

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA BASEADA EM METODOLOGIA DE HIERARQUIZAÇÃO DE CARGAS COM VISTAS AO ENQUADRAMENTO COM METAS PROGRESSIVAS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO ALTO IGUAÇU.

Heloise Garcia Knapik¹; Clarissa Scuissiato²; Marianne Schaefer França³; Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes⁴; Maria Cristina Frisch Carvalho Marin⁵; Letícia Masini⁶; & Mônica Ferreira do Amaral Porto⁷

RESUMO --- O enquadramento com metas progressivas é um instrumento de planejamento de recursos hídricos, recentemente estabelecido pela resolução CONAMA 357/05. No entanto, definir os limites para sua definição é ainda um processo a ser construído. O presente artigo tem como objetivo avaliar a qualidade da água na Bacia do Alto Iguaçu, Região Metropolitana de Curitiba, com vistas ao seu enquadramento com metas progressivas a partir da inserção de uma nova ferramenta de junção de partes de uma matriz de fontes de poluição: a matriz de hierarquização de cargas. O resultado principal é o diagnóstico de poluição do Rio Iguaçu e seus afluentes como uma indicação evidente da possível estratégia de despoluição com metas a serem atingidas ao longo do horizonte de planejamento.

ABSTRACT --- The water quality classification plan of a river system is a planning instrument recently established by the CONAMA 357/05 federal resolution. To understand what in fact this concept really means is still a challenge. This paper brings a new insight to this subject when, in order to evaluate the water quality condition of the Iguacu river at the metropolitan area of Curitiba, considers the hierarchical distributed pollution loads. The main result is the water quality diagnosis of the Iguaçu River and its affluents with the most possible pollution control strategy to be achieved at the planning horizon of this instrument.

Palavras-chave: Bacia do Alto Iguaçu, diagnóstico da qualidade da água, hierarquização de cargas.

¹ Bolsista de Mestrado (CNPq), Centro Politécnico s/n, Bloco 5, Cx. Postal 19011, 81531-990 Curitiba – PR. E-mail: heloise.dhs@ufpr.br

² Bolsista de Iniciação Científica da UFPR, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Curitiba – PR. E-mail: clarissa.dhs@ufpr.br

³ Bolsista de Mestrado (CNPq), Departamento de Hidráulica e Saneamento, Curitiba – PR. E-mail: marianne.dhs@ufpr.br

⁴ Professor Adjunto da UFPR Departamento de Hidráulica e Saneamento, Curitiba – PR. E-mail: cris.dhs@ufpr.br

⁵ Pesquisadora, Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPR, Curitiba. E-mail: crismarin.dhs@ufpr.br

⁶ Pesquisador, leticia.masini@gmail.com

⁷ Professora Titular da USP, Av. Prof. Almeida Prado, 271, Cidade Universitária, 05508-900, São Paulo, SP. E-mail: mporto@usp.br

1 INTRODUÇÃO

A perspectiva de se poder prever o impacto de medidas de controle é uma motivação para muitos pesquisadores. Assim, tentar estabelecer elementos para uma análise mais cuidadosa de metas de despoluição hídrica a partir de medidas a serem implementadas em uma bacia como a do Alto Iguaçu, na Região Metropolitana de Curitiba, enfocando não só o impacto em termos de melhoria de qualidade ambiental, mas, também, suas implicações em termos econômicos e financeiros, é de grande importância. Evidentemente, com este enfoque, 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 especial quando da implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

Contudo, para a modelagem computacional da qualidade da água do rio e para a sua recuperação, é necessário o conhecimento das fontes de poluição e seus pontos de lançamento nos corpos d'água. Nesse contexto, conhecendo-se as formas de interação existentes entre os processos que ocorrem na bacia, com os processos físico-químicos que ocorrem nos rios, com a modelagem de determinados parâmetros de qualidade de água pode-se estimar o limite aceitável de autodepuração desses rios em função do uso a que eles se destinam.

Assim, a principal contribuição deste artigo é o de promover a avaliação da qualidade da água – situação atual - em termos de OD e DBO, para a Bacia do Alto Iguaçu, através da modelagem matemática da qualidade da água e fundamentada em estudo de hierarquização de cargas com a espacialização das principais características. Este estudo também avaliou o prognóstico da qualidade da água num horizonte de 10 e 20 anos, para 6 cenários de vazão e identificação de curvas de permanência de OD e DBO para 6 pontos de monitoramento ao longo do Rio Iguaçu. Esta abordagem, embora simplista, não foi explorada na literatura até a presente data, assumindo portanto uma proposta de análise original.

2 A BACIA DO ALTO IGUAÇU

O estudo de caso desenvolveu-se a partir da dinâmica da realidade de uso e ocupação do solo na bacia do Alto Iguaçu, na Região Metropolitana de Curitiba. A bacia do Alto Iguaçu tem suas nascentes junto a Serra do Mar, cujo rio principal, estende-se por aproximadamente 90 km, até o limite da Região Metropolitana de Curitiba com uma área de drenagem de cerca de 2.800 km². A população pertencente à bacia é de aproximadamente 3 milhões de habitantes distribuídos em 14 municípios. A bacia em estudo concentra cerca de 25% da população total e 30% da população urbana do estado, com baixos índices de atendimento e tratamento de esgoto.

A bacia contemplada é uma região altamente urbanizada e vem passando por um processo de ocupação irregular de várzeas e áreas de mananciais, em especial na margem direita do Rio Iguaçu. Como conseqüência deste processo, têm sido constatados problemas acerca dos sistemas de

abastecimento de água, do tratamento de esgotos sanitários e dos sistemas de drenagem urbana, os quais não acompanham o crescimento das cidades, afetando negativamente o meio ambiente e a qualidade de vida das pessoas.

Foram estudados 86 km do rio Iguaçu, desde a sua nascente na junção dos rios Iraí e Palmital, até a foz do rio Verde, incluindo 26 afluentes principais do rio Iguaçu, sendo eles: Atuba, Belém, Barigüi, Cambuí, Canal Paralelo, Cotia, Despique, Divisa, Faxinal, Iraí, Iraizinho, Isabel Alves, Itaqui, Mascate, Maurício, Miringuava, Miringuava Mirim, Padilha, Palmital, Passaúna, Pequeno, Pianduva, Piraquara, Ressaca, Rio das Onças e Verde.

2.1 Aspectos físicos

A área contemplada no estudo, em especial o trecho atravessado pelos rios Iraí e Iguaçu, na região metropolitana de Curitiba, é uma região predominantemente plana, apresentando uma grande extensão de várzeas naturais em ambas as margens, configurando planícies de inundação bem definidas. Segundo BIZZONI (2000), estas várzeas são locais com solos permanentemente úmidos, com o nível do lençol freático próximo da superfície do terreno, em grande parte coberto por vegetação rasteira típica. Há também uma intensa atividade de extração de areia nas cavas existentes nas áreas mais planas dessas várzeas inundáveis.

Cada uma das sub-bacias simuladas foi caracterizada quanto aos aspectos físicos. Um esquema detalhado é apresentado na Tabela 2, com referência à área de drenagem, extensão do curso d'água principal, divisão de áreas incrementais (tramos), população e níveis de atendimento de esgoto, uso predominante do solo, presença de indústrias e estações de tratamento de esgoto e os municípios cuja bacia está inserida.

