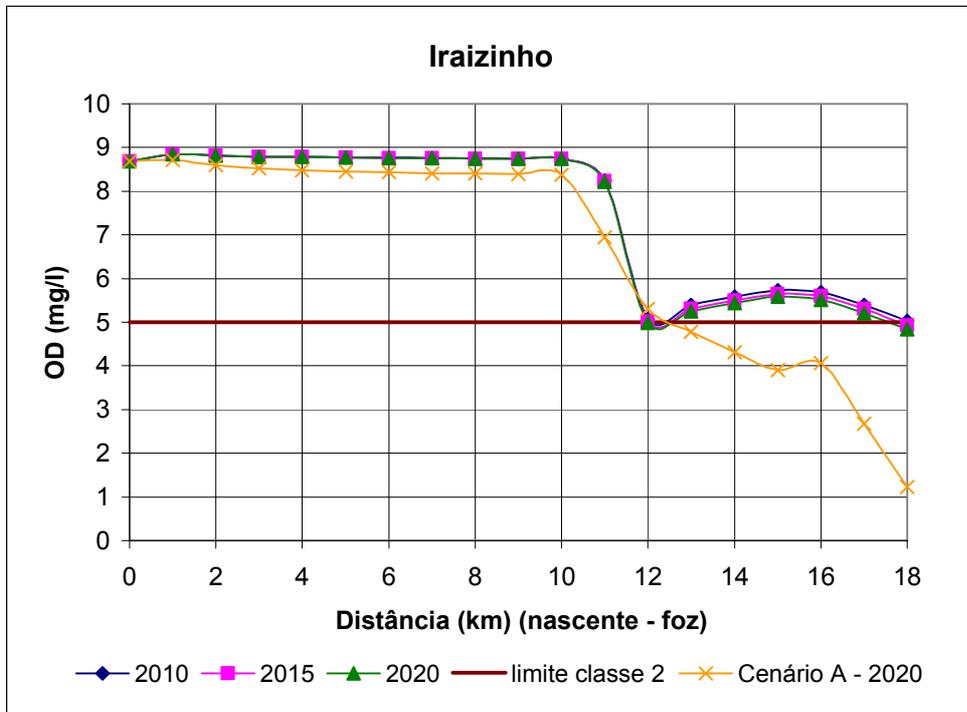
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.27 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO IDEAL 2



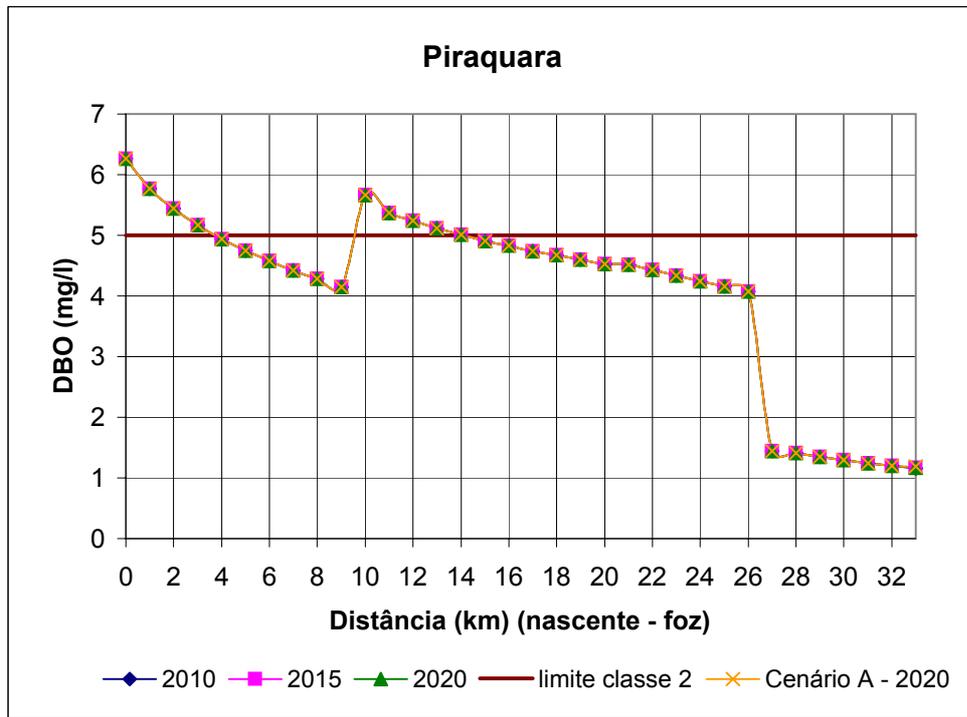
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.28 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO IDEAL 2



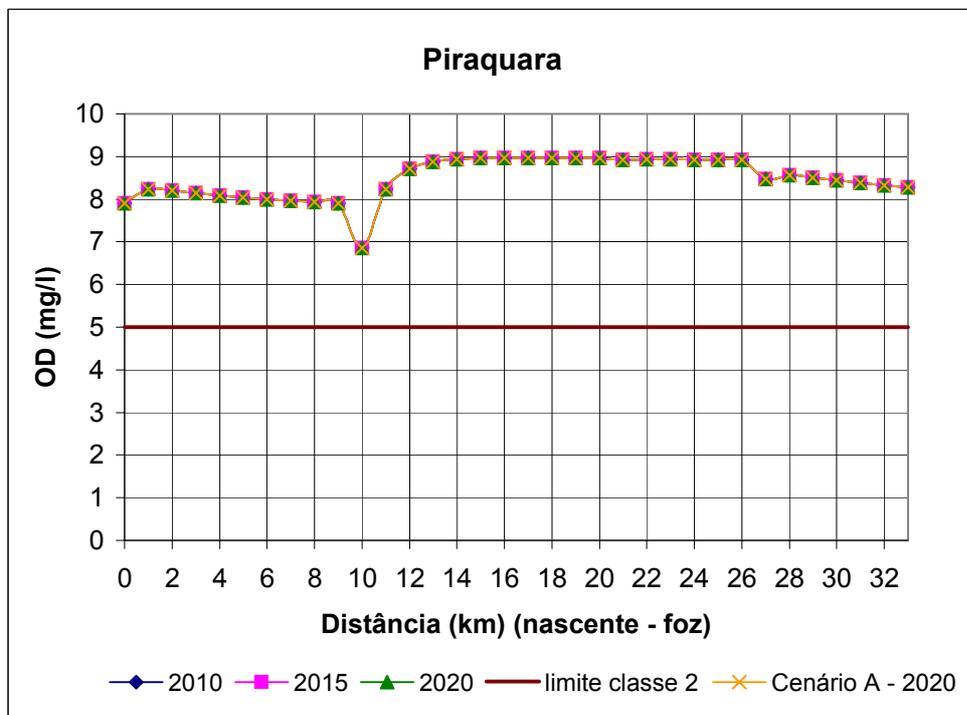
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.29 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO IDEAL 2



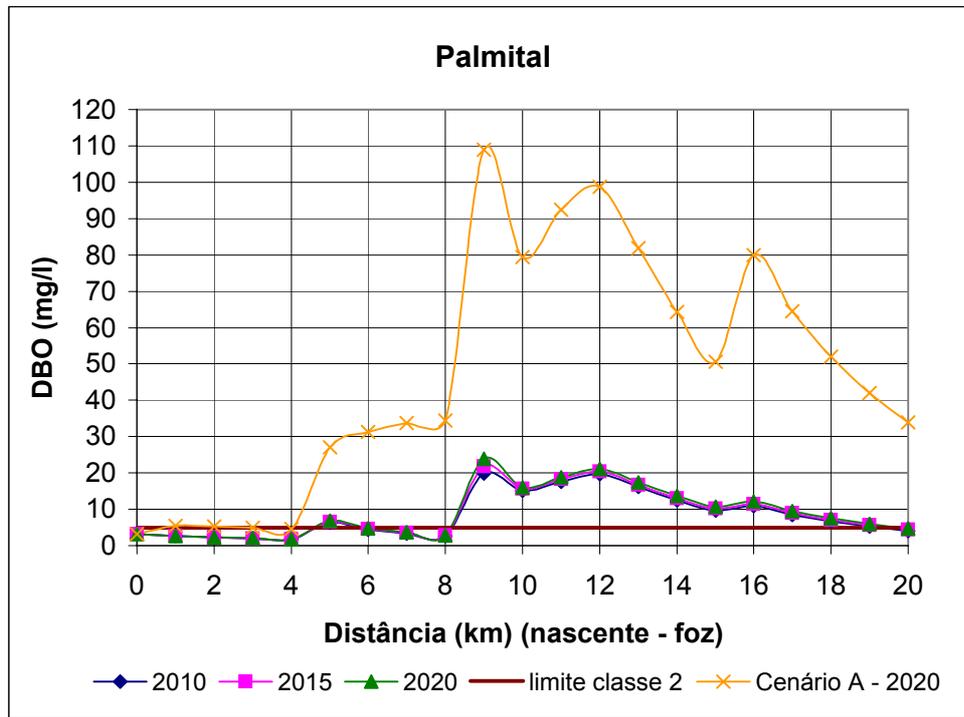
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.30 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO IDEAL 2



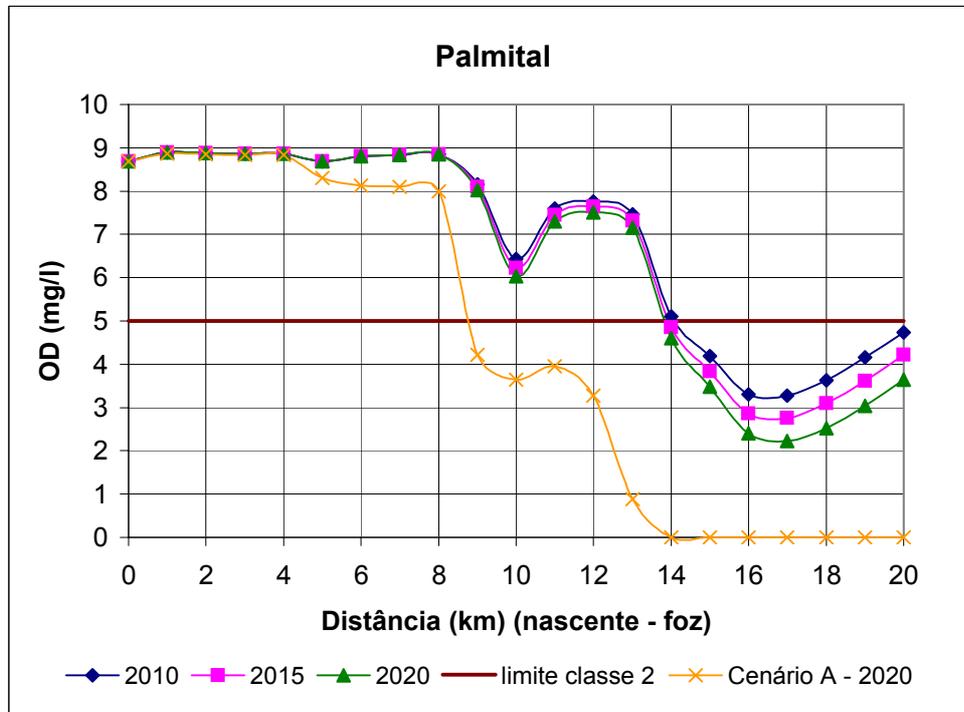
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.31 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO IDEAL 2



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 6.32 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO IDEAL 2



FONTE: O Autor.

As concentrações das seções de controle obtidas para o cenário ideal 2 estão apresentadas na Tabela 6.3, confrontando com as concentrações do cenário A, considerando o ano de 2020.

TABELA 6.3 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO IDEAL 2 – 2020

SEÇÃO DE CONTROLE	RIO	km	CENÁRIO A – 2020		CENÁRIO IDEAL 2 - 2020	
			OD (mg/l)	DBO (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)
1	Iraí	33	8,28	1,19	8,28	1,17
2	Piraquara	17	7,07	7,53	7,80	3,33
3	Palmital	20	0,00	33,98	3,65	4,78
4	Iguaçu	23	3,04	14,46	8,09	3,41

FONTE: O Autor.

As seções de controle 1, 2 e 4 apresentam valores satisfatórios de OD e DBO, permitindo o enquadramento na classe 2. A seção de controle 3 apresentou uma melhora significativa para o parâmetro OD e DBO. Para o primeiro, o valor obtido não foi satisfatório para o enquadramento na classe 2, mas para efeitos deste estudo, esta seção foi considerada enquadrado na classe 2.

### 6.3 Análise Crítica do Capítulo

Este capítulo tem por finalidade apresentar a área do estudo bem como as concentrações de OD e DBO para cada bacia analisada, numa perspectiva para 2010, 2015 e 2020. Além disto, são apresentados cenários de medidas de despoluição que poderão ser aplicados, visando o enquadramento dos corpos d'água, conforme resolução do Conama nº20/86.

O cenário proposto pelo Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001), cenário C, não possibilita o enquadramento de algumas seções de controle consideradas. Já o cenário idealizado neste estudo, cenário ideal 1, possibilita tal situação, sendo empregado na análise de impactos de erros de calibração no parâmetro Z.

A Tabela 6.4 apresenta as concentrações de OD e DBO, em mg/l, para cada seção de controle, referente aos cenários considerado.

TABELA 6.4 – VALORES DAS CONCENTRAÇÕES DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

RIO	TRAMO	km	IDEAL - 01 - k1=PDHBAI - 2020		IDEAL - 02 - K1= PDHBAI - 2020		CENÁRIO A - k1= PDHBAI - 2020		CENÁRIO C - k1= PDHBAI - 2020	
			OD	DBO	OD	DBO	OD	DBO	OD	DBO
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Piraquara PI-1	15	33	8,29	1,16	8,28	1,17	8,28	1,19	8,29	1,16
Iraí IR-1	16	17	8,20	1,77	7,80	3,33	7,07	7,53	8,07	2,25
Palmital PA-1	22	20	4,86	3,41	3,65	4,78	0,00	33,98	0,00	8,53
Iguaçu IR-2	23	23	8,37	1,99	8,09	3,41	3,04	14,46	7,74	3,45

FONTE: O Autor.

## CAPÍTULO 7

### **AVALIAÇÃO DO IMPACTO DOS ERROS DE CALIBRAÇÃO NA ESTIMATIVA DA QUALIDADE DA ÁGUA**

Sabe-se que a calibração de um modelo matemático visa obter representação das realidades física, química e biológica de um corpo d'água dentro de uma precisão aceitável. Para o desenvolvimento desta etapa, pesquisadores buscam ou mesmo conduzem programas de coleta e medidas de dados abrangendo as variações mais extremas de fluxo e clima. Tais levantamentos requerem periodicidade na coleta e rapidez nas análises, demandando uma equipe voltada para este fim.

Apesar de toda a dificuldade em levantar dados consistentes, existirá um desvio na qualidade e quantidade de água na bacia ao longo dos anos, inerente à sua dinâmica. Uma estatística para um período acima de 5 anos pode ocultar fatores que influenciaram a qualidade de água, – como a construção de novas estações de tratamento de esgotos, disposição de efluentes tratados por algumas indústrias, explosão populacional em dada área e outros – causando a inferência de valores médios incorretos no modelo. Todavia, um impedimento básico para uma modelagem bem sucedida de qualidade de água é a falta de dados adequados para a calibração e validação.

Cada modelo matemático apresentará uma calibração distinta, tendo em vista que uns utilizam-se de um número maior de simplificações frente a outros. Desta forma, na primeira etapa da modelagem matemática, que consiste na discretização do sistema a ser modelado e subsequente calibração, é fundamental que haja consistência entre as simulações e a realidade e, para que a modelagem possa ser efetivamente usada como ferramenta em processos decisórios. A confiabilidade dos dados observados, o domínio das condições hidráulicas e morfológicas da bacia, a exata localização dos pontos de descarga e retirada das indústrias e municípios circunvizinhos são fatores fundamentais para uma calibração bem feita. Quanto maior o nível de conhecimento sobre a bacia a ser modelada, mais precisa será a

calibração, a ser concluída na definição de uma boa correlação entre os dados calculados e observados.

Diante destas considerações, foi levantado um questionamento acerca do valor da taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C utilizado pelo Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001), uma vez que estavam muito além dos valores constantes na literatura (CHAPRA, 1997). Assim, para obter uma análise da sensibilidade da taxa nos resultados das concentrações dos parâmetros de qualidade da água e por fim no parâmetro Z, foi proposta a simulação dos mesmos cenários anteriores com base na taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C, presente em literatura (CHAPRA, 1997). Desta forma, foram realizadas simulações dos cenários A, C, Ideal 1 e 2 utilizando os valores da taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C presentes no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001), e simulações utilizando o valor 0,1 d<sup>-1</sup>, constante em literatura, conforme indicado no Quadro 7.1.

QUADRO 7.1 – VALORES CONSIDERADOS PARA TAXA DE DECAIMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA A 20°C

BACIA	TAXA DE DECAIMENTO DE MATÉRIA ORGÂNICA A 20°C – K <sub>1</sub> (d <sup>-1</sup> ) PDHBAI	TAXA DE DECAIMENTO DE MATÉRIA ORGÂNICA A 20°C – K <sub>1</sub> (d <sup>-1</sup> )
Iraí	1,4	0,1
Iraízinho	1,4	0,1
Piraquara	0,7	0,1
Palmital	3,4	0,1

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

Os resultados obtidos destas simulações referentes a cada cenário estão apresentados nas seções seguintes em forma de texto e de gráficos, sendo possível vislumbrar o impacto produzido pela variação da taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C (k<sub>1</sub>) nos valores das concentrações da demanda bioquímica de oxigênio e do oxigênio dissolvido.

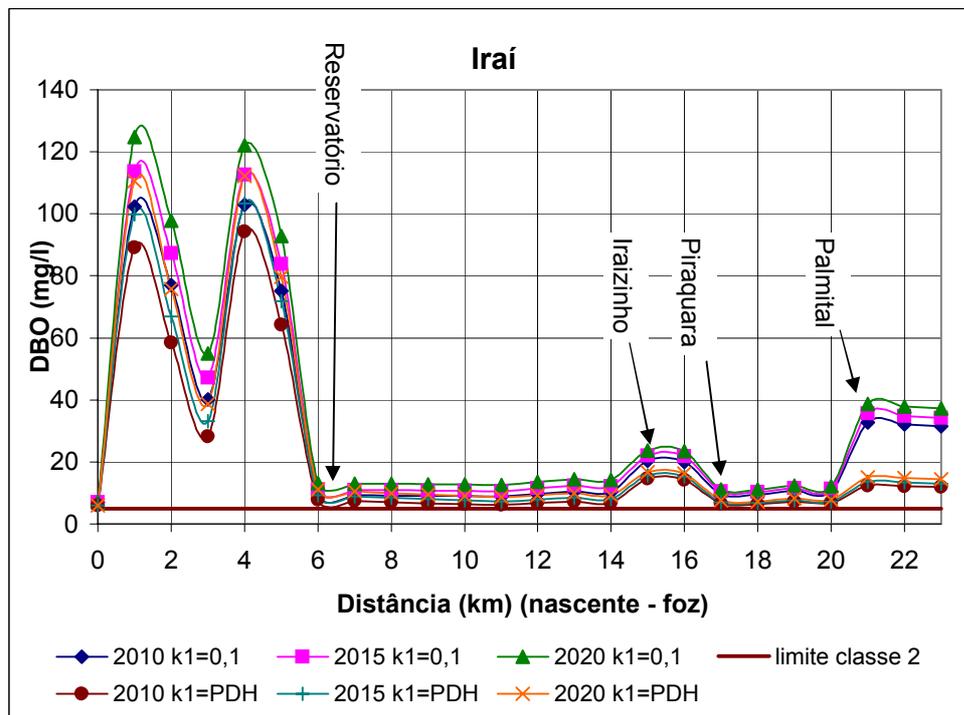
## 7.1 Cenário A

Como exposto no capítulo 6, seção 6.2.1, o cenário A constitui a situação básica em que não serão implantadas novas medidas de despoluição hídrica nos rios da área em estudo para todos os anos considerados, a saber, 2010, 2015 e 2020, apenas serão aplicadas as medidas já previstas pelo PROSAM e outros programas existentes. Considera-se, dessa maneira, o aumento das contribuições de cargas poluidoras lançadas nos rios, em decorrência do crescimento da população e do setor industrial, sem a contrapartida da aplicação de novas medidas.

Assim sendo, diz-se que tal situação corresponde ao prognóstico das bacias para os anos em estudo, servindo de referência para o cálculo do parâmetro Z.

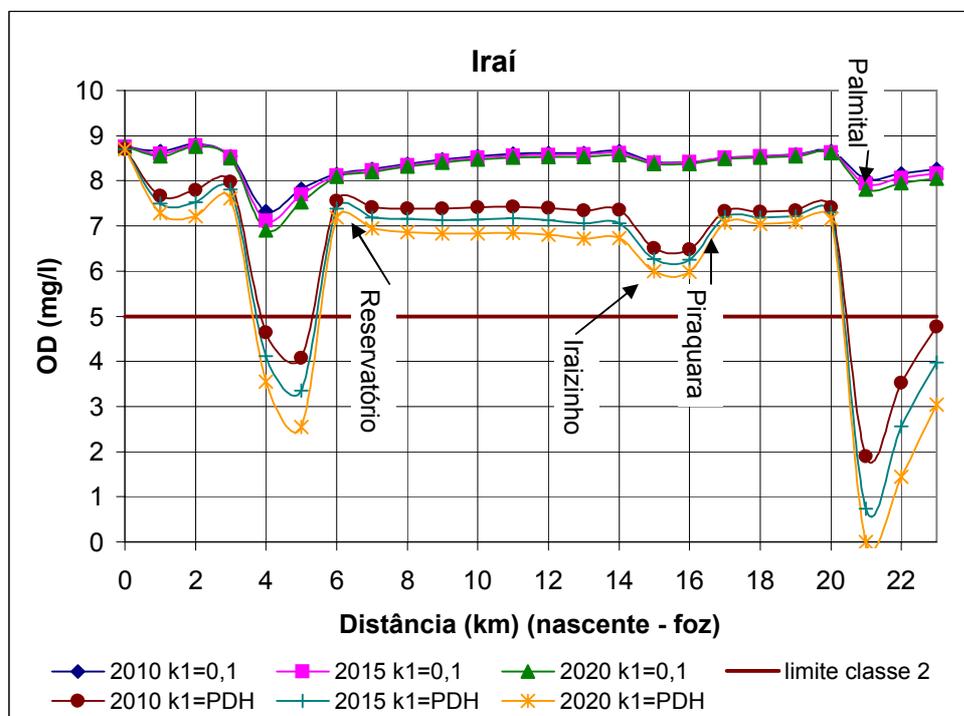
Os Gráficos 7.1 ao 7.8 apresentam os valores de concentração da demanda bioquímica de oxigênio e do oxigênio dissolvido, para as bacias consideradas neste estudo, referentes às duas taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C utilizada na análise de sensibilidade. Assim, estão presentes nos gráficos os dados de 2010, 2015 e 2020 referentes ao cenário A para os valores da taxa de decaimento da matéria orgânica utilizada no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) e a proposta pela literatura (CHAPRA, 1997).

GRÁFICO 7.1 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO A



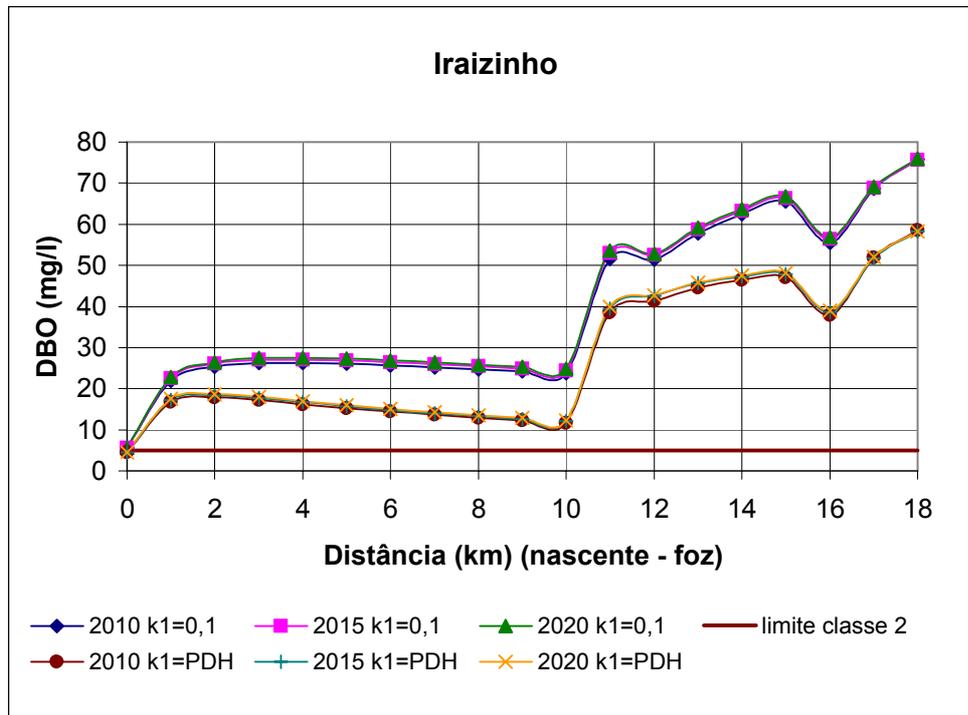
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.2 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO A



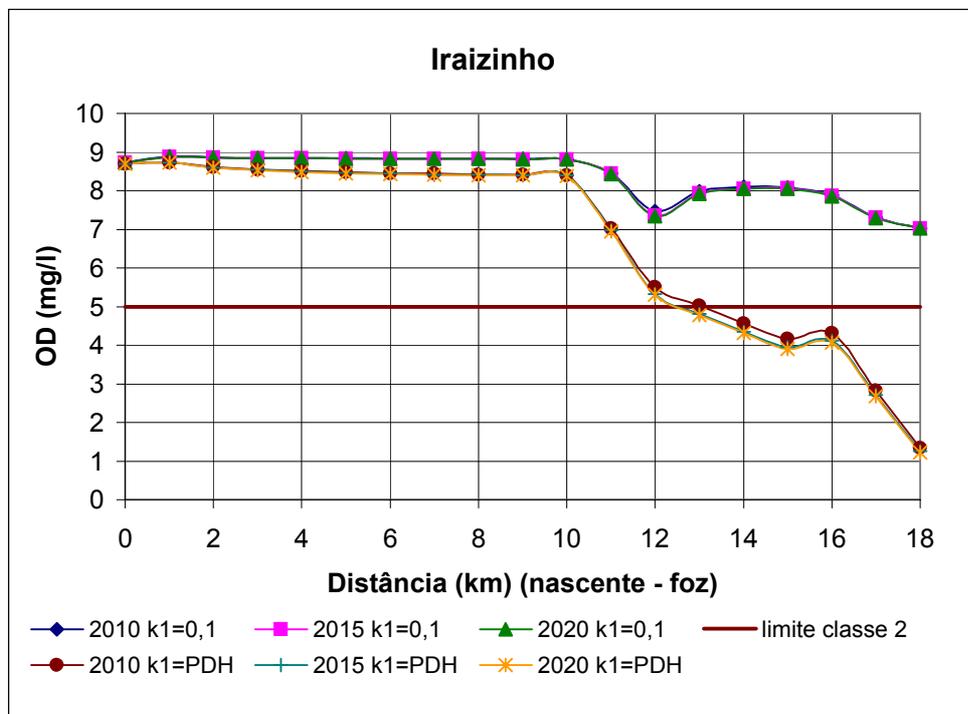
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.3 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO A



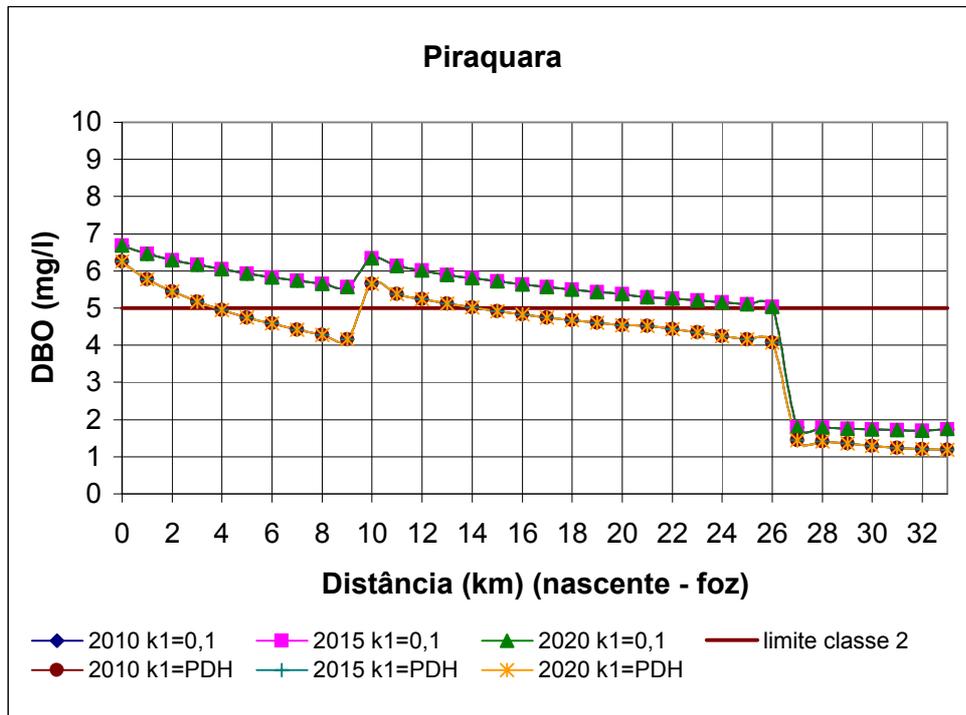
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.4 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO A



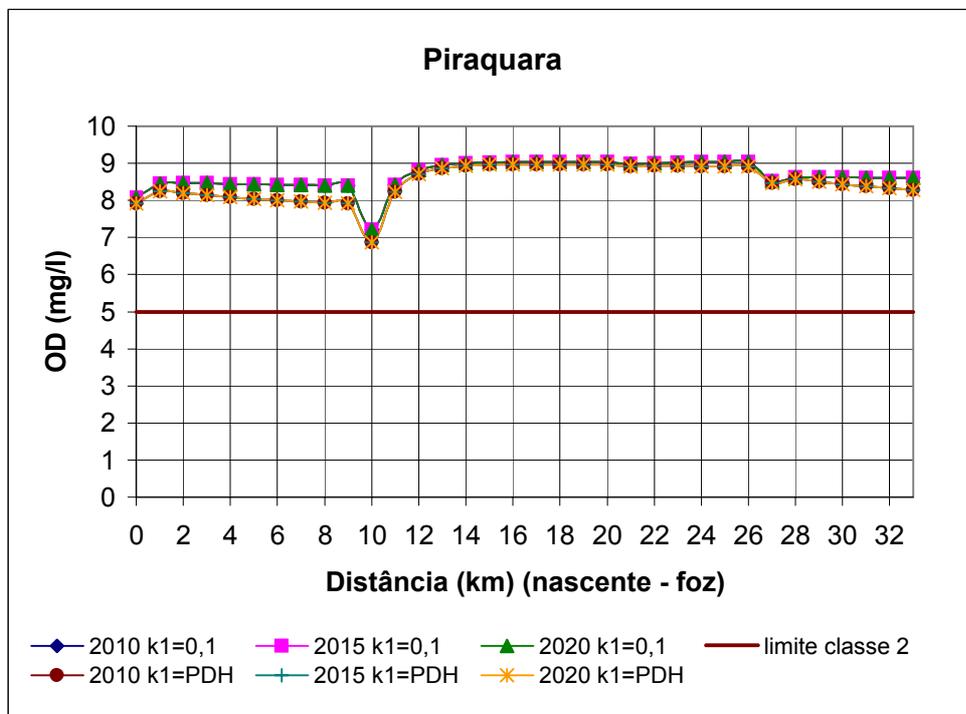
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.5 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO A



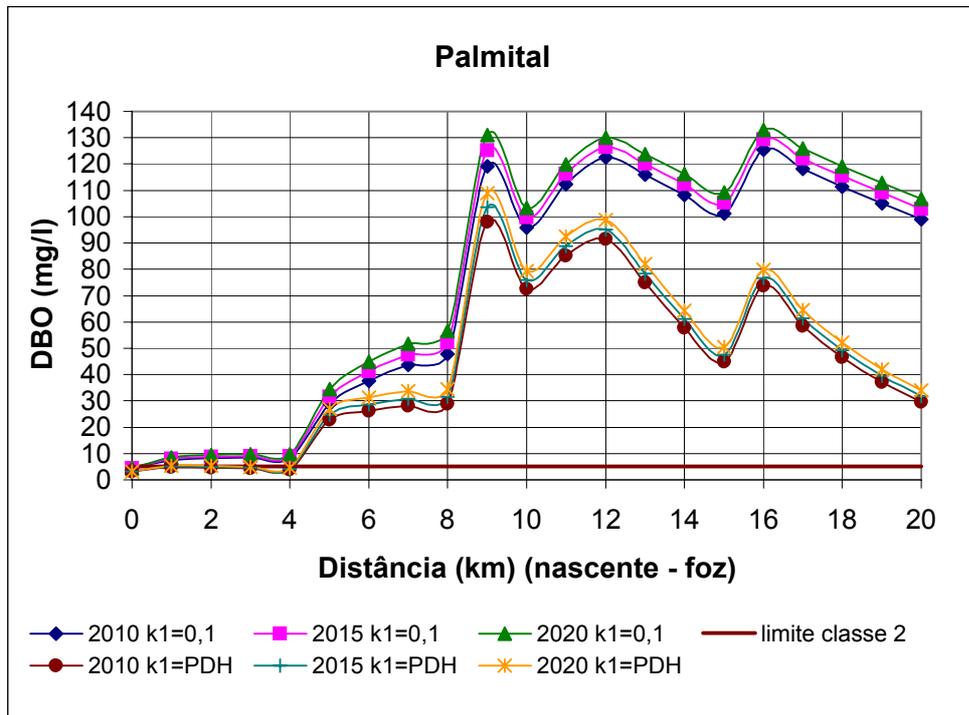
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.6 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO A



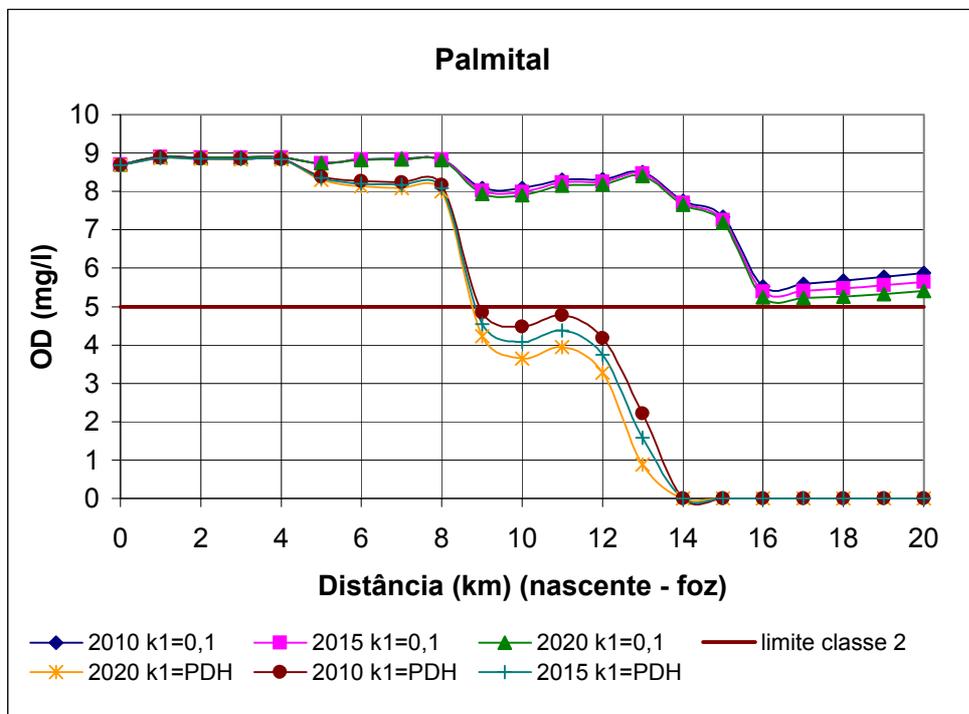
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.7 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO A



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.8 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO A



FONTE: O Autor.

Destaca-se, desde logo, que os valores obtidos para a simulação com a taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C igual a 01 d<sup>-1</sup> para todas as bacias proporciona resultados diferentes dos obtidos quando simulado com os valores de taxas presentes no Plano de Despoluição Hídrica (SUDERHSA, 2000).

As concentrações das seções de controle obtidas para o cenário A estão apresentadas na Tabela 7.1, considerando o ano de 2020.

TABELA 7.1 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO A – 2020

SEÇÃO DE CONTROLE	RIO	km	CENÁRIO A – k <sub>1</sub> =PDHBAI – 2020		CENÁRIO A – k <sub>1</sub> =0,1 - 2020		δOD (mg/l)	ΔDBO (mg/l)
			OD (mg/l)	DBO (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)		
1	Iraí	33	8,28	1,19	8,60	1,75	0,32	0,56
2	Piraquara	17	7,07	7,53	8,49	11,22	1,42	3,69
3	Palmital	20	0,00	33,98	5,40	106,77	5,40	72,79
4	Iguaçu	23	3,04	14,46	8,05	37,19	5,01	22,73

FONTE: O Autor.

Para este cenário a única seção de controle que se encontra enquadrada na classe desejada é a seção 1. As demais estariam enquadradas na classe 4.

## 7.2 Cenário C

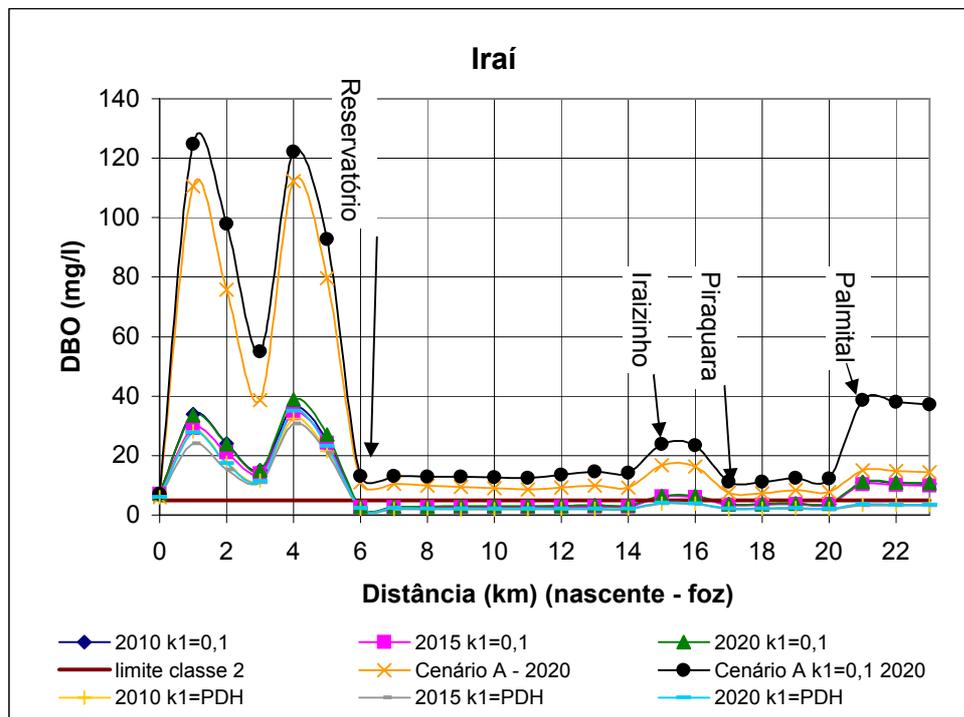
O cenário C, em conformidade com o apresentado no capítulo 6, seção 6.2.2, constitui a situação em que as proposições foram feitas visando alcançar os objetivos ambientais definidos para a região em estudo, em curto prazo e mantê-los ao longo do período de planejamento, conforme estabelecido pelo Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001).

Desta maneira, o cenário C considera o aumento das cargas poluidoras, mas a execução de amplo programa de medidas de controle, que seria implantado para eliminar o déficit inicial dos serviços existentes e atender o crescimento das demandas futuras para a redução da poluição dos rios, sem restrições econômicas.

Os Gráficos 7.9 ao 7.16 apresentam os valores de concentração da demanda bioquímica de oxigênio e do oxigênio dissolvido, para as bacias consideradas neste

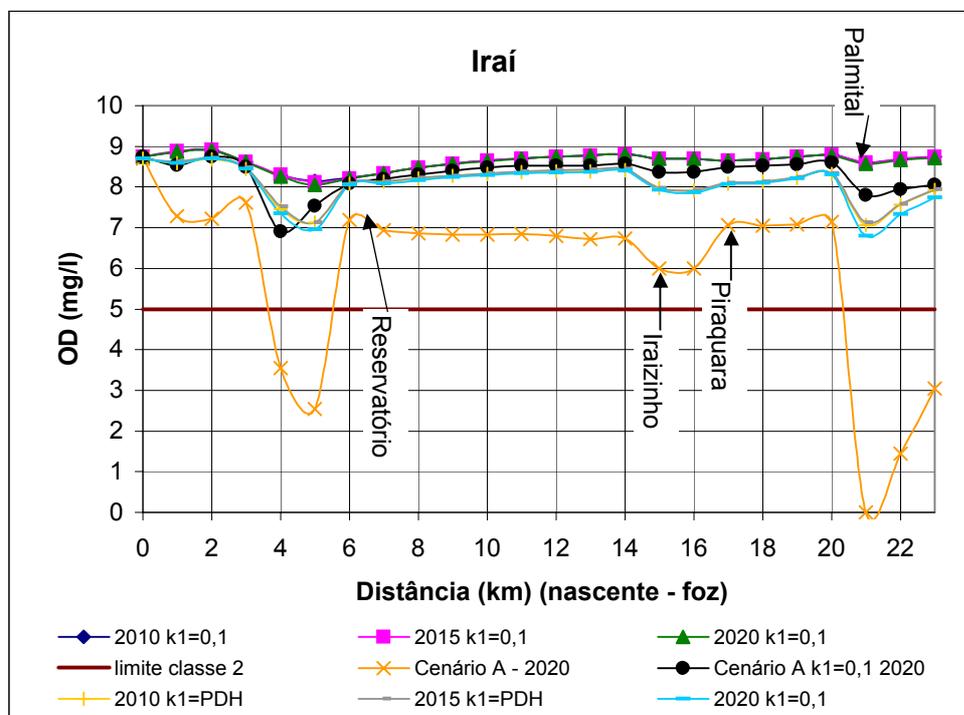
estudo, referentes às duas taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C utilizada na análise de sensibilidade. Assim, estão presentes nos gráficos os dados de 2010, 2015 e 2020 referentes ao cenário C para os valores da taxa de decaimento da matéria orgânica utilizada no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) e a proposta pela literatura (CHAPRA, 1997), assim como os dados referentes ao cenário A – 2020, cenário de referência, para ambos os valores de taxa de decaimento da matéria orgânica.