2.2 Aspectos demográficos e sistema de esgoto existente

A região da Bacia do Alto Iguaçu é uma região altamente urbanizada, com cerca de 92% da população total caracterizada como urbana. Com relação à demografia da área de estudo, a população total, em 1991, era de quase 1,9 milhões de habitantes, passando para 2,3 milhões de habitantes na contagem realizada pelo IBGE em 1996 (SUDERHSA, 2000). No período entre o censo de 1991 e a contagem de 1996, tanto a população total como a urbana dos municípios da bacia do Alto Iguaçu cresceram à taxa anual de 3,50%, superior à de toda a Região Metropolitana de Curitiba. Esses dados, apresentados pelo Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000), foram atualizados com dados obtidos na COMEC, Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, para o novo censo realizado no ano de 2000, resultando num total de cerca de 3 milhões de habitantes. Os municípios englobados pela Bacia do Alto Iguaçu são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Código dos municípios localizados na Bacia do Alto Iguaçu.

<i>Município</i>	<i>Código município</i>	<i>Município</i>	<i>Código município</i>
Almirante Tamandaré	1	Curitiba	8
Araucária	2	Fazenda Rio Grande	9
Campina Grande do Sul	3	Mandirituba	10
Campo Largo	4	Pinhais	11
Campo Magro	5	Piraquara	12
Colombo	6	Quatro Barras	13
Contenda	7	São José dos Pinhais	14

Nas últimas décadas observou-se uma intensificação da tendência de expansão da malha urbana de Curitiba em direção aos municípios limítrofes, como Fazenda Rio Grande, São José dos Pinhais, Colombo, Almirante Tamandaré, Colombo e Araucária, com a ampliação e o adensamento da urbanização então existente, tendendo a integrar as diversas sedes municipais. Com os dados populacionais por município, foi estimada a população de cada sub-bacia contemplada na área de estudo. A proporção do número de habitantes por sub-bacia, com as respectivas taxas de atendimento e tratamento de esgoto, foi mantida a mesma estimada pelo Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000), que fez essa distribuição com o auxílio de mapas de densidade populacional e levantamentos de campo. Esses dados foram atualizados pelo Projeto Bacias Críticas (PORTO et al., 2006), sendo apresentados na Tabela nº 2.

2.3 Atividade Industrial

De acordo com o Cadastro de Usuários, realizado pelo Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000), das indústrias cadastradas, 49 contribuem com cerca de 95% da carga de DBO de origem industrial lançada nos rios, solo ou rede de esgoto da bacia do Alto Iguaçu, correspondendo a 57 t DBO/mês, ou o equivalente a uma população de pouco mais de 35.000 habitantes. Em termos de proporcionalidade, a contribuição industrial de dois meses equivale ao esgoto doméstico bruto de um dia da população da bacia do Alto Iguaçu, cabendo, por conseguinte, à população, a grande parcela da poluição existente. Ainda segundo levantamento realizado pela SUDERHSA (2000), as indústrias apresentam um consumo total de cerca de 850 l/s, sendo 16,5% proveniente de abastecimento público (SANEPAR), 67% de mananciais superficiais e 16,5% de mananciais subterrâneos.

A maior parte das indústrias cadastradas está localizada nas bacias dos rios Barigüi, Belém, Padilha, Passaúna e Atuba. De acordo com SUDERHSA (2000), as cinco indústrias mais poluidoras em termos de DBO são: Cocelpa: 17 t/mês, localizada na bacia do Rio Barigüi; Companhia Estearina Paranaense: 7 t/mês, na bacia do Rio Barigüi; Iguaçu Celulose Papel: 3 t/mês, na bacia do Belém; Emílio Romani: 3 t/mês, na bacia do Rio Belém; Novo Nordisk Bioindustrial: 2 t/mês, localizada na bacia do Rio Barigüi.

Tabela 2: Características principais dos afluentes e o trecho do Rio Iguaçu na região metropolitana de Curitiba, Bacia do Alto Iguaçu.

Bacia	Características físicas			População – ano 2005					Uso predominante do solo					ETEs existentes ⁽¹⁾			Indústrias	Municípios
	Extensão	Área (km ²)	Nº de trechos	Total	% sem coleta	% com coleta	% com coleta e sem trat.	% com coleta e com trat.	Agrícola	Floresta / pântano	Urbano residencial	Urbano de alta densidade	Improdutivo	Vazão (L/s)	DBO (kg/dia)	Eficiência (%)	Carga (kg DBO/dia)	Código ⁽²⁾
Atuba	25	136,40	11	450.468	41	59	12	47	●			■ ▼		720,2	14.149,08	77	2139,65	1, 6, 8, 11
Barigüi	67	267,35	26	589.130	49	51	23	28	●			■ ▼					7146,90	1, 2, 6, 8
Belém	22	101,45	06	674.491	45	55	12	43				● ■ ▼		823,23	15.759,25	97	49,05	8
Cambuí	9	33,70	03	78.000	20	80	16	64			● ■ ▼			122,55	2.265,41	82	0	4
Canal Paralelo	17	15,00	04	47.192	71	29	2	27	●		■ ▼						120,56	8,14
Cotia	28	152,50	10	3.581	100	0	0	0	● ■ ▼								0	14
Despique	27	71,43	05	1.642	100	0	0	0	● ■ ▼								0	9, 14
Divisa	10	20,47	05	43.654	100	0	0	0	●		■ ▼						0	9
Faxinal	17	60,10	09	1.233	100	0	0	0	● ■ ▼								0	2
Iguaçu	86 ⁽⁴⁾	371,03	31	250.532	47	53	24	30	▼		■	●		165,0	1.236,49	68	15,38 ⁽³⁾	2,8,9
Iraí	21	153,40	07	36.827	68	32	2	30	● ■ ▼					30,0	63,40	71	31,07	3,6,11,13
Iraizinho	19	52,80	03	58.231	73	27	2	25	● ■		▼			60,0	897,59	62	0	12
Isabel Alves	15	64,23	08	5.988	100	0	0	0	● ■ ▼	■							0	2, 7
Itaqui	31	46,96	09	34.504	60	40	3	38	■ ▼	●				23,71	419,26	99	5,50	14
Mascate	15	28,00	07	38.788	100	0	0	0	● ■ ▼		▼						0	9
Maurício	32	138,30	08	8.374	94	6	0	6	● ■ ▼					1,25	22,9	67	0	9, 10
Miringuava	36	162,90	08	18.426	100	0	0	0	● ■ ▼								501,49	14
Mirim	34	113,70	03	2.694	91	9	0	9	● ■ ▼					4,89	86,35	97	0	14
Onças	15	76,50	09	1.562	100	0	0	0	● ■ ▼								0	2, 7
Padilha	10	35,71	06	192.471	72	28	7	21				● ■ ▼		172,03	6.060,53	-	0	8
Palmital	21	95,27	06	184.345	79	21	1	20	● ■			▼					0	6, 11
Passaúna	53	217,40	09	151.547	75	25	2	24	● ■		▼						10,67	2, 4, 5, 8
Pequeno	60	137,70	13	102.567	88	12	4	8	■ ▼	●	▼		3,43	60,48	33	0	14	
Pianduva	14	30,80	05	715	100	0	0	0	● ▼	■							0	2, 7
Piraquara	34	102,20	06	0	-	-	-	-	■ ▼	●							0	12
Ressaca	08	15,17	02	76.652	88	12	5	7			● ■ ▼		1,23	29,81	80	2,53	14	
Verde	23	173,03	04	12.842	32	68	14	55	● ■ ▼								0	2,4,5
Total	-	2873,50	-	3.039.456	56	44	12	32	-	-	-	-	-	-	-	-	10022,8	-

Nota: ● – Nascente, ■ – Trecho intermediário, ▼ – Foz.; (1) Vazão e carga bruta total resultante e eficiência média; (2) Códigos dos municípios apresentados na Tabela nº1; (3) Apenas indústrias localizadas nas áreas de contribuição do Rio Iguaçu; (4) Distância da junção dos rios Iraí e Palmital até a foz do rio Verde.

3 SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

No presente estudo, optou-se por simular a concentração de dois constituintes, OD e DBO. A escolha destes constituintes baseou-se na existência de dados já coletados na bacia em estudo e na possibilidade de medição destes parâmetros durante o monitoramento de campo. A simulação do OD e da DBO também permite uma boa representação da situação em que se encontram os corpos hídricos e são referenciadas na Resolução 357/05 do CONAMA.

O modelo de qualidade de água utilizado nas simulações, QUAL2E, inclui a degradação do material orgânico, o crescimento e respiração de algas, a nitrificação, a hidrólise do fósforo e nitrogênio orgânico, a reaeração, a sedimentação das algas e compostos orgânicos de nitrogênio e fósforo, a demanda de oxigênio do sedimento, a liberação do nitrogênio e fósforo do sedimento (GASTALDINI et al., 2002). Este modelo foi escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa por este já ter sido amplamente utilizado no Brasil, e por já ter sido anteriormente utilizado de forma satisfatória em simulações na Bacia do Alto Iguaçu, conforme BIZZONI (2000), PORTO et al (2006) e KNAPIK et al. (2006).

3.1 Diagnóstico da qualidade da água

O diagnóstico da qualidade da água foi realizado com auxílio de matrizes de fontes de poluição, que contemplam uma grande quantidade de informação das bacias em estudo. As matrizes de fontes de poluição elaboradas para esse estudo caracterizam-se por estarem divididas em quatro grandes grupos de dados: caracterização da bacia, cenário de vazões, cenário de cargas, e dados de entrada no modelo. Os dados foram obtidos das matrizes de fontes de poluição definidas no Projeto Alto Iguaçu (FERNANDES et al., 2003), baseadas no Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu (SUDERHSA, 2000), atualizadas e adequadas às simplificações estruturais existentes do modelo QUAL2E pelo Projeto “Bacias Críticas: Bases Técnicas para a definição de Metas Progressivas para seu Enquadramento e a Integração com os demais Instrumentos de Gestão” (PORTO et al., 2006).

Cada bacia analisada foi subdividida em tramos, correspondentes às áreas de contribuição existentes. Para cada rio foi elaborado um diagrama topológico contendo extensão, divisão por tramos, pontos de captação e efluentes industriais e afluentes, conforme PORTO et al. (2006), apresentados no presente trabalho segmentados em sete trechos.

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, entre outros usos. Para simulação da carga difusa foram utilizados a área de drenagem de cada sub-bacia e coeficientes sugeridos em literatura quanto ao uso de solo da respectiva área. A carga pontual foi estimada tanto para captações e efluentes industriais e para efluentes provenientes de esgoto

doméstico. No caso do esgoto doméstico, foi utilizada a metodologia apresentada por SPERLING (1996), sendo linearmente distribuído ao longo de cada tramo com presença de população sem coleta e tratamento de esgoto. Foram realizadas simulações para os 26 afluentes principais, sendo estes posteriormente lançados como fontes pontuais na simulação do rio Iguaçu, com os respectivos valores finais de vazão, concentração de DBO e OD.

3.2 Calibração do modelo de qualidade da água

O modelo QUAL2E foi calibrado de acordo com metodologia proposta por PORTO et al. (2006). Para os rios Iraí e Iguaçu, a calibração consistiu em ajustar um cenário de vazão o mais próximo possível da mediana dos dados observados em campo, e a partir da simulação desse cenário, foram ajustados os parâmetros intrínsecos ao balanço de massa para a DBO e para o OD. A comparação das curvas simuladas com os dados de campo foi realizada através das estruturas tipo *Box plots*, obtidas com análise estatística dos dados de monitoramento, realizado no período de junho/2005 a julho/2006, em 6 pontos de monitoramento localizados ao longo do rio Iguaçu. Para os demais afluentes, como não se tinha uma base de dados conjunta de qualidade e quantidade, os parâmetros foram adotados com base em literatura, calibrando para a pior situação possível de poluição. O parâmetro de desoxigenação, K_1 , adotado para a simulação dos afluentes foi de $0,1 \text{ dia}^{-1}$ (SPERLING, 1996), o que corresponde a menor decomposição da matéria orgânica. Para o parâmetro de reaeração, K_2 , foram realizadas rotinas de cálculo para verificação das equações que se ajustavam ao perfil de velocidade, declividade e profundidade, no cenário de vazão $Q_{95\%}$. A equação que se enquadrou para todos os rios foi a de Thackston & Krenkell (BROWN e BARNWELL, 1987). Com relação aos parâmetros K_3 e K_4 , foram adotados os valores de $1,2 \text{ dia}^{-1}$ e $0,5 \text{ gO}_2/\text{m}^2\text{dia}$, respectivamente (PORTO et al., 2006). Maiores detalhes a respeito da calibração podem ser encontrados em KNAPIK et al. (2006).

3.3 Prognóstico da qualidade da água

Para o horizonte de estudo, as matrizes de fontes de poluição foram alteradas quando às cargas industriais, para os anos de 2010, 2015, 2020 e 2025, aqui apresentados os resultados para os anos de 2015 e 2025. O crescimento industrial foi estimado com base nas áreas potenciais de desenvolvimento de atividades industriais disponíveis para a Bacia do Alto Iguaçu, definidas pelo Plano de Despoluição Hídrica (SUDERHSA, 2000). Foram identificadas 12 áreas potenciais industriais, localizadas nos municípios de Almirante Tamandaré, Campo Largo, Araucária, Curitiba, São José dos Pinhais, Fazenda Rio Grande e Mandirituba. As áreas potenciais industriais dos municípios foram extrapoladas para as respectivas bacias hidrográficas, e criadas posteriormente indústrias hipotéticas, com a vazão efluente e a carga de DBO calculadas com base no incremento quinquenal, permanecendo constante a concentração efluente, de 59 mg/L .

Computacionalmente, as indústrias hipotéticas foram criadas em elementos computacionais localizados no meio de cada tramo, respeitando as áreas incrementais e as áreas potenciais de cada bacia.

Quanto ao sistema de atendimento e tratamento de esgoto, foi considerado um crescimento tanto da coleta, quanto do tratamento, na mesma taxa de crescimento populacional. Nesse estudo não estão sendo quantificados os respectivos custos, estes abordados em pesquisas paralelas do mesmo projeto de pesquisa (PORTO et al., 2006), apenas sendo acompanhada a possibilidade de aumento da capacidade de cada ETE com base nas dimensões do projeto construtivo de cada uma.

Em relação aos cenários de vazão, não foram consideradas alterações nas vazões naturais de cada afluente. Os parâmetros de calibração obtidos para o ano de 2005 (mediante monitoramento de campo realizado de 2005 a 2006), foram utilizados para todos os anos e vazões simulados.

3.4 Hierarquização de cargas

Com a finalidade de obter uma visão espacial do rio Iguaçu e de seus afluentes e de mostrar as cargas de DBO calculadas para cada um destes rios foram desenvolvidos diagramas topológicos. Em cada diagrama é representado um dos seis pontos de monitoramento localizados nos rios Iraí e Iguaçu e sua respectiva carga de DBO total, subdividida quanto à origem: difusa, pontual-doméstica e pontual-industrial para os anos 2005, 2015 e 2025. A área imediatamente a montante de cada ponto também é indicada, bem como as cargas de cada afluente do rio Iguaçu. As seções de controle de cada afluente, segundo classificação do Plano de Despoluição Hídrica (SUDERHSA, 2000), e as estações de tratamento implantadas ao longo da bacia do Alto Iguaçu também são apresentadas.