GRÁFICO 7.9 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO C



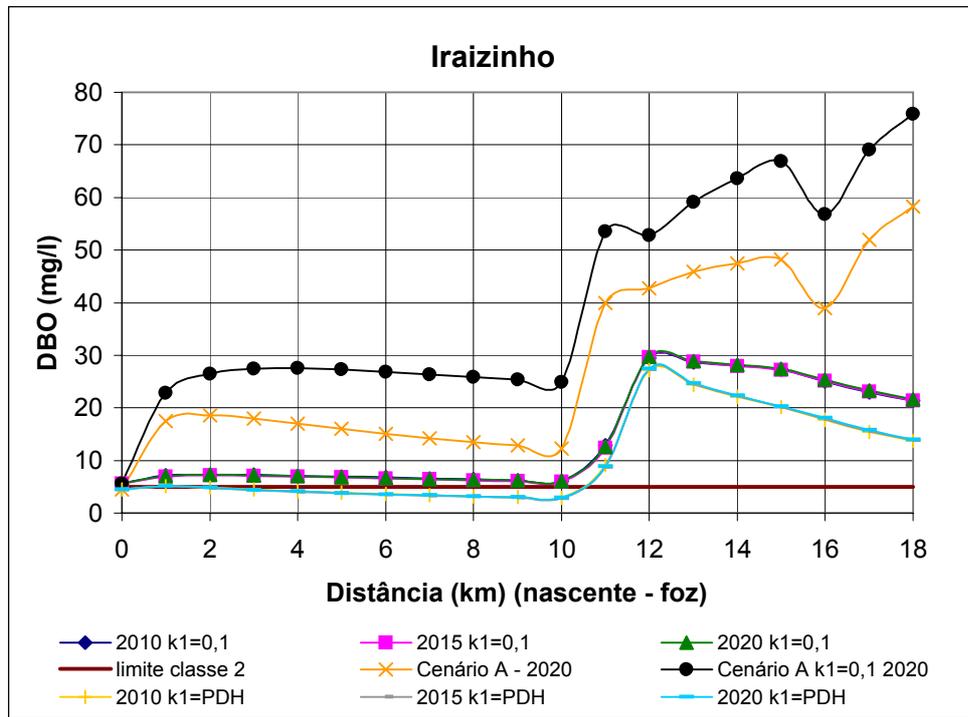
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.10 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO C



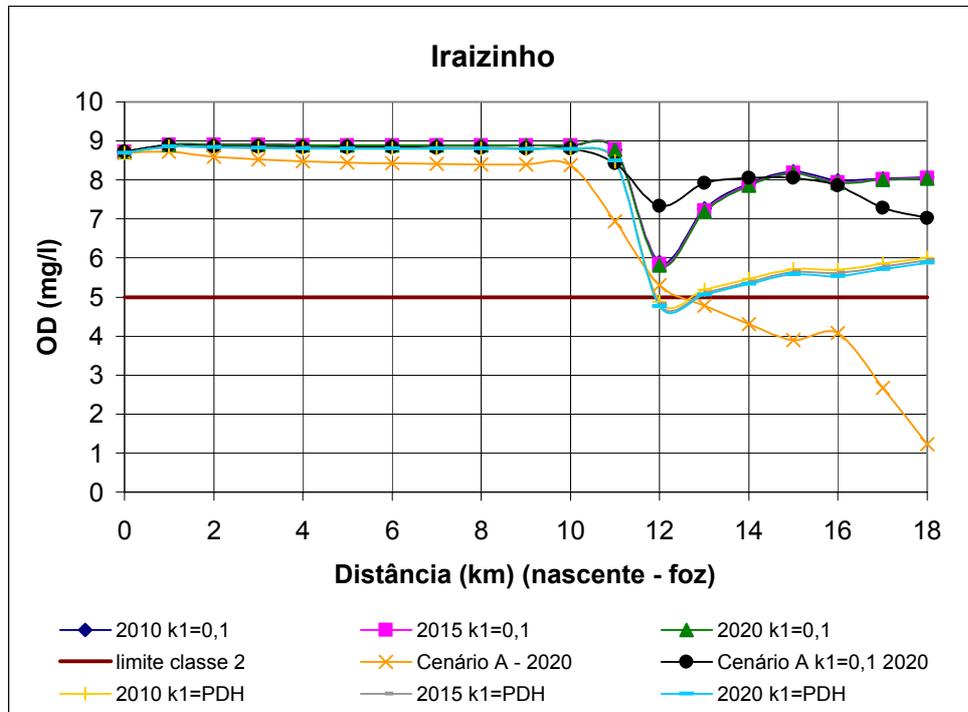
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.11 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO C



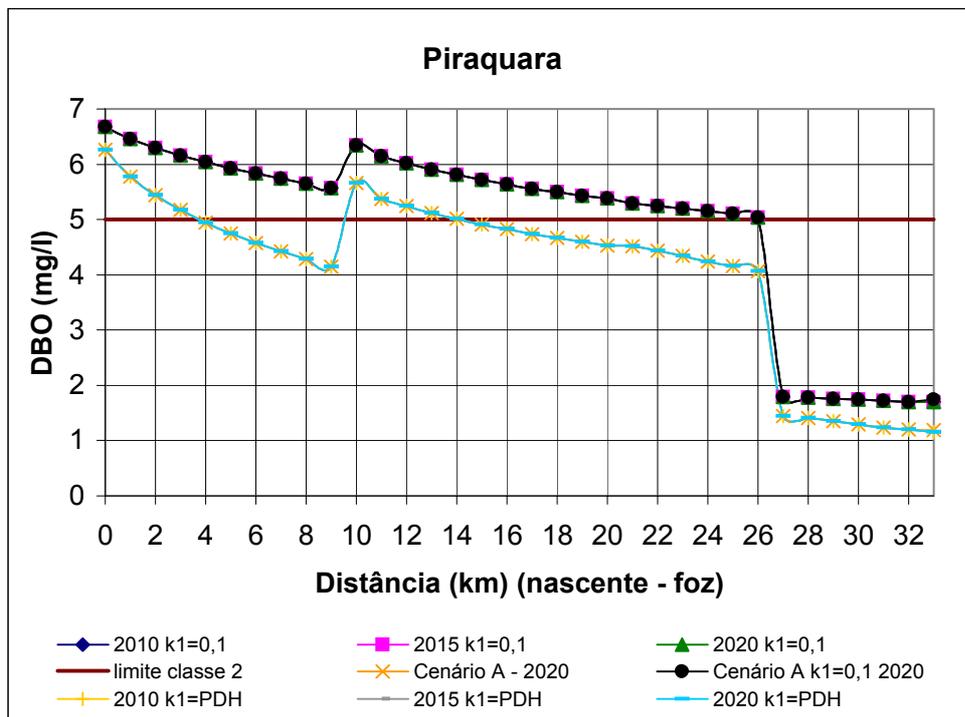
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.12 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO C



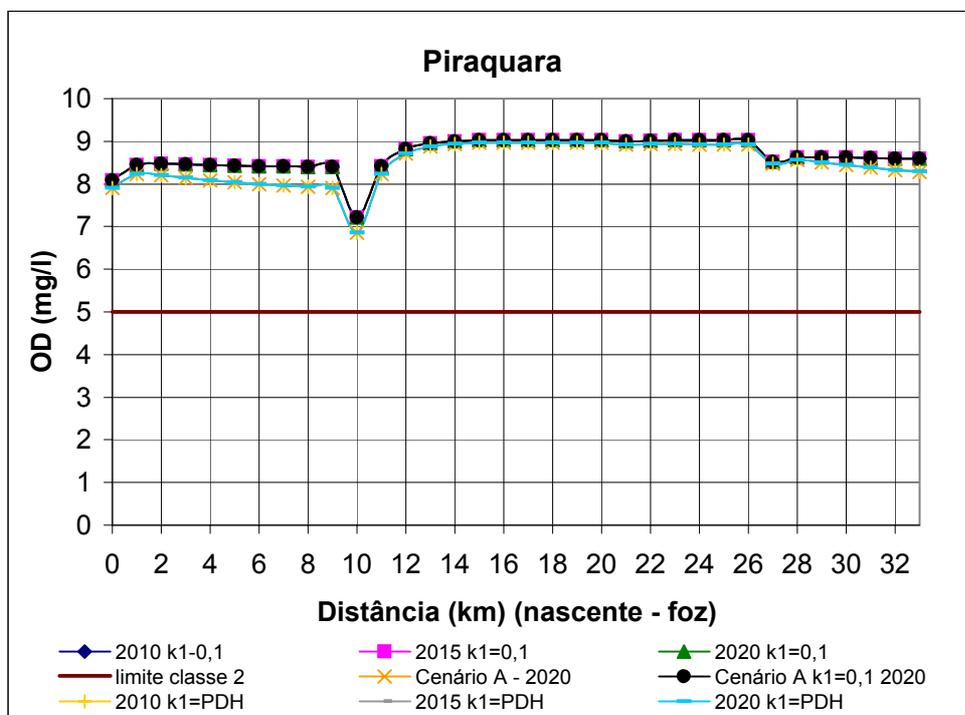
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.13 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO C



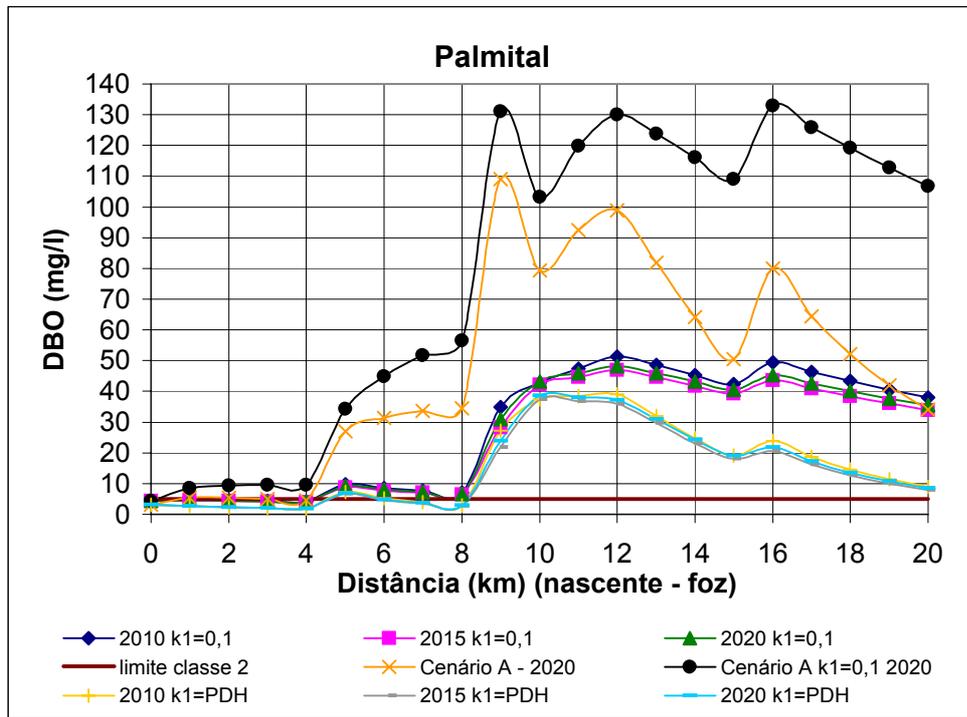
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.14 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO C



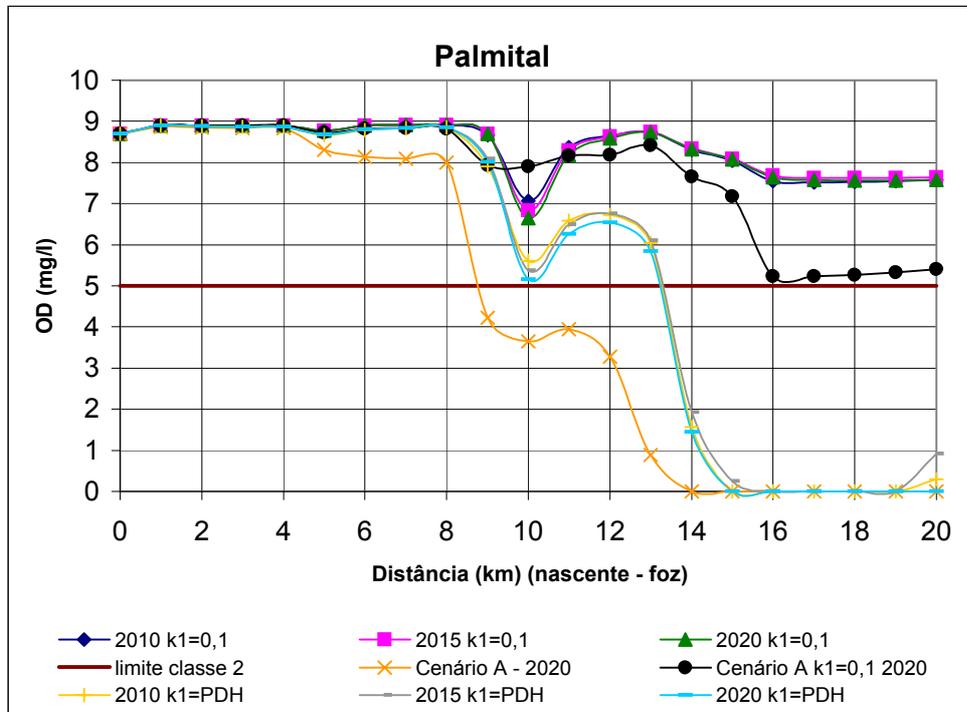
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.15 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO C



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.16 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO C



FONTE: O Autor.

As concentrações das seções de controle obtidas para o cenário C estão apresentadas na Tabela 7.2, considerando o ano de 2020.

TABELA 7.2 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO C – 2020

SEÇÃO DE CONTROLE	RIO	km	CENÁRIO C – $k_1=PDHBAI - 2020$		CENÁRIO C – $k_1=0,1 - 2020$		$\delta OD$ (mg/l)	$\Delta DBO$ (mg/l)
			OD (mg/l)	DBO (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)		
1	Iraí	33	8,28	1,16	8,60	1,70	0,32	0,54
2	Piraquara	17	8,07	2,25	8,65	3,70	0,58	1,45
3	Palmital	20	0,00	8,53	7,57	35,43	7,57	26,90
4	Iguaçu	23	7,74	3,45	8,72	10,71	0,98	7,26

FONTE: O Autor.

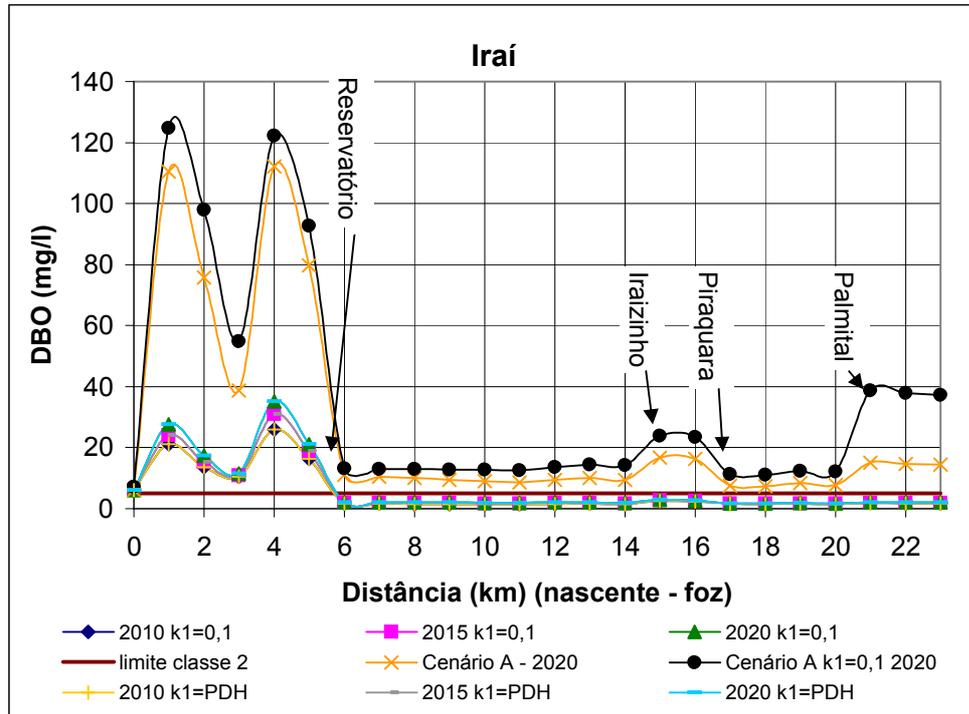
Para este cenário apenas as seções de controle 1 e 2 encontram-se enquadradas na classe desejada. A seção 3 está na classe 4, enquanto a seção 4 está na classe 3.

### 7.3 Cenário ideal 1

O cenário ideal 1 constitui a situação em que as seções de controle definidas para análise do parâmetro Z, se enquadra aos valores definidos por lei, referentes à classe 2.

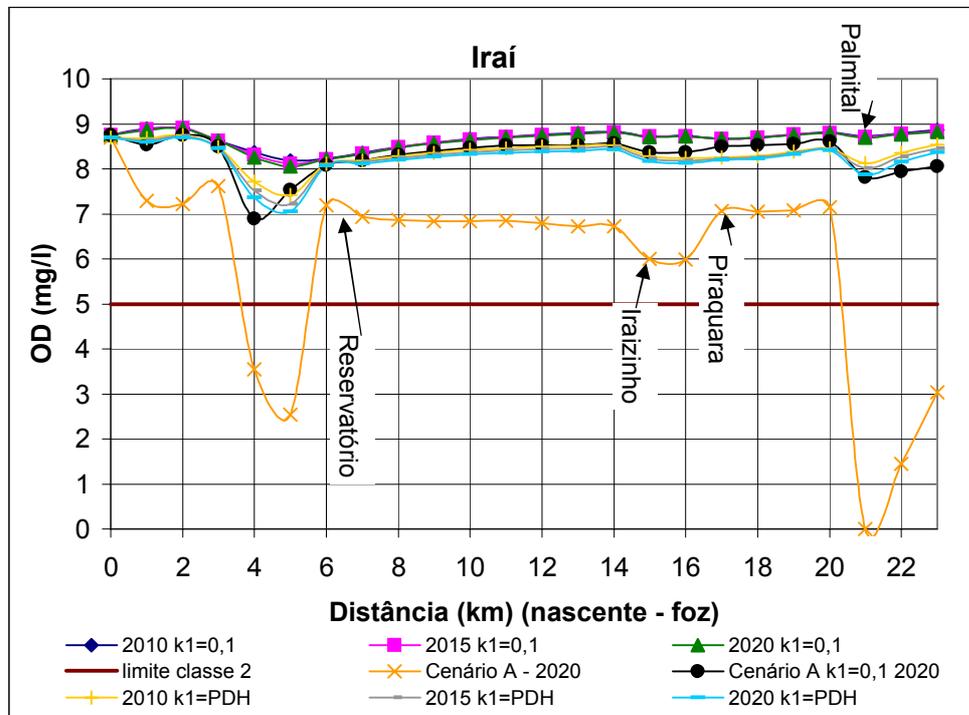
Os Gráficos 7.17 ao 7.24 apresentam os valores de concentração da demanda bioquímica de oxigênio e do oxigênio dissolvido, para as bacias consideradas neste estudo, referentes às duas taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C utilizada na análise de sensibilidade. Assim, estão presentes nos gráficos os dados de 2010, 2015 e 2020 referentes ao cenário ideal 1 para os valores da taxa de decaimento da matéria orgânica utilizada no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) e a proposta pela literatura (CHAPRA, 1997), assim como os dados referentes ao cenário A – 2020, cenário de referência, para ambos os valores de taxa de decaimento da matéria orgânica.

GRÁFICO 7.17 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO IDEAL 1



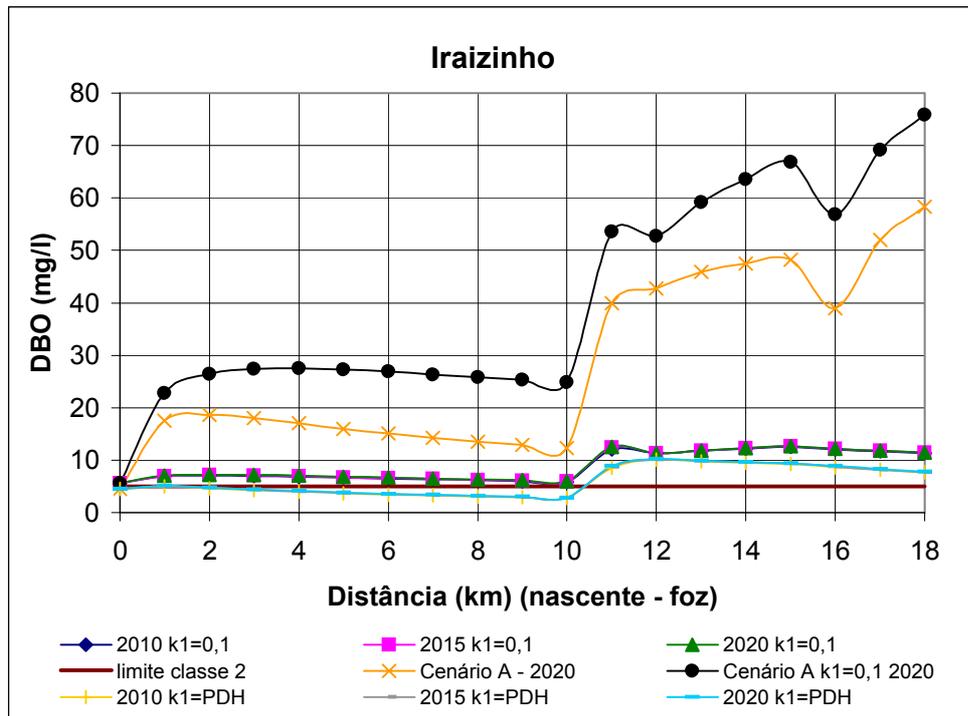
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.18 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO IDEAL 1



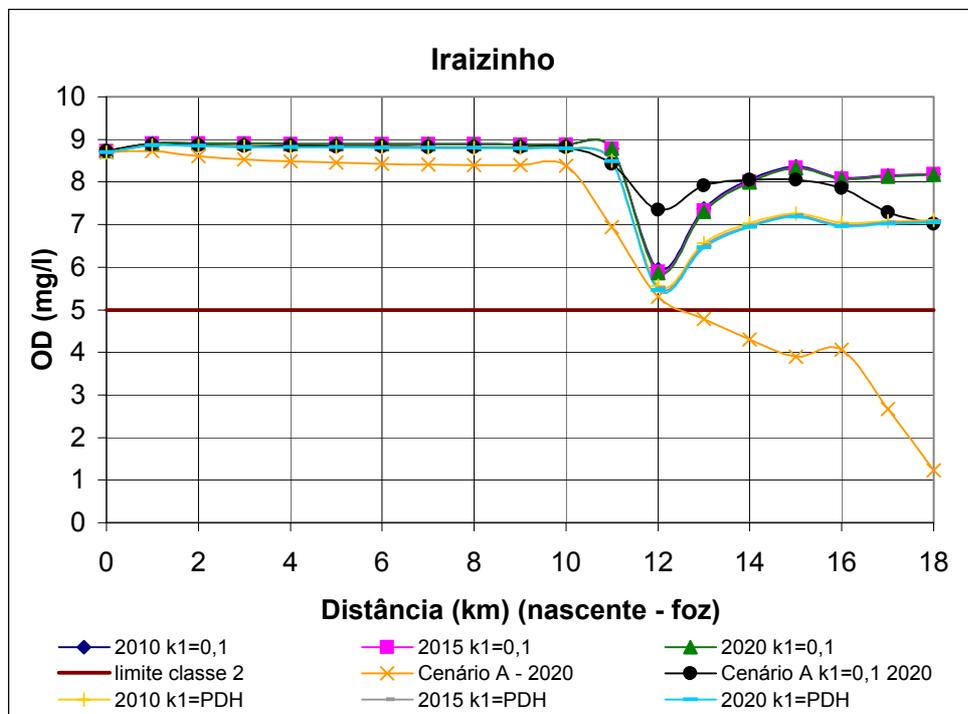
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.19 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO IDEAL 1



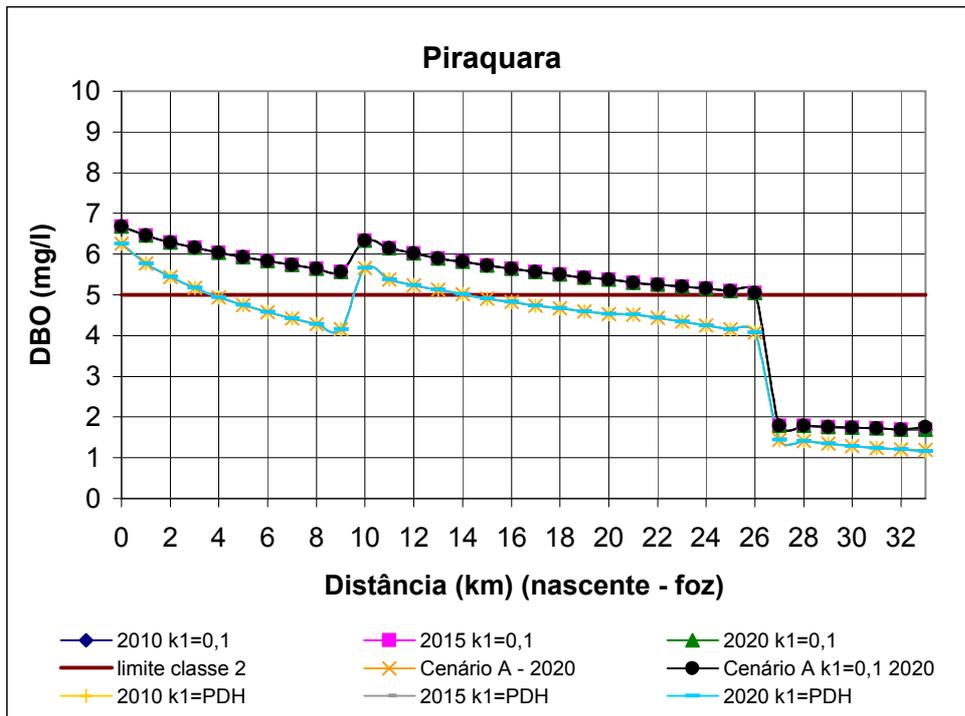
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.20 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO IDEAL 1



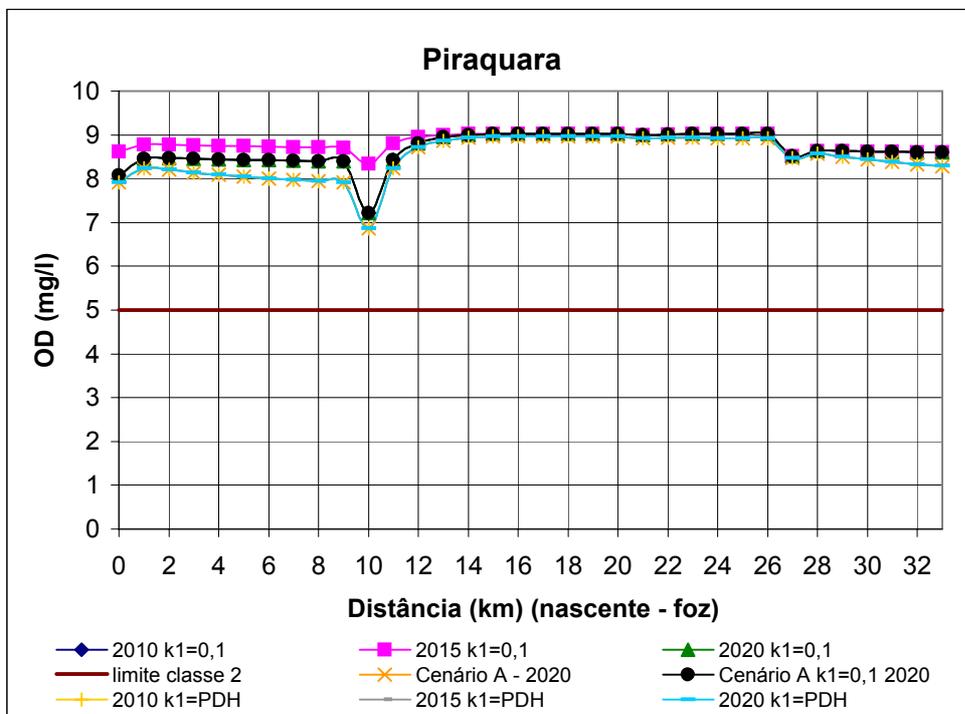
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.21 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO IDEAL 1



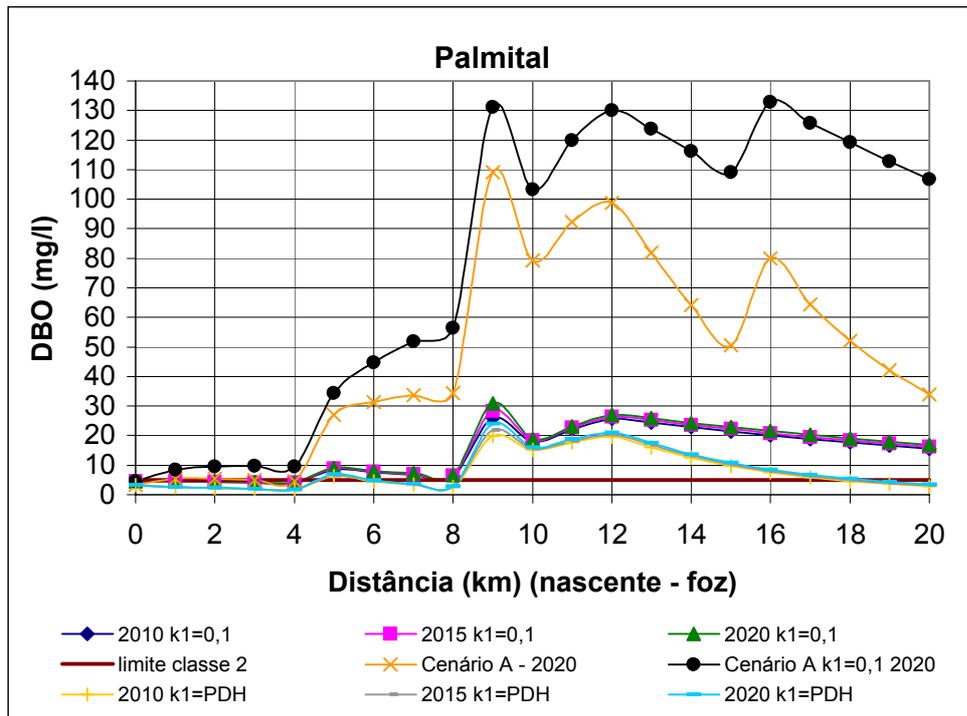
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.22 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO IDEAL 1



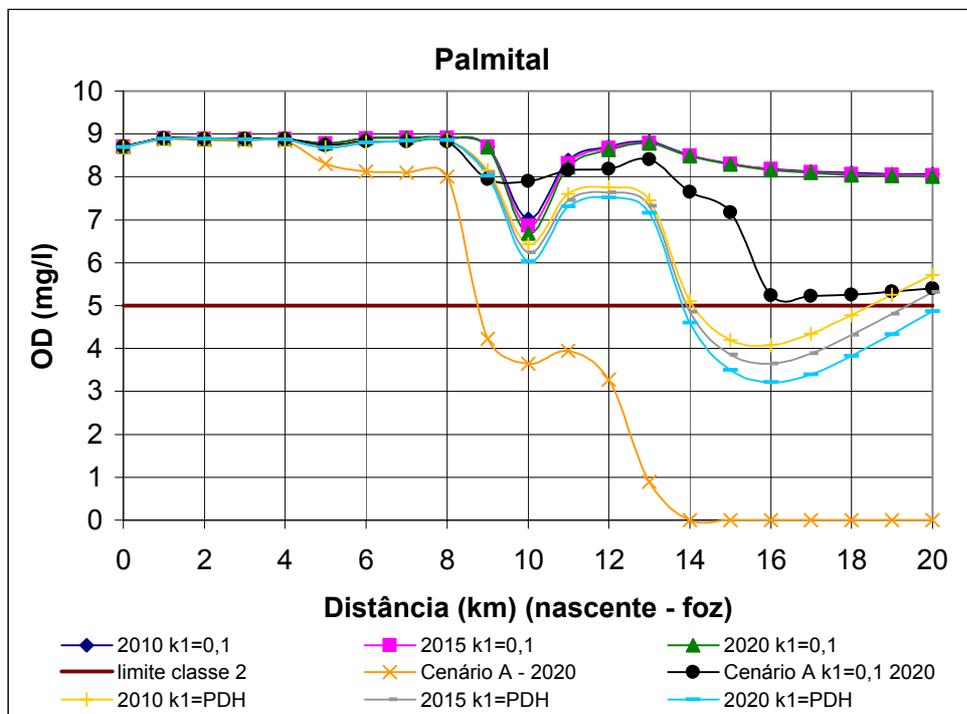
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.23 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO IDEAL 1



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.24 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO IDEAL 1



FONTE: O Autor.

As concentrações das seções de controle obtidas para o cenário ideal 1 estão apresentadas na Tabela 7.3, considerando o ano de 2020.

TABELA 7.3 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO IDEAL 1 – 2020

SEÇÃO DE CONTROLE	RIO	km	CENÁRIO IDEAL 1 – $k_1=PDHBAI - 2020$		CENÁRIO IDEAL 1 – $k_1=0,1 - 2020$		$\delta OD$ (mg/l)	$\Delta DBO$ (mg/l)
			OD (mg/l)	DBO (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)		
1	Iraí	33	8,29	1,16	8,60	1,69	0,31	0,53
2	Piraquara	17	8,20	1,77	8,67	2,84	0,47	1,07
3	Palmital	20	4,86	3,41	8,01	16,91	3,15	13,50
4	Iguaçu	23	8,37	1,99	8,82	5,84	0,45	3,85

FONTE: O Autor.

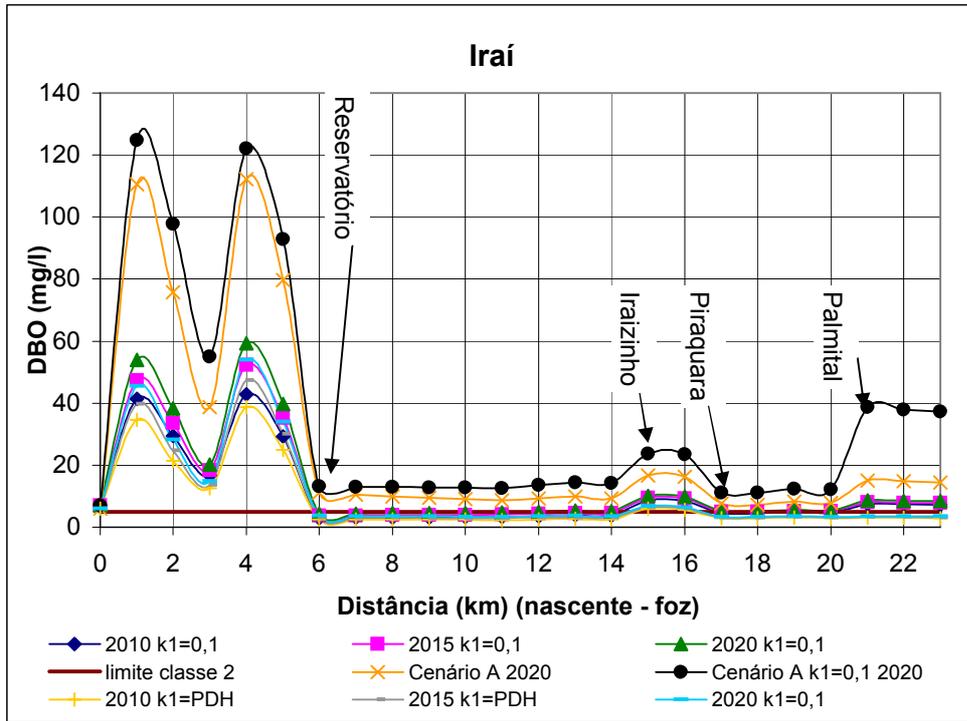
Da mesma forma que ocorre no cenário C, apenas as seções de controle 1 e 2 encontram-se enquadradas na classe desejada, sendo a seção 3 ficando na classe 4, enquanto a seção 4 na classe 3.

#### 7.4 Cenário ideal 2

O cenário ideal 2 foi desenvolvido visando o enquadramento das seções de controle de tal sorte que implementação do conjunto de medidas em despoluição não proporcionasse o “super” enquadramento, apenas o enquadramento na classe definida em lei.

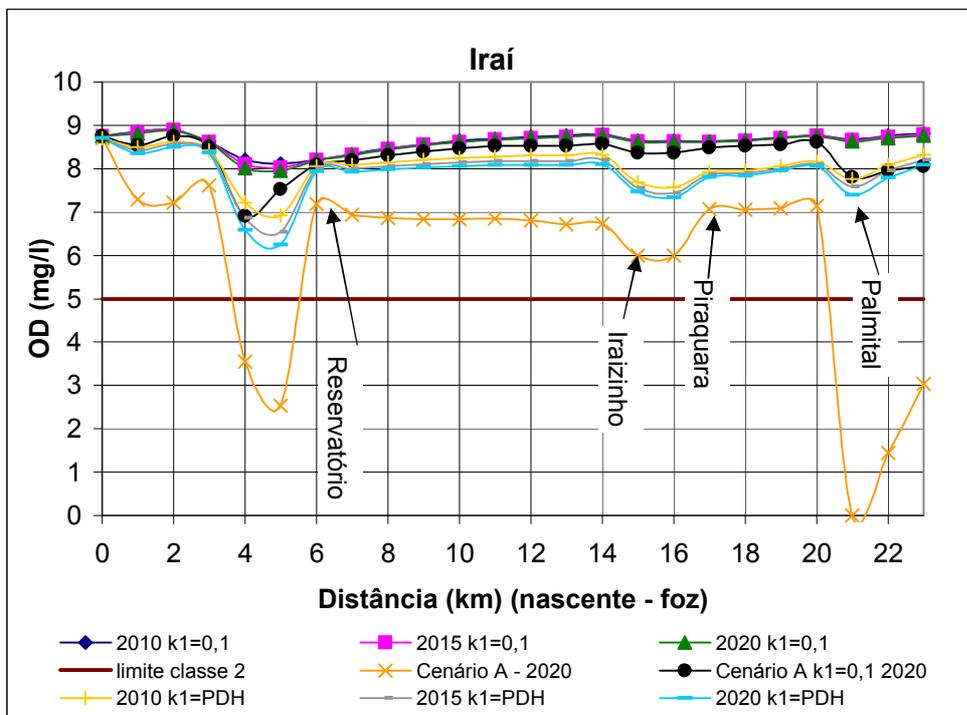
Os Gráficos 7.25 ao 7.32 apresentam os valores de concentração da demanda bioquímica de oxigênio e do oxigênio dissolvido, para as bacias consideradas neste estudo, referentes às duas taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C utilizada na análise de sensibilidade. Assim, estão presentes nos gráficos os dados de 2010, 2015 e 2020 referentes ao cenário ideal 2 para os valores da taxa de decaimento da matéria orgânica utilizada no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) e a proposta pela literatura (CHAPRA, 1997), assim como os dados referentes ao cenário A – 2020, cenário de referência, para ambos os valores de taxa de decaimento da matéria orgânica.

GRÁFICO 7.25 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO IDEAL 2



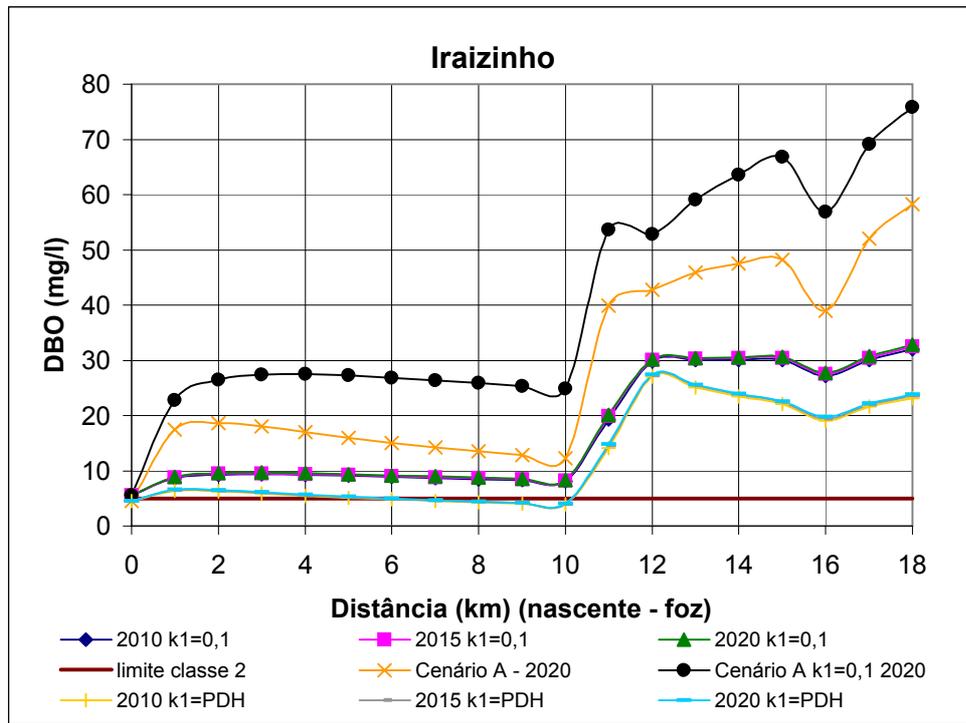
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.26 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO IDEAL 2



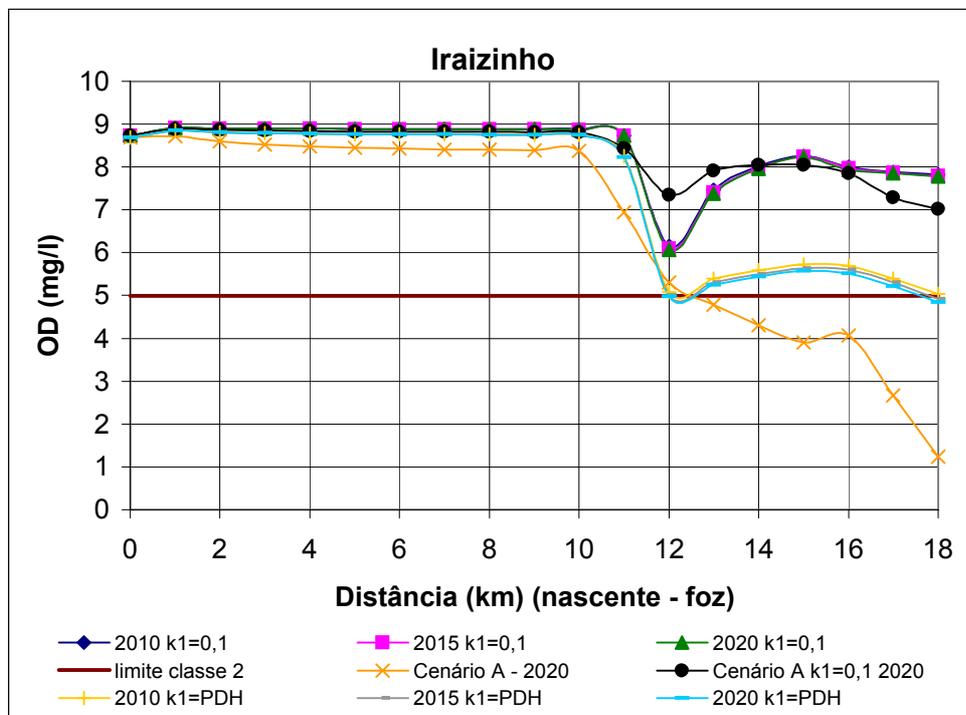
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.27 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO IDEAL 2



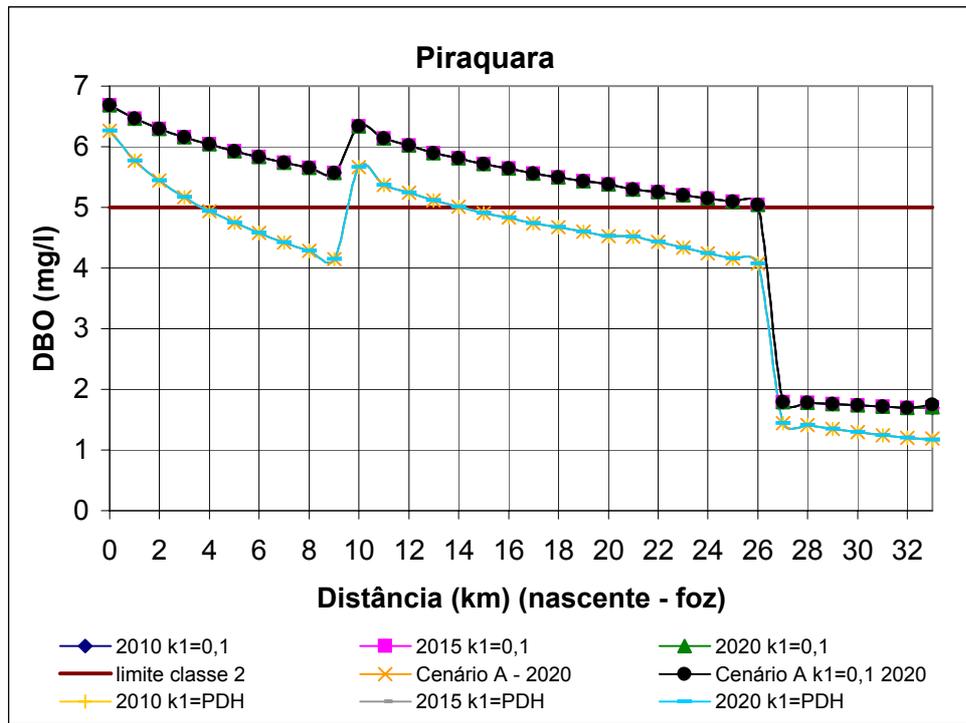
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.28 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO IDEAL 2



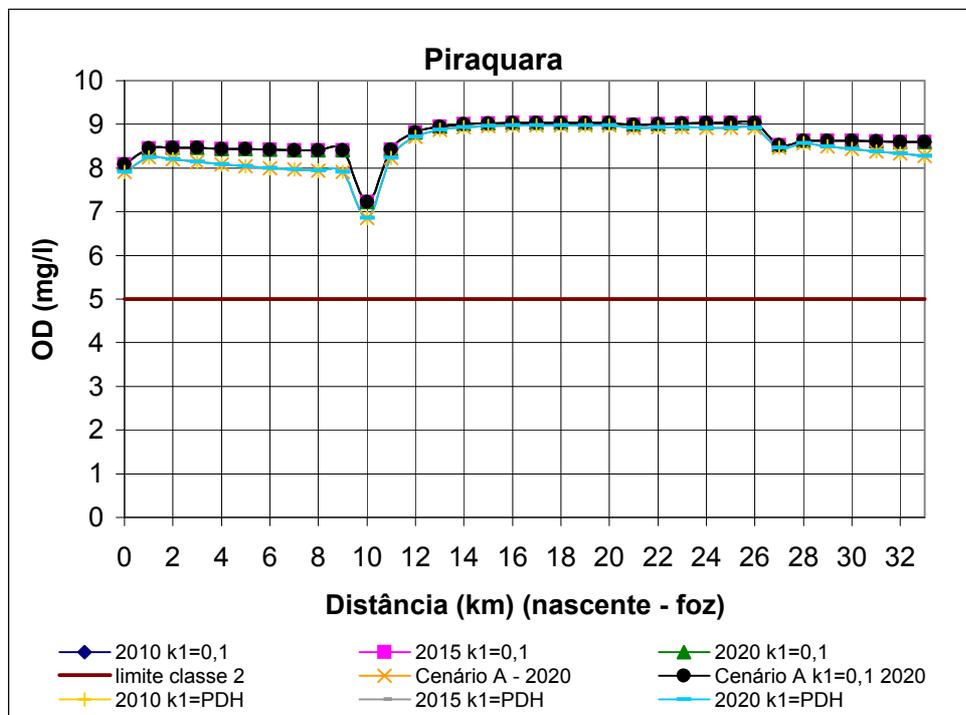
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.29 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO IDEAL 2



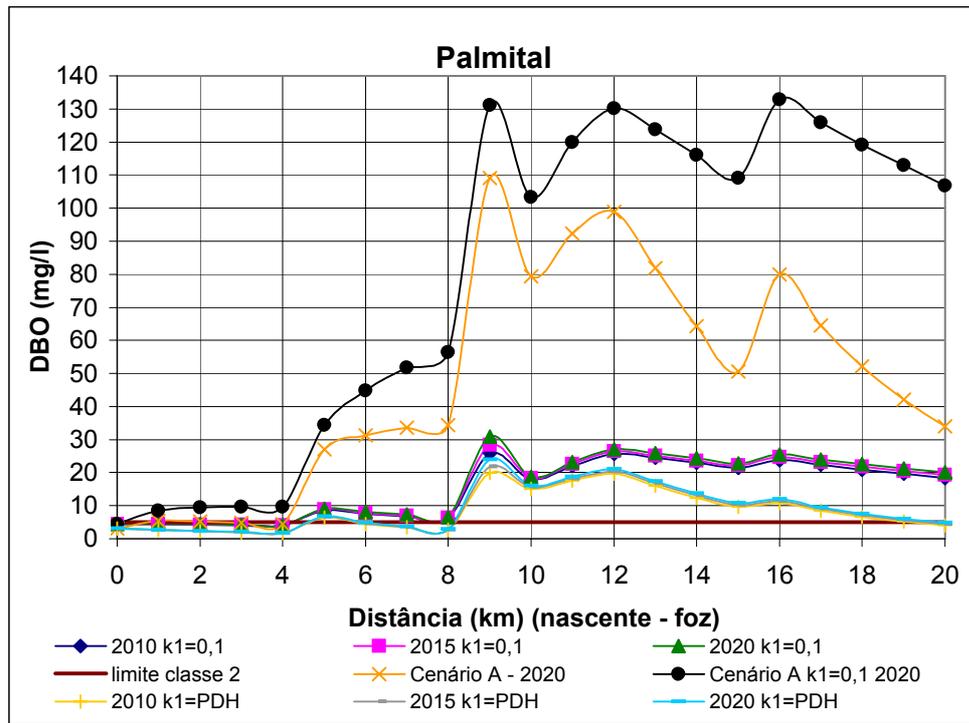
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.30 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO IDEAL 2



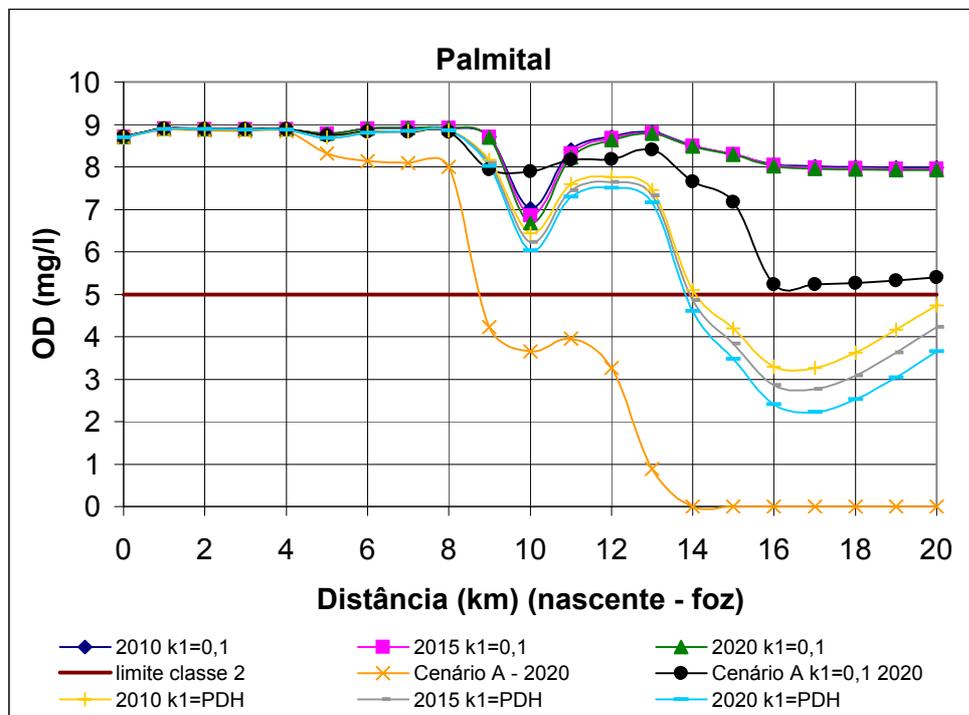
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.31 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO IDEAL 2



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 7.32 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO IDEAL 2



FONTE: O Autor.

As concentrações das seções de controle obtidas para o cenário ideal 2 estão apresentadas na Tabela 7.4, considerando o ano de 2020.

TABELA 7.4 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO IDEAL 2 – 2020

SEÇÃO DE CONTROLE	RIO	km	CENÁRIO IDEAL 2 – $k_1=PDHBAI - 2020$		CENÁRIO IDEAL 2 – $k_1=0,1 - 2020$		$\delta OD$ (mg/l)	$\Delta DBO$ (mg/l)
			OD (mg/l)	DBO (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)		
1	Iraí	33	8,29	1,16	8,60	1,69	0,31	0,53
2	Piraquara	17	8,20	1,77	8,67	2,84	0,47	1,07
3	Palmital	20	4,86	3,41	8,01	16,91	3,15	13,50
4	Iguaçu	23	8,37	1,99	8,82	5,84	0,45	3,85

FONTE: O Autor.

Da mesma forma que ocorre no cenário C, apenas as seções de controle 1 e 2 encontram-se enquadradas na classe desejada, sendo a seção 3 ficando na classe 4, enquanto a seção 4 na classe 3.

### 7.5 Análise Crítica do Capítulo

Este capítulo apresenta o impacto da calibração nos resultados da concentração do OD e da DBO. Foram aplicados valores distintos da taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C resultando em variações consideráveis nas seções de controle estudadas. Desta forma, os resultados obtidos de tais simulações estão demonstrados na Tabela 7.5.

TABELA 7.5 – VALORES DAS CONCENTRAÇÕES DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

RIO	TRAMO	km	IDEAL - 01 - k1=0,1 - 2020		IDEAL - 02 - K1=0,1 - 2020		CENÁRIO A - k1=0,1 - 2020		CENÁRIO C - k1=0,1 - 2020	
			OD	DBO	OD	DBO	OD	DBO	OD	DBO
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Piraquara PI-1	15	33	8,60	1,69	8,60	1,71	8,60	1,75	8,60	1,70
Iraí IR-1	16	17	8,67	2,84	8,61	5,20	8,49	11,22	8,65	3,70
Palmital PA-1	22	20	8,01	16,91	7,92	20,04	5,40	106,77	7,57	35,43
Iguaçu IR-2	23	23	8,82	5,84	8,77	8,35	8,05	37,19	8,72	10,71

FONTE: O Autor.

Diante destes dados foi constatado a necessidade de se investir em campanhas para obtenção de dados de campo que permitirão a calibração mais precisa dos modelos matemáticos de qualidade da água.

## CAPÍTULO 8

### ANÁLISE DO IMPACTO DOS ERROS DE CALIBRAÇÃO SOBRE O PARÂMETRO Z

A construção do algoritmo proposto por MARIN (2001) considera a quantificação de benefícios de medidas em despoluição hídrica através da avaliação direta do impacto da redução das concentrações de poluentes. A quantificação do benefício é estruturada em função de três variáveis que são o peso relativo dos usos dos recursos hídricos, o peso dos parâmetros de qualidade analisados e a redução das concentrações de cada parâmetro considerado. Os benefícios econômicos relativos às intervenções em despoluição hídrica apresentada no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) foram quantificados através de um parâmetro de decisão, denominado de parâmetro Z, que visou identificar o cenário de medidas em despoluição hídrica mais adequado à bacia em estudo, dentro de um horizonte de projeto estabelecido, fornecendo bases para a hierarquização dos investimentos. Este parâmetro Z representa uma média ponderada entre as reduções de concentração de poluentes com os pesos dos parâmetros de qualidade da água e com os usos dos recursos hídricos de todas as seções de controle da área em estudo, proporcionando não apenas a avaliação do benefício local de despoluição, mas também os reflexos das medidas de despoluição hídrica em relação à bacia como um todo (MARIN, 2001).

Diante deste ambiente, tem-se a necessidade da quantificação das concentrações dos parâmetros de qualidades da água, os quais são obtidos através da modelagem matemática do QUAL2E (EPA, 1985) para a área em estudo. Assim, pretende-se demonstrar o impacto de erros de calibração na estimativa das concentrações dos parâmetros de qualidade da água na perspectiva da avaliação do parâmetro Z.

A calibração de um modelo matemático visa a aproximação do modelo à realidade presente no corpo hídrico, possibilitando a estimativa de variáveis de qualidade do rio para posterior análise. Quando esta etapa é realizada através de processos “tentativa e erro” os efeitos nos resultados podem ser consideráveis. No

entanto, não se encontram na literatura acadêmica, referências claras sobre este tipo de abordagem.

Este capítulo tem por finalidade demonstrar este impacto do erro de calibração na perspectiva da avaliação dos benefícios econômicos em cenários de medidas em despoluição hídrica, no qual utiliza-se como referência o parâmetro Z. Ainda dentro deste contexto, aplicam-se as hipóteses levantadas no capítulo 5, referentes à metodologia do parâmetro Z, possibilitando uma análise do comportamento do parâmetro frente aos erros produzidos pela ausência ou ineficiência da calibração em modelos de qualidade da água.

Para efetivação desta análise foi necessário o levantamento dos custos para implantação e operação de cada medida em despoluição hídrica proposta para cada cenário, de tal sorte que este pudesse ser transformado em um custo total. A composição dos custos das medidas em despoluição hídrica está exposta a seguir.

### 8.1 Custos dos cenários considerados

As medidas em despoluição hídrica implementadas em cada cenário limitam-se à implementação e operação de rede coletora de esgoto, coletores tronco e interceptores, construção de estações de tratamento e varrição de áreas urbanas. Desta forma, foram adotados os levantamentos dos custos considerados no Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005) para as medidas aplicadas nos cenários considerados. O Quadro 8.1 apresenta o custo por unidade característica referentes às medidas aplicadas nos cenários em estudo.

QUADRO 8.1 – CUSTOS POR UNIDADES CARACTERÍSTICAS PARA AS MEDIDAS EM DESPOLUIÇÃO HÍDRICA APLICADOS NOS CENÁRIOS CONSIDERADOS  
continua

MEDIDAS EM DESPOLUIÇÃO HÍDRICA	CARACTERÍSTICAS	EFICIÊNCIA	UNIDADE CARACTERÍSTICA DA MEDIDA	CUSTO (US\$/UNIDADE CARACTERÍSTICA)
Implantação, manutenção e operação de coletores tronco e interceptores	PVC-JE / DN 150-400	-	m	34,36

QUADRO 8.1 – CUSTOS POR UNIDADES CARACTERÍSTICAS PARA AS MEDIDAS EM DESPOLUIÇÃO HÍDRICA APLICADOS NOS CENÁRIOS CONSIDERADOS

MEDIDAS EM DESPOLUIÇÃO HÍDRICA	CARACTERÍSTICAS	EFICIÊNCIA	UNIDADE CARACTERÍSTICA DA MEDIDA	CUSTO (US\$/UNIDADE CARACTERÍSTICA)
Implantação, manutenção e operação de rede de esgoto	PVC-JE / DN 150-300	-	m	18,33
Implantação, manutenção e operação de estação de tratamento de esgoto doméstico	RALF seguido de lagoa aerada (ou reator aerado)	85%	hab	24,39
	Lodos ativados por Oxigênio Puro, aeração prolongada ou lodos ativados convencionais	95%	hab	32,03
Varrição	Varrição manual de baixa eficiência	-	ha	381,07

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

Foram compostas as planilhas de custos referentes a cada cenário, discriminando os custos por tramo e por medida em despoluição aplicada, de modo que ao final obteve-se o custo global de cada cenário para os anos de 2010, 2015 e 2020. A Tabela 8.1 apresenta a composição dos custos para o cenário C, ideal 1 e ideal 2, lembrando que os custos permanecem os mesmos quando alteradas as taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C.

TABELA 8.1 – CUSTOS DOS CENÁRIOS CONSIDERADOS, PARA OS ANOS DE 2010, 2015 E 2020

BACIA	2010			2015			2020		
	CENÁRIO C	CENÁRIO IDEAL 1	CENÁRIO IDEAL 2	CENÁRIO C	CENÁRIO IDEAL 1	CENÁRIO IDEAL 2	CENÁRIO C	CENÁRIO IDEAL 1	CENÁRIO IDEAL 2
	US\$ 10 <sup>6</sup>								
Iraí	6,27	7,33	5,80	7,85	8,54	6,74	9,13	9,99	7,86
Iraizinho	5,74	6,31	4,74	5,86	6,44	4,81	6,00	6,59	4,87
Piraquara	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Palmital	13,83	16,81	16,44	16,54	18,86	18,45	18,57	21,19	20,72
Total	25,84	30,45	26,98	30,21	33,84	30,00	33,70	37,78	33,51

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

Salienta-se ainda, que o cálculo da extensão da rede coletora de esgoto a ser implementada foi desenvolvido através dos dados constantes no Plano de

Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) para o município de Pinhais, referente à bacia do Rio Iraí, município de Piraquara, referente à bacia do Rio Iraizinho, e município de Colombo, referente à bacia do Rio Palmital. O valor da rede percapita é de 4,71 m/hab, 3,50 m/hab e 4,05 m/hab, respectivamente.

Com relação ao levantamento da extensão dos coletores troncos e interceptores, este foi desenvolvido através da obtenção da distância média da área beneficiada com a rede coletora de esgoto até a localização da estação de tratamento a qual o efluente se destina.

No tocante à implementação de estação para o tratamento de esgoto, estas foram quantificadas em função da população contemplada com o tratamento do esgoto, independentemente de já possuírem tratamento ou não, uma vez que as eficiências presentes nas estações de tratamento existentes não permitiam as eficiências previstas nos cenários em questão.

Por fim, no que diz respeito à varrição, esta foi quantificada em função da área contemplada com a medida, assim, uma vez definida a porcentagem a ser implementada, obtém-se a área para a quantificação dos custos da medida.

Da composição dos custos para cada cenário tem-se que o cenário C apresenta extensão de rede coletora de esgoto para os anos de 2010, 2015 e 2020 igual a 907.932m, 1.079.830m e 1.211.513m, beneficiando uma população de 310.048 hab, 362.015 hab e 404.207 hab, respectivamente, com eficiência de tratamento em 85%. Com relação aos coletores troncos e interceptores, estes apresentam a mesma extensão para os 3 anos considerados, da mesma forma que para os demais cenários, uma vez que o critério de quantificação da extensão avaliou a distância média do ponto de implementação de rede coletora de esgoto à estação de tratamento do mesmo. Assim, tem-se uma extensão de 47.199m. O mesmo ocorreu para a varrição, sendo proporcionada apenas no tramo 21, na bacia do Palmital, equivalendo a 33 ha. O custo global para este cenário nos anos de 2010, 2015 e 2020 é de US\$ 25,8 milhões, US\$ 30,3 milhões e US\$ 33,7 milhões, respectivamente.

Com relação ao cenário ideal 1 tem-se a extensão de rede coletora de esgoto para os anos de 2010, 2015 e 2020 igual a 994.331m, 1.111.128m e 1.248.961m, beneficiando uma população de 330.712 hab, 369.808 hab e 413.387 hab, respectivamente, com eficiência de tratamento em 95%. O custo global para este

cenário nos anos de 2010, 2015 e 2020 é de US\$ 30,5 milhões, US\$ 33,9 milhões e US\$ 37,8 milhões, respectivamente.

O cenário ideal 2 apresenta extensão de rede coletora de esgoto para os anos de 2010, 2015 e 2020 igual a 899.364m, 1.006.339m e 1.248.961m, beneficiando uma população de 307.245 hab, 343.960 hab e 413.387 hab, respectivamente, com eficiência de tratamento de 85% para as bacias do Iraí e Iraizinho e 95% para a bacia do Palmital. O custo global para este cenário nos anos de 2010, 2015 e 2020 é de US\$ 27,0 milhões, US\$ 30, milhões e US\$ 33,5 milhões, respectivamente.

As planilhas de composição dos custos de cada cenário, para os anos de 2010, 2015 e 2020 estão dispostas no anexo 2.

## **8.2 Aplicação do parâmetro Z**

Conforme mencionado em capítulo anterior o parâmetro Z corresponde a uma média ponderada entre as reduções de concentração de poluentes e os pesos dos parâmetros de qualidade da água e dos usos dos recursos hídricos de todas as seções de controle da área em estudo, proporcionando não apenas a avaliação do benefício local de despoluição, mas também os reflexos das medidas em relação à bacia como um todo.

Com referência à quantificação monetária dos benefícios econômicos das intervenções em despoluição hídrica propostos por MARIN (2001) tem-se como uma função do parâmetro Z, e de um coeficiente monetário k, uma vez que o parâmetro Z está associado ao fato gerador da mudança das condições físico-químico-biológica dos corpos d'água e do valor de uso dos recursos hídricos perante à sociedade, proporcionando o coeficiente monetário k a dimensão econômica da despoluição hídrica.

Para o cálculo do coeficiente monetário há a necessidade de existir um cenário "n" o qual todas as seções de controle encontrem-se enquadradas nos parâmetros definidos em lei, nestas condições tem-se o cenário ideal.

Quando foram simulados os cenários A, C, ideal 1 e ideal 2 com as taxas de decaimento de matéria orgânica presentes na literatura constatou-se que nenhum

dos cenários encontravam todas as seções de controle dentro do enquadramento proposto, havendo a necessidade de formular um novo cenário ideal, a ser aplicado no cálculo do parâmetro Z com os dados das simulações com outra taxa de decaimento de matéria orgânica. Dentro desta perspectiva, considerou-se o cenário ideal 1 e cenário ideal 2 aplicando-se novos conjuntos de medidas em despoluição hídrica, a ponto de permitirem o enquadramento, assim foram obtidos os cenários ideais 3 e 4.

Assim, como nas considerações anteriores, o cenário ideal 3 possibilita o enquadramento dos rios na classe 1, muito além do que se pretende o enquadramento, correspondendo a um custo mais elevado. Entretanto, o cenário ideal 4 possibilita o enquadramento dos rios conforme definido em lei, viabilizados com custos menores.

Salienta-se que diante destas considerações foi possível analisar as respostas produzidas em cada simulação e o impacto da falta ou deficiência na calibração de modelos matemáticos, dentro de uma análise de sustentabilidade de medidas em despoluição hídrica. Estas respostas serão apresentadas nos itens 8.2.3 e seguintes, nos quais são aplicadas as considerações do parâmetro Z (MARIN, 2001), juntamente com as considerações e propostas de alteração da metodologia do parâmetro.

### **8.2.1 Cenário Ideal 3**

Este cenário foi formulado visando atender os objetivos ambientais definidos para a região em estudo, que correspondem ao enquadramento na classe correspondente, definida pela legislação federal, CONAMA nº 20/86. Desta forma, houve a necessidade de formular novos cenários, implementando medidas de despoluição mais rígidas, permitindo que o rio fosse enquadrado conforme definido na legislação. Esta seria, para o Estado do Paraná, para os rios pertencentes à área do estudo devem ser enquadrados na classe 2 prevista na Resolução CONAMA nº 20/86, definindo limites para o oxigênio dissolvido entre igual a 5 e menor que 6 mg/l, e para a demanda bioquímica de oxigênio pode variar entre 3 e igual a 5 mg/l.

Assim como salientado no cenário ideal 1, considera-se, nesse cenário, que os recursos financeiros necessários para a implantação das medidas propostas estão disponíveis, sem limitações. Admite-se também o uso de tecnologias atualizadas, adequadas e usuais no Brasil para empreendimentos dessa natureza.

As medidas para controle da poluição (MCPs) a serem aplicadas no Cenário Ideal 3 correspondem as medidas demonstradas no Quadro 8.2.

QUADRO 8.2 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO IDEAL 3 – 2010, 2015 E 2020

continua

TRAMO	% REDE COLETOR A	$\eta_{\text{TRATAMENTO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO	EXTENSÃO DE REDE COLETORA - m (2020)
1 (Iraí)	90	95	Tramo 08 (Iraizinho)	24.483
2 (Iraí)	90	95	Parte na Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo) e parte no tramo 02	200.279
3 (Iraí)	90	95	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)	33.053
4 (Iraí)	90	95	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)	7.404
5 (Iraí)	90	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	21.295
6 (Iraizinho)	90	95	Tramo 07	9.337
7 (Iraizinho)	90	95	Tramo 07	60.692
8 (Iraizinho)	100	95	Tramo 07	120.999
9 (Iraí)	90	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	21.295
10 (Piraquara)	-	-	-	-
11 (Piraquara)	-	-	-	-
12 (Piraquara)	-	-	-	-
13 (Piraquara)	-	-	-	-
14 (Piraquara)	-	-	-	-
15 (Piraquara)	-	-	-	-
16 (Iraí)	90	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	21.295
17 (Palmital)	100	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	794
18 (Palmital)	100	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	9.867
19 (Palmital)	100	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	23.315

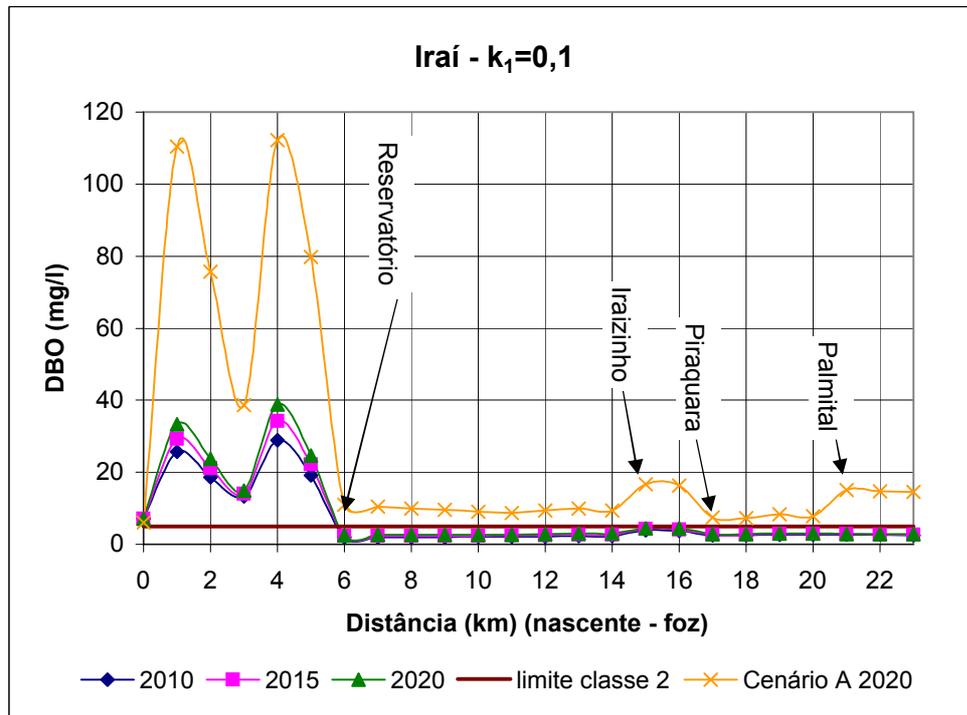
QUADRO 8.2 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO IDEAL 3 – 2010, 2015 E 2020

TRAMO	% REDE COLETOR A	$\eta_{\text{TRATAMENTO}}$	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO	EXTENSÃO DE REDE COLETORA - m (2020)
21 (Palmital)	100	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	249.516
22 (Palmital)	100	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	318.231
23 (Iguaçu)	-	-	-	-

FONTE: O Autor.

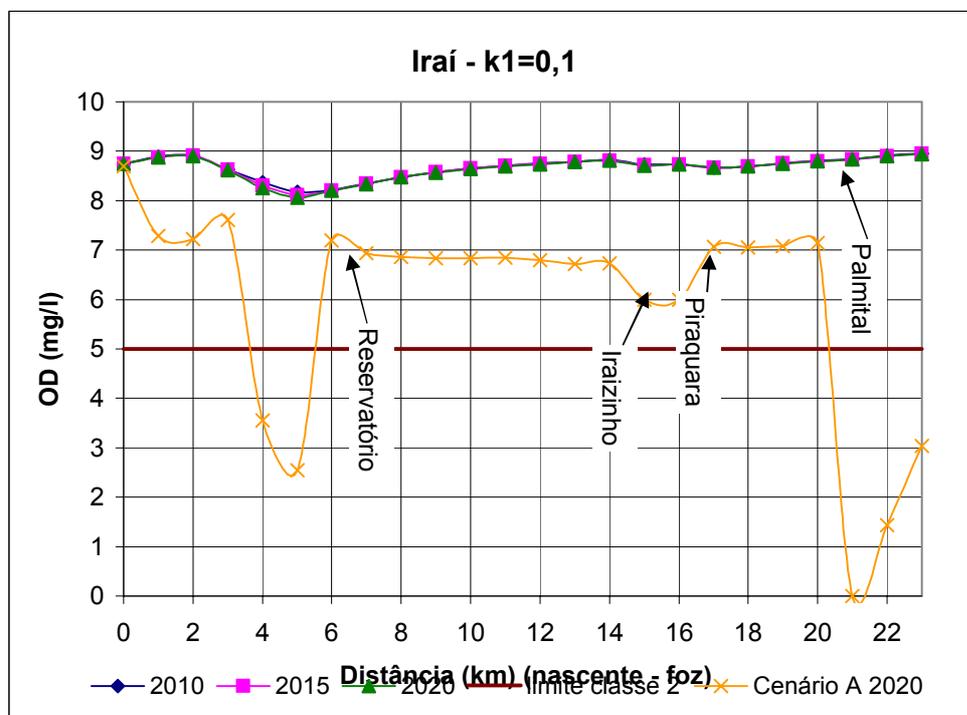
Os resultados da qualidade da água presentes nos Gráficos 8.1 ao 8.8 para cada rio referente aos anos de 2010, 2015 e 2020.

GRÁFICO 8.1 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO IDEAL 3



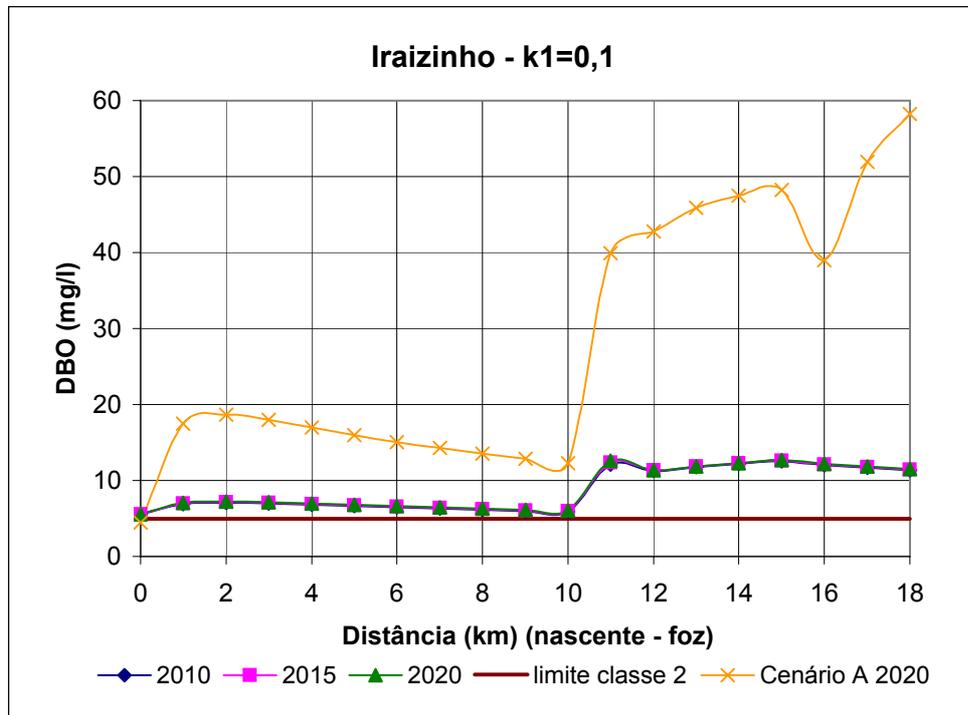
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.2 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO IDEAL 3



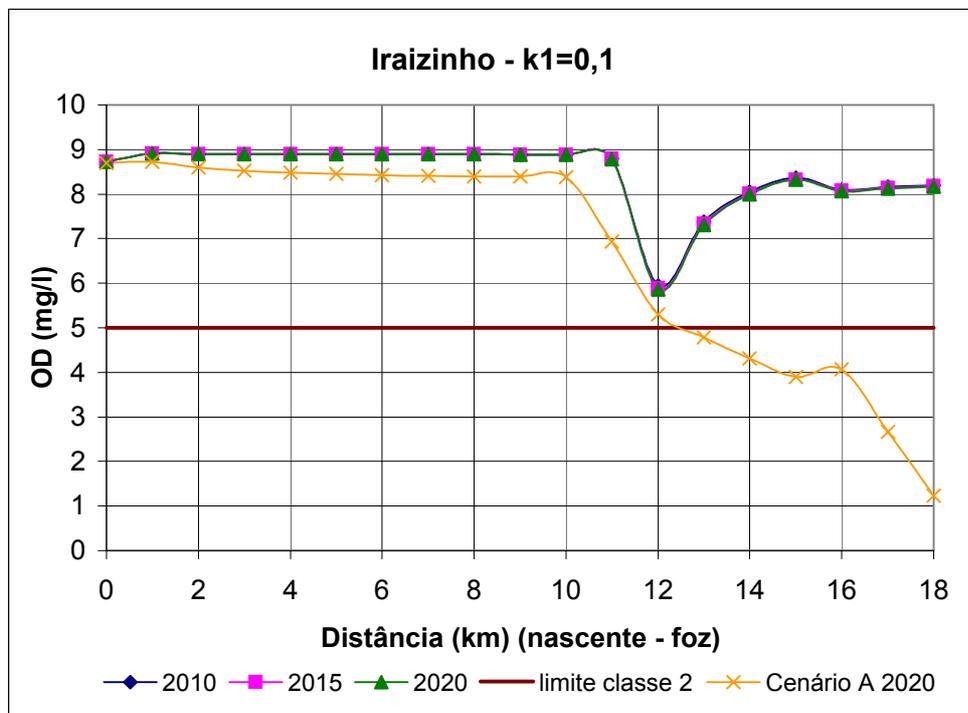
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.3 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO IDEAL 3



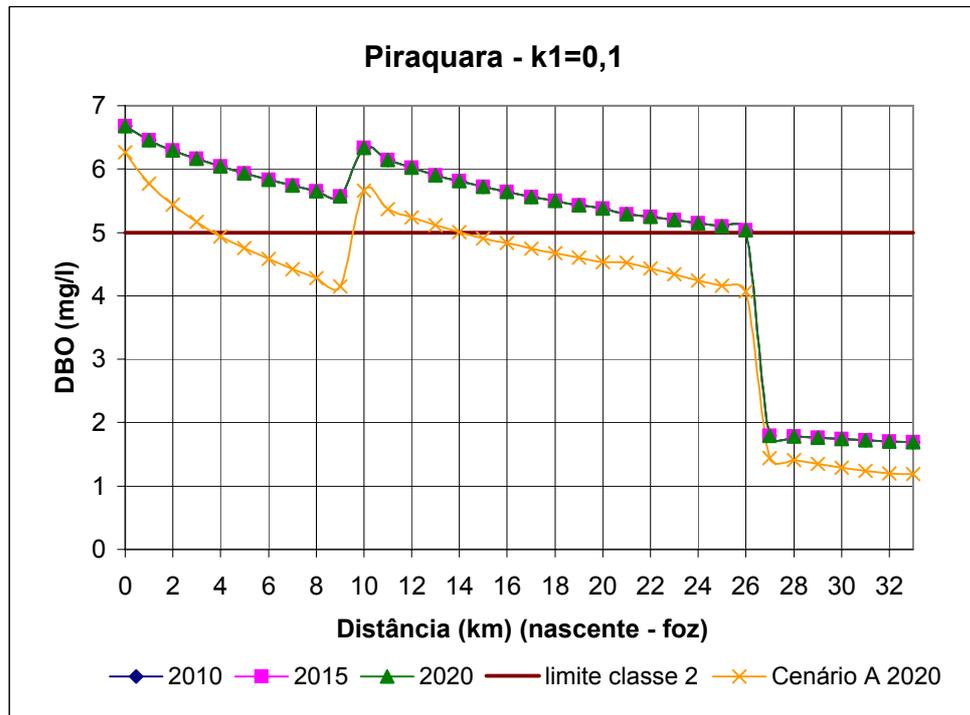
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.4 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO IDEAL 3



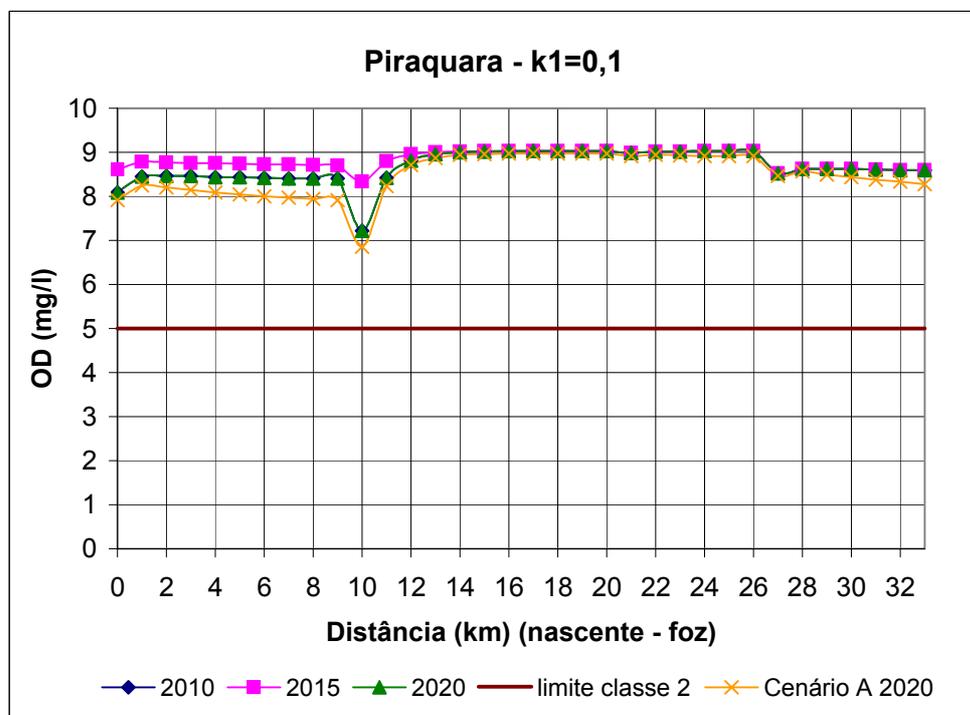
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.5 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO IDEAL 3



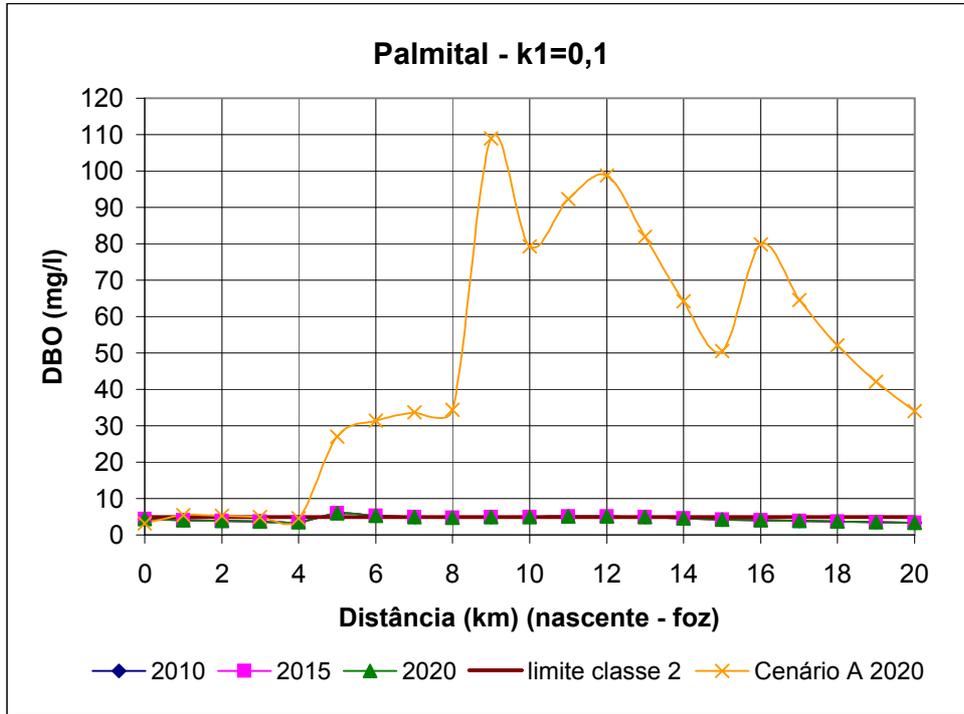
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.6 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO IDEAL 3



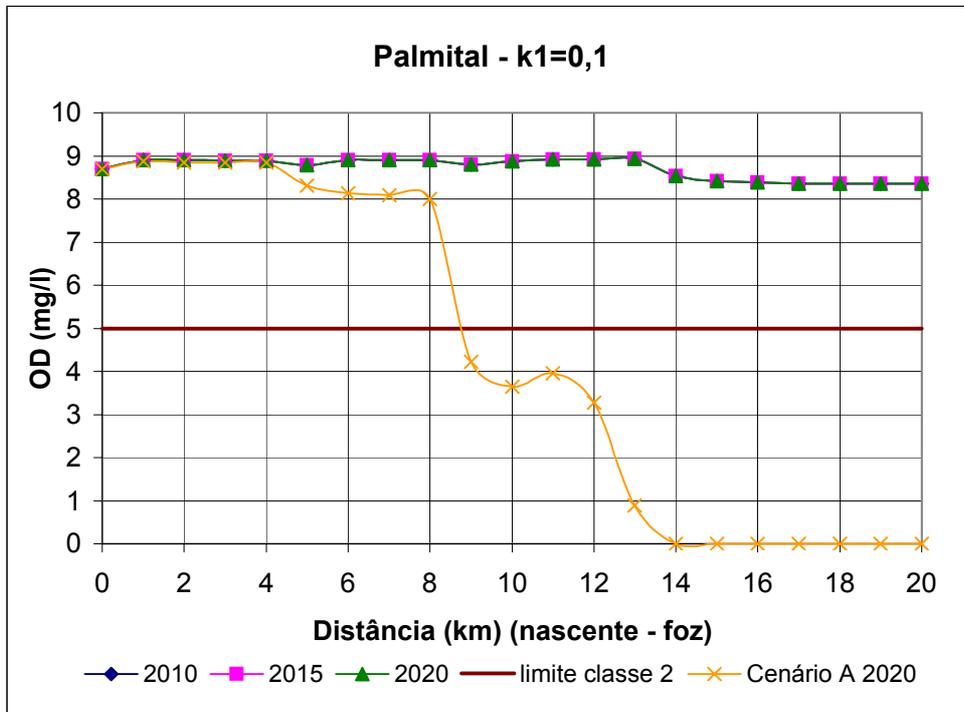
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.7 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO IDEAL 3



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.8 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO IDEAL 3



FONTE: O Autor.