Através da associação das cargas de DBO com os diagramas topológicos têm-se visualmente uma caracterização quantitativa da qualidade da água ao longo da Bacia do Alto Iguaçu. Sabe-se, por exemplo, qual a maior fonte de carga em cada afluente e onde ocorre o lançamento desta carga no rio Iguaçu. Paralelamente aos diagramas topológicos foram elaboradas tabelas com as hierarquias de cargas de DBO dos pontos de monitoramento e das seções de controle dos afluentes. Nestas tabelas os rios foram divididos em: grandes poluidores (cargas DBO maiores que 10.000 kg/dia), médios (cargas DBO entre 4.000 e 10.000 kg/dia) e, pequenos poluidores (cargas DBO menores que 4.000 kg/dia).

4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Para a avaliação da qualidade da água, os diagramas de hierarquização de cargas foram organizados conjuntamente com os gráficos de simulação de qualidade da água (concentração de DBO) dos afluentes do rio Iguaçu, e os gráficos de permanência de DBO e OD para os pontos de monitoramento localizados imediatamente a jusante de cada trecho segmentado.

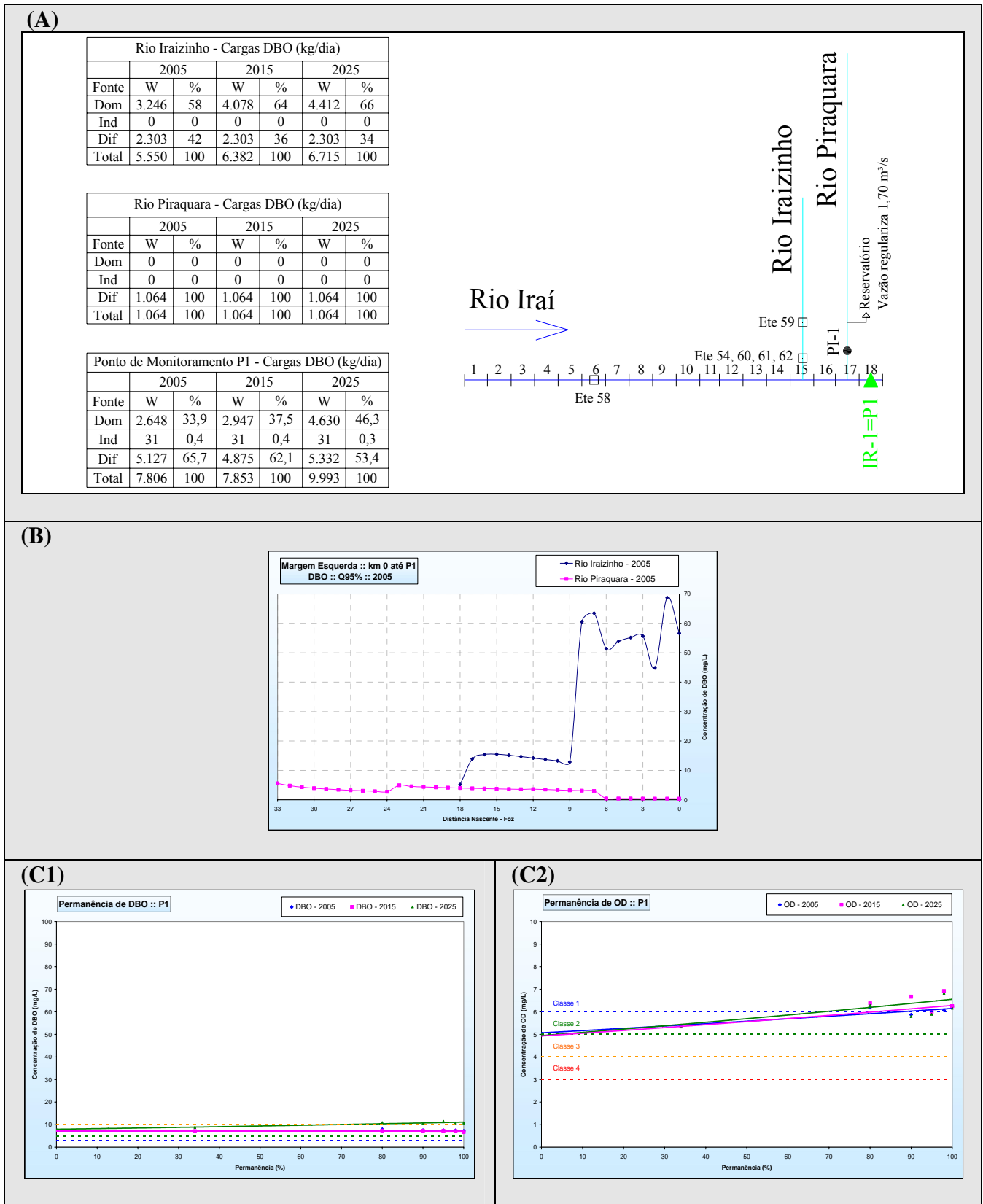


Figura 1: Diagrama topológico para o primeiro trecho, até o ponto de monitoramento P1, com tabelas de cargas de DBO para os anos de 2005, 2015 e 2025, calculadas imediatamente na foz do afluente (A); concentração de DBO para os afluentes localizados na margem esquerda do rio Iguazu (B); permanência de concentração de DBO (C1) e OD (C2), com ajuste exponencial realizado com base nos cenários de vazão simulados, para os anos de 2005, 2015 e 2025.