As concentrações das seções de controle obtidas para o cenário ideal 3 estão apresentadas na Tabela 8.2, considerando o ano de 2020.

TABELA 8.2 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO IDEAL 3 – 2020

SEÇÃO DE CONTROLE	RIO	km	CENÁRIO IDEAL 3 – $k_1=0,1$ - 2020	
			OD (mg/l)	DBO (mg/l)
1	Iraí	33	8,60	1,69
2	Piraquara	17	8,67	2,84
3	Palmital	20	8,36	3,35
4	Iguaçu	23	8,94	2,79

FONTE: O Autor.

As seções de controle 1, 2 e 4 encontram-se enquadradas na classe 1, em uma situação melhor do que a desejada, e a seção 3 ficando na classe 2.

Os custos estimados para este cenário estão apresentados na Tabela 8.3, referentes aos anos de 2010, 2015 e 2020.

TABELA 8.3 – CUSTOS DO CENÁRIO IDEAL 3, PARA OS ANOS DE 2010, 2015 E 2020

Bacia	2010	2015	2020
	Cenário ideal 3 US\$ 10 <sup>6</sup>	Cenário ideal 3 US\$ 10 <sup>6</sup>	Cenário ideal 3 US\$ 10 <sup>6</sup>
Iraí	7,33	8,54	9,99
Iraizinho	6,31	6,44	6,59
Piraquara	0,00	0,00	0,00
Palmital	18,04	20,25	22,75
Total	31,68	35,23	39,33

FONTE: Projeto Iguaçu (FERNANDES *et al*, 2005).

Da composição dos custos tem-se que este cenário apresenta extensão de rede coletora de esgoto para os anos de 2010, 2015 e 2020 igual a 1.041.175m, 1.163.877m e 1.308.382m, beneficiando uma população de 342.278 hab, 382.832 hab e 428.059 hab, respectivamente, com eficiência de tratamento em 95%. Com relação aos coletores troncos e interceptores, estes apresentam a mesma extensão para os 3 anos considerados, da mesma forma que para os demais cenários, uma

vez que o critério de quantificação da extensão avaliou a distância média do ponto de implementação de rede coletora de esgoto à estação de tratamento do mesmo. Assim, tem-se uma extensão de 47.199m. O mesmo ocorreu para a varrição, sendo proporcionada apenas no tramo 21, na bacia do Palmital, equivalendo a 33 ha. O custo global para este cenário nos anos de 2010, 2015 e 2020 é de US\$ 31,7 milhões, US\$ 35,2 milhões e US\$ 39,3 milhões, respectivamente.

As planilhas de composição dos custos para este cenário, referentes aos anos de 2010, 2015 e 2020, estão demonstradas no anexo 2.

### 8.2.2 Cenário Ideal 4

Este cenário foi formulado visando obter os objetivos ambientais definidos para a região em estudo, um vez que, se propôs a análise do impacto da ausência da calibração ou de sua realização com erro inaceitável, frente ao parâmetro de análise de benefício. Diante disto, fez-se uma análise da simulação do cenário anterior e foi constatada, novamente, uma super estimativa para o conjunto de medidas em despoluição aplicadas na bacia, fazendo com que, em busca de resultados mais condizentes com o enquadramento, se definisse um novo conjunto de medidas em despoluição.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração, assim como salientado no cenário ideal 3, é que os recursos financeiros necessários para a implantação das medidas propostas estão disponíveis, sem limitações. Admite-se também o uso de tecnologias atualizadas, adequadas e usuais no Brasil para empreendimentos dessa natureza.

As medidas para controle da poluição (MCPs) a serem aplicadas no Cenário Ideal 4 correspondem as medidas demonstradas no Quadro 8.3.

QUADRO 8.3 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO IDEAL 4  
continua

TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta$ TRATAMENTO	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO	EXTENSÃO DE REDE COLETORA - M (2020)
1 (Iraí)	80	85	Tramo 08 (Iraizinho)	20.700

QUADRO 8.3 – MEDIDAS IMPLEMENTADAS EM CADA TRAMO DO CENÁRIO IDEAL 4

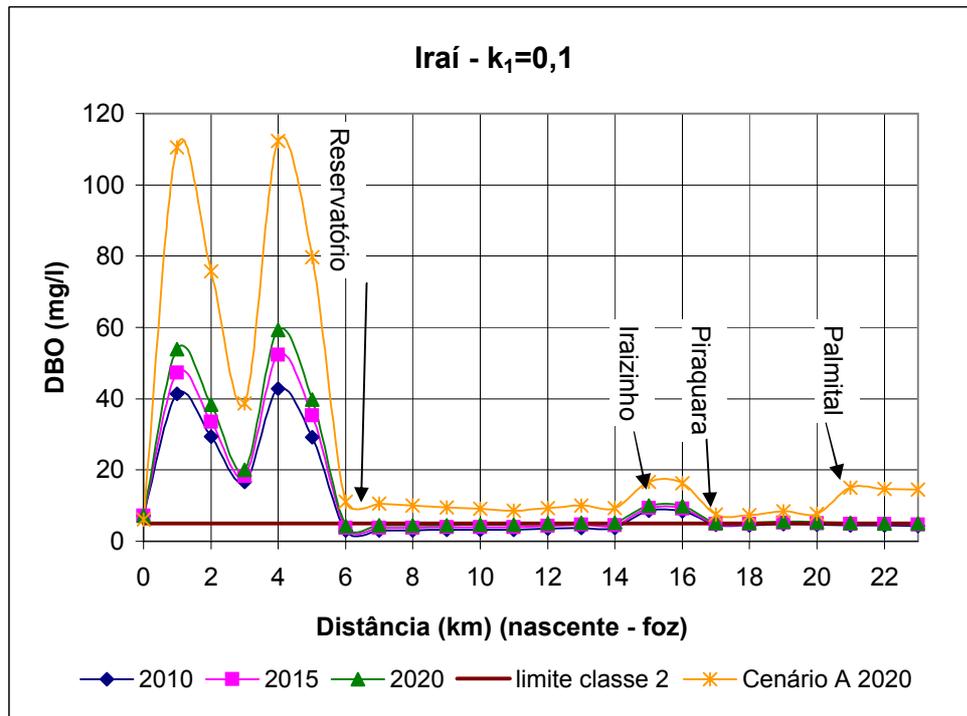
conclusão

TRAMO	% REDE COLETORA	$\eta$ TRATAMENTO	LOCAL DE LANÇAMENTO DO REMANESCENTE TRATADO	EXTENSÃO DE REDE COLETORA - M (2020)
2 (Irai)	80	85	Parte na Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo) e parte no tramo 02	167.719
3 (Irai)	80	85	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)	28.620
4 (Irai)	80	85	Bacia do Capivari (não faz parte da área em estudo)	4.464
5 (Irai)	80	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	17.258
6 (Iraizinho)	80	85	Tramo 07	8.300
7 (Iraizinho)	80	85	Tramo 07	53.948
8 (Iraizinho)	80	85	Tramo 07	86.239
9 (Irai)	80	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	17.258
10 (Piraquara)	-	-	-	-
11 (Piraquara)	-	-	-	-
12 (Piraquara)	-	-	-	-
13 (Piraquara)	-	-	-	-
14 (Piraquara)	-	-	-	-
15 (Piraquara)	-	-	-	-
16 (Irai)	80	85	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	17.258
17 (Palmital)	100	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	794
18 (Palmital)	100	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	9.867
19 (Palmital)	100	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	23.315
20 (Palmital)	100	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	186.528
21 (Palmital)	100	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	249.516
22 (Palmital)	100	95	ETE Atuba Sul (não faz parte da área em estudo)	318.231
23 (Iguaçu)	-	-	-	-

FONTE: O Autor.

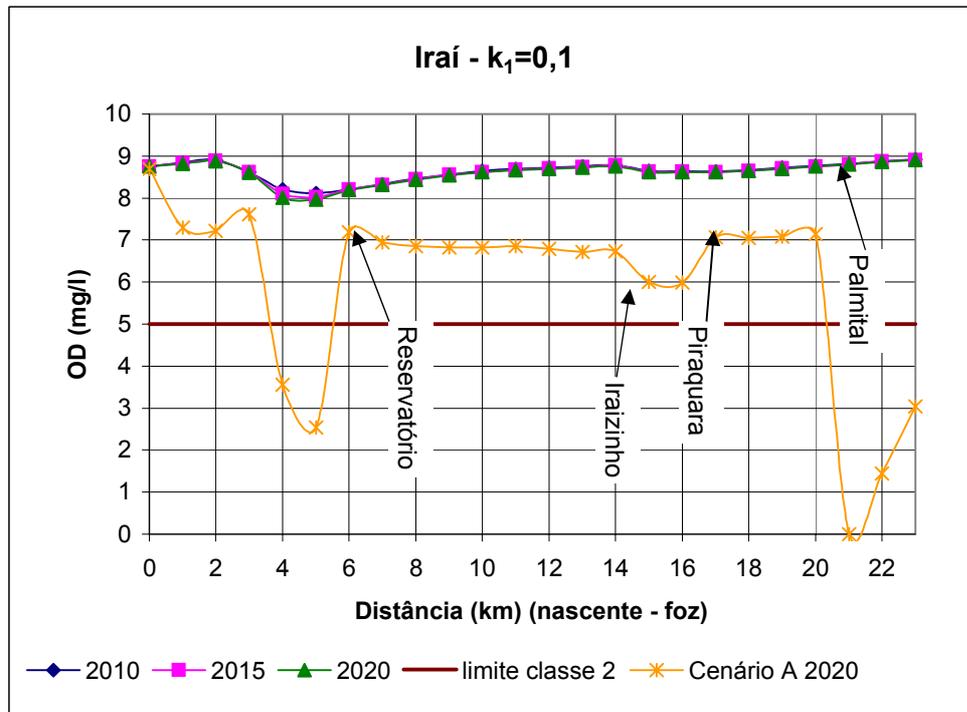
Nos Gráficos 8.9 ao 8.16 são apresentados os resultados obtidos da simulação deste cenário.

GRÁFICO 8.9 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO IDEAL 4



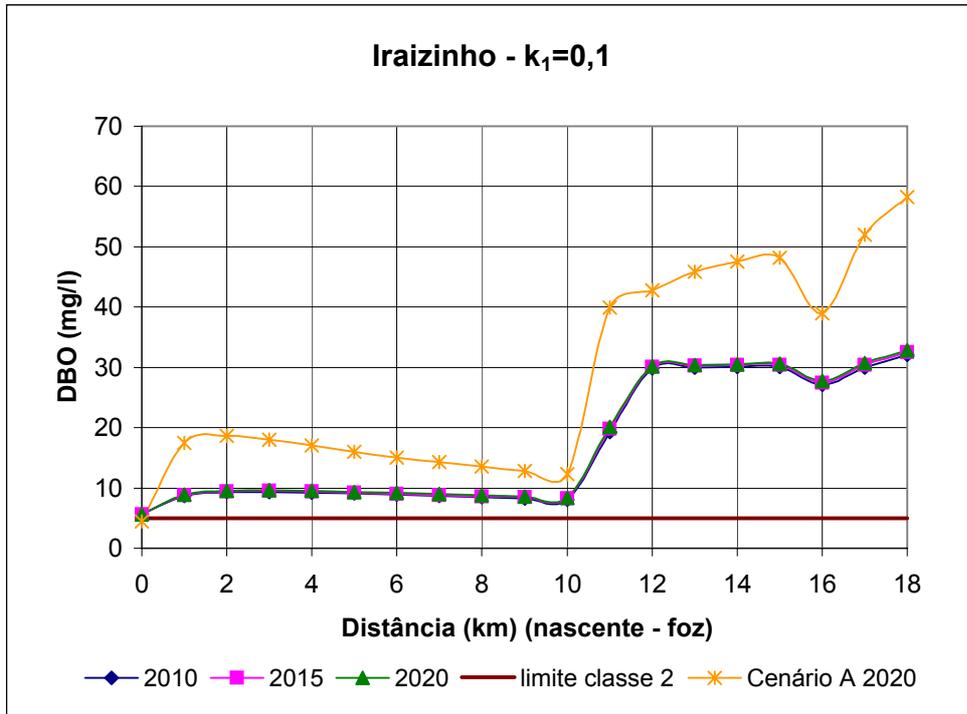
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.10 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAÍ - CENÁRIO IDEAL 4



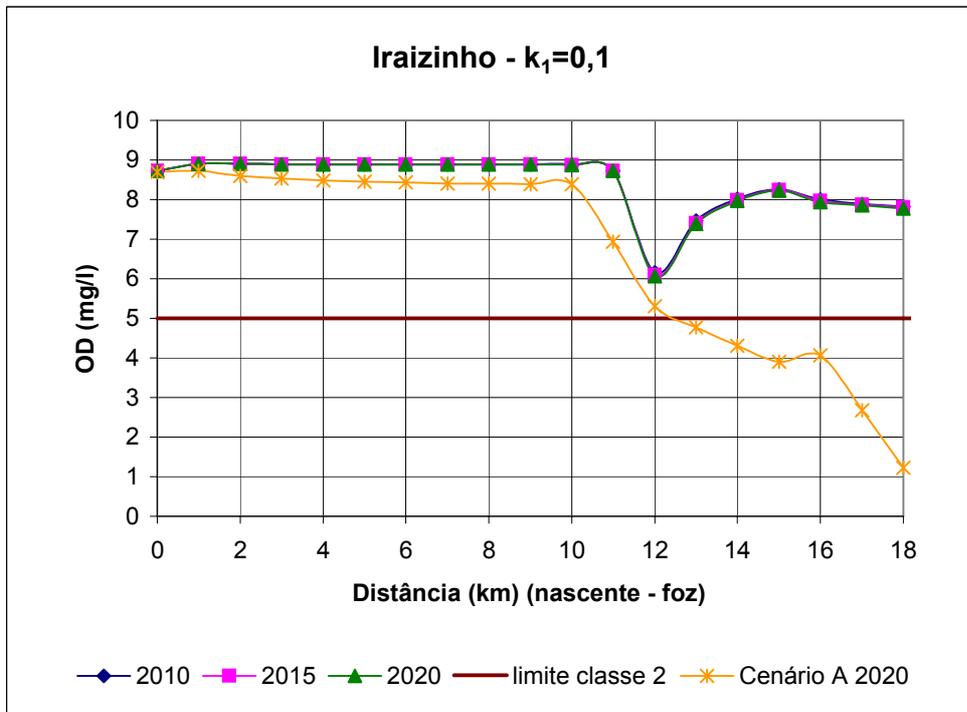
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.11 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO IDEAL 4



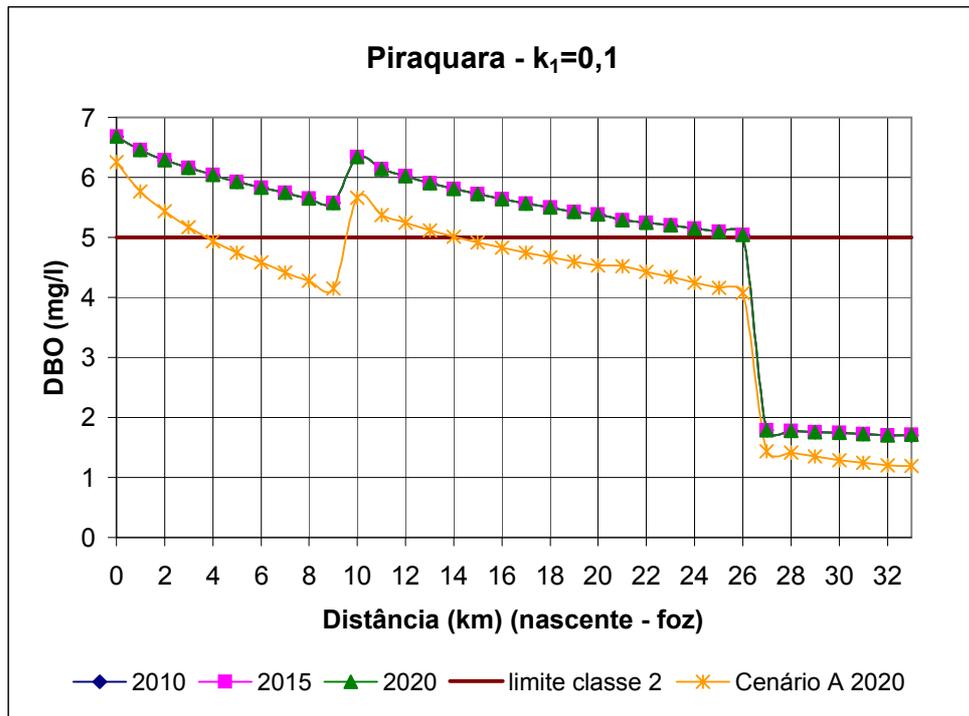
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.12 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO IRAIZINHO - CENÁRIO IDEAL 4



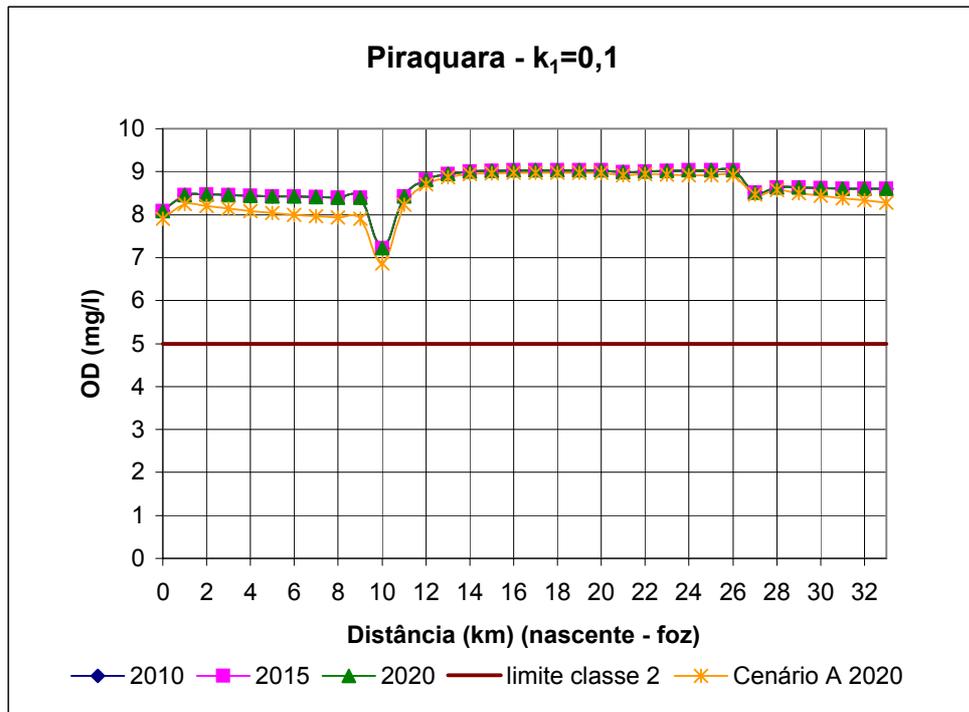
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.13 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO IDEAL 4



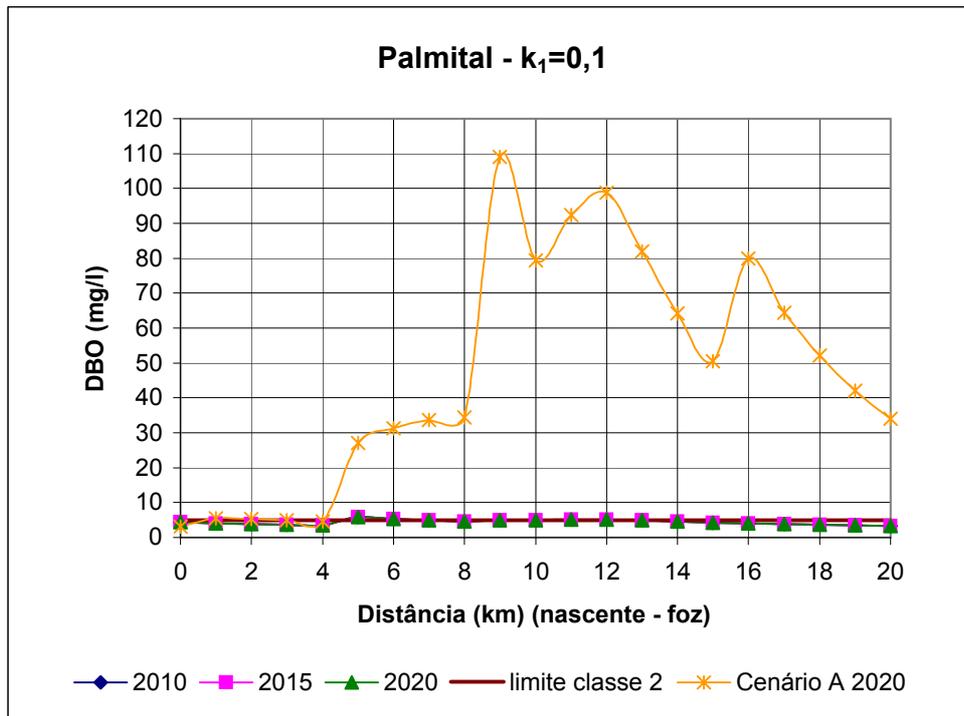
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.14 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PIRAQUARA - CENÁRIO IDEAL 4



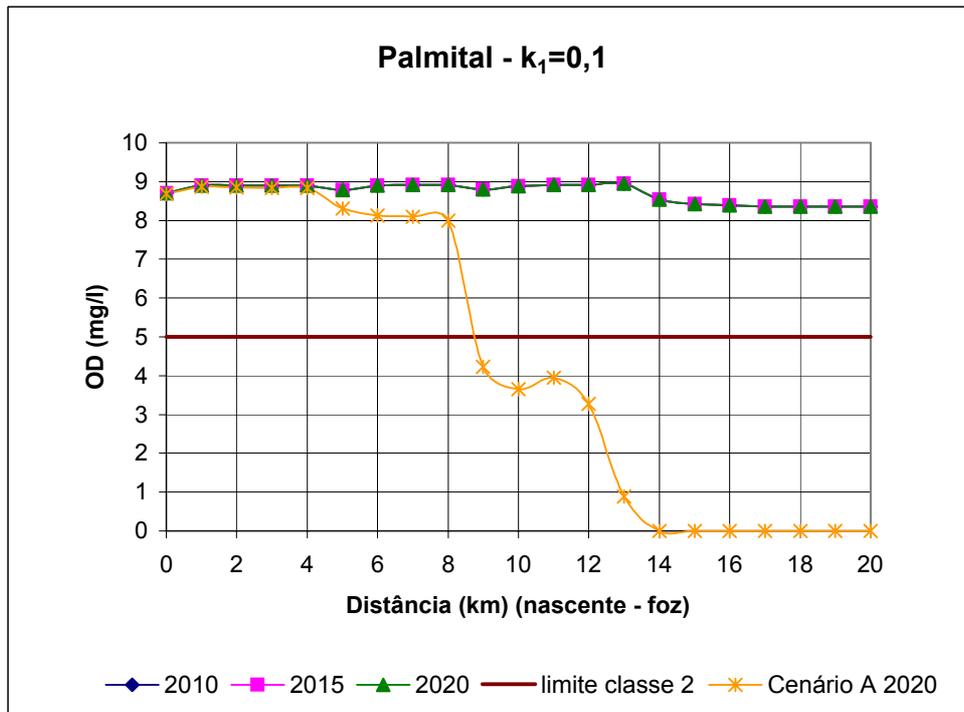
FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.16 - CONCENTRAÇÃO DA DBO PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO IDEAL 4



FONTE: O Autor.

GRÁFICO 8.16 - CONCENTRAÇÃO DA OD PARA O RIO PALMITAL - CENÁRIO IDEAL 4



FONTE: O Autor.

As concentrações das seções de controle obtidas para o cenário ideal 4 estão apresentadas na Tabela 8.4, considerando o ano de 2020.

TABELA 8.4 – CONCENTRAÇÕES OD E DBO PARA O CENÁRIO IDEAL 4 – 2020

SEÇÃO DE CONTROLE	RIO	km	CENÁRIO IDEAL 4 – $k_1=0,1$ - 2020	
			OD (mg/l)	DBO (mg/l)
1	Iraí	33	8,60	1,71
2	Piraquara	17	8,61	5,20
3	Palmital	20	8,36	3,35
4	Iguaçu	23	8,91	4,94

FONTE: O Autor.

Para este cenário, as seções de controle 2, 3 e 4 se enquadram na classe 2, ficando a seção de controle 1 enquadrada na classe 1.

Os custos estimados para este cenário estão considerados na Tabela 8.5, referentes aos anos de 2010, 2015 e 2020.

TABELA 8.5 – CUSTOS DO CENÁRIO IDEAL 4, PARA OS ANOS DE 2010, 2015 E 2020

Bacia	2010	2015	2020
	Cenário ideal 4 US\$ 10 <sup>6</sup>	Cenário ideal 4 US\$ 10 <sup>6</sup>	Cenário ideal 4 US\$ 10 <sup>6</sup>
Iraí	5,80	6,74	7,86
Iraizinho	4,74	6,44	4,92
Piraquara	0,00	0,00	0,00
Palmital	18,04	20,25	22,75
Total	28,58	31,80	35,53

FONTE: O Autor.

Da composição dos custos tem-se que este cenário apresenta extensão de rede coletora de esgoto para os anos de 2010, 2015 e 2020 igual a 960.796m, 1.074.869m e 1.210.015m, beneficiando uma população de 322.274 hab, 360.881 hab e 404.052 hab, respectivamente, com eficiência de tratamento de 95% e 85%. Com relação aos coletores troncos e interceptores, estes apresentam a mesma extensão para os 3 anos considerados, da mesma forma que para os demais

cenários, uma vez que o critério de quantificação da extensão avaliou a distância média do ponto de implementação de rede coletora de esgoto à estação de tratamento do mesmo. Assim, tem-se uma extensão de 47.199m. O mesmo ocorreu para a varrição, sendo proporcionada apenas no tramo 21, na bacia do Palmital, equivalendo a 33 ha. O custo global para este cenário nos anos de 2010, 2015 e 2020 é de US\$ 28,6 milhões, US\$ 31,8 milhões e US\$ 35,5 milhões, respectivamente.

As planilhas de composição dos custos para este cenário, referentes aos anos de 2010, 2015 e 2020, estão demonstradas no anexo 2.

### **8.2.3 Aplicação dos dados da modelagem matemática da qualidade da água no parâmetro Z (MARIN, 2001)**

Para o Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) o parâmetro Z é calculado considerando como peso dos parâmetros de qualidade da água os valores de 0,4 para a demanda bioquímica de oxigênio e 0,6 para o oxigênio dissolvido. Com relação à variação das concentrações dos parâmetros de qualidade da água, considerou-se a proporcionalidade entre as escalas dos parâmetros permitindo que a variação obtida na concentração da demanda bioquímica de oxigênio fosse comparada à mesma escala de valores da concentração do oxigênio dissolvido. Isto se deve pela aplicação do denominador 100 à concentração da demanda bioquímica de oxigênio. Por fim, foi considerado a aplicação do coeficiente de majoração do oxigênio dissolvido igual a 5, nas seções em que o oxigênio dissolvido apresentava um ganho em seu valor, porém este ganho não permitisse que a concentração final da seção ficasse superior a 2 mg/l.

Os resultados obtidos desta análise estão presentes na Tabela 8.6, na qual são apresentados os valores do parâmetro Z para cada cenário considerado, referente aos anos de 2010, 2015 e 2020, considerando ainda as simulações com as taxas de decaimento de matéria orgânica a 20°C presentes no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) e na literatura (CHAPRA, 1997).

TABELA 8.6 – VALORES DO PARÂMETRO Z PARA CADA CENÁRIO REFERENTES AOS ANOS DE 2010, 2015 E 2020

CENÁRIO	Z					
	2010		2015		2020	
	$k_1 = \text{PDH}$	$k_1 = 0,1 \text{ d}^{-1}$	$k_1 = \text{PDH}$	$k_1 = 0,1 \text{ d}^{-1}$	$k_1 = \text{PDH}$	$k_1 = 0,1 \text{ d}^{-1}$
“C”	18,11	7,40	31,61	13,21	39,08	16,79
Ideal 1	37,13	6,82	59,34	13,69	72,54	17,96
Ideal 2	29,40	6,25	46,76	12,44	55,14	16,23
Ideal 3	-	7,59	-	16,00	-	21,21
Ideal 4	-	6,84	-	14,74	-	19,57

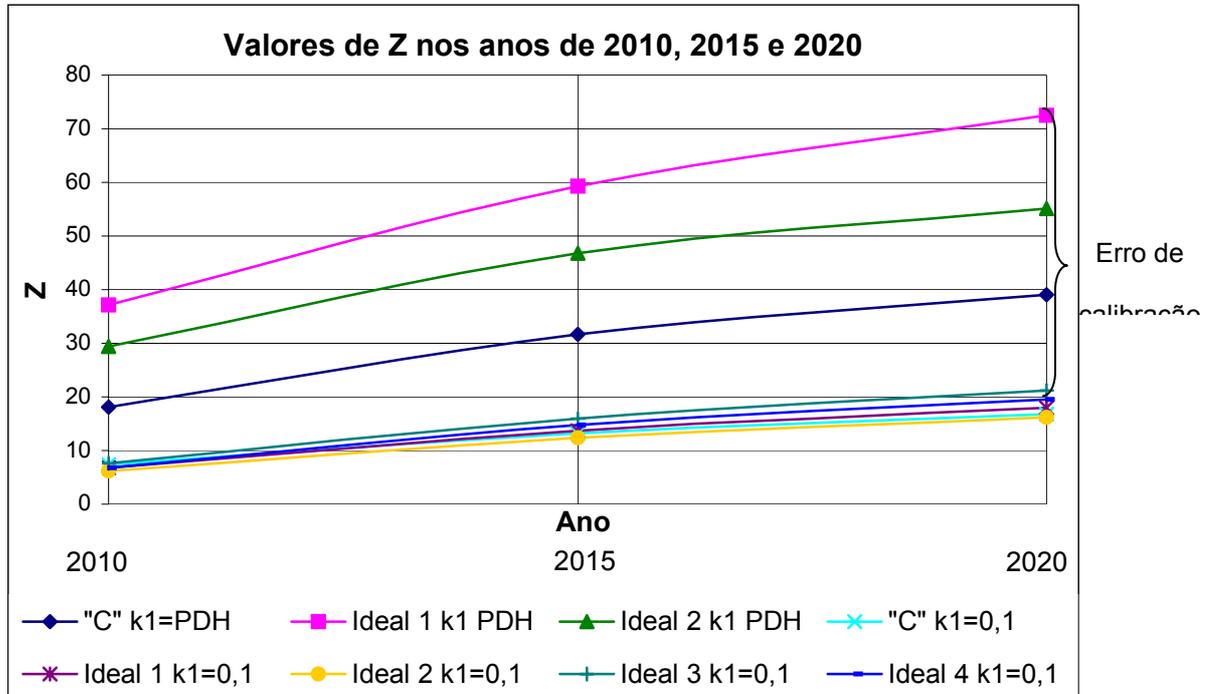
FONTE: O Autor.

Destaca-se que os valores do parâmetro Z para os cenários nos quais utilizou-se taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C presentes na literatura (CHAPRA, 1997) foram inferiores. Por exemplo, para o ano de 2020, no cenário ideal 1, tem-se uma variação em termos do parâmetro Z de 55, equivalente a diferença entre 72.54 e 17.96, correspondendo a 72,8% do valor obtido com a utilização das taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C consideradas por MARIN (2001). Claramente, o efeito de calibração impondo uma superavaliação do parâmetro Z, dando uma falsa impressão de despoluição das bacias hidrográficas consideradas.

Outro aspecto levantado corresponde à variação que existe entre cenário C e o cenário de enquadramento, ou seja, para o ano de 2020, se fosse implementado o cenário de medidas em despoluição C, considerando a taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C presentes no Plano de Despoluição da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001), teria como resultado o parâmetro Z igual a 39.08, distante 33.46 do cenário de enquadramento (ideal 1). Para o mesmo ano, aplicando o mesmo cenário, apenas alterando a taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C, obteria 16.79 como valor do parâmetro Z, estando apenas a 4.42 do parâmetro Z do cenário de enquadramento (ideal 3), ou seja, uma diferença 7.6 vezes menor. Esta variação é apresentada no Gráfico 8.17, no qual destaca graficamente os valores obtidos para o parâmetro Z com base nas taxas de decaimento presentes no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) como sendo superiores aos valores obtidos

para o mesmo parâmetro usando como referência às taxas constantes em literatura (CHAPRA, 1997).

GRÁFICO 8.17 – VALORES DO PARÂMETRO Z PARA OS CENÁRIOS CONSIDERADOS REFERENTES AOS ANOS DE 2010, 2015 E 2020



FONTE: O Autor.

Para o cálculo do benefício econômico proporcionado pela implementação de cada cenário na análise, é necessário o valor do coeficiente monetário  $k$ , o qual, conforme definido no capítulo 5, é calculado em função do cenário ideal 3 (aquele que proporciona o enquadramento). Assim, o valor do coeficiente monetário  $k$  (2020) quando utilizado os valores da taxa de decaimento da matéria orgânica presentes no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) é igual a US\$  $0,64 \times 10^6$ , enquanto, para as simulações em que se utiliza os valores de taxa de decaimento de matéria orgânica presentes na literatura, é igual a US\$  $2,46 \times 10^6$ .

O benefício econômico proporcionado pela implementação do cenário C, considerando as taxas de decaimento utilizadas por MARIN (2001) é inferior ao valor do benefício econômico obtido no caso simulado com taxas presentes na literatura. Esta variação é da ordem de US\$ 11 milhões. A Tabela 8.7 apresenta os valores dos

benefícios econômicos para cada cenário analisado, levando em consideração as simulações com as duas taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C.

TABELA 8.7 – VALORES DE BENEFÍCIOS ECONÔMICOS PARA O ANO DE 2020, REFERENTE AOS CENÁRIOS CONSIDERADOS

CENÁRIO	CUSTO (US\$ 10 <sup>6</sup> )	BENEFÍCIO (US\$ 10 <sup>6</sup> )	
		k <sub>1</sub> = PDH	k <sub>1</sub> = 0,1
C	33,70	20,35	31,13
Ideal 1	37,77	37,77	33,30
Ideal 2	33,51	28,71	30,09
Ideal 3	39,33	-	39,33
Ideal 4	35,54	-	36,28

FONTE: O Autor.

Salienta-se que o custo para a obtenção do enquadramento é inferior na situação em que as taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C são muito altas, proporcionando uma distorção da realidade, pois se imagina que para se alcançar as metas do enquadramento deve-se investir menos dinheiro. Ressalta-se que para o caso do cenário C, no qual o custo é de US\$ 33,7\*10<sup>6</sup> o benefício econômico é de US\$ 31,13\*10<sup>6</sup> e não US\$ 20,35\*10<sup>6</sup>, como estimado pelas orientações do Plano de Despoluição Hídrica do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001).

Assim, as respostas obtidas com simulações de modelos não calibrados podem acarretar em erros nos cálculos do benefício econômico de cenários de medidas em despoluição hídrica nos quais pode inviabilizar projetos e investimentos necessários para a melhoria da qualidade de vida da sociedade.

Na seqüência, fez-se a análise dos dados obtidos com a implementação das alternativas propostas no capítulo 5 frente ao cálculo do parâmetro Z. As seções seguintes apresentam os resultados obtidos quando se altera a metodologia do cálculo da variação da concentração dos parâmetros de qualidade da água; se altera a metodologia da aplicação do coeficiente de majoração, bem como o valor do mesmo; e se altera os pesos relativos dos parâmetros de qualidade da água.

### 8.2.4 Alteração na metodologia do cálculo da variação da concentração dos parâmetros de qualidade da água

Foram propostos no capítulo 5, três formas para o cálculo da variação das concentrações dos parâmetros de qualidade da água. A saber, a primeira análise seria a adotada pelo Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001); a segunda análise corresponderia à variação relativa do parâmetro, ou seja, a diferença da concentração final com a inicial em relação à concentração inicial; e a terceira análise foi feita buscando visualizar o efeito da variação do parâmetro de forma objetiva, assim, pretendendo manter a adimensionalidade do parâmetro Z, a variação das concentrações dos parâmetros de qualidade da água foi dividida por uma unidade de concentração, possibilitando a anulação das unidades. Esta variação corresponde à diferença absoluta do valor da concentração final e inicial dividido por um valor de concentração igual a um para todos os cenários, isto para proporcionar equivalência nas concentrações.

Assim, a Tabela 8.8 apresenta as concentrações finais dos parâmetros de qualidade da água considerados, para cada seção de controle, referentes ao ano de 2020, nas simulações com a taxa de decaimento da matéria orgânica presente no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001), enquanto a Tabela 8.9 apresenta as concentrações finais dos parâmetros de qualidade da água considerados, para cada seção de controle, referentes ao ano de 2020, nas simulações com a taxa de decaimento da matéria orgânica presente na literatura consultada.

TABELA 8.8 – CONCENTRAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA O ANO DE 2020 (K<sub>1</sub> – PDH)

2020	UTILIZANDO k <sub>1</sub> - PDH							
	A		C		IDEAL 01		IDEAL 02	
SEÇÃO	OD	DBO	OD	DBO	OD	DBO	OD	DBO
PI-1	8,28	1,19	8,29	1,16	8,29	1,16	8,28	1,17
IR-1	7,07	7,53	8,07	2,25	8,20	1,77	7,80	3,33
PA-1	0,00	33,98	0,00	8,53	4,86	3,41	3,65	4,78
IR-2	3,04	14,46	7,74	3,45	8,37	1,99	8,09	3,41

FONTE: O Autor.

NOTA: Concentração em mg/l.

TABELA 8.9 – CONCENTRAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA O ANO DE 2020 ( $K_1 = 0,1 \text{ d}^{-1}$ )

2020	UTILIZANDO $k_1 - 0,1$											
	A		C		IDEAL 01		IDEAL 02		IDEAL 03		IDEAL 04	
Seção	OD	DBO	OD	DBO	OD	DBO	OD	DBO	OD	DBO	OD	DBO
PI-1	8,60	1,75	8,60	1,70	8,60	1,69	8,60	1,71	8,60	1,69	8,60	1,71
IR-1	8,49	11,22	8,65	3,70	8,67	2,84	8,61	5,20	8,67	2,84	8,61	5,20
PA-1	5,40	106,77	7,57	35,43	8,01	16,91	7,92	20,04	8,36	3,35	8,36	3,35
IR-2	8,05	37,19	8,72	10,71	8,82	5,84	8,77	8,35	8,94	2,79	8,91	4,94

FONTE: O Autor.

NOTA: Concentração em mg/l.

A aplicação da metodologia proposta na análise 1 foi realizada na seção anterior (8.2.3), uma vez que a mesma está presente no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001), com os resultados presentes nas Tabelas 8.6 e 8.7, juntamente com o Gráfico 8.17.

Ao aplicar a metodologia de análise 2, na qual leva em consideração a variação relativa nas concentrações dos parâmetros de qualidade da água, ocorreu uma inconsistência numérica, uma vez que a concentração inicial do oxigênio dissolvido na seção de controle PA-2 é zero, considerando a taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C presente no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001), levando a uma indeterminação, pois apresentaria o valor zero no denominador. Diante desta situação, optou-se por desconsiderar esta hipótese do cálculo da variação da concentração dos parâmetros de qualidade da água, sendo trabalhado apenas com a análise 1 e a análise 3.

Com relação à terceira análise, esta foi feita buscando visualizar o efeito da variação do parâmetro de forma objetiva, como já exposto anteriormente, assim, a variação das concentrações dos parâmetros de qualidade da água foi dividida por uma unidade de concentração, possibilitando a anulação das unidades. Os resultados estão mostrados na Tabela 8.10.

TABELA 8.10 – VALORES DO PARÂMETRO Z PARA CADA CENÁRIO REFERENTES AOS ANOS DE 2010, 2015 E 2020 – ANÁLISE 3

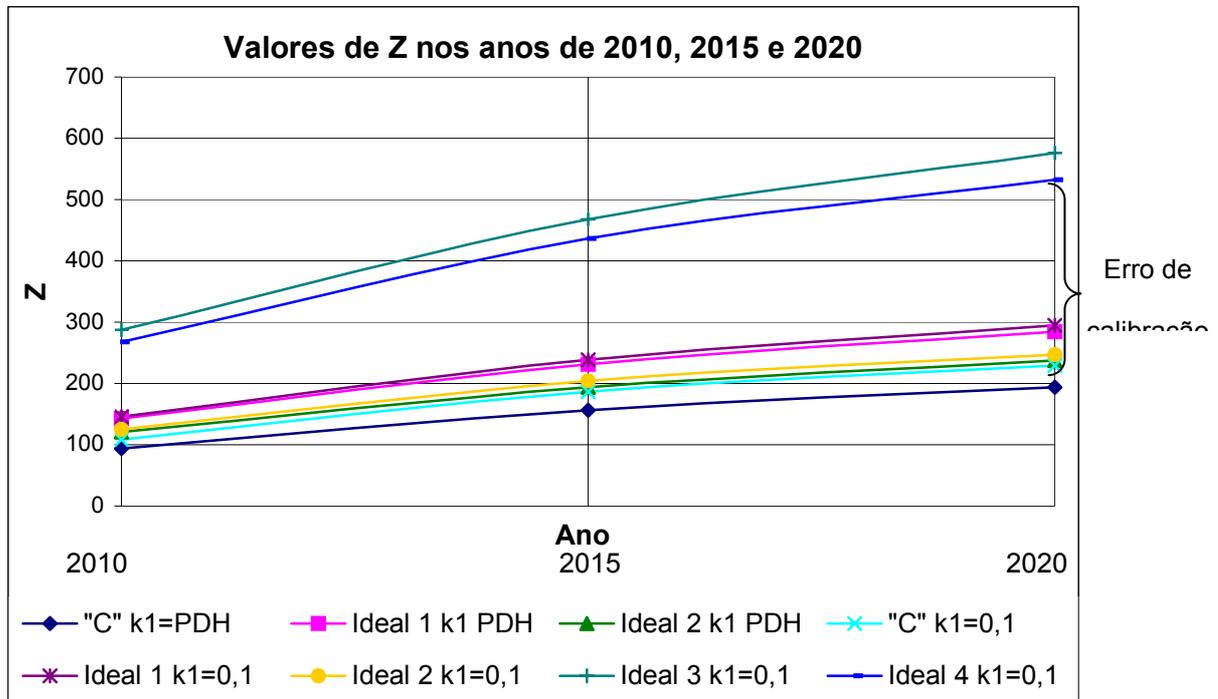
Cenário	Z					
	2010		2015		2020	
	$K_1 = \text{PDH}$	$K_1 = 0,1 \text{ d}^{-1}$	$K_1 = \text{PDH}$	$K_1 = 0,1 \text{ d}^{-1}$	$K_1 = \text{PDH}$	$K_1 = 0,1 \text{ d}^{-1}$
“C”	93,82	107,93	156,53	186,19	194,14	229,63
Ideal 1	143,17	146,09	231,04	238,65	284,40	294,79
Ideal 2	120,51	125,00	194,25	204,15	237,17	247,35
Ideal 3	-	287,53	-	468,17	-	576,56
Ideal 4	-	267,77	-	436,06	-	532,14

FONTE: O Autor.

Destaca-se que, diferentemente do que ocorreu na análise 1, os valores do parâmetro Z para os cenários nos quais utilizou-se taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C presentes na literatura (CHAPRA, 1997) foram superiores. Para o ano de 2020, no cenário ideal 1, tem-se uma variação do parâmetro Z de 10.4, sendo considerada uma variação pequena, frente à grandeza do parâmetro Z, igual a 294.8, ou seja, 3.5% do valor do parâmetro.

Outro aspecto levantado corresponde a variação que existe entre cenário C e o cenário de enquadramento, ou seja, para o ano de 2020, se fosse implementado o cenário de medidas em despoluição C, considerando a taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C presentes no Plano de Despoluição da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001), teria como resultado o parâmetro Z igual a 194.14, distante 90.26 do cenário de enquadramento (ideal 1). Para o mesmo ano, aplicando o mesmo cenário, apenas alterando a taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C, obteria 229.63 como valor do parâmetro Z, estando a 346.93 do parâmetro Z do cenário de enquadramento (ideal 3), ou seja, uma diferença 3.8 vezes maior, diferentemente do que ocorreu na análise 1. Esta variação é apresentada no Gráfico 7.18, no qual destaca graficamente os valores obtidos para o parâmetro Z com base nas taxas de decaimento presentes no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) como sendo superiores aos valores obtidos para o mesmo parâmetro usando como referência as taxas constantes em literatura (CHAPRA, 1997).

GRÁFICO 7.18 – VALORES DO PARÂMETRO Z, PARA OS CENÁRIOS CONSIDERADOS REFERENTES AOS ANOS DE 2010, 2015 E 2020



FONTE:O Autor.

Para o cálculo do benefício econômico proporcionado pela implementação de cada cenário na análise, é necessário o valor do coeficiente monetário  $k$ , o qual, conforme definido no capítulo 5, é calculado em função do cenário ideal 3 (aquele que proporciona o enquadramento). Assim, o valor do coeficiente monetário  $k$  (2020) quando utilizado os valores da taxa de decaimento da matéria orgânica presentes no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) é igual a  $US\$ 0,13 \times 10^6$ , enquanto, para as simulações em que se utiliza os valores de taxa de decaimento de matéria orgânica presentes na literatura, é igual a  $US\$ 0,07 \times 10^6$ .

O benefício econômico proporcionado pela implementação do cenário C, considerando as taxas de decaimento utilizadas por MARIN (2001) é superior ao valor do benefício econômico obtido no caso simulado com taxas presentes na literatura. Esta variação é da ordem de  $US\$ 10$  milhões. A Tabela 8.11 apresenta os valores dos benefícios econômicos para cada cenário analisado, levando em

consideração as simulações com as duas taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C.

TABELA 8.11 – VALORES DE BENEFÍCIOS ECONÔMICOS PARA O ANO DE 2020 REFERENTE AOS CENÁRIOS CONSIDERADOS – ANÁLISE 3

CENÁRIO	CUSTO (US\$)	BENEFÍCIO (10 <sup>6</sup> US\$)	
		k <sub>1</sub> = PDH	k <sub>1</sub> = 0,1
C	33,70	25,78	15,66
Ideal 1	37,77	37,77	20,11
Ideal 2	33,51	31,50	16,11
Ideal 3	39,33	-	39,33
Ideal 4	35,54	-	36,30

FONTE: O Autor.

Assim como na análise 1, as variações proporcionadas por utilização de modelos matemáticos descalibrados proporciona um erro no custo de implantação e operação dos cenários considerados, bem como no benefício econômico final, de tal sorte que ao imaginar que com um investimento de US\$ 37,77x10<sup>6</sup> se atingiria as metas do enquadramento para 2020, será necessário um investimento de US\$ 39,33x10<sup>6</sup> para se atingir a meta do enquadramento.

### 8.2.5 Alteração na metodologia de aplicação do coeficiente de majoração

No Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) foi desenvolvida uma consideração com relação ao oxigênio dissolvido (OD), uma vez que apresenta variação muito pequena. Desta forma observou-se que para o corpo hídrico ganhar oxigênio dissolvido (OD) ele necessita fazer maior “força”. Para tal situação, foi proposta a atribuição de um coeficiente de majoração do peso relativo do parâmetro, como um prêmio àquela medida de despoluição hídrica que proporcionar o acréscimo da concentração de oxigênio dissolvido (OD) no rio. Para fins da análise deste estudo, se consideraram três possibilidades. A primeira é baseada no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) que propuseram a utilização do coeficiente de majoração apenas para o rio que anteriormente a medida de despoluição possuía concentração

de oxigênio dissolvido (OD) inferior a 2 mg/l. A segunda possibilidade corresponde à aplicação do coeficiente de majoração para todos os casos, uma vez que estamos analisando parâmetros inversamente proporcionais (oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio) e possuem escala de variação diferente. Por fim, uma terceira possibilidade que consiste em aplicar o coeficiente de majoração cada vez que a seção de controle analisada atingir sua meta de enquadramento.

Resultado destas considerações tem-se a Tabela 8.12, na qual estão presentes os valores obtidos para o parâmetro Z no cenário C, para os anos de 2010, 2015 e 2020.

TABELA 8.12 – VALORES DO PARÂMETRO Z, NO CENÁRIO C, CONSIDERANDO AS HIPÓTESES DE APLICAÇÃO DO COEFICIENTE DE MAJORAÇÃO NO OXIGÊNIO DISSOLVIDO

FATOS DE MAJORAÇÃO DO OD	2010		2015		2020	
	$k_1 - PDH$	$k_1 = 0,1$	$k_1 - PDH$	$k_1 = 0,1$	$k_1 - PDH$	$k_1 = 0,1$
5 (todas)	83,29	32,92	141,06	59,02	177,19	75,30
5 (abaixo de 2 mg/l)	18,11	7,40	31,61	13,21	39,08	16,79
5 (enquadra)	82,45	32,92	138,67	59,02	174,80	75,30
2 (todas)	33,77	13,78	57,18	24,66	71,82	31,41
2 (abaixo de 2 mg/l)	17,48	7,40	29,82	13,21	37,29	16,79
2 (enquadra)	33,57	13,78	56,59	24,66	71,23	31,41
Sem coeficiente	17,27	7,40	29,22	13,21	36,69	16,79

FONTE: O Autor.

Com relação ao cenário ideal 1, os resultados estão na Tabela 8.13, na qual estão presentes os valores obtidos para o parâmetro Z, para os anos de 2010, 2015 e 2020.

TABELA 7.13 – VALORES DO PARÂMETRO Z, NO CENÁRIO IDEAL 1, CONSIDERANDO AS HIPÓTESES DE APLICAÇÃO DO COEFICIENTE DE MAJORAÇÃO NO OXIGÊNIO DISSOLVIDO

FATOR DE MAJORAÇÃO DO OD	2010		2015		2020	
	$k_1 - PDH$	$k_1 = 0,1$	$k_1 - PDH$	$k_1 = 0,1$	$k_1 - PDH$	$k_1 = 0,1$
5 (todas)	181,37	28,49	289,77	59,36	354,13	78,62
5 (abaixo de 2 mg/l)	37,13	6,82	59,34	13,69	72,54	17,96
5 (enquadra)	181,37	28,49	289,77	59,36	354,13	78,62
2 (todas)	73,19	12,24	116,95	25,11	142,94	33,13
2 (abaixo de 2 mg/l)	37,13	6,82	59,34	13,69	72,54	17,96
2 (enquadra)	73,19	12,24	116,95	25,11	142,94	33,13
Sem coeficiente	37,13	6,82	59,34	13,69	72,54	17,96

FONTE: O Autor.

Estes resultados devem ser confrontados com os resultados obtidos para o cenário ideal 3, constantes na Tabela 8.14, possibilitando a avaliação do impacto da calibração frente ao parâmetro Z.

TABELA 8.14 – VALORES DO PARÂMETRO Z, NO CENÁRIO IDEAL 3, CONSIDERANDO AS HIPÓTESES DE APLICAÇÃO DO COEFICIENTE DE MAJORAÇÃO NO OXIGÊNIO DISSOLVIDO

FATOR DE MAJORAÇÃO DO OD	2010	2015	2020
	$k_1 = 0,1$	$k_1 = 0,1$	$k_1 = 0,1$
5 (todas)	26,66	61,77	83,64
5 (abaixo de 2 mg/l)	7,59	16,00	21,21
5 (enquadra)	26,66	61,77	83,64
2 (todas)	12,36	27,45	36,82
2 (abaixo de 2 mg/l)	7,59	16,00	21,21
2 (enquadra)	12,36	27,45	36,82
Sem coeficiente	7,59	16,00	21,21

FONTE: O Autor.

Os cenários que possibilitam o enquadramento das seções de controle apresentam valores do parâmetro Z superiores quando o critério é beneficiar o cenário que alcance às metas do enquadramento, em contra partida, faz com que os cenários que não o atinjam apresentem valores inferiores, proporcionando valores bem definidos.

No tocante a aplicação do coeficiente de majoração nas seções que apresentem real ganho no valor da concentração do oxigênio dissolvido, uma vez que se trata de um parâmetro que apresenta pequena variação, tem-se o beneficiamento das seções que apresentam péssimas concentrações de oxigênio dissolvido, desvalorizando o ganho nas demais seções.

Por fim, ao se aplicar o coeficiente de majoração sem distinção e limites, pode-se perceber que os resultados obtidos são mais lineares, não permitindo discrepâncias acentuadas.

Com relação ao benefício econômico os resultados para os cenários C, ideal 1 e ideal 3, referentes ao ano de 2020 são apresentados na Tabela 8.15, sendo possível identificar que para o cenário C, utilizando taxas de decaimento da matéria orgânica presentes em MARIN (2001), a hipótese de aplicação do coeficiente de

majoração apenas nas seções de controle em que a concentração do oxigênio dissolvido (OD) for menor que 2 mg/l apresenta um melhor benefício econômico frente as demais hipóteses, não sendo observado no cenário ideal 1 quando utilizado taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C presentes em literatura (CHAPRA, 1997).

TABELA 8.15 – BENEFÍCIO ECONÔMICO CONSIDERANDO AS HIPÓTESES DE APLICAÇÃO DO COEFICIENTE DE MAJORAÇÃO NO OXIGÊNIO DISSOLVIDO

FATOR DE MAJORAÇÃO DO OD	BENEFÍCIO 2020 (US\$ 10 <sup>6</sup> )					
	CENÁRIO C		CENÁRIO IDEAL 1		CENÁRIO IDEAL 3	
	k <sub>1</sub> – PDH	k <sub>1</sub> = 0,1	k <sub>1</sub> – PDH	k <sub>1</sub> = 0,1	k <sub>1</sub> – PDH	k <sub>1</sub> = 0,1
5 (todas)	18,90	35,40	37,77	36,97	-	39,33
5 (abaixo de 2 mg/l)	20,35	31,13	37,77	33,30	-	39,33
5 (enquadra)	18,64	35,40	37,77	36,97	-	39,33
2 (todas)	18,98	33,55	37,77	35,38	-	39,33
2 (abaixo de 2 mg/l)	19,41	31,13	37,77	33,30	-	39,33
2 (enquadra)	18,82	33,55	37,77	35,38	-	39,33
Sem coeficiente	19,10	31,13	37,77	33,30	-	39,33

FONTE: O Autor.

Ressalta-se que para o cenário ideal 1 baseado com taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C (k<sub>1</sub>) presente em MARIN (2001) e para o cenário ideal 3 com taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C (k<sub>1</sub>) presente em literatura (CHAPRA, 1997) não houve variação no benefício, uma vez que estes cenários são utilizados como referência para o cálculo do benefício econômico dos demais, sendo adotada a hipótese do custo ser igual ao benefício.

### 8.2.6 Alteração dos pesos relativos dos parâmetros de qualidade da água

Uma última análise na formulação da metodologia do parâmetro Z aplicado no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000) e MARIN (2001) é a alteração dos pesos relativos dos parâmetros de qualidade da água. Dentro da metodologia já exposta no capítulo 5, alterna-se os pesos relativos dos parâmetros de qualidade da água, garantindo que a soma dos mesmo permaneça 1.

A Tabela 8.16 apresenta os valores do parâmetro Z para cada situação, referentes ao ano de 2020.

TABELA 8.16 – VALORES DO PARÂMETRO Z, CONSIDERANDO AS HIPÓTESES DE ALTERAÇÃO DOS PESOS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

2020		Z									
PESO		CENÁRIO C		C. IDEAL 1		C. IDEAL 2		C. IDEAL 3		C. IDEAL 4	
DBO	OD	$k_1=PDH$	$k_1=0,1$	$k_1=PDH$	$k_1=0,1$	$k_1=PDH$	$k_1=0,1$	$k_1=PDH$	$k_1=0,1$	$k_1=PDH$	$k_1=0,1$
1,0	0,0	3,91	5,38	5,35	6,99	4,59	5,84	-	14,03	-	12,94
0,8	0,2	15,64	9,18	27,74	10,65	21,44	9,30	-	16,41	-	15,15
0,6	0,4	27,35	12,98	50,15	14,30	38,30	12,76	-	18,82	-	17,36
0,4	0,6	39,08	16,79	72,54	17,96	55,14	16,23	-	21,21	-	19,57
0,2	0,8	50,79	20,58	94,94	20,98	72,00	19,69	-	23,61	-	21,78
0,0	1,0	62,51	24,38	117,33	25,27	88,84	23,15	-	26,00	-	23,98

FONTE: O Autor.

Percebe-se que com o aumento do peso do oxigênio dissolvido (OD) ocorre o aumento no valor do parâmetro Z, para ambas as taxas de demanda da matéria orgânica a 20°C. Outra observação feita é que ao se utilizar taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C presentes em MARIN (2001) o parâmetro Z apresenta valores superiores em relação às taxas de decaimento de matéria orgânica a 20°C presentes em literatura (CHAPRA, 1997). Desta forma, considerando o cenário ideal 1, a variação do parâmetro Z, com taxas de decaimento presentes em MARIN (2001), é da ordem de 112 para as hipóteses de considerar apenas a demanda bioquímica de oxigênio ou apenas o oxigênio dissolvido, enquanto que considerando as taxas presentes em literatura (CHAPRA, 1997) a variação é da ordem de 18,3, muito inferior à anterior. Desta forma, salienta-se que a variação dos pesos relativos dos parâmetros de qualidade da água é muito mais expressiva ao se admitirem taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C altas, superiores a  $0,5d^{-1}$ .

No tocante aos benefícios econômicos, tem-se que tendem a ser maiores quando considerado a taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C presentes na literatura (CHAPRA, 1997), crescendo com o aumento do peso do oxigênio dissolvido, em contrapartida, tendem a diminuir quando considerado as taxas presentes em MARIN (2001). Os benefícios econômicos para cada cenário considerado, no ano de 2020, estão expressos na Tabela 8.17.

TABELA 8.17 – BENEFÍCIOS ECONÔMICOS, CONSIDERANDO AS HIPÓTESES DE ALTERAÇÃO DOS PESOS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

CENÁRIO	BENEFÍCIO (10 <sup>6</sup> US\$)												
	PESO	DBO 1 OD 0		DBO 0.8 OD 0.2		DBO 0.6 OD 0.4		DBO 0.4 OD 0.6		DBO 0.2 OD 0.8		DBO 0 OD 1	
		CUSTO (10 <sup>6</sup> US\$)	k <sub>1</sub> = PDH	k <sub>1</sub> = 0,1	k <sub>1</sub> = PDH								
C	33,70	27,60	15,08	21,29	22,00	20,60	27,12	20,35	31,13	20,20	34,28	20,12	36,88
Ideal 1	37,77	37,77	19,59	37,77	25,52	37,77	29,88	37,77	33,30	37,77	34,95	37,77	38,22
Ideal 2	33,51	32,40	16,37	29,19	22,29	28,84	26,66	28,71	30,09	28,64	32,80	28,60	35,02
Ideal 3	39,33	-	39,33	-	39,33	-	39,33	-	39,33	-	39,33	-	39,33
Ideal 4	35,54	-	36,27	-	36,31	-	36,28	-	36,29	-	36,28	-	36,27

FONTE: O Autor.

Da Tabela 8.17 destaca-se que o benefício econômico do cenário C obtido com os dados da simulação baseados nas taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C de MARIN (2001) é inferior ao benefício proporcionado com os dados da simulação realizada com taxa de decaimento da matéria orgânica a 20°C de literatura (CHAPRA, 1997).

Outro ponto relevante é a variação do benefício econômico observado quando se considera apenas a demanda bioquímica de oxigênio ou apenas o oxigênio dissolvido, na simulação com taxa de demanda de matéria orgânica a 20°C presente na literatura (CHAPRA, 1997). No primeiro caso, para o cenário C, o valor do benefício é de US\$ 15,08\*10<sup>6</sup>, sendo menor que o observado no segundo caso, em que o valor é de US\$ 36,88\*10<sup>6</sup>, muito além do custo de implementação e operação do cenário, que corresponde a US\$ 33,70\*10<sup>6</sup>. Para a análise feita com base nas taxas de decaimento da matéria orgânica a 20°C presentes em MARIN (2001), esta variação ocorreu de forma inversa, em que o maior benefício econômico ocorre quando é desconsiderado o oxigênio dissolvido, porém este benefício, US\$ 27,60\*10<sup>6</sup>, é inferior ao custo de implantação e operação do cenário considerado, correspondendo a US\$ 33,70\*10<sup>6</sup>.

Independente de que metodologia para avaliação do benefício econômico que se adote, a calibração desempenha um papel principal na validação do estudo

pretendido, permitindo uma representação mais apurada e confiável das realidades físicas, químicas e biológicas presentes na bacia hidrográfica em estudo.

Na seção seguinte, será feita uma abordagem utilizando-se a metodologia da receita da venda da água.

### 8.3 Aplicação da metodologia da venda da água

Uma hipótese para a avaliação do benefício da implementação de medidas de despoluição corresponde à disponibilidade do recurso hídrico em qualidade adequada para o consumo humano. Desta forma, destaca-se a viabilidade de comercialização do recurso hídrico para o abastecimento urbano. Esta metodologia de análise de benefício econômico está mostrada no capítulo 5.

Na avaliação do benefício econômico da receita é considerada a vazão a qual é possível a comercialização. Assim, cada cenário terá um benefício próprio, conforme presente na Tabela 8.18, referente ao ano de 2020.

TABELA 8.18– APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DA RECEITA DA ÁGUA PARA O ANO DE 2020

CENÁRIO	CUSTO (US\$ 10 <sup>6</sup> )	BENEFÍCIO PARA Q <sub>95%</sub> (US\$ 10 <sup>6</sup> )		BENEFÍCIO PARA Q <sub>80%</sub> (US\$ 10 <sup>6</sup> )		BENEFÍCIO PARA Q <sub>MLP</sub> (US\$ 10 <sup>6</sup> )	
		k <sub>1</sub> – PDH	k <sub>1</sub> = 0,1	k <sub>1</sub> – PDH	k <sub>1</sub> = 0,1	k <sub>1</sub> – PDH	k <sub>1</sub> = 0,1
A	-	0,58	-	0,89	-	3,88	-
C	33,70	2,91	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
Ideal 1	37,77	2,91	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
Ideal 2	33,51	2,91	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
Ideal 3	39,33	-	2,91	-	4,46	-	19,38
Ideal 4	35,54	-	2,91	-	4,46	-	19,38

FONTE: O Autor.

Coloca-se que esta metodologia é um tanto simplificada, não levando em consideração fatores muito importantes como o custo no investimento das redes de distribuição de água, os benefícios referentes à qualidade de vida dos habitantes, um vez que com a implementação de rede de distribuição de água tratada e de rede de coleta e tratamento do esgoto ocorre a minimização de doenças transmitidas pela ausência de saneamento básico, entre outros fatores relevantes, porém serve como orientação na escolha e implementação de um conjunto de medidas em despoluição

hídrica, visando a escolha do melhor cenário, ou seja, aquele que apresenta melhor retorno do investimento.

É possível fazer uma comparação entre os resultados obtidos com esta metodologia e os resultados obtidos com a aplicação da metodologia de MARIN (2001).

TABELA 8.19 – COMPARAÇÃO DOS BENEFÍCIOS ECONÔMICOS ENTRE A METODOLOGIA DE MARIN (2001) E A DA RECEITA – 2020

CENÁRIO	CUSTO (US\$ 10 <sup>6</sup> )	BENEFÍCIO, METODOLOGIA MARIN (2001) (US\$ 10 <sup>6</sup> )		BENEFÍCIO PARA Q <sub>MLP</sub> , METODOLOGIA DA RECEITA (US\$ 10 <sup>6</sup> )	
		k <sub>1</sub> – PDH	k <sub>1</sub> = 0,1	k <sub>1</sub> – PDH	k <sub>1</sub> = 0,1
A	-	-	-	3,88	-
C	33,70	20,35	31,13	19,38	3,88
Ideal 1	37,77	37,77	33,30	19,38	11,63
Ideal 2	33,51	28,71	30,09	19,38	11,63
Ideal 3	39,33	-	39,33	-	19,38
Ideal 4	35,54	-	36,28	-	19,38

FONTE: O Autor.

Assim, a metodologia da receita da venda da água proporciona um benefício inferior ao computado com a metodologia de MARIN (2001), apresentando uma variação pequena para o cenário C e considerável para o cenário ideal 1.

No anexo 3 são apresentadas as tabelas-resumo dos resultados considerando todas as metodologias abordadas, o que permite a comparação dos parâmetros Z, bem como a comparação dos benefícios econômicos de cada cenário, referentes ao ano de 2020.

#### 8.4 Análise Crítica do Capítulo

Neste capítulo foi apresentado o levantamento dos custos para cada cenário considerado, bem como para os respectivos anos simulados. Com estes dados foram desenvolvidas as avaliações dos benefícios econômicos com base na metodologia de MARIN (2001), avaliando os erros inerentes à não calibração do modelo de qualidade da água.

Assim, foi possível perceber que o parâmetro Z é sensível aos dados obtidos da modelagem matemática da qualidade da água, evidenciando claramente que eventuais erros na calibração do modelo possam tornar inconsistente a análise econômica. Desta forma, quando se formular variações na análise do benefício econômico, obter-se-á resultados irrealistas, tornando a discussão da viabilidade da implantação das medidas inconsistente.

Complementarmente, os erros de calibração no modelo matemático de qualidade da água adotado também permitiram a observação dos erros gerados na metodologia da receita da venda, uma vez que a vazão destinada à comercialização será menor do que a de fato considerada, já que foi previsto um percentual de vazão que por mérito de despoluição pudesse ser vendida.

## **CAPÍTULO 9**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A mudança de paradigma proporcionada com a Política Nacional de Recursos Hídricos, definida pela Lei 9.433/97 tem estimulado a conscientização da sociedade buscando um desenvolvimento compatível com a fragilidade e a finitude dos recursos naturais, possibilitando que, sem prejuízo das gerações presentes, se preservem estes recursos e se garanta a existência das gerações futuras, fundamentando o desenvolvimento sustentável.

A Política Nacional de Recursos Hídricos instituiu instrumentos de gestão de recursos hídricos, baseado no conceito de desenvolvimento sustentável. Estes instrumentos consideram o Plano de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos d'água, o sistema de outorga, a cobrança pelo uso da água e o Sistema de Informação. Estes instrumentos serão a base de todo o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, envolvendo Agências de Bacias Hidrográficas, Comitês e Conselhos de Bacias Hidrográficas. Cabe salientar, que esta visão conceitual estabeleceu a gestão descentralizada e participativa de todos os setores da sociedade.

A implementação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos está atrelada à necessidade de se trabalhar com diversos tipos de modelos matemáticos. Nesta pesquisa, utilizou-se como metodologia clássica a integração de modelo de qualidade da água com a análise preliminar de benefícios econômicos, de tal sorte que possibilitou a estimativa de situações futuras para as bacias hidrográficas, permitindo o desenvolvimento da análise de viabilidade de ações a serem implementadas, em especial, para metas em despoluição hídrica.

O ponto de partida para a utilização dos modelos matemáticos é a construção de um banco de dados que permita o fácil manuseio e a rápida atualização, uma vez que a dinâmica das bacias hidrográficas localizadas nas proximidades de áreas urbanas é intensa. Para isto é necessário se ter o monitoramento de determinadas seções do rio, permitindo acompanhar as mudanças sofridas com o impacto da ocupação. Juntamente ao monitoramento, deve-se promover o desenvolvimento de

uma matriz de fontes de poluição dinâmica e de fácil compreensão, permitindo que os dados observados no monitoramento possam ser compatíveis a ela possibilitando a sua atualização. Isto tudo constitui parte do sistema de informações previsto como um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

O enfoque desta pesquisa foi o de avaliar a importância da calibração dos modelos matemáticos na avaliação de benefícios econômicos. A literatura acadêmica não revela claramente os problemas de calibração. A maioria dos estudos que abrangem o tema utiliza-se do processo “tentativa e erro” para a calibração, sendo que em alguns casos não apresentam respostas adequadas. Este trabalho é uma contribuição para revelar as dificuldades deste tipo de abordagem, possibilitando a análise do impacto em avaliação de benefícios econômicos.

No caso estudado, os impactos de erros em calibração do modelo de qualidade da água são relevantes na avaliação do benefício econômico. Destaca-se que o erro proporcionado pelo impacto dos erros de calibração, referentes ao cenário ideal 1 e cenário ideal 3, para o ano de 2020, é de US\$  $1.6 \cdot 10^6$ , podendo inviabilizar qualquer projeto ou plano de ação. Desta forma, salienta-se a importância deste estudo, possibilitando constatar o impacto que erros de calibração na modelagem matemática da qualidade da água produz na análise de benefícios econômicos.

Além disto, outro aspecto relevante está na análise da estimativa econômica dos benefícios. Não se tem definido uma metodologia própria a qual considera todas as variáveis de qualidade da água possíveis, porém destaca-se que o parâmetro Z é um bom começo para esta discussão, devendo, no entanto, ser aperfeiçoado, considerando sua sensibilidade às questões de calibração e relativas a sua própria definição.

Ressalta-se ainda em relação a este aspecto, a questão dos custos das medidas em despoluição hídrica. Na literatura atual não são consistentes as funções de custo para todas as medidas em despoluição definidas, em especial, as medidas de gestão. Desta forma, erros na estimativa de custos das medidas em despoluição podem acarretar erros na análise dos benefícios econômicos, proporcionando a inviabilidade de projetos.

Paralelo a este aspecto destaca-se a dificuldade de se avaliar o impacto de medidas de despoluição hídrica, em especial medidas de gestão ou não estruturais.

Esta questão não está bem definida na literatura, e acaba por influenciar o desenvolvimento das matrizes de fontes de poluição para os anos de estudo, de tal maneira que a cesta de medidas de despoluição ainda é limitada à projetos de engenharia. Assim, deve-se considerar quais tecnologias existentes e disponíveis podem ser aplicadas para otimizar e validar o estudo.

Neste sentido, este estudo realizou um olhar mais pontual do parâmetro Z utilizado por MARIN (2001), aplicando-o a uma área menor, sendo caracterizada uma região de mananciais. Fica evidente a necessidade de se investir em um sistema de monitoramento que permita minimizar os erros de calibração dos modelos de qualidade da água para uma melhor análise de benefícios econômicos.

A avaliação econômica é tida como um instrumento de auxílio à tomada de decisão, permitindo a quantificação dos benefícios proporcionados por ações em recursos hídricos. Uma das implicações destas é definido no enquadramento, que seja factível e sustentável financeiramente pela sociedade.

A principal contribuição desta pesquisa é o de ressaltar a calibração de ferramentas matemáticas no contexto da gestão dos Recursos Hídricos, como o caso do parâmetro Z. Este assunto não é discutido de forma clara na literatura.

Uma outra questão relevante é a aplicação de indicadores como, por exemplo, o parâmetro Z aqui utilizado. Nesta pesquisa a análise mais pontual do parâmetro mencionado, pode não refletir ou ocultar uma possível contribuição de benefícios em escala maior. Alias, este também é um tema não tratado de forma clara na literatura.

Por fim, cabe destacar que embora simplista, a metodologia de avaliação de benefícios econômicos aqui utilizada, permite identificar a sua importância, e que tem sido rigorosamente ignorada em projetos de despoluição hídrica. Fica a sensação que o processo de decisão de medidas em despoluição hídrica é sempre um tema intuitivo.

Em forma de estudos futuros, defende-se:

- a) Complementação do parâmetro Z;
- b) Aperfeiçoamento da metodologia de quantificação monetária de benefícios econômicos; e
- c) Desenvolvimento de metodologia de calibração com dados de campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAIS, C. **O estado do planeta em alguns números**. In: Barrère, Martine (Coord.). Terra, patrimônio comum: a ciência a serviço do meio ambiente e do desenvolvimento. Tradução: Estela dos Santos Abreu. São Paulo: Nobel, 1992.
- AL-LAYLA, M. A., AL-RIZZO, H. M., **A Water Quality Model for the Tigris River Downtown of Sadam Dam**. Iraq, *Journal of Hydrological Sciences*, v. 34, n. 6- 12, pp. 687-704. 1989.
- ANA. **The Evolution of Water Resources Management in Brazil**. Brasília, 2000.
- ANDREOLI, C. V.; DALARMI, O.; LARA, A. I.; RODRIGUES, E. M.; ANDREOLI, F. N. **Os mananciais de abastecimento do sistema integrado região metropolitana de Curitiba – RMC – SANARE – Revista Técnica da SANEPAR**.
- ANDREOLI, et al. **Limites ao desenvolvimento da Região Metropolitana de Curitiba, impostos pela escassez de água – SANARE – Revista Técnica da SANEPAR**.
- ANDREOLI, C. V. (Edit). **Mananciais de Abastecimento: Planejamento e Gestão – Estudo de caso do Altíssimo Iguaçu**. Curitiba: SANEPAR, Finep – 2003.
- AZEVEDO, L. G. T.; BALTAR, A. M.; GAMBRILL, M. P.; MEJIA, A.; TRICHE, T.. **Água, Redução de Pobreza e Desenvolvimento Sustentável - 1ª edição - Brasília – 2003**.
- AZEVEDO, L. G. T., PORTO, R. L. L., PORTO, M., **Sistema de Apoio a Decisão para o Gerenciamento Integrado de Quantidade e Qualidade da Água: Metodologia e Estudo de Caso**, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 1, pp. 21-51. 1998.
- BANCO MUNDIAL. **Gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, do Recursos Hídricos e da Amazônia Legal – MMA. Secretaria de Recursos Hídricos – SRH, 1998.
- BÄUMLE, et. al. **Análise crítica da calibração de modelos de qualidade de água em rios – Estudo de caso Bacia do rio Palmital**. XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica. São Pedro, SP. 2004.
- BIZZONI, M. **Análise e modelagem numérica da qualidade da água na região do Alto Iguaçu**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Ambiental) Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

BRANCO, S. M., **Hidrologia Aplicada à Engenharia Sanitária**, ed. 2, São Paulo - SP, Editora CETESB. 1983.

BRASIL, PARANÁ. **Portaria SUREHMA nº 20**, de 12 de maio de 1992. Enquadrar os cursos d'água da Bacia do Alto Iguaçu de domínio do Estado do Paraná. Coletânea de Legislação Ambiental, 1995.

BRASIL. **Lei Federal nº 9433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. ABRH, 1997.

BRASIL. **Lei Federal nº 10257**, de 10 de julho de 2001. Estabelece diretrizes gerais da política urbana. 2001.

BRASIL. **Presidência da República. Comissão Interministerial para Preparação da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. O desafio do desenvolvimento sustentável**. Brasília: Cima, 1991.

BROWN, Linfield C.; BARNWELL, Thomas O. **The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-Uncas – Documentation and Users Manual**, USEPA/600/3-87/007, 1987.

CANALI, G. V.; CORREIA, F. N.; LOBATO, F.; MACHADO, E. (Ed.) **Water resources management Brazilian and international experience**. 1999. CHAPRA, Steven C. et al. **Lectures Notes for Stream Water Quality Modeling with QUAL2EU**. University of Colorado, Bolder, 1994.

CAUBET, C. G. **A água, a Lei, a política... E o meio ambiente?**. Juruá, Curitiba, 2004.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente: **Resoluções 1984-1992**, ed. 4, Brasília – DF, SEMAM/CONAMA/IBAMA. 1992.

COSTA, F. J. L. **Estratégias de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil: Áreas de Cooperação com o Banco Mundial - 1ª edição - Brasília – 2003**.

CHAPRA, Steven C. et al. **Lectures Notes for Stream Water Quality Modeling with QUAL2E**. University of Colorado, Bolder, 1994.

CHAPRA, S. C. **QUAL2E – EPA – U.S. Environmental Protection Agency**, Athens, Georgia, 1995.

CHAPRA, S. C. **Surface Water – Quality Modeling**. Mac Graw Hill, 1997.

CHAUDHURY, R. R. et al. **Dissolved oxygen modeling of the Blackstone River (Northeastern United States)**. Water Resources, 32, 8, p. 2400-2412, 1998.

- CIRAVOLO L.; INDELICATO, S.; VIVIANI, G. **Stream Water quality models: an application to the Simeto River Basin. Measurements and Modelling in Environmental Pollution**, p. 53-62, 2000.
- CUNHA, A R. BRAGA, B. TUNDISI, J. G. (Org) **Águas Doces no Brasil. Capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 2002.
- DIAS, R., **Tietê: Um Rio Começa a Renascer**, *BIO – Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente*, n. 18, pp. 44-48. 2001.
- DINIZ, M.H. **Curso de Direito Civil Brasileiro**. v. 1, 11ª ed. 300p. São Paulo: Saraiva, 1995.
- DROLC, A.; KONCAN, J. Z. **Water Quality Modelling of the River Sava, Slovenia**. *Water Resources*, v. 30, n. 11, p. 2587-2592, 1996.
- FERNANDES *et al.* **Relatório parcial Nº 02/2003 - MF 1.1.2 – Levantamento e mapeamento dos pontos de captação, lançamento de efluentes e fontes difusas, incluindo a definição de vazões e cargas poluidoras (matriz de fontes de poluição). Projeto Análise da Sustentabilidade Econômica e Ambiental de Metas de Despoluição Hídrica – Estudo de Caso: Alto Iguaçu**. FINEP, Curitiba. 2003.
- FERNANDES *et al.* **Relatório parcial Nº 05/2004 - MF 1.1.5 – Critérios utilizados para modelagem da qualidade da água da Bacia do Alto Iguaçu. Projeto Análise da Sustentabilidade Econômica e Ambiental de Metas de Despoluição Hídrica – Estudo de Caso: Alto Iguaçu**. FINEP, Curitiba. 2003
- FERNANDES *et al.* **Relatório parcial Nº 06/2004 - MF 1.1.6 - Obtenção das concentrações dos parâmetros de qualidade da água nas condições atuais. Projeto Análise da Sustentabilidade Econômica e Ambiental de Metas de Despoluição Hídrica – Estudo de Caso: Alto Iguaçu**. FINEP, Curitiba. 2004.
- FERNANDES *et al.* **Relatório final. Projeto Análise da Sustentabilidade Econômica e Ambiental de Metas de Despoluição Hídrica – Estudo de Caso: Alto Iguaçu**. FINEP, Curitiba. 2005.
- FERRAZ, A. R. G., BRAGA JR., B. P. F., **“Modelo Decisório para a Outorga de Direito ao Uso da Água no Estado de São Paulo”**, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 1, pp. 5-19. 1998.

FERRIER, R. C., EDWARDS, A. C., HIRST, D., *et al.*, **Water Quality of Scottish Rivers: Spatial and Temporal Trends**, *The Science of the Total Environment*, v. 265, pp. 327-342. 2001.

FISCHER, E. G. **Determinação de Contaminação do Ribeirão do Feijó Através de Levantamento de Dados e Modelo Matemático de Qualidade da Água**, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos - São Paulo, 1995.

FISHER, D. S., STEINER, J.L., ENDALE, D. M., *et al.* **The Relationship of Land Use Practices to Surface Water Quality in the Upper Oconee Watershed of Georgia**, *Forest Ecology and Management*, v. 128, pp. 39-48, 2000.

FREITAS, V.P.(Org). **Águas: Aspectos Jurídicos e Ambientais**. 263p.Curitiba: Juruá, 2000.

GASTALDINI, M. C. C., **Análise do Mecanismo de Auto-Depuração do Rio Jacaré-Guaçu através de um Modelo de Qualidade da Água**, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Paulo – São Paulo. 1982.

GOKSEL, C., **“Monitoring of a Water Basin Area in Stanbul Using Remote Sensing Data”**, *Water Science Technology*, v. 38, n. 11, pp. 209-216. 1998.

GOSH, N.C. ; MCBEAN, E. A. **Water Quality Modeling of the Kali River, India**. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 102, p. 91-102, 1998.

GRANZIEIRA, M.L.M. **Direito de Águas e Meio Ambiente**. 136p.São Paulo: Ícone, 1993.

GRANZIEIRA, M.L.M. **Direito de Águas: Disciplina jurídica das águas doces**. São Paulo: Atlas, 2001.

GRINOVER, L. **O desenvolvimento urbano e territorial e os parâmetros ambientais**. In: MAGALHÃES,L.E. A questão ambiental. pp. 243 – 260.São Paulo: Terragraph, 1994.

JAMES, L. D.; LEE, R. R. **Economics of water resources planning. United States of America**: McGraw-Hill, INC, 1971.

LANNA, A. E. **Gerenciamento de Bacia Hidrográfica: Aspectos Conceituais e metodológicos**. Brasília: IBAMA, 1995.