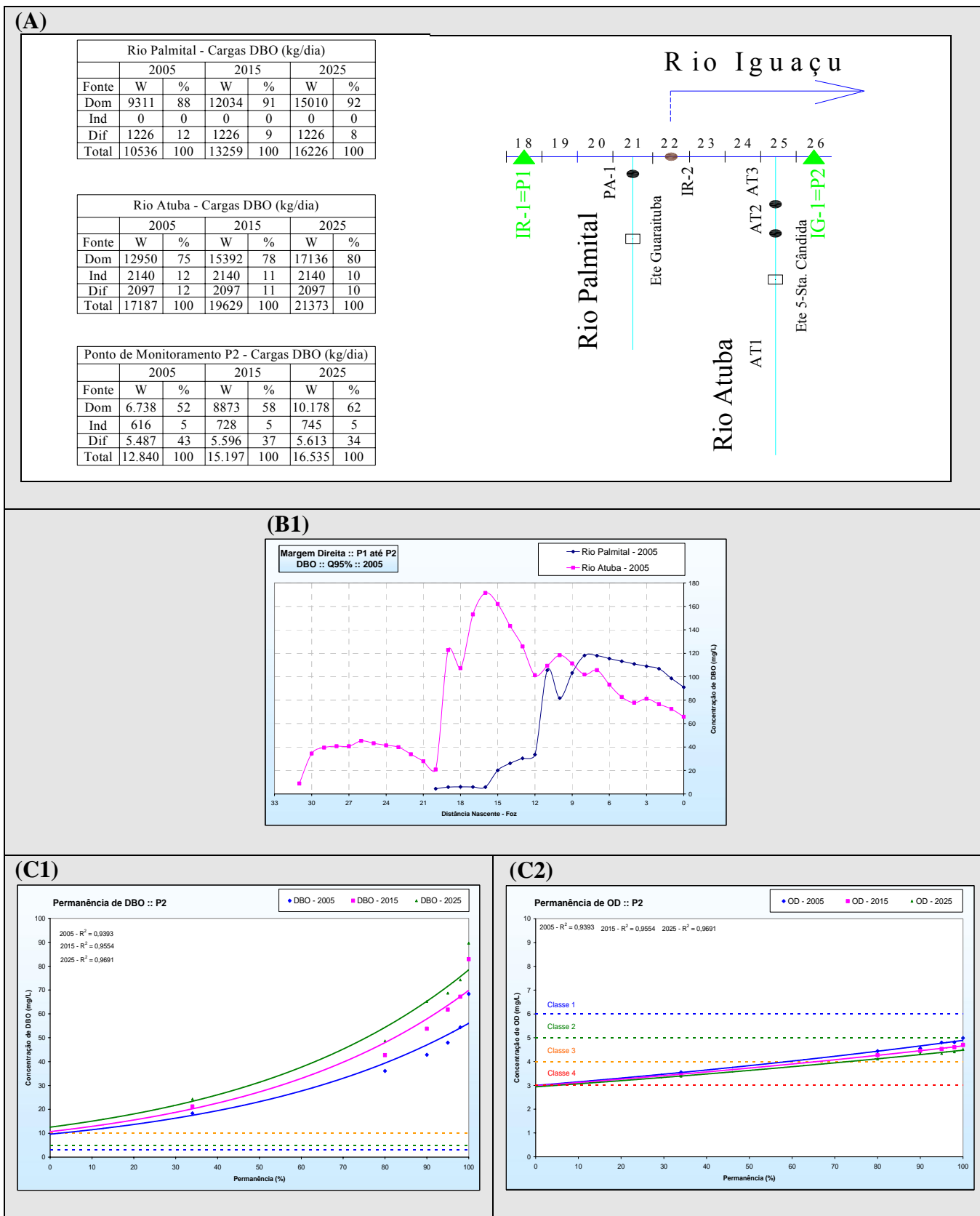


Figura 2: Diagrama topológico para o segundo trecho, P1 até P2, com tabelas de cargas de DBO para os anos de 2005, 2015 e 2025, calculadas imediatamente na foz do afluente (A); concentração de DBO para os afluentes localizados na margem direita do rio Iguaçú (B); permanência de concentração de DBO (C1) e OD (C2), com ajuste exponencial realizado com base nos cenários de vazão simulados, para os anos de 2005, 2015 e 2025.

(A)

Rio Belém - Cargas DBO (kg/dia)						
	2005		2015		2025	
Fonte	W	%	W	%	W	%
Dom	20.029	98,2	23.877	98,5	25.570	98,6
Ind	49	0,2	49	0,2	49	0,2
Dif	323	1,6	323	1,3	323	1,2
Total	20400	100	24.249	100	25.941	100

Rio Padilha - Cargas DBO (kg/dia)						
	2005		2015		2025	
Fonte	W	%	W	%	W	%
Dom	22.528	97	24.863	97	26.535	98
Ind	0	0	0	0	0	0
Dif	678	3	678	3	678	2
Total	23.206	100	25.541	100	27.213	100

Rio Miringuava - Cargas DBO (kg/dia)						
	2005		2015		2025	
Fonte	W	%	W	%	W	%
Dom	404	14	859	24	1.456	36
Ind	501	18	805	22	620	15
Dif	1.950	68	1.950	54	1.950	48
Total	2.856	100	3.614	100	4.026	100

Ponto de Monitoramento P3 - Cargas DBO (kg/dia)						
	2005		2015		2025	
Fonte	W	%	W	%	W	%
Dom	134	19	233	26	440	36
Ind	79	11	139	16	146	12
Dif	480	69	508	58	629	52
Total	693	100	879	100	1.215	100

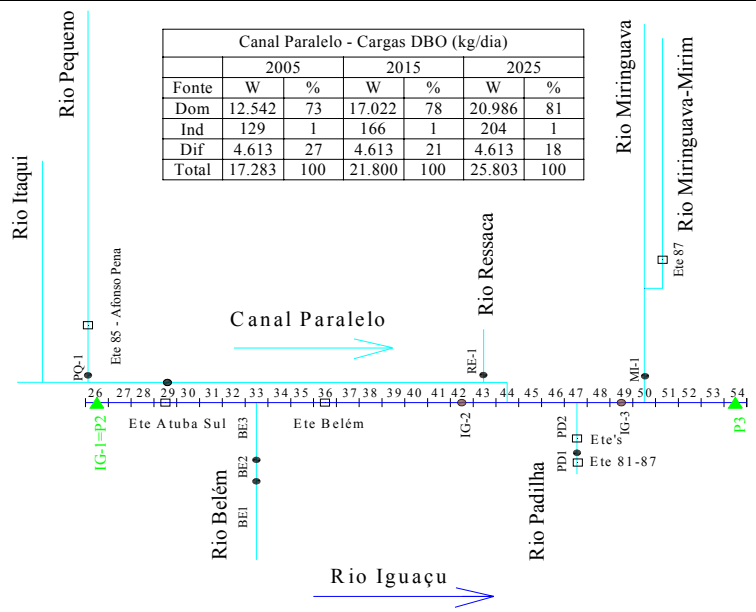
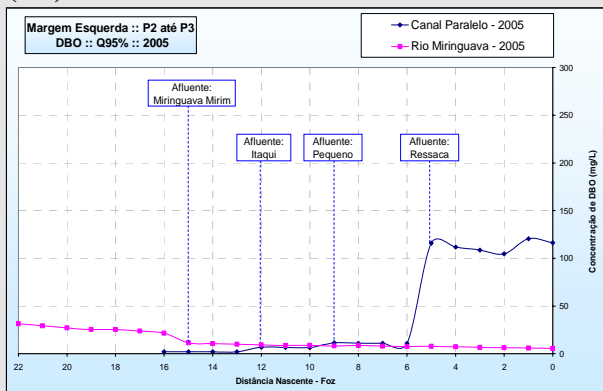
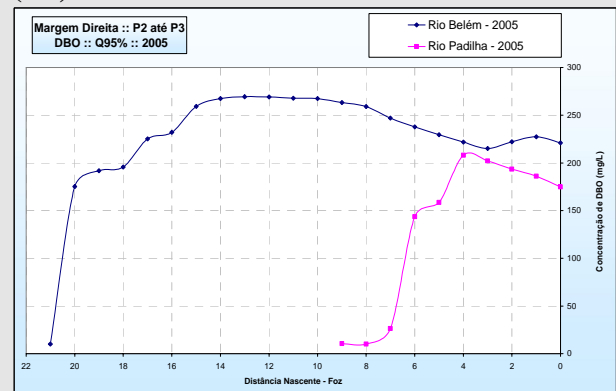
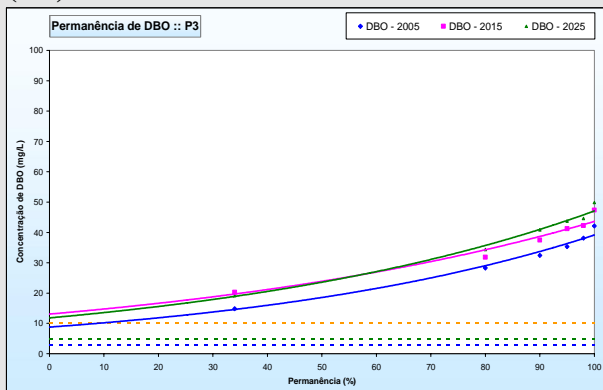
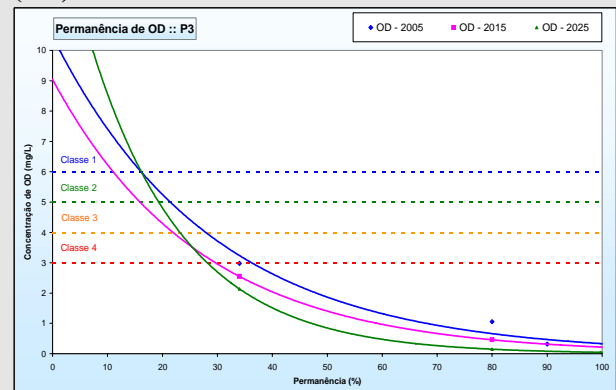
**(B1)****(B2)****(C1)****(C2)**