LANNA, A. E. **Uso de instrumentos econômicos na gestão das águas no Brasil**. BAHIA ANÁLISE & DADOS Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 441-451, 2003.

- LEAL, M. S. **Gestão ambiental de recursos hídricos: princípios e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 1998.
- LIMA, E. B. N. R. **Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na Bacia do rio Cuiabá**. **Dissertação de mestrado**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- LOUCKS, D. P. **Sustainable Water Resources Management**. **International Water Resoucers Association**, vol. 25, n. 1, mar. 2000.
- LOUCKS, D. P., STEDINGER, J. R., HAITH, D. A. **Water Resource Systems Planning and Analysis**. Prentice-Hall, 1981.
- KELMAN, J. **Gerenciamento de recursos hídricos – Parte I: Outorga**. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória, 1997.
- MACÊDO, J. A. B., **Águas e Águas**, ed. 1, São Paulo – SP, Editora Varela. 2001.
- MACIEL Jr., P. **Zoneamento das águas**. 1. ed. Belo Horizonte, 2000.
- MACHADO, P.A L. **Curso de Direito Ambiental Brasileiro**. 9ªed. 1031p.São Paulo: Malheiros, 2001.
- MACHADO, P.A L. **Recursos Hídricos: Direito Brasileiro e Internacional**. 216p. São Paulo: Malheiros, 2003.
- MAGALHÃES JUNIOR, A. P., **A Situação do Monitoramento das Águas no Brasil – Instituições e Iniciativas**, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 3, pp. 113-135. 2000,
- MARIN, M.C.F.C. **Análise de benefício econômico em despoluição hídrica como instrumento de suporte à tomada de decisões em gestão de recursos hídricos**. **Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Ambiental)** Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.
- MENDONÇA, A. S. F., **Application of the QUAL2E Model to Environmental Impacto Assessment**, *Advances in Hydro Science and Engineering*, v.1, n 2, p 349-354. 1992.
- MILARÉ, É. **Direito do Ambiente**. 2ª ed. 783p. São Paulo: RT, 2001.
- MILLAR, A. A. **O Gerenciamento dos Recursos Hídricos e o mercado de águas**. 177p. Brasil: Ministério da Integração Regional, 1994.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente, **Política Nacional dos Recursos Hídricos, Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997**, 2 ed. rev. atual., Brasília. 1999.

- MMA, Ministério do Meio Ambiente, **Criação da ANA, Lei n.º 9984 de 17 de junho de 2000**. 2000.
- MOTA, S., **Preservação de Recursos Hídricos**, ABES. 1995.
- MOTTA, R. S., MENDES, F. E. **Instrumentos econômicos na gestão ambiental: aspectos teóricos e de implementação**. *Economia Brasileira em Perspectiva – 1996*. Rio de Janeiro: IPEA/DIPES, 1996.
- MOTTA, R. S., RUINTENBEEK, J., HUBER, R. **Uso de instrumentos econômicos na gestão ambiental da América Latina e Caribe: lições e recomendações**. (Texto para Discussão, 440). Rio de Janeiro: IPEA, out. 1996.
- MOTTA, R. S. **Manual de valoração econômica de recursos ambientais**. Brasília: IPEA/MMA, 1997.
- MOTTA, R. S. **Utilização de critérios econômicos para a avaliação da água no Brasil**. (Texto para Discussão, 556). Rio de Janeiro: IPEA, out. 1998.
- MOTTA, R. S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. 218 p. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1998.
- MOURA, L. A. A. de. **Economia ambiental – Gestão de custos e investimentos**. Ed. Juarez de Oliveira, 2ªEd. São Paulo, SP, 2003.
- MUÑOZ, R. H. (Org). **Interfaces da Gestão dos Recursos Hídricos: Desafios da Lei de Águas**. 421p. MMA/SRH.2000.
- NEVES, M.C.A. **Código de Águas**. 143p. São Paulo: Ícone, 1994.
- NING, S.K. et al. **Assessing pollution prevention program by QUAL2E simulation analysis for the Kao-Ping River Basin, Taiwan**. *Journal of Environmental Management*, v. 61, p. 61-76, 2001.
- O'CONNOR, D. J., DOBBINS, W. E., **Mechanism of Reaeration in Natural Streams**. pp. 641-666. *Journal Sanitary Engineering Division, ASCE*,. 1967,
- PALMIERI, Vivian; CARVALHO, Roberto Jose de; **Calibração do modelo QUAL2E para o Rio Corumbataí (SP)**. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Ciência. 2003.
- PEARCE, D. **Economics of natural resources and the environmental**. Baltimore, 1997.
- PEREIRA, J. S. **Instrumentos para gestão ambiental**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

PETRELLA, R. **Encontro das águas**. Brasília, Centro de Documentação e Informação, Coordenação e Publicações, 2002.

Portaria SUREHMA nº 20/92.

RAMALHO, Cristiane; CARVALHO, Maria Cristina Frisch; FERNANDES, Cristóvão Vicente Scapulatempo. **Diagnóstico Ambiental da Bacia do Barigui**. UFPR. Curitiba, 1997.

RAMOS, F.; MARIN, M.C.F.C. **Metodologia de avaliação de benefícios de medidas de despoluição hídrica**. 30p. Relatório técnico. Curitiba, 2000.

SANTOS, R.J.R. **Programa de conservação de mananciais**. Sanare, Curitiba, v.9, n.9, p.33-40. 1998.

SETTI, A A; LIMA, J. E. F.W.; CHAVES, A G.M.; PEREIRA, I. C. **Introdução ao Gerenciamento dos Recursos Hídricos**. 327p. Brasília: ANA/ANEEL, 2001.

SHANAHAN, P. et al. **River Water Quality Modeling: II. Problemas of the Art. Water Science and Technology**, v. 38, n. 11, p. 245-252, 1998.

SILVA, M. H. N. **Análise e Modelagem Numérica da Qualidade da água em Rios**. Dissertação de mestrado, Centro de Hidráulica Professor Parigot de Souza, 1998.

SONDOTÉCNICA S.A. **Emprego de Modelo Matemático de Qualidade de Água para a Avaliação do Impacto Ambiental da UHE Manso – MT**, Relatório Final, Rio de Janeiro – RJ, 1987.

SONDOTÉCNICA S. A., **Emprego de Modelo Matemático de Qualidade de Água para Avaliação do Impacto Ambiental da UHE de Manso – MT**, Relatório Técnico. 1989.

SONDOTÉCNICA S. A, **Diagnóstico da Qualidade da Água da Área de Influência do APM Manso – Fase Rio**, Relatório Final, APM-07-0014 RE, Rio de Janeiro - RJ. 2000.

SPERLING, M. V., **Análise da Incerteza em Estudos Ambientais. Aplicação na Modelagem da Qualidade de Água de Rios**, *Bio – Engenharia Sanitária e Ambiental*, n. 1, pp. 2-10. 1993.

SUDERHSA. **Plano de despoluição hídrica da bacia do Alto Iguaçu – Volume 1**. Curitiba, 2000.

SUDERHSA. **Plano de despoluição hídrica da bacia do Alto Iguaçu – Volume 2**. Curitiba, 2000.

- SUDERHSA. **Plano de despoluição hídrica da bacia do Alto Iguaçu – Volume 3.** Curitiba, 2000.
- SUDERHSA. **Plano de despoluição hídrica da bacia do Alto Iguaçu – Volume 4.** Curitiba, 2000.
- SUDERHSA. **Plano de despoluição hídrica da bacia do Alto Iguaçu – Volume 5.** Curitiba, 2000.
- SUDERHSA. **Plano de despoluição hídrica da bacia do Alto Iguaçu – Volume 6.** Curitiba, 2000.
- SUDERHSA. **Plano de despoluição hídrica da bacia do Alto Iguaçu – Volume 7.** Curitiba, 2000.
- SUDERHSA. **Cadastro dos grandes usuários dos recursos hídricos da Bacia do Alto Iguaçu.** Curitiba. 2000.
- SUDERHSA. **Projeto Experimental de Outorgas,** Curitiba. 2003.
- TAVARES, V. E. Q., *et al.*, **Valoração Monetária de Bens e Serviços Ambientais: Revisão do Estado-da-Arte sob a Ótica da Gestão das Águas,** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 4, n. 3, pp. 97-116. 1999.
- TEIXEIRA, I. **Modelagem Matemática do Rio Cuiabá – Estudos de Autodepuração, Relatório Técnico,** FEMA/PNMA, 1994.
- TEIXEIRA, T. P. B. **Avaliação do Setor de Saneamento no Estado de Mato Grosso Estudo de Caso Sub-Bacia do Rio Cuiabá,** Monografia de Especialização, UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 1997.
- TEIXEIRA, T. P. B., LIMA, E. B. N. R. **Determinação de Indicadores de Desempenho para Avaliação de Sistemas de Abastecimento como uma Ferramenta de Gestão,** *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 5, n. 3, 161-172, 2000.
- TUCCI, C. E. M. **PRA – 01 Parque e Controle de Cheias do Alto Iguaçu / MP03 – Estudos Hidrológicos-Hidrodinâmicos do Rio Iguaçu na RMC – V. 1. – PROSAM – COMEC/SUCEAM/UGP – 1996.**
- TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos,** ed. 1, Porto Alegre, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.
- TUCCI, C. E. M., HESPANHOL, I., CORDEIRO NETTO, O. M. **Cenários da Gestão da Água no Brasil: Uma Contribuição para a Visão Mundial da Água”,** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 5, n. 3, pp. 31-43, 2000.

TUCCI, C. E. M., HESPANHOL, I., CORDEIRO NETTO, O. M. **Relatório Nacional Sobre o Gerenciamento da Água no Brasil**, 2000.

TUCCI, C. E. M., HESPANHOL, I., CORDEIRO NETTO, O. M. **Gestão da Água no Brasil**, UNESCO, 2001.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI. Enfrentando a escassez**. 248 p. São Paulo; RiMa, IIE, 2003.

VAN ORDEN, G. N.; UCHRIN Christopher G. **The study of dissolved oxygen dynamics in the Whippany River, New Jersey using the QUAL2E model**. Ecological Modelling, v. 70, p. 1-17, 1993.

YANG, M. D. *et al.*. **Adaptive Short-Term Water Quality Forecasts Using Remote Sensing and GIS**. In: AWRA Symposium on GIS and Water Resources, Ft. Lauderdale, FL., (AWAR Homepage), pp. 10. 2000.

YANG, M.D.; SYKES, R.M.; MERRY, C.J. **Estimation of Algal Biological Parameters using Water Quality modeling and SPOT satellite data**. Ecological Modelling, v. 125, p. 1-13, 2000.

**ANEXO 1**

## **DEFINIÇÃO DA MATRIZ DE FONTES DE POLUIÇÃO**

### **1. INTRODUÇÃO**

A matriz de fontes de poluição é um instrumento utilizado para a entrada de dados em um modelo de qualidade da água. Ela deve conter todas as fontes poluidoras, definindo a localização, a vazão e a concentração dos parâmetros de qualidade da água que se pretende analisar. Daí sua importância, pois se ela não for bem detalhada e com informações precisas os resultados obtidos da modelagem da qualidade da água estarão comprometidos.

### **2. METODOLOGIA**

Inicialmente foi delimitado o campo de estudo, restringindo-se as bacias do rio Irai, Iraizinho, Piraquara, Palmital e trecho inicial do Iguaçu, conforme a Figura A.1 a seguir. Em seguida, já escolhido o modelo matemático a ser adotado, tentou-se adaptar as limitações do mesmo as necessidades do estudo, iniciando o desenvolvimento da matriz de fontes de poluição.

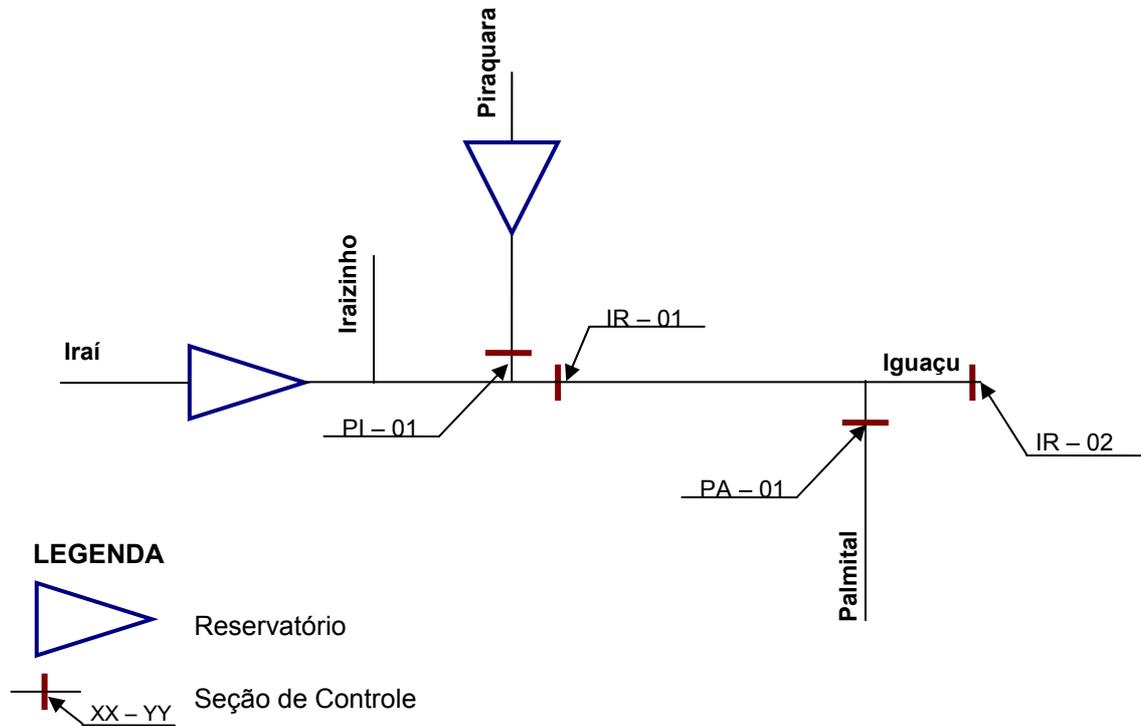
Assim, a definição da matriz de fontes de poluição hídrica foi desenvolvida baseada no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu, nos dados do Cadastro dos Grandes Usuários de Recursos Hídricos da Bacia do Alto Iguaçu, realizado pela SUDERHSA em 2000, no Projeto Experimental para Análise de Outorgas, e nas limitações apresentadas pelo QUAL2E.

A matriz proposta apresenta informações necessárias para a alimentação do modelo matemático QUAL2E, que se caracteriza por ser a vazão do rio, a concentração da carga difusa, a concentração das cargas pontuais com as respectivas vazões, bem como sua localização.

A vazão foi considerada com base no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu, desenvolvido pela SUDERHSA em 2000, que por sua vez é baseado no Projeto HG-77 – Regionalização de vazões em pequenas bacias hidrográficas no Estado do Paraná, CEHPAR, 1994. Estas vazões englobam as vazões moderadas, mínimas e críticas. As considerações com relação às cargas foram feitas através da

divisão destas em domésticas, industriais e difusas, cada qual identificando sua origem, vazão do efluente, carga de DBO, uso entre outros.

DIAGRAMA A.1 – DIAGRAMA TOPOLÓGICO DA ÁREA DO ESTUDO DE CASO, IDENTIFICANDO AS SEÇÕES DE CONTROLE CONSIDERADAS



FONTE: O autor.

A construção da matriz ocorreu com a divisão de partes de cada rio em tramos, em que apresentassem ao longo de toda a sua extensão, as mesmas características físicas, e correspondem as áreas de contribuição identificadas no Plano de Despoluição. Cada tramo apresentará vazões e cargas que poderão ser distribuídas linearmente ou pontualmente ao longo do mesmo dependendo de sua característica. Essas considerações foram feitas visando o programa de modelagem da qualidade da água, QUAL2E, da EPA – U.S. Environmental Protection Agency.

Outra consideração importante a ser feita é com relação ao horizonte de projeto adotado, para isso definiu-se quinquênios partindo de 2010 até 2020. Desta maneira será construído uma matriz de fontes de poluição para cada quinquênio (2010, 2015 e 2020).

Para o preenchimento dos dados da matriz de fontes de poluição adotou-se algumas hipóteses simplificadoras descritas a seguir:

- a) Cada tramo será dividido em um número inteiro de elementos computacionais;
- b) Cada elemento computacional apresenta comprimento  $\Delta x$  igual a 1km. A divisão dos elementos computacionais ocorre de modo a se adequar ao programa de modelagem da qualidade da água utilizado, QUAL2E, baseando-se nos estudos realizados no Projeto Experimental para Análise de Outorgas, SUDERHSA – 2003;
- c) Cada elemento computacional de um determinado tramo apresentará iguais áreas incrementais, considerando a hipótese de linearidade, em que cada elemento computacional corresponderá a uma área incremental representada pela área total do tramo dividido pelo número de elementos computacionais presentes no mesmo ;
- d) A vazão será distribuída linearmente ao longo do tramo. Quando existir captação, reservatório e lançamentos pontuais de grandes porte, estes serão alocados em cada elemento computacional correspondente;
- e) A carga será distribuída linearmente como na hipótese da vazão;
- f) A matriz será alimentada basicamente com os dados constantes do Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu. Optando-se por não realizar revisões dos parâmetros definidos no Plano em questão.

Considera-se para a modelagem da qualidade da água a vazão crítica que equivale a vazão de 95% de permanência, ou seja, uma vez alcançado o enquadramento do rio nesta vazão, certamente, estarei com o rio enquadrado com vazões maiores, uma vez que as cargas estarão mais diluídas. Isto posto, a Equação A.1 a seguir define o cálculo da vazão incremental do rio.

$$Vazão\left(\frac{m^3}{s}\right) = \frac{Vazão\text{específica}\left(\frac{l}{s * km^2}\right) * Área(km^2)}{1000} \quad (A.1)$$

As considerações feitas com relação aos usuários foram realizadas a partir de uma divisão dos mesmos em três grupos distintos: os grandes usuários, os demais usuários pontuais e usuários difusos.

Os grandes usuários correspondem aqueles em que a captação, a existência de reservatório ou o efluente proporcionado apresentam valores significativos, merecendo uma análise individual, separadamente dos demais usuários. Dentro deste grupo de usuários encontra-se a SANEPAR, com suas captações, reservatórios, lançamento de efluentes e eficiência de tratamento, quando presente. Além desta tem-se indústria como a Popasa (indústria de celulose), conforme caracterizado no Cadastro de Usuários dos Recursos Hídricos da Bacia do Alto Iguaçu, desenvolvido pela SUDERHSA, 2000.

Os demais usuários correspondem a um grupo de usuários que individualmente possuem pequena relevância, mas que no conjunto apresentam valores significativos para análise, representando a população que não apresenta tratamento de esgoto, lançando em fossas que estão conectadas em redes de águas pluviais, chegando por fim no próprio rio.

Para o cálculo das cargas domésticas utiliza-se de dados da população que não possui coleta de esgoto, população que possui coleta de esgoto, mas não tratamento de esgoto, população que possui coleta e tratamento de esgoto, do índice de retorno para esgoto não coletado, do índice de retorno para esgoto coletado e não tratado, do índice de retorno para esgoto coletado e tratado, além da DBO percapita e eficiência da ETE quanto a remoção da DBO5. Assim, o cálculo da carga doméstica está apresentado na Equação A.2.

$$Carga_{doméstica\ total} = Carga_{doméstica\ coletada\ não\ tratada} + Carga_{doméstica\ não\ coletada} + Carga_{doméstica\ tratada} \quad (A.2)$$

Cada uma das parcelas da Equação A.2 são obtidas conforme demonstrado a seguir:

$$Carga_{doméstica\ coletada\ não\ tratada} = Índice\ de\ retorno_{coletado\ não\ tratado} * (população_{coletada} - população_{tratada}) * DBO_{percapita} \quad (A.3)$$

$$\text{Carga}_{\text{doméstica não coletada}} = \text{índice de retorno}_{\text{não coletado}} * (\text{população}_{\text{não coletada}}) * \text{DBO}_{\text{percapita}} \quad (\text{A.4})$$

$$\text{Carga}_{\text{doméstica tratada}} = \text{população}_{\text{tratado}} * (1 - \text{eficiência de remoção DBO5}) * \text{DBO}_{\text{percapita}} \quad (\text{A.5})$$

Os parâmetros considerados estão definidos no Quadro A.1.

QUADRO A.01 – PARÂMETROS UTILIZADOS

PARÂMETRO	VALOR
Índice de retorno não coletado	0,7
Índice de retorno coletado não tratado	0,9
DBO percapita	0,054 KgDBO x dia

FONTE: Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000).

As cargas difusas são cargas poluidoras cuja origem não pode ser identificada facilmente. Essas cargas são geradas em áreas extensas e, associadas à chuva, chegam aos corpos hídricos de forma intermitente. O deflúvio superficial urbano contém, geralmente, todos os poluentes que se depositam na superfície do solo. Na ocorrência de chuvas, os materiais acumulados em valas, bueiros, etc., são arrastados pelas águas pluviais para os cursos d'água superficiais, constituindo-se numa fonte de poluição tanto maior quanto menos eficiente for a coleta de esgotos ou a limpeza pública. A poluição por cargas difusas é quantificada com base no tipo de uso do solo. A matriz considera seis tipos de uso do solo que são: urbano de alta densidade, urbano residencial, agricultura, pastagem, floresta – pântano e improdutivo. A área urbana de alta densidade caracteriza-se por apresentar uma concentração populacional alta, os poluentes advindos desta área tem sua origem, via de regra, na poluição concentrada nas vias públicas. A área urbana residencial diferencia-se da anterior por apresentar uma concentração populacional inferior, mas com relação aos poluentes possuem a mesma origem. A área referente à agricultura é relacionada em sua maioria à atividade agrícola, seus efeitos dependem muito das práticas utilizadas em cada região e da época do ano em que se realizam as preparações do terreno para o plantio, assim como, do uso intensivo

dos defensivos agrícolas. A contribuição representada pelo material proveniente da erosão de solos intensifica-se quando da ocorrência de chuvas em áreas rurais. A área referente à pastagem está vinculada com a criação intensiva de animais, apresentando-se também foco de contaminação de matéria orgânica, e por vezes, de certos metais, utilizados nas rações para alimentação. A área de floresta e pântano caracteriza-se por apresentar uma área com pouca atividade humana, e com isso, uma carga relativamente baixa de poluição. E por último tem-se a área improdutivo.

Para a quantificação das cargas difusas adotou-se a mesma hipótese considerada no Plano de Despoluição. A carga difusa é obtida pelo produto entre concentração média de DBO em função do uso do solo, a vazão específica e a área correspondente ao tipo de uso do solo em análise, como demonstrado na Equação A.6.

$$Carga(kgDBO/dia) = 86400 * Vazão\ específica(l / skm^2) * área(km^2) * concentração\ DBO(kg / l)$$

(A.6)

O Quadro A.02 apresenta os valores de concentração média de DBO para os respectivos tipos de usos do solo, adotados pelo Plano de Despoluição.

TABELA A.02 – CONCENTRAÇÕES DAS CARGAS DIFUSAS

USO DO SOLO	CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE DBO (mg/l)
Urbano de alta densidade	11
Urbano residencial	18
Agricultura	5
Pastagem	7
Floresta / Pântano	7
Improdutivo	16

FONTE: DHI (Danish Hydraulic Institute).

**ANEXO 2**

**Cenário C**  
**Iraí 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário C			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE (m)	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	5.467	4.647	4.647	15.382	\$281.951,18	85	\$113.366,87	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	5.710	4.854	4.854	15.869	\$290.872,81	85	\$118.404,90	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	41.600	35.360	35.360	110.116	\$2.018.429,12	85	\$862.572,80	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	7.213	6.131	6.131	23.628	\$433.108,21	85	\$149.560,83	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	5.013	4.261	4.261	4.282	\$78.493,80	85	\$103.941,08	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	85	\$0,00	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	12.228	10.393	10.393	15.892	\$291.293,65	85	\$253.538,51			-	\$0,00
	IRDA (6)	8.424	7.160	7.160	30.551	\$559.992,91	85	\$174.666,81			-	\$0,00
						<b>\$3.954.141,67</b>		<b>\$1.776.051,80</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário C			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.790	2.483	2.483	8.690	\$159.279,01	85	\$60.563,51	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	6.974	6.974	6.974	0	\$0,00	85	\$170.123,76	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	18.132	16.138	16.138	56.482	\$1.035.313,55	85	\$393.662,83	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	46.733	46.733	46.733	117.864	\$2.160.444,01	85	\$1.140.004,80	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$3.355.036,57</b>		<b>\$1.764.354,90</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário C			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	155	131	131	532	\$9.754,90	85	\$3.205,44	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
18	PATU 1	1.800	1.530	1.530	6.051	\$110.906,19	85	\$37.321,79			-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	155	131	131	532	\$9.754,90	85	\$3.205,44			-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	7.730	7.730	7.730	18.392	\$337.126,28	85	\$188.555,56			-	\$0,00
20	PACA 2	36.260	30.821	30.821	124.826	\$2.288.069,69	85	\$751.856,19			-	\$0,00
21	PAPA (0) (4)	77.296	65.701	65.701	149.876	\$2.747.227,75	85	\$1.602.722,25	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	69.257	58.869	58.869	208.967	\$3.830.357,03	85	\$1.436.039,13	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$9.333.196,74</b>		<b>\$4.022.905,80</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$25.840.054,75**

**Cenário Ideal 01**  
**Irai 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 01			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	5.467	4.921	4.921	16.670	\$305.552,57	95	\$157.593,72	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	5.710	5.139	5.139	17.213	\$315.523,05	95	\$164.597,20	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	41.600	37.440	37.440	119.913	\$2.198.004,66	95	\$1.199.080,99	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	7.213	6.492	6.492	25.327	\$464.244,68	95	\$207.907,72	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	5.013	4.512	4.512	5.463	\$100.132,87	95	\$144.490,72	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	95	\$0,00			-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	12.228	11.005	11.005	18.771	\$344.076,81	95	\$352.449,33	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRDA (6)	8.424	7.581	7.581	32.534	\$596.356,09	95	\$242.808,08			-	\$0,00
						<b>\$4.323.890,72</b>		<b>\$2.468.927,76</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 01			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.790	2.511	2.511	8.787	\$161.068,66	95	\$80.406,79	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	6.974	6.974	6.974	0	\$0,00	95	\$223.354,21	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	18.132	16.319	16.319	57.117	\$1.046.946,28	95	\$522.644,13	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	46.733	46.733	46.733	117.864	\$2.160.444,01	95	\$1.496.703,77	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$3.368.458,95</b>		<b>\$2.323.108,90</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 01			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	155	139	139	563	\$10.328,72	95	\$4.455,96			-	\$0,00
18	PATU 1	1.800	1.620	1.620	6.415	\$117.587,29	95	\$51.881,82	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	155	139	139	563	\$10.328,72	95	\$4.455,96			-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	7.730	7.730	7.730	18.392	\$337.126,28	95	\$247.553,18			-	\$0,00
20	PACA 2	36.260	32.634	32.634	132.169	\$2.422.662,03	95	\$1.045.171,44			-	\$0,00
21	PAPA (0) (4)	77.296	69.566	69.566	165.528	\$3.034.136,52	95	\$2.227.978,63	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	69.257	69.257	69.257	251.040	\$4.601.567,78	95	\$2.218.076,50	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$10.533.737,32</b>		<b>\$5.799.573,49</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$30.452.064,43**

**Cenário Ideal 02**  
**Iraí 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 02			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	5.467	4.374	4.374	14.094	\$258.349,79	85	\$106.698,23	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	5.710	4.568	4.568	14.524	\$266.222,57	85	\$111.439,91	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	41.600	33.280	33.280	100.319	\$1.838.853,57	85	\$811.833,23	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	7.213	5.770	5.770	21.930	\$401.971,75	85	\$140.763,13	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	5.013	4.010	4.010	3.102	\$56.854,72	85	\$97.826,90	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	85	\$0,00			-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	12.228	9.782	9.782	13.012	\$238.510,49	85	\$238.624,48	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRDA (6)	8.424	6.739	6.739	28.567	\$523.629,74	85	\$164.392,29			-	\$0,00
						<b>\$3.584.392,63</b>		<b>\$1.671.578,16</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 02			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.790	2.232	2.232	7.811	\$143.172,14	85	\$54.439,11	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	6.974	6.974	6.974	0	\$0,00	85	\$170.123,76	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	18.132	14.506	14.506	50.770	\$930.618,92	85	\$353.854,23	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	46.733	37.386	37.386	85.151	\$1.560.812,89	85	\$912.003,84	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$2.634.603,95</b>		<b>\$1.490.420,94</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 02			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	155	139	139	563	\$10.328,72	95	\$4.455,96			-	\$0,00
18	PATU 1	1.800	1.620	1.620	6.415	\$117.587,29	95	\$51.881,82			-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	155	139	139	563	\$10.328,72	95	\$4.455,96	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	7.730	7.730	7.730	18.392	\$337.126,28	95	\$247.553,18			-	\$0,00
20	PACA 2	36.260	32.634	32.634	132.169	\$2.422.662,03	95	\$1.045.171,44			-	\$0,00
21	PAPA (0) (4)	77.296	69.566	69.566	165.528	\$3.034.136,52	95	\$2.227.978,63	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	69.257	65.794	65.794	237.016	\$4.344.497,53	95	\$2.107.172,68	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$10.276.667,07</b>		<b>\$5.688.669,67</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$26.980.699,69**

**Cenário Ideal 03**  
**Iraí 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 03 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	5.467	4.921	4.921	16.670	\$305.552,57	95	\$157.593,72	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	5.710	5.139	5.139	17.213	\$315.523,05	95	\$164.597,20	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	41.600	37.440	37.440	119.913	\$2.198.004,66	95	\$1.199.080,99	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	7.213	6.492	6.492	25.327	\$464.244,68	95	\$207.907,72	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	5.013	4.512	4.512	5.463	\$100.132,87	95	\$144.490,72	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	95	\$0,00	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	12.228	11.005	11.005	18.771	\$344.076,81	95	\$352.449,33			-	\$0,00
	IRDA (6)	8.424	7.581	7.581	32.534	\$596.356,09	95	\$242.808,08			-	\$0,00
						<b>\$4.323.890,72</b>		<b>\$2.468.927,76</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 03 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.790	2.511	2.511	8.787	\$161.068,66	95	\$80.406,79	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	6.974	6.974	6.974	0	\$0,00	95	\$223.354,21	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	18.132	16.319	16.319	57.117	\$1.046.946,28	95	\$522.644,13	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	46.733	46.733	46.733	117.864	\$2.160.444,01	95	\$1.496.703,77	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$3.368.458,95</b>		<b>\$2.323.108,90</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 03 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	155	155	155	626	\$11.476,35	95	\$4.951,06	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
18	PATU 1	1.800	1.800	1.800	7.144	\$130.949,49	95	\$57.646,46			-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	155	155	155	626	\$11.476,35	95	\$4.951,06			-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	7.730	7.730	7.730	18.392	\$337.126,28	95	\$247.553,18			-	\$0,00
20	PACA 2	36.260	36.260	36.260	146.855	\$2.691.846,70	95	\$1.161.301,60			-	\$0,00
21	PAPA (0) (4)	77.296	77.296	77.296	196.833	\$3.607.954,04	95	\$2.475.531,81	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	69.257	69.257	69.257	251.040	\$4.601.567,78	95	\$2.218.076,50	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$11.392.396,99</b>		<b>\$6.170.011,69</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$31.681.162,29**

**Cenário Ideal 04**  
**Iraí 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 04 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	5.467	4.374	4.374	14.094	\$258.349,79	85	\$106.698,23	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	5.710	4.568	4.568	14.524	\$266.222,57	85	\$111.439,91	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	41.600	33.280	33.280	100.319	\$1.838.853,57	85	\$811.833,23	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	7.213	5.770	5.770	21.930	\$401.971,75	85	\$140.763,13	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	5.013	4.010	4.010	3.102	\$56.854,72	85	\$97.826,90	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	85	\$0,00	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	12.228	9.782	9.782	13.012	\$238.510,49	85	\$238.624,48			-	\$0,00
	IRDA (6)	8.424	6.739	6.739	28.567	\$523.629,74	85	\$164.392,29			-	\$0,00
						<b>\$3.584.392,63</b>		<b>\$1.671.578,16</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 04 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.790	2.232	2.232	7.811	\$143.172,14	85	\$54.439,11	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	6.974	6.974	6.974	0	\$0,00	85	\$170.123,76	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	18.132	14.506	14.506	50.770	\$930.618,92	85	\$353.854,23	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	46.733	37.386	37.386	85.151	\$1.560.812,89	85	\$912.003,84	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$2.634.603,95</b>		<b>\$1.490.420,94</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2010**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 04 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	155	155	155	626	\$11.476,35	95	\$4.951,06	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
18	PATU 1	1.800	1.800	1.800	7.144	\$130.949,49	95	\$57.646,46			-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	155	155	155	626	\$11.476,35	95	\$4.951,06			-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	7.730	7.730	7.730	18.392	\$337.126,28	95	\$247.553,18			-	\$0,00
20	PACA 2	36.260	36.260	36.260	146.855	\$2.691.846,70	95	\$1.161.301,60			-	\$0,00
21	PAPA (0) (4)	77.296	77.296	77.296	196.833	\$3.607.954,04	95	\$2.475.531,81	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	69.257	69.257	69.257	251.040	\$4.601.567,78	95	\$2.218.076,50	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$11.392.396,99</b>		<b>\$6.170.011,69</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$28.577.771,63**

**Cenário C**  
**Iraí 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário C			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Varrição
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	6.629	5.966	5.966	20.211	\$370.469,11	85	\$145.537,04	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	6.613	5.952	5.952	19.936	\$365.427,19	85	\$145.185,77	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	50.559	45.503	45.503	145.737	\$2.671.364,54	85	\$1.110.002,62	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	8.234	7.411	7.411	28.913	\$529.971,73	85	\$180.774,18	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	5.587	5.028	5.028	6.369	\$116.749,87	85	\$122.660,35	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	85	\$0,00			-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	13.628	12.265	12.265	20.923	\$383.514,23	85	\$299.197,29	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRDA (6)	9.394	8.455	8.455	36.279	\$664.998,58	85	\$206.241,51			-	\$0,00
						<b>\$5.102.495,26</b>		<b>\$2.209.598,76</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário C			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Varrição
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.899	2.609	2.609	9.132	\$167.386,81	85	\$63.646,39	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	7.247	7.247	7.247	1	\$23,92	85	\$176.788,46	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	18.843	16.958	16.958	59.355	\$1.087.970,83	85	\$413.684,99	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	48.564	48.564	48.564	117.292	\$2.149.962,23	85	\$1.184.670,22	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$3.405.343,79</b>		<b>\$1.838.790,05</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário C			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Varrição
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	174	157	157	634	\$11.622,61	85	\$3.819,17			-	\$0,00
18	PATU 1	2.030	1.827	1.827	7.232	\$132.558,40	85	\$44.558,64			-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	174	157	157	634	\$11.622,61	85	\$3.819,17	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	8.698	8.698	8.698	20.696	\$379.358,70	85	\$212.176,26			-	\$0,00
20	PACA 2	40.886	36.798	36.798	149.031	\$2.731.736,27	85	\$897.644,35			-	\$0,00
21	PAPA (0) (4)	86.979	78.281	78.281	186.265	\$3.414.228,31	85	\$1.909.586,30	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	77.933	70.140	70.140	250.926	\$4.599.466,72	85	\$1.710.989,33	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$11.280.593,62</b>		<b>\$4.782.593,22</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$30.253.781,98**

**Cenário Ideal 01**  
**Iraí 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 01			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Varrição
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	6.629	5.966	5.966	20.211	\$370.469,11	95	\$191.074,49	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	6.613	5.952	5.952	19.936	\$365.427,19	95	\$190.613,31	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	50.559	45.503	45.503	145.737	\$2.671.364,54	95	\$1.457.314,13	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	8.234	7.411	7.411	28.913	\$529.971,73	95	\$237.337,06	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	5.587	5.028	5.028	6.369	\$116.749,87	95	\$161.039,86	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	95	\$0,00			-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	13.628	12.265	12.265	20.923	\$383.514,23	95	\$392.813,88	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRDA (6)	9.394	8.455	8.455	36.279	\$664.998,58	95	\$270.772,94			-	\$0,00
						<b>\$5.102.495,26</b>		<b>\$2.900.965,68</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 01			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Varrição
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.899	2.609	2.609	9.132	\$167.386,81	95	\$83.560,86	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	7.247	7.247	7.247	1	\$23,92	95	\$232.104,24	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	18.843	16.958	16.958	59.355	\$1.087.970,83	95	\$543.123,93	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	48.564	48.564	48.564	117.292	\$2.149.962,23	95	\$1.555.344,66	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$3.405.343,79</b>		<b>\$2.414.133,69</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 01			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Varrição
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	174	157	157	634	\$11.622,61	95	\$5.014,16			-	\$0,00
18	PATU 1	2.030	1.827	1.827	7.232	\$132.558,40	95	\$58.500,71			-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	174	157	157	634	\$11.622,61	95	\$5.014,16	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	8.698	8.698	8.698	20.696	\$379.358,70	95	\$278.564,62			-	\$0,00
20	PACA 2	40.886	36.798	36.798	149.031	\$2.731.736,27	95	\$1.178.510,55			-	\$0,00
21	PAPA (0) (4)	86.979	78.281	78.281	186.265	\$3.414.228,31	95	\$2.507.081,56	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	77.933	77.933	77.933	282.489	\$5.178.014,53	95	\$2.495.938,97	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$11.859.141,44</b>		<b>\$6.528.624,73</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$33.845.071,87**

**Cenário Ideal 02**
**Iraí 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 02			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Varrição
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	6.629	5.303	5.303	17.089	\$313.238,11	85	\$129.366,26	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	6.613	5.290	5.290	16.821	\$308.334,32	85	\$129.054,02	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	50.559	40.447	40.447	121.924	\$2.234.866,96	85	\$986.669,00	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	8.234	6.587	6.587	25.035	\$458.884,07	85	\$160.688,16	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	5.587	4.470	4.470	3.738	\$68.514,90	85	\$109.031,42	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	85	\$0,00	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	13.628	10.902	10.902	14.504	\$265.857,84	85	\$265.953,15			-	\$0,00
	IRDA (6)	9.394	7.515	7.515	31.855	\$583.896,14	85	\$183.325,79			-	\$0,00
						<b>\$4.233.592,34</b>		<b>\$1.964.087,79</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 02			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Varrição
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.899	2.319	2.319	8.117	\$148.788,28	85	\$56.574,56	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	7.247	7.247	7.247	1	\$23,92	85	\$176.788,46	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	18.843	15.074	15.074	52.760	\$967.085,19	85	\$367.719,99	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	48.564	38.851	38.851	83.297	\$1.526.837,55	85	\$947.736,17	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$2.642.734,93</b>		<b>\$1.548.819,19</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 02			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Varrição
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	174	157	157	634	\$11.622,61	95	\$5.014,16	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
18	PATU 1	2.030	1.827	1.827	7.232	\$132.558,40	95	\$58.500,71			-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	174	157	157	634	\$11.622,61	95	\$5.014,16			-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	8.698	8.698	8.698	20.696	\$379.358,70	95	\$278.564,62			-	\$0,00
20	PACA 2	40.886	36.798	36.798	149.031	\$2.731.736,27	95	\$1.178.510,55			-	\$0,00
21	PAPA (0) (4)	86.979	78.281	78.281	186.265	\$3.414.228,31	95	\$2.507.081,56	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	77.933	74.036	74.036	266.707	\$4.888.740,62	95	\$2.371.142,03	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$11.569.867,53</b>		<b>\$6.403.827,78</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$29.997.296,83**

**Cenário Ideal 03**  
**Irai 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 03 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	6.629	5.966	5.966	20.211	\$370.469,11	95	\$191.074,49	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	6.613	5.952	5.952	19.936	\$365.427,19	95	\$190.613,31	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	50.559	45.503	45.503	145.737	\$2.671.364,54	95	\$1.457.314,13	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	8.234	7.411	7.411	28.913	\$529.971,73	95	\$237.337,06	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	5.587	5.028	5.028	6.369	\$116.749,87	95	\$161.039,86	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	95	\$0,00	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	13.628	12.265	12.265	20.923	\$383.514,23	95	\$392.813,88			-	\$0,00
	IRDA (6)	9.394	8.455	8.455	36.279	\$664.998,58	95	\$270.772,94			-	\$0,00
						<b>\$5.102.495,26</b>		<b>\$2.900.965,68</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 03 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.899	2.609	2.609	9.132	\$167.386,81	95	\$83.560,86	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	7.247	7.247	7.247	1	\$23,92	95	\$232.104,24	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	18.843	16.958	16.958	59.355	\$1.087.970,83	95	\$543.123,93	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	48.564	48.564	48.564	117.292	\$2.149.962,23	95	\$1.555.344,66	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$3.405.343,79</b>		<b>\$2.414.133,69</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 03 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	174	174	174	705	\$12.914,01	95	\$5.571,29	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
18	PATU 1	2.030	2.030	2.030	8.054	\$147.625,30	95	\$65.000,79			-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	174	174	174	705	\$12.914,01	95	\$5.571,29			-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	8.698	8.698	8.698	20.696	\$379.358,70	95	\$278.564,62			-	\$0,00
20	PACA 2	40.886	40.886	40.886	165.590	\$3.035.262,53	95	\$1.309.456,16	-	\$0,00		
21	PAPA (0) (4)	86.979	86.979	86.979	221.491	\$4.059.928,99	95	\$2.785.646,18	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	77.933	77.933	77.933	282.489	\$5.178.014,53	95	\$2.495.938,97	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$12.826.018,08</b>		<b>\$6.945.749,30</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$35.229.073,09**

**Cenário Ideal 04**  
**Iraí 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 04 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	6.629	5.303	5.303	17.089	\$313.238,11	85	\$129.366,26	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	6.613	5.290	5.290	16.821	\$308.334,32	85	\$129.054,02	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	50.559	40.447	40.447	121.924	\$2.234.866,96	85	\$986.669,00	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	8.234	6.587	6.587	25.035	\$458.884,07	85	\$160.688,16	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	5.587	4.470	4.470	3.738	\$68.514,90	85	\$109.031,42	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	85	\$0,00	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	13.628	10.902	10.902	14.504	\$265.857,84	85	\$265.953,15			-	\$0,00
	IRDA (6)	9.394	7.515	7.515	31.855	\$583.896,14	85	\$183.325,79			-	\$0,00
						<b>\$4.233.592,34</b>		<b>\$1.964.087,79</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 04 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.899	2.319	2.319	8.117	\$148.788,28	85	\$56.574,56	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	7.247	7.247	7.247	1	\$23,92	85	\$176.788,46	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	18.843	15.074	15.074	52.760	\$967.085,19	85	\$367.719,99	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	48.564	38.851	38.851	83.297	\$1.526.837,55	85	\$947.736,17	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$2.642.734,93</b>		<b>\$1.548.819,19</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2015**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 04 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	174	174	174	705	\$12.914,01	95	\$5.571,29	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
18	PATU 1	2.030	2.030	2.030	8.054	\$147.625,30	95	\$65.000,79			-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	174	174	174	705	\$12.914,01	95	\$5.571,29			-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	8.698	8.698	8.698	20.696	\$379.358,70	95	\$278.564,62			-	\$0,00
20	PACA 2	40.886	40.886	40.886	165.590	\$3.035.262,53	95	\$1.309.456,16			-	\$0,00
21	PAPA (0) (4)	86.979	86.979	86.979	221.491	\$4.059.928,99	95	\$2.785.646,18	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	77.933	77.933	77.933	282.489	\$5.178.014,53	95	\$2.495.938,97	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$12.826.018,08</b>		<b>\$6.945.749,30</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$31.795.368,90**

**Cenário C**  
**Iraí 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário C			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	8.030	6.826	6.826	22.592	\$414.102,47	85	\$166.501,25	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	7.669	6.902	6.902	23.117	\$423.737,38	85	\$168.369,83	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	61.460	55.314	55.314	177.162	\$3.247.378,36	85	\$1.349.329,72	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	9.413	8.472	8.472	33.053	\$605.868,22	85	\$206.658,65	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	6.241	5.617	5.617	7.404	\$135.708,89	85	\$137.018,66	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	85	\$0,00			-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	15.223	13.701	13.701	23.370	\$428.364,90	85	\$334.214,88	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRDA (6)	10.490	9.441	9.441	40.515	\$742.647,65	85	\$230.303,75			-	\$0,00
						<b>\$5.997.807,86</b>		<b>\$2.592.396,73</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário C			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.964	2.668	2.668	9.337	\$171.147,36	85	\$65.076,28	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	7.410	7.410	7.410	1	\$24,46	85	\$180.767,44	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	19.267	17.340	17.340	60.691	\$1.112.457,85	85	\$422.995,82	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	49.657	49.657	49.657	120.999	\$2.217.918,18	85	\$1.211.332,86	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$3.501.547,85</b>		<b>\$1.880.172,40</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário C			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	196	176	176	714	\$13.093,20	85	\$4.302,41			-	\$0,00
18	PATU 1	2.286	2.058	2.058	8.147	\$149.333,35	85	\$50.192,83	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	196	176	176	714	\$13.093,20	85	\$4.302,41			-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	9.798	9.798	9.798	23.315	\$427.358,23	85	\$239.022,51			-	\$0,00
20	PACA 2	46.056	41.451	41.451	167.875	\$3.077.149,09	85	\$1.011.146,47			-	\$0,00
21	PAPA (0) (4)	97.984	88.186	88.186	209.832	\$3.846.224,06	85	\$2.151.202,59	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	87.794	79.014	79.014	282.675	\$5.181.428,41	85	\$1.927.477,52	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$12.707.679,53</b>		<b>\$5.387.646,73</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$33.701.618,38**

**Cenário Ideal 01**

**Iraí 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 01			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	8.030	7.227	7.227	24.483	\$448.765,69	95	\$231.456,96	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	7.669	6.902	6.902	23.117	\$423.737,38	95	\$221.051,49	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	61.460	55.314	55.314	177.162	\$3.247.378,36	95	\$1.771.524,88	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	9.413	8.472	8.472	33.053	\$605.868,22	95	\$271.320,59	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	6.241	5.617	5.617	7.404	\$135.708,89	95	\$179.890,77	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	95	\$0,00			-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	15.223	13.701	13.701	23.370	\$428.364,90	95	\$438.788,21	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRDA (6)	10.490	9.441	9.441	40.515	\$742.647,65	95	\$302.364,07			-	\$0,00
						<b>\$6.032.471,08</b>		<b>\$3.416.396,98</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 01			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.964	2.668	2.668	9.337	\$171.147,36	95	\$85.438,16	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	7.410	7.410	7.410	1	\$24,46	95	\$237.328,23	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	19.267	17.340	17.340	60.691	\$1.112.457,85	95	\$555.348,05	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	49.657	49.657	49.657	120.999	\$2.217.918,18	95	\$1.590.349,84	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$3.501.547,85</b>		<b>\$2.468.464,27</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 01			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	196	176	176	714	\$13.093,20	95	\$5.648,60			-	\$0,00
18	PATU 1	2.286	2.058	2.058	8.147	\$149.333,35	95	\$65.897,80			-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	196	176	176	714	\$13.093,20	95	\$5.648,60	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	9.798	9.798	9.798	23.315	\$427.358,23	95	\$313.810,86			-	\$0,00
20	PACA 2	46.056	41.451	41.451	167.875	\$3.077.149,09	95	\$1.327.526,63			-	\$0,00
21	PAPA (0) (4)	97.984	88.186	88.186	209.832	\$3.846.224,06	95	\$2.824.297,77	500	\$17.180,00	33.000	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	87.794	87.794	87.794	318.231	\$5.833.178,77	95	\$2.811.745,34	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$13.359.429,89</b>		<b>\$7.354.575,60</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$37.767.252,95**

**Cenário Ideal 02**

**Iraí 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 02			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Varrição
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	8.030	6.424	6.424	20.700	\$379.439,25	85	\$156.707,06	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	7.669	6.135	6.135	19.505	\$357.527,60	85	\$149.662,07	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	61.460	49.168	49.168	148.214	\$2.716.767,75	85	\$1.199.404,19	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	9.413	7.530	7.530	28.620	\$524.601,74	85	\$183.696,58	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	6.241	4.993	4.993	4.464	\$81.827,65	85	\$121.794,36	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	85	\$0,00			-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	15.223	12.178	12.178	16.200	\$296.938,19	85	\$297.079,89	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRDA (6)	10.490	8.392	8.392	35.575	\$652.082,97	85	\$204.714,45			-	\$0,00
						<b>\$5.009.185,15</b>		<b>\$2.313.058,60</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 02			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Varrição
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.964	2.371	2.371	8.300	\$152.130,99	85	\$57.845,58	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	7.410	7.410	7.410	1	\$24,46	85	\$180.767,44	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	19.267	15.413	15.413	53.947	\$988.851,43	85	\$375.996,29	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	49.657	39.726	39.726	86.239	\$1.580.769,21	85	\$969.066,29	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$2.721.776,09</b>		<b>\$1.583.675,60</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 02			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Varrição
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	196	176	176	714	\$13.093,20	95	\$5.648,60			-	\$0,00
18	PATU 1	2.286	2.058	2.058	8.147	\$149.333,35	95	\$65.897,80			-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	196	176	176	714	\$13.093,20	95	\$5.648,60	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	9.798	9.798	9.798	23.315	\$427.358,23	95	\$313.810,86			-	\$0,00
20	PACA 2	46.056	41.451	41.451	167.875	\$3.077.149,09	95	\$1.327.526,63			-	\$0,00
21	PAPA (0) (4)	97.984	88.186	88.186	209.832	\$3.846.224,06	95	\$2.824.297,77	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	87.794	83.404	83.404	300.453	\$5.507.303,59	95	\$2.671.158,07	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$13.033.554,71</b>		<b>\$7.213.988,33</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$33.509.605,75**

**Cenário Ideal 03**  
**Iraí 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 03 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	8.030	7.227	7.227	24.483	\$448.765,69	95	\$231.456,96	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	7.669	6.902	6.902	23.117	\$423.737,38	95	\$221.051,49	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	61.460	55.314	55.314	177.162	\$3.247.378,36	95	\$1.771.524,88	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	9.413	8.472	8.472	33.053	\$605.868,22	95	\$271.320,59	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	6.241	5.617	5.617	7.404	\$135.708,89	95	\$179.890,77	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	95	\$0,00	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	15.223	13.701	13.701	23.370	\$428.364,90	95	\$438.788,21			-	\$0,00
	IRDA (6)	10.490	9.441	9.441	40.515	\$742.647,65	95	\$302.364,07			-	\$0,00
						<b>\$6.032.471,08</b>		<b>\$3.416.396,98</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 03 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.964	2.668	2.668	9.337	\$171.147,36	95	\$85.438,16	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	7.410	7.410	7.410	1	\$24,46	95	\$237.328,23	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	19.267	17.340	17.340	60.691	\$1.112.457,85	95	\$555.348,05	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	49.657	49.657	49.657	120.999	\$2.217.918,18	95	\$1.590.349,84	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$3.501.547,85</b>		<b>\$2.468.464,27</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 03 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	196	196	196	794	\$14.548,00	95	\$6.276,22	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
18	PATU 1	2.286	2.286	2.286	9.073	\$166.305,37	95	\$73.219,77			-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	196	196	196	794	\$14.548,00	95	\$6.276,22			-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	9.798	9.798	9.798	23.315	\$427.358,23	95	\$313.810,86			-	\$0,00
20	PACA 2	46.056	46.056	46.056	186.528	\$3.419.054,55	95	\$1.475.029,59			-	\$0,00
21	PAPA (0) (4)	97.984	97.984	97.984	249.516	\$4.573.624,01	95	\$3.138.108,64	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	87.794	87.794	87.794	318.231	\$5.833.178,77	95	\$2.811.745,34	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$14.448.616,93</b>		<b>\$7.824.466,64</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$39.326.331,03**

**Cenário Ideal 04**  
**Irai 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 04 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
1	IRCE (2)	8.030	6.424	6.424	20.700	\$379.439,25	85	\$156.707,06	7.000	\$240.520,00	-	\$0,00
2	IRCU (1)	7.669	6.135	6.135	19.505	\$357.527,60	85	\$149.662,07	333	\$11.453,32	-	\$0,00
	IRTI (3)	61.460	49.168	49.168	148.214	\$2.716.767,75	85	\$1.199.404,19	200	\$6.872,00	-	\$0,00
3	IRCA (4)	9.413	7.530	7.530	28.620	\$524.601,74	85	\$183.696,58	333	\$11.453,32	-	\$0,00
4	IRIR (0) (1)	6.241	4.993	4.993	4.464	\$81.827,65	85	\$121.794,36	333	\$11.453,32	-	\$0,00
5 / 9 / 16	IRIR (0) (2)	-	-	-	0	\$0,00	85	\$0,00	7.500	\$257.700,00	-	\$0,00
	IRIR (0) (3)	15.223	12.178	12.178	16.200	\$296.938,19	85	\$297.079,89			-	\$0,00
	IRDA (6)	10.490	8.392	8.392	35.575	\$652.082,97	85	\$204.714,45			-	\$0,00
						<b>\$5.009.185,15</b>		<b>\$2.313.058,60</b>		<b>\$539.451,97</b>		<b>\$0,00</b>

**Iraizinho 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 04 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
6	IRIZ (5) (1)	2.964	2.371	2.371	8.300	\$152.130,99	85	\$57.845,58	9.000	\$309.240,00	-	\$0,00
7	IRIZ (5) (2)	7.410	7.410	7.410	1	\$24,46	85	\$180.767,44	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
	IRIZ (5) (3)	19.267	15.413	15.413	53.947	\$988.851,43	85	\$375.996,29	2.000	\$68.720,00	-	\$0,00
8	IRIZ (5) (4)	49.657	39.726	39.726	86.239	\$1.580.769,21	85	\$969.066,29	5.000	\$171.800,00	-	\$0,00
						<b>\$2.721.776,09</b>		<b>\$1.583.675,60</b>		<b>\$618.480,00</b>		<b>\$0,00</b>

**Palmital 2020**

Tramo	Sub bacias	Cenário Ideal 04 k1=0,1			Extensão de RC nova (m)	US\$ Implantação e Operação de Rede Coletora	Eficiência da ETE (%)	US\$ Implantação e Operação de Estações de Tratamento 85%	Distância média até a ETE	US\$ Implantação e Operação de Coletor Tronco	Área Varrida (ha)	US\$ Variação
		População total	População coletada	População tratada								
17	PAPA (0) (1)	196	196	196	794	\$14.548,00	95	\$6.276,22	10.000	\$343.600,00	-	\$0,00
18	PATU 1	2.286	2.286	2.286	9.073	\$166.305,37	95	\$73.219,77			-	\$0,00
	PAPA (0) (2)	196	196	196	794	\$14.548,00	95	\$6.276,22			-	\$0,00
19	PAPA (0) (3)	9.798	9.798	9.798	23.315	\$427.358,23	95	\$313.810,86			-	\$0,00
20	PACA 2	46.056	46.056	46.056	186.528	\$3.419.054,55	95	\$1.475.029,59	-	\$0,00		
21	PAPA (0) (4)	97.984	97.984	97.984	249.516	\$4.573.624,01	95	\$3.138.108,64	500	\$17.180,00	33,00	\$12.575,31
22	PAPA (0) (5)	87.794	87.794	87.794	318.231	\$5.833.178,77	95	\$2.811.745,34	3.000	\$103.080,00	-	\$0,00
						<b>\$14.448.616,93</b>		<b>\$7.824.466,64</b>		<b>\$463.860,00</b>		<b>\$12.575,31</b>

**Custo Total \$35.535.146,27**

**ANEXO 3**

Ano: 2010

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário C										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	191,20	253,87	25,84	21,74	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	180,47	213,73		20,03	11,81						
	0,6	0,4	169,74	173,59		18,40	12,50						
	0,4	0,6	159,01	133,45		16,85	13,79						
	0,2	0,8	148,27	93,31		15,36	17,07						
	0,0	1,0	137,54	53,17		13,94	42,41						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	191,20	253,87	25,84	21,74	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	158,74	205,22		21,37	11,46						
	0,6	0,4	126,28	156,58		20,82	11,61						
	0,4	0,6	93,82	107,93		19,96	11,89						
	0,2	0,8	61,36	59,28		18,39	12,71						
	0,0	1,0	28,90	10,63		14,64	42,41						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	191,20	253,87	25,84	21,74	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	180,19	213,73		20,00	11,81						
	0,6	0,4	169,18	173,59		18,34	12,50						
	0,4	0,6	158,17	133,45		16,76	13,79						
	0,2	0,8	147,16	93,31		15,24	17,07						
	0,0	1,0	136,15	53,17		13,80	42,41						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	191,20	253,87	25,84	21,74	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	163,96	207,35		20,96	11,55						
	0,6	0,4	136,73	160,83		19,95	11,84						
	0,4	0,6	109,49	114,31		18,60	12,39						
	0,2	0,8	82,25	67,79		16,73	13,94						
	0,0	1,0	55,02	21,27		13,94	42,41						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	191,20	253,87	25,84	21,74	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	158,53	205,22		21,34	11,46						
	0,6	0,4	125,86	156,58		20,75	11,61						
	0,4	0,6	93,19	107,93		19,82	11,89						
	0,2	0,8	60,53	59,28		18,14	12,71						
	0,0	1,0	27,86	10,63		14,12	42,41						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	191,20	253,87	25,84	21,74	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	163,89	207,35		20,95	11,55						
	0,6	0,4	136,59	160,83		19,93	11,84						
	0,4	0,6	109,28	114,31		18,57	12,39						
	0,2	0,8	81,97	67,79		16,67	13,94						
	0,0	1,0	54,67	21,27		13,85	42,41						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	191,20	253,87	25,84	21,74	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	158,46	205,22		21,33	11,46						
	0,6	0,4	125,72	156,58		20,73	11,61						
	0,4	0,6	92,99	107,93		19,78	11,89						
	0,2	0,8	60,25	59,28		18,05	12,71						
	0,0	1,0	27,51	10,63		13,94	42,41						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2010

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário C										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	1,91	2,54	25,84	21,70	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	29,04	12,66		14,21	29,49						
	0,6	0,4	56,16	22,79		14,04	35,87						
	0,4	0,6	83,29	32,92		13,98	39,12						
	0,2	0,8	110,42	43,04		13,96	41,08						
	0,0	1,0	137,54	53,17		13,94	44,66						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	1,91	2,54	25,84	21,70	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	7,31	4,16		15,72	18,20						
	0,6	0,4	12,71	5,78		15,09	24,68						
	0,4	0,6	18,11	7,40		14,85	30,89						
	0,2	0,8	23,50	9,01		14,72	36,74						
	0,0	1,0	28,90	10,63		14,64	42,41						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	1,91	2,54	25,84	21,70	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	28,76	12,66		14,07	29,49						
	0,6	0,4	55,61	22,79		13,90	35,87						
	0,4	0,6	82,45	32,92		13,84	39,12						
	0,2	0,8	109,30	43,04		13,81	41,08						
	0,0	1,0	136,15	53,17		13,80	42,41						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	1,91	2,54	25,84	21,70	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	12,53	6,28		14,57	22,53						
	0,6	0,4	23,15	10,03		14,19	29,98						
	0,4	0,6	33,77	13,78		14,05	35,32						
	0,2	0,8	44,40	17,52		13,98	39,28						
	0,0	1,0	55,02	21,27		13,94	42,41						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	1,91	2,54	25,84	21,70	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	7,10	4,16		15,27	18,20						
	0,6	0,4	12,29	5,78		14,59	24,68						
	0,4	0,6	17,48	7,40		14,34	30,89						
	0,2	0,8	22,67	9,01		14,20	36,74						
	0,0	1,0	27,86	10,63		14,12	42,41						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	1,91	2,54	25,84	21,70	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	12,46	6,28		14,49	22,53						
	0,6	0,4	23,01	10,03		14,10	29,98						
	0,4	0,6	33,57	13,78		13,97	35,32						
	0,2	0,8	44,12	17,52		13,89	39,28						
	0,0	1,0	54,67	21,27		13,85	42,41						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	1,91	2,54	25,84	21,70	11,38	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	7,03	4,16		15,12	18,20						
	0,6	0,4	12,15	5,78		14,42	24,68						
	0,4	0,6	17,27	7,40		14,16	30,89						
	0,2	0,8	22,39	9,01		14,02	36,74						
	0,0	1,0	27,51	10,63		13,94	42,41						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2010

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 01										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1				k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1		
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	267,76	351,68	30,45	30,45	15,76	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	274,31	290,37		30,45	16,04						
	0,6	0,4	280,86	229,06		30,45	16,49						
	0,4	0,6	287,41	167,75		30,45	17,33						
	0,2	0,8	293,96	106,44		30,45	19,47						
	0,0	1,0	300,50	45,13		30,45	36,00						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	267,76	351,68	30,45	30,45	15,76	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	226,23	283,15		30,45	15,82						
	0,6	0,4	184,70	214,62		30,45	15,91						
	0,4	0,6	143,17	146,09		30,45	16,10						
	0,2	0,8	101,63	77,56		30,45	16,63						
	0,0	1,0	60,10	9,03		30,45	36,03						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	267,76	351,68	30,45	30,45	15,76	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	274,31	290,37		30,45	16,04						
	0,6	0,4	280,86	229,06		30,45	16,49						
	0,4	0,6	287,41	167,75		30,45	17,33						
	0,2	0,8	293,96	106,44		30,45	19,47						
	0,0	1,0	300,50	45,13		30,45	36,00						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	267,76	351,68	30,45	30,45	15,76	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	238,25	284,95		30,45	15,87						
	0,6	0,4	208,74	218,23		30,45	16,06						
	0,4	0,6	179,23	151,50		30,45	16,42						
	0,2	0,8	149,71	84,78		30,45	17,43						
	0,0	1,0	120,20	18,05		30,45	35,99						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	267,76	351,68	30,45	30,45	15,76	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	226,23	283,15		30,45	15,82						
	0,6	0,4	184,70	214,62		30,45	15,91						
	0,4	0,6	143,17	146,09		30,45	16,10						
	0,2	0,8	101,63	77,56		30,45	16,63						
	0,0	1,0	60,10	9,03		30,45	36,03						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	267,76	351,68	30,45	30,45	15,76	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	238,25	284,95		30,45	15,87						
	0,6	0,4	208,74	218,23		30,45	16,06						
	0,4	0,6	179,23	151,50		30,45	16,42						
	0,2	0,8	149,71	84,78		30,45	17,43						
	0,0	1,0	120,20	18,05		30,45	35,99						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	267,76	351,68	30,45	30,45	15,76	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	226,23	283,15		30,45	15,82						
	0,6	0,4	184,70	214,62		30,45	15,91						
	0,4	0,6	143,17	146,09		30,45	16,10						
	0,2	0,8	101,63	77,56		30,45	16,63						
	0,0	1,0	60,10	9,03		30,45	36,03						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2010

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 01										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1				k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1		
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	2,68	3,52	30,45	30,45	15,77	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	62,24	11,84		30,45	27,58						
	0,6	0,4	121,81	20,16		30,45	31,73						
	0,4	0,6	181,37	28,49		30,45	33,86						
	0,2	0,8	240,94	36,81		30,45	35,14						
	0,0	1,0	300,50	45,13		30,45	37,90						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	2,68	3,52	30,45	30,45	15,77	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	14,16	4,62		30,45	20,22						
	0,6	0,4	25,65	5,72		30,45	24,42						
	0,4	0,6	37,13	6,82		30,45	28,47						
	0,2	0,8	48,62	7,29		30,45	29,72						
	0,0	1,0	60,10	9,03		30,45	36,03						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	2,68	3,52	30,45	30,45	15,77	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	62,24	11,84		30,45	27,58						
	0,6	0,4	121,81	20,16		30,45	31,73						
	0,4	0,6	181,37	28,49		30,45	33,86						
	0,2	0,8	240,94	36,81		30,45	35,14						
	0,0	1,0	300,50	45,13		30,45	36,00						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	2,68	3,52	30,45	30,45	15,77	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	26,18	6,42		30,45	23,03						
	0,6	0,4	49,69	9,33		30,45	27,89						
	0,4	0,6	73,19	12,24		30,45	31,37						
	0,2	0,8	96,70	15,15		30,45	33,97						
	0,0	1,0	120,20	18,05		30,45	35,99						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	2,68	3,52	30,45	30,45	15,77	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	14,16	4,62		30,45	20,22						
	0,6	0,4	25,65	5,72		30,45	24,42						
	0,4	0,6	37,13	6,82		30,45	28,47						
	0,2	0,8	48,62	7,94		30,45	32,37						
	0,0	1,0	60,10	9,03		30,45	36,03						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	2,68	3,52	30,45	30,45	15,77	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	26,18	6,42		30,45	23,03						
	0,6	0,4	49,69	9,33		30,45	27,89						
	0,4	0,6	73,19	12,24		30,45	31,37						
	0,2	0,8	96,70	15,15		30,45	33,97						
	0,0	1,0	120,20	18,05		30,45	35,99						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	2,68	3,52	30,45	30,45	15,77	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	14,16	4,62		30,45	20,22						
	0,6	0,4	25,65	5,72		30,45	24,42						
	0,4	0,6	37,13	6,82		30,45	28,47						
	0,2	0,8	48,62	7,92		30,45	32,29						
	0,0	1,0	60,10	9,03		30,45	36,03						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2010

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 02										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1				k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1		
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	230,06	299,89	26,98	26,16	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	231,52	248,32		25,70	13,72						
	0,6	0,4	232,98	196,75		25,26	14,17						
	0,4	0,6	234,44	145,18		24,84	15,00						
	0,2	0,8	235,90	93,62		24,44	17,13						
	0,0	1,0	237,06	42,05		24,02	33,54						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	230,06	299,89	26,98	26,16	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	193,54	241,59		26,05	13,50						
	0,6	0,4	157,03	183,30		25,89	13,59						
	0,4	0,6	120,51	125,00		25,63	13,77						
	0,2	0,8	83,99	66,71		25,17	14,31						
	0,0	1,0	47,47	8,41		24,05	33,56						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	230,06	299,89	26,98	26,16	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	213,34	248,32		23,68	13,72						
	0,6	0,4	196,62	196,75		21,32	14,17						
	0,4	0,6	179,90	145,18		19,06	15,00						
	0,2	0,8	163,18	93,62		16,90	17,13						
	0,0	1,0	146,46	42,05		14,84	33,54						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	230,06	299,89	26,98	26,16	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	203,04	243,28		25,95	13,55						
	0,6	0,4	176,01	186,66		25,68	13,74						
	0,4	0,6	148,99	130,05		25,31	14,10						
	0,2	0,8	121,97	73,43		24,81	15,10						
	0,0	1,0	94,94	16,82		24,05	33,54						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	230,06	299,89	26,98	26,16	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	193,54	241,59		26,05	13,50						
	0,6	0,4	157,03	183,30		25,89	13,59						
	0,4	0,6	120,51	125,00		25,63	13,77						
	0,2	0,8	83,99	66,71		25,17	14,31						
	0,0	1,0	47,47	8,41		24,05	33,56						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	230,06	299,89	26,98	26,16	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	198,49	243,28		25,37	13,55						
	0,6	0,4	166,92	186,66		24,35	13,74						
	0,4	0,6	135,36	130,05		23,00	14,10						
	0,2	0,8	103,79	73,43		21,11	15,10						
	0,0	1,0	72,22	16,82		18,30	33,54						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	230,06	299,89	26,98	26,16	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	193,54	241,59		26,05	13,50						
	0,6	0,4	157,03	183,30		25,89	13,59						
	0,4	0,6	120,51	125,00		25,63	13,77						
	0,2	0,8	83,99	66,71		25,17	14,31						
	0,0	1,0	47,47	8,41		24,05	33,56						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2010

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 02										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	2,30	3,00	26,98	26,13	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	49,31	10,81		24,13	25,18						
	0,6	0,4	96,32	18,62		24,08	29,30						
	0,4	0,6	143,33	26,43		24,07	31,41						
	0,2	0,8	190,35	34,24		24,06	32,68						
	0,0	1,0	237,36	42,05		24,05	35,32						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	2,30	3,00	26,98	26,13	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	11,33	4,08		24,37	17,85						
	0,6	0,4	20,37	5,16		24,18	22,03						
	0,4	0,6	29,40	6,25		24,11	26,09						
	0,2	0,8	38,44	7,33		24,08	29,89						
	0,0	1,0	47,47	8,41		24,05	33,56						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	2,30	3,00	26,98	26,13	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	31,13	10,81		15,23	25,18						
	0,6	0,4	59,96	18,62		14,99	29,30						
	0,4	0,6	88,79	26,43		14,91	31,41						
	0,2	0,8	117,63	34,24		14,87	32,68						
	0,0	1,0	146,46	42,05		14,84	33,54						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	2,30	3,00	26,98	26,13	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	20,83	5,76		24,23	20,67						
	0,6	0,4	39,36	8,53		24,12	25,49						
	0,4	0,6	57,89	11,29		24,09	28,94						
	0,2	0,8	76,41	14,05		24,06	31,50						
	0,0	1,0	94,94	16,82		24,05	33,54						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	2,30	3,00	26,98	26,13	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	11,33	4,08		24,37	17,85						
	0,6	0,4	20,37	5,16		24,18	22,03						
	0,4	0,6	29,40	6,25		24,11	26,09						
	0,2	0,8	38,44	7,33		24,08	29,89						
	0,0	1,0	47,47	8,41		24,05	33,56						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	2,30	3,00	26,98	26,13	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	16,28	5,76		18,94	20,67						
	0,6	0,4	30,27	8,53		18,55	25,49						
	0,4	0,6	44,25	11,29		18,41	28,94						
	0,2	0,8	58,23	14,05		18,34	31,50						
	0,0	1,0	72,22	16,82		18,30	33,54						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	2,30	3,00	26,98	26,13	13,44	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	11,33	4,08		24,37	17,85						
	0,6	0,4	20,37	5,16		24,18	22,03						
	0,4	0,6	29,40	6,25		24,11	26,09						
	0,2	0,8	38,44	7,33		24,08	29,89						
	0,0	1,0	47,47	8,41		24,05	33,56						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2010

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 03																		
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$																
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP									
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1								
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	706,90	31,68	-	31,68														
	0,8	0,2	-	573,46		-	31,68														
	0,6	0,4	-	440,03		-	31,68														
	0,4	0,6	-	306,59		-	31,68														
	0,2	0,8	-	173,16		-	31,68														
	0,0	1,0	-	39,72		-	31,68														
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	706,90	31,68	-	31,68	-	2,90	-	4,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,38
	0,8	0,2	-	567,11		-	31,68														
	0,6	0,4	-	427,32		-	31,68														
	0,4	0,6	-	287,53		-	31,68														
	0,2	0,8	-	147,74		-	31,68														
	0,0	1,0	-	7,94		-	31,68														
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	706,90	31,68	-	31,68														
	0,8	0,2	-	573,46		-	31,68														
	0,6	0,4	-	440,03		-	31,68														
	0,4	0,6	-	306,59		-	31,68														
	0,2	0,8	-	173,16		-	31,68														
	0,0	1,0	-	39,72		-	31,68														
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	706,90	31,68	-	31,68														
	0,8	0,2	-	568,70		-	31,68														
	0,6	0,4	-	430,49		-	31,68														
	0,4	0,6	-	292,29		-	31,68														
	0,2	0,8	-	154,09		-	31,68														
	0,0	1,0	-	15,89		-	31,68														
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	706,90	31,68	-	31,68	-	2,90	-	4,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,38
	0,8	0,2	-	567,11		-	31,68														
	0,6	0,4	-	427,32		-	31,68														
	0,4	0,6	-	287,53		-	31,68														
	0,2	0,8	-	147,74		-	31,68														
	0,0	1,0	-	7,94		-	31,68														
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	706,90	31,68	-	31,68														
	0,8	0,2	-	568,70		-	31,68														
	0,6	0,4	-	430,49		-	31,68														
	0,4	0,6	-	292,29		-	31,68														
	0,2	0,8	-	154,09		-	31,68														
	0,0	1,0	-	15,89		-	31,68														
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	-	706,90	31,68	-	31,68	-	2,90	-	4,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,38
	0,8	0,2	-	567,11		-	31,68														
	0,6	0,4	-	427,32		-	31,68														
	0,4	0,6	-	287,53		-	31,68														
	0,2	0,8	-	147,74		-	31,68														
	0,0	1,0	-	7,94		-	31,68														

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2010

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 03																	
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$															
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP								
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1							
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	7,07	31,68	-	31,68													
	0,8	0,2	-	13,60		-	31,68													
	0,6	0,4	-	20,13		-	31,68													
	0,4	0,6	-	26,66		-	31,68													
	0,2	0,8	-	33,19		-	31,68													
	0,0	1,0	-	37,72		-	31,68													
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	7,07	31,68	-	31,68	-	2,90	-	4,46	-	-	-	-	-	-	-	-	19,38
	0,8	0,2	-	7,24		-	31,68													
	0,6	0,4	-	7,42		-	31,68													
	0,4	0,6	-	7,59		-	31,68													
	0,2	0,8	-	7,77		-	31,68													
	0,0	1,0	-	7,94		-	31,68													
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	7,07	31,68	-	31,68													
	0,8	0,2	-	13,60		-	31,68													
	0,6	0,4	-	20,13		-	31,68													
	0,4	0,6	-	26,66		-	31,68													
	0,2	0,8	-	33,19		-	31,68													
	0,0	1,0	-	39,72		-	31,68													
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	7,07	31,68	-	31,68													
	0,8	0,2	-	8,83		-	31,68													
	0,6	0,4	-	10,60		-	31,68													
	0,4	0,6	-	12,36		-	31,68													
	0,2	0,8	-	14,13		-	31,68													
	0,0	1,0	-	15,89		-	31,68													
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	7,07	31,68	-	31,68	-	2,90	-	4,46	-	-	-	-	-	-	-	-	19,38
	0,8	0,2	-	7,24		-	31,68													
	0,6	0,4	-	7,42		-	31,68													
	0,4	0,6	-	7,59		-	31,68													
	0,2	0,8	-	7,77		-	31,68													
	0,0	1,0	-	7,94		-	31,68													
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	7,07	31,68	-	31,68													
	0,8	0,2	-	8,83		-	31,68													
	0,6	0,4	-	10,60		-	31,68													
	0,4	0,6	-	12,36		-	31,68													
	0,2	0,8	-	14,13		-	31,68													
	0,0	1,0	-	15,89		-	31,68													
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	-	7,07	31,68	-	31,68	-	2,90	-	4,46	-	-	-	-	-	-	-	-	19,38
	0,8	0,2	-	7,24		-	31,68													
	0,6	0,4	-	7,42		-	31,68													
	0,4	0,6	-	7,59		-	31,68													
	0,2	0,8	-	7,77		-	31,68													
	0,0	1,0	-	7,94		-	31,68													

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2010

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 04										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	658,90	28,58	-	29,53						
	0,8	0,2	-	534,14		-	29,51						
	0,6	0,4	-	409,37		-	29,47						
	0,4	0,6	-	284,60		-	29,41						
	0,2	0,8	-	159,83		-	29,24						
	0,0	1,0	-	35,06		-	27,96						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	658,90	28,58	-	29,53	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	528,53		-	29,53						
	0,6	0,4	-	398,15		-	29,52						
	0,4	0,6	-	267,77		-	29,50						
	0,2	0,8	-	137,39		-	29,46						
	0,0	1,0	-	7,01		-	27,97						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	658,90	28,58	-	29,53						
	0,8	0,2	-	534,14		-	29,51						
	0,6	0,4	-	409,37		-	29,47						
	0,4	0,6	-	284,60		-	29,41						
	0,2	0,8	-	159,83		-	29,24						
	0,0	1,0	-	35,06		-	27,96						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	658,90	28,58	-	29,53						
	0,8	0,2	-	529,93		-	29,52						
	0,6	0,4	-	400,95		-	29,51						
	0,4	0,6	-	271,98		-	29,48						
	0,2	0,8	-	143,00		-	29,40						
	0,0	1,0	-	14,02		-	27,95						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	658,90	28,58	-	29,53	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	528,53		-	29,53						
	0,6	0,4	-	398,15		-	29,52						
	0,4	0,6	-	267,77		-	29,50						
	0,2	0,8	-	137,39		-	29,46						
	0,0	1,0	-	7,01		-	27,97						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	658,90	28,58	-	29,53						
	0,8	0,2	-	529,93		-	29,52						
	0,6	0,4	-	400,95		-	29,51						
	0,4	0,6	-	271,98		-	29,48						
	0,2	0,8	-	143,00		-	29,40						
	0,0	1,0	-	14,02		-	27,95						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	-	658,90	28,58	-	29,53	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	258,53		-	14,44						
	0,6	0,4	-	398,15		-	29,52						
	0,4	0,6	-	267,77		-	29,50						
	0,2	0,8	-	137,39		-	29,46						
	0,0	1,0	-	7,01		-	27,97						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2010

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 04										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	6,59	28,58	-	29,53						
	0,8	0,2	-	12,28		-	28,61						
	0,6	0,4	-	17,98		-	28,30						
	0,4	0,6	-	23,67		-	28,13						
	0,2	0,8	-	29,37		-	28,03						
	0,0	1,0	-	35,06		-	29,45						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	6,59	28,58	-	29,53	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	6,67		-	29,19						
	0,6	0,4	-	6,76		-	28,86						
	0,4	0,6	-	6,84		-	28,55						
	0,2	0,8	-	6,93		-	28,26						
	0,0	1,0	-	7,01		-	27,97						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	6,59	28,58	-	29,53						
	0,8	0,2	-	12,28		-	28,61						
	0,6	0,4	-	17,98		-	28,30						
	0,4	0,6	-	23,67		-	28,13						
	0,2	0,8	-	29,37		-	28,03						
	0,0	1,0	-	35,06		-	27,96						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	6,59	28,58	-	29,53						
	0,8	0,2	-	8,08		-	28,99						
	0,6	0,4	-	9,56		-	28,57						
	0,4	0,6	-	11,05		-	28,32						
	0,2	0,8	-	12,54		-	28,12						
	0,0	1,0	-	14,02		-	27,95						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	6,59	28,58	-	29,53	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	6,67		-	29,19						
	0,6	0,4	-	6,76		-	28,86						
	0,4	0,6	-	6,84		-	28,55						
	0,2	0,8	-	6,93		-	28,26						
	0,0	1,0	-	7,01		-	27,97						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	6,59	28,58	-	29,53						
	0,8	0,2	-	8,08		-	28,99						
	0,6	0,4	-	9,56		-	28,57						
	0,4	0,6	-	11,05		-	28,32						
	0,2	0,8	-	12,54		-	28,12						
	0,0	1,0	-	14,02		-	27,95						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	-	6,59	28,58	-	29,53	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	6,67		-	29,19						
	0,6	0,4	-	6,76		-	28,86						
	0,4	0,6	-	6,84		-	28,55						
	0,2	0,8	-	6,93		-	28,26						
	0,0	1,0	-	7,01		-	27,97						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2015

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário C										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	315,46	436,82	30,25	24,63	13,48						
	0,8	0,2	298,97	368,55		22,85	13,92						
	0,6	0,4	282,48	300,28		21,14	14,63						
	0,4	0,6	265,99	232,00		19,51	15,90						
	0,2	0,8	258,49	163,73		18,58	18,93						
	0,0	1,0	233,00	95,46		16,43	35,27						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	315,46	436,82	30,25	24,63	13,42	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	262,49	353,27		24,27	13,57						
	0,6	0,4	209,51	269,74		23,75	13,72						
	0,4	0,6	156,53	186,19		22,93	14,01						
	0,2	0,8	103,55	102,64		21,43	14,84						
	0,0	1,0	50,57	19,09		17,83	35,28						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	315,46	436,82	30,25	24,63	13,48						
	0,8	0,2	298,18	368,55		22,79	13,92						
	0,6	0,4	280,89	300,28		21,03	14,63						
	0,4	0,6	263,60	232,00		19,33	15,90						
	0,2	0,8	246,32	163,73		17,71	18,93						
	0,0	1,0	229,03	95,46		16,15	35,27						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	315,46	436,82	30,25	24,63	13,48						
	0,8	0,2	271,01	357,10		22,25	13,66						
	0,6	0,4	226,56	277,37		22,76	13,95						
	0,4	0,6	182,11	197,64		21,35	14,52						
	0,2	0,8	137,65	117,91		19,38	16,05						
	0,0	1,0	93,20	38,18		16,43	35,27						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	315,46	436,82	30,25	24,63	13,48	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	261,89	353,27		24,21	13,57						
	0,6	0,4	208,31	269,74		23,61	13,72						
	0,4	0,6	154,74	186,19		22,67	14,01						
	0,2	0,8	101,17	102,64		20,94	14,84						
	0,0	1,0	65,40	27,54		16,78	32,14						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	315,46	436,82	30,25	24,63	13,48						
	0,8	0,2	270,81	357,10		23,79	13,66						
	0,6	0,4	226,16	277,37		22,72	13,95						
	0,4	0,6	181,51	197,64		21,28	14,52						
	0,2	0,8	136,85	117,91		19,27	16,05						
	0,0	1,0	92,21	38,18		16,25	35,27						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	315,46	436,82	30,25	24,63	13,48	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	261,69	353,27		24,20	13,57						
	0,6	0,4	207,92	269,60		23,57	13,71						
	0,4	0,6	154,15	186,19		22,58	14,01						
	0,2	0,8	100,38	102,64		20,78	14,84						
	0,0	1,0	46,60	19,09		16,43	35,28						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2015

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário C										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1				k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1		
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	3,15	4,37	30,25	24,56	13,48	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	49,13	22,58		16,71	28,21						
	0,6	0,4	95,09	40,80		16,54	31,95						
	0,4	0,6	141,06	59,02		16,48	33,66						
	0,2	0,8	187,03	77,23		16,45	34,64						
	0,0	1,0	233,00	95,46		16,43	36,03						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	3,15	4,37	30,25	24,56	13,48	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	12,64	7,32		18,87	19,93						
	0,6	0,4	22,12	10,26		18,26	24,96						
	0,4	0,6	31,61	13,21		18,03	29,09						
	0,2	0,8	41,08	16,14		17,90	32,42						
	0,0	1,0	50,57	19,09		17,83	35,28						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	3,15	4,37	30,25	24,56	13,48	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	48,33	22,62		16,44	28,26						
	0,6	0,4	93,51	40,80		16,26	31,95						
	0,4	0,6	138,67	59,02		16,20	33,66						
	0,2	0,8	183,85	77,23		16,17	34,64						
	0,0	1,0	229,03	95,46		16,15	35,27						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	3,15	4,37	30,25	24,56	13,48	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	21,16	11,13		17,10	23,39						
	0,6	0,4	39,17	17,89		16,69	28,51						
	0,4	0,6	57,18	24,66		16,55	31,65						
	0,2	0,8	75,19	31,42		16,48	33,75						
	0,0	1,0	93,20	38,18		16,43	35,27						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	3,15	4,37	30,25	24,56	13,49	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	12,04	7,32		17,98	19,93						
	0,6	0,4	20,93	10,26		17,27	24,96						
	0,4	0,6	29,82	13,21		17,01	29,09						
	0,2	0,8	38,71	16,14		16,87	32,42						
	0,0	1,0	65,40	27,54		16,78	32,14						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	3,15	4,37	30,25	24,56	13,48	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	20,96	11,13		16,94	23,39						
	0,6	0,4	38,77	17,89		16,52	28,51						
	0,4	0,6	56,59	24,66		16,38	31,65						
	0,2	0,8	74,40	31,42		16,30	33,75						
	0,0	1,0	92,21	38,18		16,25	35,27						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	3,15	4,37	30,25	24,56	13,48	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	11,84	7,32		17,68	19,93						
	0,6	0,4	20,53	10,26		16,94	24,96						
	0,4	0,6	29,22	13,21		16,67	29,09						
	0,2	0,8	37,91	16,14		16,52	32,42						
	0,0	1,0	46,60	19,09		16,43	35,28						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2015