Figura 3: Diagrama topológico para o segundo trecho, P2 até P3, com tabelas de cargas de DBO para os anos de 2005, 2015 e 2025, calculadas imediatamente na foz do afluente (A); concentração de DBO para os afluentes localizados na margem esquerda do rio Iguaçu (B1) e margem direita (B2); permanência de concentração de DBO (C1) e OD (C2), com ajuste exponencial realizado com base nos cenários de vazão simulados, para os anos de 2005, 2015 e 2025.

(A)

Rio Cotia - Cargas DBO (kg/dia)						
Fonte	2005		2015		2025	
	W	%	W	%	W	%
Dom	193	12	314	18	387	21
Ind	0	0	1	0	9	0
Dif	1.435	88	1.435	82	1.435	78
Total	1.629	100	1.749	100	1.831	100

Rio Divisa - Cargas DBO (kg/dia)						
Fonte	2005		2015		2025	
	W	%	W	%	W	%
Dom	2.358	86	4.160	92	6.639	94
Ind	0	0	7	0	13	0
Dif	380	14	380	8	380	5
Total	2.737	100	4.546	100	7.032	100

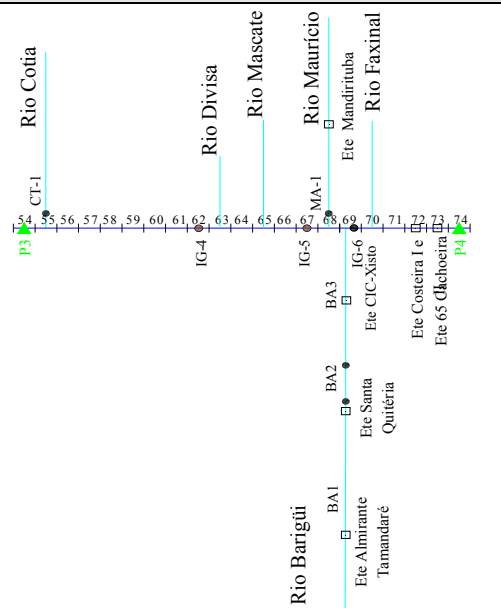
Rio Mascate - Cargas DBO (kg/dia)						
Fonte	2005		2015		2025	
	W	%	W	%	W	%
Dom	2.095	95	3.697	96	5.899	98
Ind	0	0	47	1	23	0
Dif	114	5	114	3	114	2
Total	2.209	100	3.857	100	6.037	100

Rio Mauricio - Cargas DBO (kg/dia)						
Fonte	2005		2015		2025	
	W	%	W	%	W	%
Dom	184	15	566	35	667	38
Ind	0	0	9	1	18	1
Dif	1.051	85	1.051	65	1.051	61
Total	1.235	100	1.626	100	1.736	100

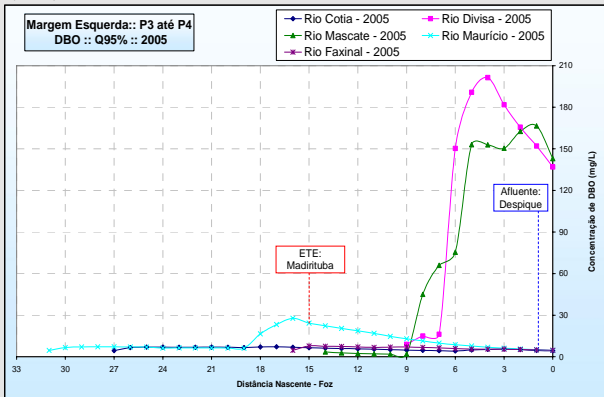
Rio Faxinal - Cargas DBO (kg/dia)						
Fonte	2005		2015		2025	
	W	%	W	%	W	%
Dom	67	10	76	11	84	12
Ind	0	0	0	0	0	0
Dif	618	90	618	89	618	88
Total	684	100	693	100	702	100

Rio Barigui - Cargas DBO (kg/dia)						
Fonte	2005		2015		2025	
	W	%	W	%	W	%
Dom	24.629	69	28.949	72	31.980	73
Ind	7.147	20	7.358	18	7.547	17
Dif	4.011	11	4.011	10	4.011	9
Total	35.787	100	40.319	100	43.538	100

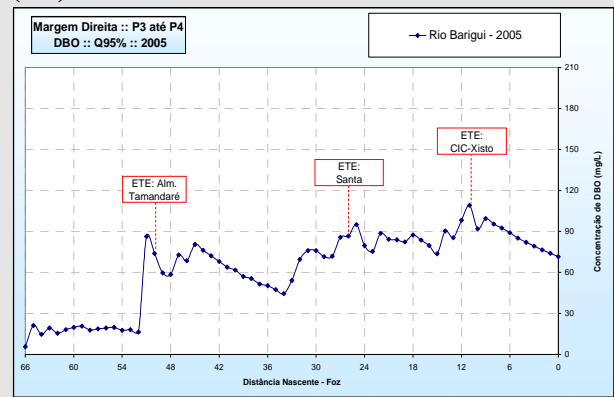
Ponto de Monitoramento P4 - Cargas DBO (kg/dia)						
Fonte	2005		2015		2025	
	W	%	W	%	W	%
Dom	1.218	27	1.473	31	1.220	27
Ind	0	0	0	0	0	0
Dif	3.303	73	3.304	69	3.303	73
Total	4.521	100	4.777	100	4.523	100



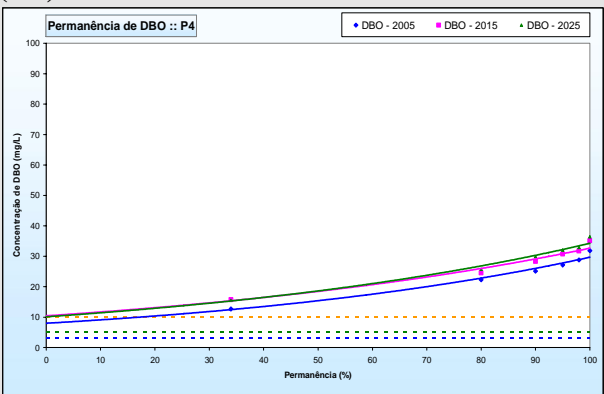
(B1)



(B2)



(C1)



(C2)

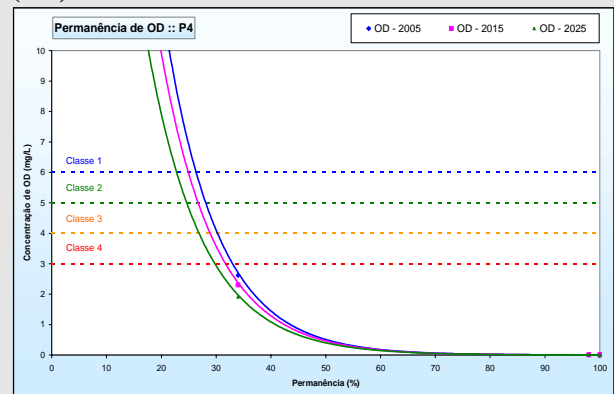


Figura 4: Diagrama topológico para o segundo trecho, P3 até P4, com tabelas de cargas de DBO para os anos de 2005, 2015 e 2025, calculadas imediatamente na foz do afluente (A); concentração de DBO para os afluentes localizados na margem esquerda do rio Iguazu (B1) e margem direita (B2); permanência de concentração de DBO (C1) e OD (C2), com ajuste exponencial realizado com base nos cenários de vazão simulados, para os anos de 2005, 2015 e 2025.