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 01										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1				k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1		
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	433,56	568,09	33,85	33,85	17,53	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	442,86	473,50		33,85	17,89						
	0,6	0,4	452,16	378,91		33,85	18,46						
	0,4	0,6	461,47	284,32		33,85	19,49						
	0,2	0,8	470,77	189,72		33,85	21,94						
	0,0	1,0	480,06	95,13		33,85	35,15						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	433,56	568,09	33,85	33,85	17,45	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	366,06	458,28		33,85	17,60						
	0,6	0,4	298,55	348,47		33,85	17,72						
	0,4	0,6	231,04	238,65		33,85	17,96						
	0,2	0,8	163,52	128,84		33,85	18,63						
	0,0	1,0	96,01	19,03		33,85	35,17						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	433,56	568,09	33,85	33,85	17,53	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	442,86	473,50		33,85	17,89						
	0,6	0,4	452,16	362,91		33,85	17,68						
	0,4	0,6	461,47	284,32		33,85	19,49						
	0,2	0,8	470,77	189,72		33,85	21,94						
	0,0	1,0	480,06	95,13		33,85	35,15						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	433,56	568,09	33,85	33,85	17,53	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	412,26	462,08		33,85	17,67						
	0,6	0,4	336,95	356,08		33,85	17,91						
	0,4	0,6	288,65	250,06		33,85	18,37						
	0,2	0,8	240,33	144,06		33,85	19,60						
	0,0	1,0	192,02	38,05		33,85	35,15						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	433,56	568,09	33,85	33,85	17,53	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	366,06	458,28		33,85	17,60						
	0,6	0,4	298,55	348,47		33,85	17,72						
	0,4	0,6	231,04	238,65		33,85	17,96						
	0,2	0,8	163,52	128,84		33,85	18,63						
	0,0	1,0	131,92	29,03		33,85	33,88						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	433,56	568,09	33,85	33,85	17,53	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	385,26	462,08		33,85	17,67						
	0,6	0,4	336,95	366,21		33,85	18,42						
	0,4	0,6	288,65	250,06		33,85	18,37						
	0,2	0,8	240,33	144,06		33,85	19,60						
	0,0	1,0	192,02	38,05		33,85	35,15						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	433,56	568,09	33,85	33,85	17,53	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	366,06	458,28		33,85	17,60						
	0,6	0,4	298,55	348,47		33,85	17,72						
	0,4	0,6	231,04	238,65		33,85	17,96						
	0,2	0,8	163,52	128,84		33,85	18,63						
	0,0	1,0	96,01	19,03		33,85	35,17						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2015

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 01										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	4,34	5,68	33,85	33,85	17,52	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	99,48	23,57		33,85	29,44						
	0,6	0,4	194,63	41,46		33,85	32,46						
	0,4	0,6	289,77	59,36		33,85	33,85						
	0,2	0,8	384,92	77,24		33,85	34,64						
	0,0	1,0	480,06	95,13		33,85	35,90						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	4,34	5,68	33,85	33,85	17,52	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	22,67	8,35		33,85	22,73						
	0,6	0,4	41,01	11,02		33,85	26,81						
	0,4	0,6	59,34	13,69		33,85	30,14						
	0,2	0,8	77,68	15,72		33,85	31,57						
	0,0	1,0	96,01	19,03		33,85	35,17						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	4,34	5,68	33,85	33,85	17,52	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	99,48	23,57		33,85	29,44						
	0,6	0,4	194,63	41,46		33,85	32,46						
	0,4	0,6	289,77	59,36		33,85	33,85						
	0,2	0,8	384,92	77,24		33,85	34,64						
	0,0	1,0	480,06	95,13		33,85	35,15						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	4,34	5,68	33,85	33,85	17,52	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	41,87	12,15		33,85	25,54						
	0,6	0,4	79,41	18,63		33,85	29,68						
	0,4	0,6	116,95	25,11		33,85	32,23						
	0,2	0,8	154,42	31,58		33,85	33,92						
	0,0	1,0	192,02	38,05		33,85	35,15						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	4,34	5,68	33,85	33,85	17,54	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	22,67	8,35		33,85	22,73						
	0,6	0,4	41,01	11,02		33,85	26,81						
	0,4	0,6	59,34	13,69		33,85	30,14						
	0,2	0,8	77,68	16,37		33,85	32,88						
	0,0	1,0	131,92	29,03		33,85	33,88						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	4,34	5,68	33,85	33,85	17,52	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	41,87	12,15		33,85	25,54						
	0,6	0,4	79,41	28,76		33,85	45,82						
	0,4	0,6	116,95	25,11		33,85	32,23						
	0,2	0,8	154,49	31,58		33,85	33,92						
	0,0	1,0	192,02	38,05		33,85	35,15						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	4,34	5,68	33,85	33,85	17,52	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	22,67	8,35		33,85	22,73						
	0,6	0,4	41,01	11,02		33,85	26,81						
	0,4	0,6	59,34	13,69		33,85	30,14						
	0,2	0,8	77,68	16,35		33,85	32,84						
	0,0	1,0	96,01	19,03		33,85	35,17						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2015

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 02										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1				k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1		
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	372,44	484,12	30,00	29,07	14,94	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	373,40	404,80		28,54	15,29						
	0,6	0,4	374,36	325,47		28,02	15,85						
	0,4	0,6	375,32	246,15		27,53	16,87						
	0,2	0,8	376,29	166,84		27,05	19,29						
	0,0	1,0	376,95	87,51		26,58	32,34						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	372,44	484,12	30,00	29,07	14,87	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	313,04	390,79		28,94	15,01						
	0,6	0,4	253,65	297,48		28,75	15,13						
	0,4	0,6	194,25	204,15		28,46	15,36						
	0,2	0,8	134,85	110,83		27,91	16,03						
	0,0	1,0	75,45	17,50		26,60	32,35						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	372,44	484,12	30,00	29,07	14,94	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	345,66	404,80		26,42	15,29						
	0,6	0,4	318,87	325,47		23,87	15,85						
	0,4	0,6	292,09	246,15		21,42	16,87						
	0,2	0,8	265,31	166,84		19,07	19,29						
	0,0	1,0	238,52	87,51		16,82	32,34						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	372,44	484,12	30,00	29,07	14,94	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	328,13	394,30		26,94	15,08						
	0,6	0,4	283,82	304,47		28,51	15,32						
	0,4	0,6	239,51	214,65		28,08	15,77						
	0,2	0,8	195,21	124,82		27,49	16,99						
	0,0	1,0	150,90	35,01		26,60	32,34						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	372,44	484,12	30,00	29,07	14,94	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	313,04	390,79		28,94	15,01						
	0,6	0,4	253,65	297,48		28,75	15,13						
	0,4	0,6	194,25	204,15		28,46	15,36						
	0,2	0,8	134,85	110,83		27,91	16,03						
	0,0	1,0	91,47	26,60		23,47	31,04						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	372,44	484,12	30,00	29,07	14,94	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	321,19	394,30		28,22	15,08						
	0,6	0,4	269,95	304,47		27,12	15,32						
	0,4	0,6	218,71	214,65		25,64	15,77						
	0,2	0,8	167,46	124,82		23,58	16,99						
	0,0	1,0	116,22	35,01		20,48	32,34						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	372,44	484,12	30,00	29,07	14,94	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	313,04	390,79		28,94	15,01						
	0,6	0,4	253,65	297,48		28,75	15,13						
	0,4	0,6	194,25	204,15		28,46	15,36						
	0,2	0,8	134,85	110,83		27,91	16,03						
	0,0	1,0	75,45	17,50		26,60	32,35						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2015

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 02										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1				k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1		
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	3,72	4,84	30,00	29,01	14,93	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	78,43	21,38		26,68	26,71						
	0,6	0,4	153,13	37,91		26,63	29,69						
	0,4	0,6	227,83	54,44		26,61	31,05						
	0,2	0,8	302,54	70,98		26,60	31,83						
	0,0	1,0	377,25	87,51		26,60	33,03						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	3,72	4,84	30,00	29,01	14,93	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	18,06	7,37		26,96	20,06						
	0,6	0,4	32,42	9,90		26,76	24,09						
	0,4	0,6	46,76	12,44		26,67	27,39						
	0,2	0,8	61,11	14,97		26,63	30,07						
	0,0	1,0	75,45	17,50		26,60	32,35						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	3,72	4,84	30,00	29,01	14,93	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	50,68	21,38		17,24	26,71						
	0,6	0,4	97,64	37,91		16,98	29,69						
	0,4	0,6	144,60	54,44		16,89	31,05						
	0,2	0,8	191,57	70,98		16,84	31,83						
	0,0	1,0	238,52	87,51		16,82	32,34						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	3,72	4,84	30,00	29,01	14,93	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	33,16	10,87		26,80	22,85						
	0,6	0,4	62,60	16,91		26,68	26,94						
	0,4	0,6	92,03	22,94		26,63	29,44						
	0,2	0,8	121,45	28,97		26,62	31,12						
	0,0	1,0	150,90	35,01		26,60	32,34						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	3,72	4,84	30,00	29,01	14,94	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	18,06	7,37		26,96	20,06						
	0,6	0,4	32,42	9,90		26,76	24,09						
	0,4	0,6	46,76	12,44		26,67	27,39						
	0,2	0,8	61,11	14,97		26,63	30,07						
	0,0	1,0	91,47	26,60		23,47	31,04						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	3,72	4,84	30,00	29,01	14,93	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	26,22	10,87		21,19	22,85						
	0,6	0,4	48,72	16,91		20,76	26,94						
	0,4	0,6	71,22	22,93		20,61	29,43						
	0,2	0,8	93,71	28,97		20,53	31,12						
	0,0	1,0	116,22	35,01		20,48	32,34						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	3,72	4,84	30,00	29,01	14,93	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	18,06	7,37		26,96	20,06						
	0,6	0,4	32,42	9,90		26,76	24,09						
	0,4	0,6	46,76	12,44		26,67	27,39						
	0,2	0,8	61,11	14,97		26,63	30,07						
	0,0	1,0	75,45	17,50		26,60	32,35						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2015

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 03																	
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$															
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP								
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1							
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	1141,81	35,23	-	35,23													
	0,8	0,2	-	932,51		-	35,23													
	0,6	0,4	-	723,22		-	35,23													
	0,4	0,6	-	513,92		-	35,23													
	0,2	0,8	-	304,64		-	35,23													
	0,0	1,0	-	95,34		-	35,23													
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	1146,81	35,23	-	35,23	-	2,90	-	4,46	-	-	-	-	-	-	-	-	19,38
	0,8	0,2	-	917,27		-	35,23													
	0,6	0,4	-	692,72		-	35,23													
	0,4	0,6	-	468,17		-	35,23													
	0,2	0,8	-	243,62		-	35,23													
	0,0	1,0	-	19,06		-	35,23													
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	1141,81	35,23	-	35,23													
	0,8	0,2	-	932,51		-	35,23													
	0,6	0,4	-	723,22		-	35,23													
	0,4	0,6	-	513,92		-	35,23													
	0,2	0,8	-	304,64		-	35,23													
	0,0	1,0	-	95,34		-	35,23													
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	1141,81	35,23	-	35,23													
	0,8	0,2	-	921,08		-	35,23													
	0,6	0,4	-	700,34		-	35,23													
	0,4	0,6	-	479,60		-	35,23													
	0,2	0,8	-	258,87		-	35,23													
	0,0	1,0	-	38,14		-	35,23													
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	1141,81	35,23	-	35,23	-	2,90	-	4,46	-	-	-	-	-	-	-	-	19,38
	0,8	0,2	-	917,27		-	35,23													
	0,6	0,4	-	692,72		-	35,23													
	0,4	0,6	-	468,17		-	35,23													
	0,2	0,8	-	243,62		-	35,23													
	0,0	1,0	-	30,19		-	35,23													
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	1141,81	35,23	-	35,23													
	0,8	0,2	-	921,08		-	35,23													
	0,6	0,4	-	700,34		-	35,23													
	0,4	0,6	-	479,60		-	35,23													
	0,2	0,8	-	258,87		-	35,23													
	0,0	1,0	-	38,14		-	35,23													
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	-	1141,81	35,23	-	35,23	-	2,90	-	4,46	-	-	-	-	-	-	-	-	19,38
	0,8	0,2	-	917,27		-	35,23													
	0,6	0,4	-	692,72		-	35,23													
	0,4	0,6	-	468,17		-	35,23													
	0,2	0,8	-	243,62		-	35,23													
	0,0	1,0	-	19,06		-	35,23													

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2015

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 03										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	11,42	35,23	-	35,23						
	0,8	0,2	-	28,20		-	35,23						
	0,6	0,4	-	44,99		-	35,23						
	0,4	0,6	-	61,77		-	35,23						
	0,2	0,8	-	78,55		-	35,23						
	0,0	1,0	-	93,34		-	35,23						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	11,42	35,23	-	35,23	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	12,94		-	35,23						
	0,6	0,4	-	14,48		-	35,23						
	0,4	0,6	-	16,00		-	35,23						
	0,2	0,8	-	17,54		-	35,23						
	0,0	1,0	-	19,06		-	35,23						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	11,42	35,23	-	35,23						
	0,8	0,2	-	28,20		-	35,23						
	0,6	0,4	-	44,99		-	35,23						
	0,4	0,6	-	61,77		-	35,23						
	0,2	0,8	-	78,55		-	35,23						
	0,0	1,0	-	95,34		-	35,23						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	11,42	35,23	-	35,23						
	0,8	0,2	-	16,76		-	35,23						
	0,6	0,4	-	22,11		-	35,23						
	0,4	0,6	-	27,45		-	35,23						
	0,2	0,8	-	32,80		-	35,23						
	0,0	1,0	-	38,14		-	35,23						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	11,41	35,23	-	35,23	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	12,94		-	35,23						
	0,6	0,4	-	14,48		-	35,23						
	0,4	0,6	-	16,00		-	35,23						
	0,2	0,8	-	17,54		-	35,23						
	0,0	1,0	-	30,19		-	35,23						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	11,42	35,23	-	35,23						
	0,8	0,2	-	16,76		-	35,23						
	0,6	0,4	-	22,11		-	35,23						
	0,4	0,6	-	27,45		-	35,23						
	0,2	0,8	-	32,80		-	35,23						
	0,0	1,0	-	38,14		-	35,23						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	-	11,42	35,23	-	35,23	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	12,94		-	35,23						
	0,6	0,4	-	14,48		-	35,23						
	0,4	0,6	-	16,00		-	35,23						
	0,2	0,8	-	17,54		-	35,23						
	0,0	1,0	-	19,06		-	35,23						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2015

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 04										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	1063,94	31,80	-	32,83						
	0,8	0,2	-	868,64		-	32,82						
	0,6	0,4	-	673,32		-	32,80						
	0,4	0,6	-	478,00		-	32,77						
	0,2	0,8	-	282,68		-	32,69						
	0,0	1,0	-	87,37		-	32,28						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	1063,94	31,80	-	32,68	-	2,09	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	854,66		-	32,82						
	0,6	0,4	-	645,36		-	32,82						
	0,4	0,6	-	436,06		-	32,81						
	0,2	0,8	-	226,77		-	32,79						
	0,0	1,0	-	17,47		-	32,29						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	1063,94	31,80	-	32,83						
	0,8	0,2	-	868,64		-	32,82						
	0,6	0,4	-	673,32		-	32,80						
	0,4	0,6	-	478,00		-	32,77						
	0,2	0,8	-	282,68		-	32,69						
	0,0	1,0	-	87,37		-	32,28						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	1063,94	31,80	-	32,83						
	0,8	0,2	-	858,15		-	32,82						
	0,6	0,4	-	652,34		-	32,81						
	0,4	0,6	-	446,55		-	32,80						
	0,2	0,8	-	240,75		-	32,76						
	0,0	1,0	-	34,94		-	32,27						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	1063,94	31,80	-	32,83	-	2,09	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	854,66		-	32,82						
	0,6	0,4	-	645,36		-	32,82						
	0,4	0,6	-	436,06		-	32,81						
	0,2	0,8	-	226,77		-	32,79						
	0,0	1,0	-	27,93		-	32,59						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	1063,94	31,80	-	32,83						
	0,8	0,2	-	858,15		-	32,82						
	0,6	0,4	-	652,34		-	32,81						
	0,4	0,6	-	446,55		-	32,80						
	0,2	0,8	-	240,75		-	32,76						
	0,0	1,0	-	34,94		-	32,27						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	-	1063,94	31,80	-	32,83	-	2,09	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	584,66		-	22,45						
	0,6	0,4	-	645,36		-	32,82						
	0,4	0,6	-	436,06		-	32,81						
	0,2	0,8	-	226,77		-	32,79						
	0,0	1,0	-	17,47		-	32,29						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2015

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 04										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	10,64	31,80	-	32,82						
	0,8	0,2	-	25,98		-	32,46						
	0,6	0,4	-	41,33		-	32,36						
	0,4	0,6	-	56,67		-	32,32						
	0,2	0,8	-	72,03		-	32,30						
	0,0	1,0	-	87,37		-	32,98						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	10,64	31,80	-	32,82	-	2,09	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	12,00		-	32,67						
	0,6	0,4	-	13,37		-	32,53						
	0,4	0,6	-	14,74		-	32,45						
	0,2	0,8	-	16,11		-	32,36						
	0,0	1,0	-	17,47		-	32,29						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	10,64	31,80	-	32,82						
	0,8	0,2	-	25,98		-	32,46						
	0,6	0,4	-	41,33		-	32,36						
	0,4	0,6	-	56,67		-	32,32						
	0,2	0,8	-	72,03		-	32,30						
	0,0	1,0	-	87,37		-	32,28						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	10,64	31,80	-	32,82						
	0,8	0,2	-	15,50		-	32,58						
	0,6	0,4	-	20,36		-	32,44						
	0,4	0,6	-	25,22		-	32,37						
	0,2	0,8	-	30,09		-	32,32						
	0,0	1,0	-	34,94		-	32,27						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	10,64	31,80	-	32,85	-	2,09	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	12,00		-	32,67						
	0,6	0,4	-	13,37		-	32,53						
	0,4	0,6	-	14,74		-	32,45						
	0,2	0,8	-	16,11		-	32,36						
	0,0	1,0	-	27,93		-	32,59						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	10,64	31,80	-	32,82						
	0,8	0,2	-	15,50		-	32,58						
	0,6	0,4	-	20,36		-	32,44						
	0,4	0,6	-	25,22		-	32,37						
	0,2	0,8	-	30,09		-	32,32						
	0,0	1,0	-	34,94		-	32,27						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	-	10,64	31,80	-	32,82	-	2,09	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	12,00		-	32,67						
	0,6	0,4	-	13,37		-	32,53						
	0,4	0,6	-	14,74		-	32,45						
	0,2	0,8	-	16,11		-	32,36						
	0,0	1,0	-	17,47		-	32,29						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2020

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário C										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	391,57	537,48	33,70	27,64	15,07						
	0,8	0,2	371,80	454,37		25,75	15,57						
	0,6	0,4	352,03	371,26		23,93	16,34						
	0,4	0,6	332,26	288,15		22,17	17,73						
	0,2	0,8	321,48	205,04		21,07	20,97						
	0,0	1,0	292,71	121,93		18,84	36,87						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	391,57	537,48	33,70	27,64	15,02	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	325,76	434,86		27,25	15,17						
	0,6	0,4	259,95	332,26		26,68	15,34						
	0,4	0,6	194,14	229,63		25,78	15,66						
	0,2	0,8	128,33	127,01		24,13	16,58						
	0,0	1,0	62,51	24,38		20,12	36,88						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	391,57	537,48	33,70	27,64	15,07						
	0,8	0,2	371,01	454,37		25,70	15,57						
	0,6	0,4	350,44	371,26		23,82	16,34						
	0,4	0,6	329,87	288,15		22,01	17,73						
	0,2	0,8	309,31	205,04		20,27	20,97						
	0,0	1,0	288,74	121,93		18,59	36,87						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	391,57	537,48	33,70	27,64	15,07						
	0,8	0,2	336,67	439,75		25,33	15,27						
	0,6	0,4	281,78	342,00		25,65	15,60						
	0,4	0,6	226,88	244,26		24,15	16,22						
	0,2	0,8	171,98	146,51		22,04	17,89						
	0,0	1,0	117,08	48,77		18,84	36,87						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	391,57	537,48	33,70	27,64	15,07	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	325,16	434,86		27,20	15,17						
	0,6	0,4	258,75	332,26		26,56	15,34						
	0,4	0,6	192,35	229,63		25,54	15,66						
	0,2	0,8	125,95	127,01		23,68	16,58						
	0,0	1,0	77,34	32,83		19,06	34,77						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	391,57	537,48	33,70	27,64	15,07						
	0,8	0,2	336,47	439,75		26,76	15,27						
	0,6	0,4	281,38	342,00		25,62	15,60						
	0,4	0,6	226,28	244,26		24,09	16,22						
	0,2	0,8	171,18	146,51		21,94	17,89						
	0,0	1,0	116,09	48,77		18,68	36,87						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	391,57	537,48	33,70	27,64	15,07	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	324,96	434,86		27,19	15,17						
	0,6	0,4	258,36	332,12		26,52	15,33						
	0,4	0,6	191,76	229,63		25,46	15,66						
	0,2	0,8	125,16	127,01		23,53	16,58						
	0,0	1,0	58,54	24,38		18,84	36,88						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2020

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário C										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1				k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1		
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	3,91	5,38	33,70	27,60	15,08	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	61,68	28,68		19,16	30,29						
	0,6	0,4	119,43	51,99		18,96	33,83						
	0,4	0,6	177,19	75,30		18,90	35,40						
	0,2	0,8	234,95	98,61		18,86	36,30						
	0,0	1,0	292,71	121,93		18,84	37,45						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	3,91	5,38	33,70	27,60	15,08	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	15,64	9,18		21,29	22,00						
	0,6	0,4	27,35	12,98		20,60	27,12						
	0,4	0,6	39,08	16,79		20,35	31,13						
	0,2	0,8	50,79	20,58		20,20	34,28						
	0,0	1,0	62,51	24,38		20,12	36,88						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	3,91	5,38	33,70	27,60	15,08	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	60,88	28,72		18,91	30,34						
	0,6	0,4	117,85	51,99		18,71	33,83						
	0,4	0,6	174,80	75,30		18,64	35,40						
	0,2	0,8	231,77	98,61		18,61	36,30						
	0,0	1,0	288,74	121,93		18,59	36,87						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	3,91	5,38	33,70	27,60	15,08	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	26,55	14,05		19,58	25,56						
	0,6	0,4	49,18	22,73		19,13	30,58						
	0,4	0,6	71,82	31,41		18,98	33,55						
	0,2	0,8	94,45	40,09		18,90	35,48						
	0,0	1,0	117,08	48,77		18,84	36,87						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	3,91	5,38	33,70	27,60	15,08	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	15,04	9,18		20,48	22,00						
	0,6	0,4	26,16	12,98		19,70	27,12						
	0,4	0,6	37,29	16,79		19,41	31,13						
	0,2	0,8	48,42	20,58		19,26	34,28						
	0,0	1,0	77,34	32,83		19,06	34,77						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	3,91	5,38	33,70	27,60	15,08	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	26,35	14,05		19,43	25,56						
	0,6	0,4	48,78	22,73		18,98	30,58						
	0,4	0,6	71,23	31,41		18,82	33,55						
	0,2	0,8	93,66	40,09		18,74	35,48						
	0,0	1,0	116,09	48,77		18,68	36,87						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	3,91	5,38	33,70	27,60	15,08	2,90	0,58	4,46	0,89	19,38	3,88
	0,8	0,2	14,84	9,18		20,20	22,00						
	0,6	0,4	25,76	12,98		19,40	27,12						
	0,4	0,6	36,69	16,79		19,10	31,13						
	0,2	0,8	47,62	20,58		18,94	34,28						
	0,0	1,0	58,54	24,38		18,84	36,88						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2020

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 01										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1				k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1		
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	534,97	699,08	37,77	37,77	19,60	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	545,31	484,54		37,77	16,60						
	0,6	0,4	555,64	469,99		37,77	20,69						
	0,4	0,6	565,99	355,45		37,77	21,88						
	0,2	0,8	576,32	240,90		37,77	24,64						
	0,0	1,0	586,65	126,35		37,77	38,21						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	534,97	699,08	37,77	37,77	19,53	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	451,45	564,32		37,77	19,69						
	0,6	0,4	367,93	429,56		37,77	19,83						
	0,4	0,6	284,40	294,79		37,77	20,11						
	0,2	0,8	200,86	160,03		37,77	20,89						
	0,0	1,0	117,33	25,27		37,77	38,22						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	534,97	699,08	37,77	37,77	19,60	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	545,31	584,54		37,77	20,03						
	0,6	0,4	555,64	453,99		37,77	19,98						
	0,4	0,6	565,99	355,45		37,77	21,88						
	0,2	0,8	576,32	240,90		37,77	24,64						
	0,0	1,0	586,65	126,35		37,77	38,21						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	534,97	699,08	37,77	37,77	19,60	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	501,92	569,37		37,77	19,77						
	0,6	0,4	414,85	439,67		37,77	20,05						
	0,4	0,6	354,80	309,95		37,77	20,58						
	0,2	0,8	294,72	180,25		37,77	22,01						
	0,0	1,0	234,65	50,54		37,77	38,21						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	534,97	698,58	37,77	37,77	19,59	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	451,45	564,32		37,77	19,69						
	0,6	0,4	367,93	429,56		37,77	19,83						
	0,4	0,6	284,40	294,79		37,77	20,11						
	0,2	0,8	200,86	160,03		37,77	20,89						
	0,0	1,0	153,24	35,27		37,77	37,36						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	534,97	699,08	37,77	37,77	19,60	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	474,92	569,37		37,77	19,77						
	0,6	0,4	414,85	449,80		37,77	20,52						
	0,4	0,6	354,80	309,95		37,77	20,58						
	0,2	0,8	294,72	180,25		37,77	22,01						
	0,0	1,0	234,65	50,54		37,77	38,21						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	534,97	699,08	37,77	37,77	19,60	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	451,45	564,32		37,77	19,69						
	0,6	0,4	367,93	429,56		37,77	19,83						
	0,4	0,6	284,40	294,79		37,77	20,11						
	0,2	0,8	200,86	160,03		37,77	20,89						
	0,0	1,0	117,33	25,27		37,77	38,22						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2020

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 01										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1				k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1		
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	5,35	6,99	37,77	37,77	19,59	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	121,61	30,86		37,77	32,60						
	0,6	0,4	237,87	54,74		37,77	35,62						
	0,4	0,6	354,13	78,62		37,77	36,97						
	0,2	0,8	470,39	102,48		37,77	37,72						
	0,0	1,0	586,65	126,35		37,77	38,80						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	5,35	6,99	37,77	37,77	19,59	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	27,74	10,65		37,77	25,52						
	0,6	0,4	50,15	14,30		37,77	29,88						
	0,4	0,6	72,54	17,96		37,77	33,30						
	0,2	0,8	94,94	20,98		37,77	34,95						
	0,0	1,0	117,33	25,27		37,77	38,22						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	5,35	6,99	37,77	37,77	19,59	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	121,61	30,86		37,77	32,60						
	0,6	0,4	237,87	54,74		37,77	35,62						
	0,4	0,6	354,13	78,62		37,77	36,97						
	0,2	0,8	470,39	102,48		37,77	37,72						
	0,0	1,0	586,65	126,35		37,77	38,21						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	5,35	6,99	37,77	37,77	19,59	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	51,21	15,70		37,77	28,56						
	0,6	0,4	97,07	24,41		37,77	32,84						
	0,4	0,6	142,94	33,13		37,77	35,38						
	0,2	0,8	188,73	41,83		37,77	37,02						
	0,0	1,0	234,65	50,54		37,77	38,21						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	5,35	6,99	37,77	37,77	19,61	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	27,74	10,65		37,77	25,52						
	0,6	0,4	50,15	14,30		37,77	29,88						
	0,4	0,6	72,54	17,96		37,77	33,30						
	0,2	0,8	94,94	21,63		37,77	36,03						
	0,0	1,0	153,24	35,27		37,77	37,36						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	5,35	6,99	37,77	37,77	19,59	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	51,21	15,70		37,77	28,56						
	0,6	0,4	97,07	34,54		37,77	46,47						
	0,4	0,6	142,94	33,13		37,77	35,38						
	0,2	0,8	188,80	41,83		37,77	37,02						
	0,0	1,0	234,65	50,54		37,77	38,21						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	5,35	6,99	37,77	37,77	19,59	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	27,74	10,65		37,77	25,52						
	0,6	0,4	50,15	14,30		37,77	29,88						
	0,4	0,6	72,54	17,96		37,77	33,30						
	0,2	0,8	94,94	21,61		37,77	35,99						
	0,0	1,0	117,33	25,27		37,77	38,22						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2020

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 02										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1				k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1		
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	459,66	583,65	33,51	32,45	16,37	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	456,57	490,07		31,62	16,79						
	0,6	0,4	453,47	396,48		30,82	17,45						
	0,4	0,6	450,38	302,90		30,05	18,64						
	0,2	0,8	447,30	209,34		29,31	21,41						
	0,0	1,0	443,90	115,75		28,58	35,00						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	459,66	583,65	33,51	32,45	16,31	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	385,49	471,54		32,25	16,45						
	0,6	0,4	311,34	359,46		31,96	16,59						
	0,4	0,6	237,17	247,35		31,50	16,87						
	0,2	0,8	163,01	135,25		30,65	17,65						
	0,0	1,0	88,84	23,15		28,60	35,02						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	459,66	583,65	33,51	32,45	16,37	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	426,48	490,07		29,54	16,79						
	0,6	0,4	393,29	396,48		26,73	17,45						
	0,4	0,6	360,11	302,90		24,03	18,64						
	0,2	0,8	326,93	209,34		21,42	21,41						
	0,0	1,0	293,74	115,75		18,91	35,00						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	459,66	583,65	33,51	32,45	16,37	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	403,26	476,18		30,34	16,54						
	0,6	0,4	346,86	368,71		31,58	16,82						
	0,4	0,6	290,47	261,24		30,92	17,35						
	0,2	0,8	234,08	153,76		30,00	18,77						
	0,0	1,0	177,68	46,30		28,60	35,00						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	459,66	583,65	33,51	32,45	16,37	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	385,49	471,54		32,25	16,45						
	0,6	0,4	311,34	359,46		31,96	16,59						
	0,4	0,6	237,17	247,35		31,50	16,87						
	0,2	0,8	163,01	135,25		30,65	17,65						
	0,0	1,0	104,86	32,25		25,84	34,16						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	459,66	583,65	33,51	32,45	16,37	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	395,73	476,18		31,47	16,54						
	0,6	0,4	331,82	368,71		30,21	16,82						
	0,4	0,6	267,91	261,24		28,52	17,35						
	0,2	0,8	203,98	153,76		26,14	18,77						
	0,0	1,0	140,07	46,30		22,54	35,00						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	459,66	583,65	33,51	32,45	16,37	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	385,49	471,54		32,25	16,45						
	0,6	0,4	311,34	359,46		31,96	16,59						
	0,4	0,6	237,17	247,35		31,50	16,87						
	0,2	0,8	163,01	135,25		30,65	17,65						
	0,0	1,0	88,84	23,15		28,60	35,02						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2020

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 02										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	4,59	5,84	33,51	32,40	16,37	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	92,52	27,82		28,73	29,39						
	0,6	0,4	180,43	49,80		28,65	32,40						
	0,4	0,6	268,35	71,78		28,62	33,75						
	0,2	0,8	356,28	93,77		28,61	34,52						
	0,0	1,0	444,20	115,75		28,60	35,55						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	4,59	5,84	33,51	32,40	16,37	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	21,44	9,30		29,19	22,29						
	0,6	0,4	38,30	12,76		28,84	26,66						
	0,4	0,6	55,14	16,23		28,71	30,09						
	0,2	0,8	72,00	19,69		28,64	32,80						
	0,0	1,0	88,84	23,15		28,60	35,02						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	4,59	5,84	33,51	32,40	16,37	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	62,42	27,82		19,39	29,39						
	0,6	0,4	120,25	49,80		19,09	32,40						
	0,4	0,6	178,08	71,78		18,99	33,75						
	0,2	0,8	235,92	93,77		18,94	34,52						
	0,0	1,0	293,74	115,75		18,91	35,00						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	4,59	5,84	33,51	32,40	16,37	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	39,21	13,93		28,92	25,34						
	0,6	0,4	73,84	22,03		28,73	29,64						
	0,4	0,6	108,45	30,11		28,65	32,16						
	0,2	0,8	143,05	38,20		28,63	33,81						
	0,0	1,0	177,68	46,30		28,60	35,00						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	4,59	5,84	33,51	32,40	16,38	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	21,44	9,30		29,19	22,29						
	0,6	0,4	38,30	12,76		28,84	26,66						
	0,4	0,6	55,14	16,23		28,71	30,09						
	0,2	0,8	72,00	19,69		28,64	32,80						
	0,0	1,0	104,86	32,25		25,84	34,16						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	4,59	5,84	33,51	32,40	16,37	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	31,69	13,93		23,37	25,34						
	0,6	0,4	58,78	22,03		22,87	29,64						
	0,4	0,6	85,88	30,10		22,69	32,15						
	0,2	0,8	112,96	38,20		22,60	33,81						
	0,0	1,0	140,07	46,30		22,54	35,00						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	4,59	5,84	33,51	32,40	16,37	2,90	1,74	4,46	2,67	19,38	11,63
	0,8	0,2	21,44	9,30		29,19	22,29						
	0,6	0,4	38,30	12,76		28,84	26,66						
	0,4	0,6	55,14	16,23		28,71	30,09						
	0,2	0,8	72,00	19,69		28,64	32,80						
	0,0	1,0	88,84	23,15		28,60	35,02						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2020

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 03										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	1402,38	39,33	-	39,33						
	0,8	0,2	-	1147,90		-	39,33						
	0,6	0,4	-	893,44		-	39,33						
	0,4	0,6	-	638,97		-	39,33						
	0,2	0,8	-	384,52		-	39,33						
	0,0	1,0	-	130,05		-	39,33						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	1407,38	39,33	-	39,33	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	1127,11		-	39,33						
	0,6	0,4	-	851,84		-	39,33						
	0,4	0,6	-	576,56		-	39,33						
	0,2	0,8	-	301,29		-	39,33						
	0,0	1,0	-	26,00		-	39,33						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	1402,38	39,33	-	39,33						
	0,8	0,2	-	1147,90		-	39,33						
	0,6	0,4	-	893,44		-	39,33						
	0,4	0,6	-	638,97		-	39,33						
	0,2	0,8	-	384,52		-	39,33						
	0,0	1,0	-	130,05		-	39,33						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	1402,38	39,33	-	39,33						
	0,8	0,2	-	1132,31		-	39,33						
	0,6	0,4	-	862,23		-	39,33						
	0,4	0,6	-	592,16		-	39,33						
	0,2	0,8	-	322,09		-	39,33						
	0,0	1,0	-	52,02		-	39,33						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	1402,38	39,33	-	39,33	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	1127,11		-	39,33						
	0,6	0,4	-	851,84		-	39,33						
	0,4	0,6	-	576,56		-	39,33						
	0,2	0,8	-	301,29		-	39,33						
	0,0	1,0	-	37,13		-	39,33						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	1402,38	39,33	-	39,33						
	0,8	0,2	-	1132,31		-	39,33						
	0,6	0,4	-	862,23		-	39,33						
	0,4	0,6	-	592,16		-	39,33						
	0,2	0,8	-	322,09		-	39,33						
	0,0	1,0	-	52,02		-	39,33						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	-	1402,38	39,33	-	39,33	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	1127,11		-	39,33						
	0,6	0,4	-	851,84		-	39,33						
	0,4	0,6	-	576,56		-	39,33						
	0,2	0,8	-	301,29		-	39,33						
	0,0	1,0	-	26,00		-	39,33						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2020

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 03										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	14,03	39,33	-	39,33						
	0,8	0,2	-	37,23		-	39,33						
	0,6	0,4	-	60,44		-	39,33						
	0,4	0,6	-	83,64		-	39,33						
	0,2	0,8	-	106,84		-	39,33						
	0,0	1,0	-	128,05		-	39,33						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	14,03	39,33	-	39,33	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	16,41		-	39,33						
	0,6	0,4	-	18,82		-	39,33						
	0,4	0,6	-	21,21		-	39,33						
	0,2	0,8	-	23,61		-	39,33						
	0,0	1,0	-	26,00		-	39,33						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	14,03	39,33	-	39,33						
	0,8	0,2	-	37,23		-	39,33						
	0,6	0,4	-	60,44		-	39,33						
	0,4	0,6	-	83,64		-	39,33						
	0,2	0,8	-	106,84		-	39,33						
	0,0	1,0	-	130,05		-	39,33						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	14,03	39,33	-	39,33						
	0,8	0,2	-	21,62		-	39,33						
	0,6	0,4	-	29,23		-	39,33						
	0,4	0,6	-	36,82		-	39,33						
	0,2	0,8	-	44,43		-	39,33						
	0,0	1,0	-	52,02		-	39,33						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	14,02	39,33	-	39,33	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	16,41		-	39,33						
	0,6	0,4	-	18,82		-	39,33						
	0,4	0,6	-	21,21		-	39,33						
	0,2	0,8	-	23,61		-	39,33						
	0,0	1,0	-	37,13		-	39,33						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	14,03	39,33	-	39,33						
	0,8	0,2	-	21,62		-	39,33						
	0,6	0,4	-	29,23		-	39,33						
	0,4	0,6	-	36,82		-	39,33						
	0,2	0,8	-	44,43		-	39,33						
	0,0	1,0	-	52,02		-	39,33						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	-	14,03	39,33	-	39,33	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	16,41		-	39,33						
	0,6	0,4	-	18,82		-	39,33						
	0,4	0,6	-	21,21		-	39,33						
	0,2	0,8	-	23,61		-	39,33						
	0,0	1,0	-	26,00		-	39,33						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Ano: 2020

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 04										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	1294,37	35,54	-	36,30						
	0,8	0,2	-	1059,50		-	36,30						
	0,6	0,4	-	824,60		-	36,30						
	0,4	0,6	-	589,71		-	36,29						
	0,2	0,8	-	354,81		-	36,29						
	0,0	1,0	-	119,92		-	36,26						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	1294,37	35,54	-	36,17	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	1040,31		-	36,30						
	0,6	0,4	-	786,22		-	36,30						
	0,4	0,6	-	532,14		-	36,30						
	0,2	0,8	-	278,06		-	36,29						
	0,0	1,0	-	23,98		-	36,27						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	1294,37	35,54	-	36,30						
	0,8	0,2	-	1059,50		-	36,30						
	0,6	0,4	-	824,60		-	36,30						
	0,4	0,6	-	589,71		-	36,29						
	0,2	0,8	-	354,81		-	36,29						
	0,0	1,0	-	119,92		-	36,26						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	1294,37	35,54	-	36,30						
	0,8	0,2	-	1045,10		-	36,30						
	0,6	0,4	-	795,81		-	36,30						
	0,4	0,6	-	546,54		-	36,30						
	0,2	0,8	-	297,25		-	36,29						
	0,0	1,0	-	47,96		-	36,26						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	1294,37	35,54	-	36,30	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	1040,31		-	36,30						
	0,6	0,4	-	786,22		-	36,30						
	0,4	0,6	-	532,14		-	36,30						
	0,2	0,8	-	278,06		-	36,29						
	0,0	1,0	-	34,44		-	36,48						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	1294,37	35,54	-	36,30						
	0,8	0,2	-	1045,10		-	36,30						
	0,6	0,4	-	795,81		-	36,30						
	0,4	0,6	-	546,54		-	36,30						
	0,2	0,8	-	297,25		-	36,29						
	0,0	1,0	-	47,96		-	36,26						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	-	1294,37	35,54	-	36,30	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	770,31		-	26,88						
	0,6	0,4	-	786,22		-	36,30						
	0,4	0,6	-	532,14		-	36,30						
	0,2	0,8	-	278,06		-	36,29						
	0,0	1,0	-	23,98		-	36,27						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l, tanto para a demanda bioquímica de oxigênio como para o oxigênio dissolvido

Ano: 2020

Fator de majoração do OD	DBO	OD	Cenário Ideal 04										
			Z	Z	10 <sup>6</sup> US\$								
			k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	Custo	B <sub>k1 = PDH</sub>	B <sub>k1 = 0,1</sub>	B <sub>venda</sub> 95%		B <sub>venda</sub> 80%		B <sub>venda</sub> VMLP	
								k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1	k <sub>1</sub> =PDH	k <sub>1</sub> =0,1
5 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	12,94	35,54	-	36,27						
	0,8	0,2	-	34,33		-	36,26						
	0,6	0,4	-	55,73		-	36,26						
	0,4	0,6	-	77,12		-	36,26						
	0,2	0,8	-	98,53		-	36,27						
	0,0	1,0	-	119,92		-	36,83						
5 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	12,94	35,54	-	36,27	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	15,15		-	36,31						
	0,6	0,4	-	17,36		-	36,28						
	0,4	0,6	-	19,57		-	36,29						
	0,2	0,8	-	21,78		-	36,28						
	0,0	1,0	-	23,98		-	36,27						
5 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	12,94	35,54	-	36,27						
	0,8	0,2	-	34,33		-	36,26						
	0,6	0,4	-	55,73		-	36,26						
	0,4	0,6	-	77,12		-	36,26						
	0,2	0,8	-	98,53		-	36,27						
	0,0	1,0	-	119,92		-	36,26						
2 (aplicado em todas as seções)	1,0	0,0	-	12,94	35,54	-	36,27						
	0,8	0,2	-	19,95		-	36,29						
	0,6	0,4	-	26,95		-	36,26						
	0,4	0,6	-	33,95		-	36,26						
	0,2	0,8	-	40,97		-	36,26						
	0,0	1,0	-	47,96		-	36,26						
2 (aplicado nas seções com concentração menor 2mg/l)	1,0	0,0	-	12,94	35,54	-	36,30	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	15,15		-	36,31						
	0,6	0,4	-	17,36		-	36,28						
	0,4	0,6	-	19,57		-	36,29						
	0,2	0,8	-	21,78		-	36,28						
	0,0	1,0	-	34,44		-	36,48						
2 (aplicado nas seções enquadradas)	1,0	0,0	-	12,94	35,54	-	36,27						
	0,8	0,2	-	19,95		-	36,29						
	0,6	0,4	-	26,95		-	36,26						
	0,4	0,6	-	33,95		-	36,26						
	0,2	0,8	-	40,97		-	36,26						
	0,0	1,0	-	47,96		-	36,26						
1 (sem coeficiente)	1,0	0,0	-	12,94	35,54	-	36,27	-	2,90	-	4,46	-	19,38
	0,8	0,2	-	15,15		-	36,31						
	0,6	0,4	-	17,36		-	36,28						
	0,4	0,6	-	19,57		-	36,29						
	0,2	0,8	-	21,78		-	36,28						
	0,0	1,0	-	23,98		-	36,27						

Utilizando a variação da concentração dividido por 1mg/l para oxigênio dissolvido (OD) e 100 mg/l para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)