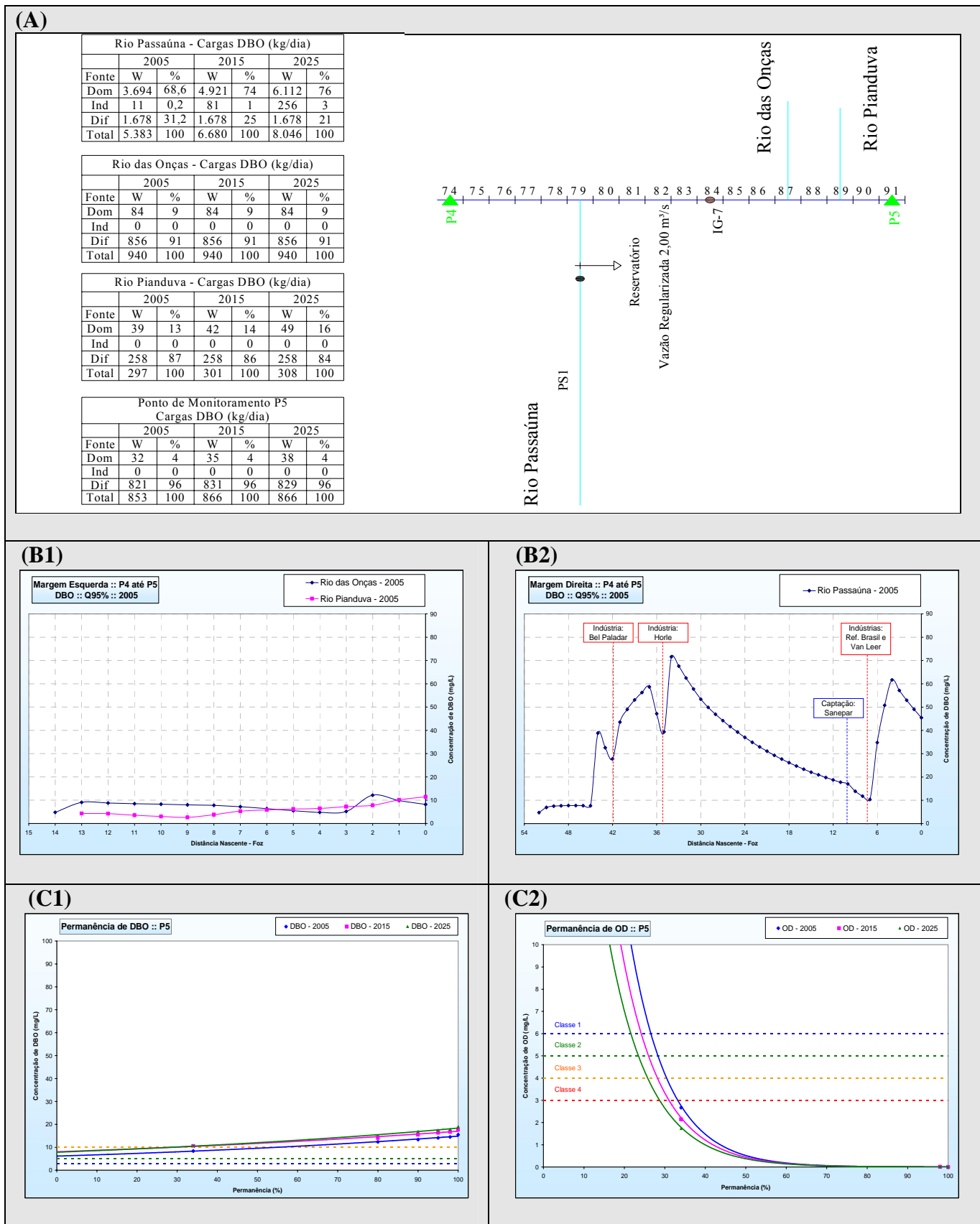


Figura 5: Diagrama topológico para o quinto trecho, P4 até P5, com tabelas de cargas de DBO para os anos de 2005, 2015 e 2025, calculadas imediatamente na foz do afluente (A); concentração de DBO para os afluentes localizados na margem esquerda do rio Iguaçu (B1) e margem direita (B2); permanência de concentração de DBO (C1) e OD (C2), com ajuste exponencial realizado com base nos cenários de vazão simulados, para os anos de 2005, 2015 e 2025.

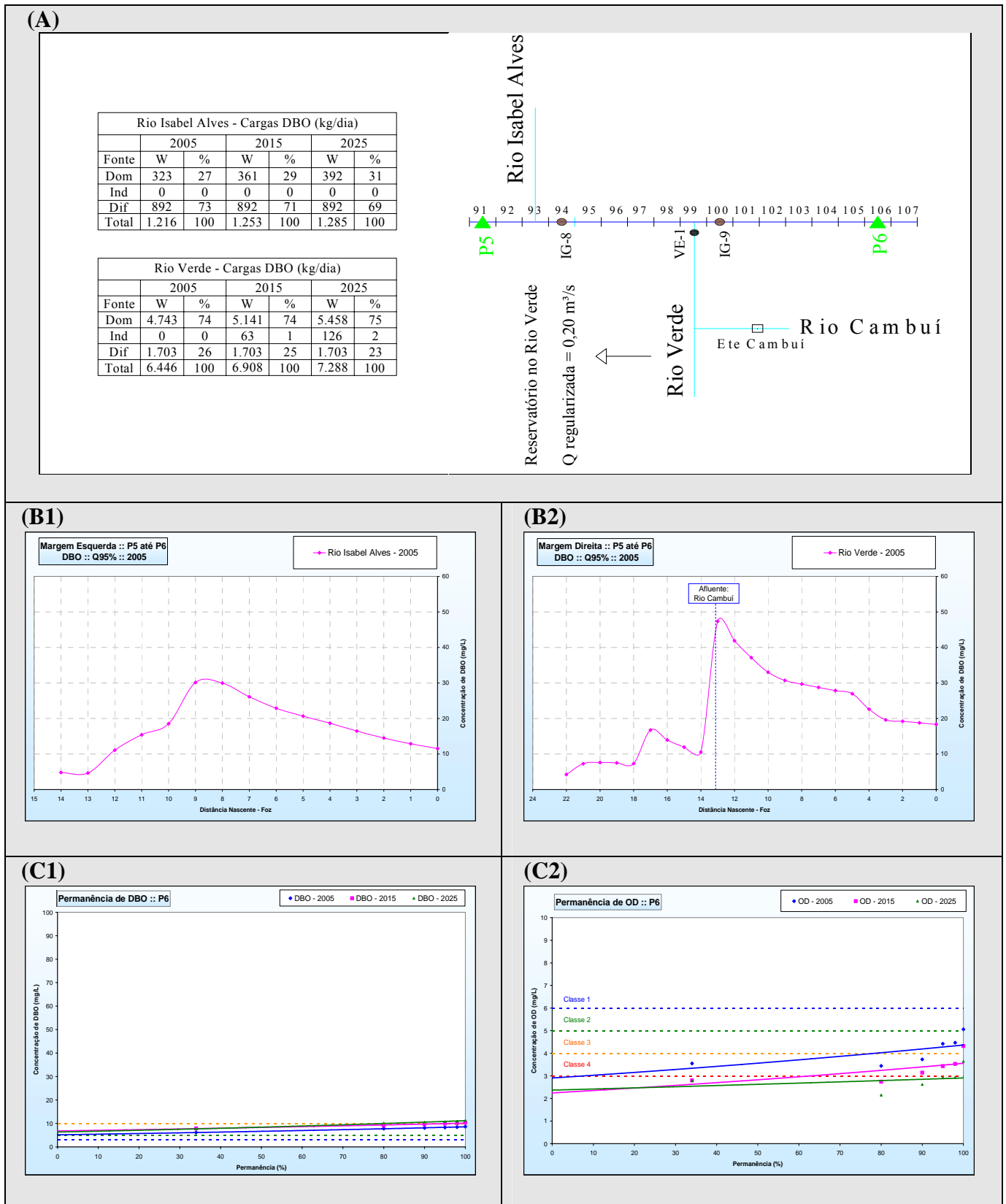


Figura 6: Diagrama topológico para o último trecho, P5 até P6, com tabelas de cargas de DBO para os anos de 2005, 2015 e 2025, calculadas imediatamente na foz do afluente (A); concentração de DBO para os afluentes localizados na margem esquerda do rio Iguaçu (B1) e margem direita (B2); permanência de concentração de DBO (C1) e OD (C2), com ajuste exponencial realizado com base nos cenários de vazão simulados, para os anos de 2005, 2015 e 2025.

Com base nos diagramas de carga e de usos dos recursos hídricos, bem como das simulações de qualidade da água, pode-se avaliar os diferentes graus de poluição hídrica, em termos de lançamento de DBO. Essa avaliação resultou na hierarquização da Bacia do Alto Iguaçu em três grandes blocos de bacias hidrográficas em função do volume de carga de DBO remanescente que é lançado no corpo hídrico pelo conjunto de usuários situados nos diferentes trechos da bacia. Os blocos foram denominados por: grande poluidor, médio poluidor e pequeno poluidor, apresentados na Tabela 3 para os anos de 2005, 2015 e 2025.

Tabela 3: Hierarquização de cargas remanescentes de DBO para a Bacia do Alto Iguaçu.

	2005				2015				2025			
	Rio	Seção de Controle	Carga DBO (Kg/dia)	%	Rio	Seção de Controle	Carga DBO (Kg/dia)	%	Rio	Seção de Controle	Carga DBO (Kg/dia)	%
Grande Poluidor	Iguaçu	IG-2	52.585	19,55	Iguaçu	IG-2	62.922	20,05	Iguaçu	IG-2	70.915	20,09
	Padilha	PD2	21.115	7,85	Padilha	PD2	23.021	7,34	Padilha	PD2	24.488	6,94
	Barigui	BA3	16.825	6,26	Barigui	BA3	18.373	5,86	Barigui	BA3	19.520	5,53
	Barigui	BA1	15.029	5,59	Barigui	BA1	17.409	5,55	Barigui	BA1	19.042	5,39
	Iguaçu	IG-6	14.646	5,45	Iguaçu	IG-6	15.166	4,83	Iguaçu	IG-6	15.239	4,32
	Iguaçu	IG1-P2	12.840	4,77	Iguaçu	IG1-P2	15.197	4,84	Iguaçu	IG1-P2	16.535	4,68
	Atuba	AT1	12.530	4,66	Atuba	AT1	14.257	4,54	Atuba	AT1	15.489	4,39
	Iguaçu	IG-3*	11.811	4,39	Iguaçu	IG-3	13.956	4,44	Iguaçu	IG-3	15.714	4,45
	Palmital	PA1	10.536	3,92	Palmital	PA1	13.259	4,23	Palmital	PA1	16.236	4,60
Médio Poluidor	Canal Paralelo	IP1	10.116	3,76	Canal Paralelo	IP1	12.355	3,94	Canal Paralelo	IP1	14.414	4,08
	Belém	BE1	9.110	3,39	Belém	BE1	10.758	3,43	Belém	BE1	11.483	3,25
	Iraí	IR1-P1	7.806	2,90	Iraí	IR1-P1	7.853	2,50	Iraí	IR1-P1	9.993	2,83
	Pequeno	PQ1	7.134	2,65	Pequeno	PQ1	8.721	2,78	Pequeno	PQ1	10.255	2,91
	Belém	BE2	6.862	2,55	Belém	BE2	8.224	2,62	Belém	BE2	8.823	2,50
	Verde	VE1	6.446	2,40	Verde	VE1	6.908	2,20	Verde	VE1	7.288	2,06
	Iraí	IR-2	6.112	2,27	Iraí	IR-2	7.920	2,52	Iraí	IR-2	10.072	2,85
	Iguaçu	IG-4	4.788	1,78	Iguaçu	IG-4	5.101	1,63	Iguaçu	IG-4	5.390	1,53
	Ressaca	RE1	4.734	1,76	Ressaca	RE1	6.555	2,09	Ressaca	RE1	8.297	2,35
	Iguaçu	P4	4.521	1,68	Iguaçu	P4	4.777	1,52	Iguaçu	P4	4.523	1,28
Pequeno Poluidor	Belém	BE3	4.429	1,65	Belém	BE3	5.267	1,68	Belém	BE3	5.635	1,60
	Barigui	BA2	3.933	1,46	Barigui	BA2	4.537	1,45	Barigui	BA2	4.977	1,41
	Passaúna	PS1	3.879	1,44	Passaúna	PS1	4.825	1,54	Passaúna	PS1	5.851	1,66
	Iguaçu	IG-5	2.898	1,08	Iguaçu	IG-5	4.772	1,52	Iguaçu	IG-5	7.927	2,25
	Miranguava	M1	2.856	1,06	Miranguava	M1	3.614	1,15	Miranguava	M1	4.026	1,14
	Padilha	PD1	2.446	0,91	Padilha	PD1	2.446	0,78	Padilha	PD1	3.080	0,87
	Atuba	AT2	2.419	0,90	Atuba	AT2	2.757	0,88	Atuba	AT2	2.998	0,85
	Atuba	AT3	2.238	0,83	Atuba	AT3	2.616	0,83	Atuba	AT3	2.886	0,82
	Cotia	CT1	1.629	0,61	Cotia	CT1	1.749	0,56	Cotia	CT1	1.831	0,52
	Iguaçu	IG-9	1.412	0,52	Iguaçu	IG-9	1.980	0,63	Iguaçu	IG-9	2.394	0,68
	Maurício	MA1	1.235	0,46	Maurício	MA1	1.625	0,52	Maurício	MA1	1.736	0,49
	Iguaçu	IG-7	1.222	0,45	Iguaçu	IG-7	1.868	0,60	Iguaçu	IG-7	2.558	0,72
	Piraguera	PI1	1.064	0,40	Piraguera	PI1	1.064	0,34	Piraguera	PI1	1064,42	0,30
	Iguaçu	P5	863	0,32	Iguaçu	P5	866	0,28	Iguaçu	P5	866	0,25
	Iguaçu	P3	693	0,26	Iguaçu	P3	879	0,28	Iguaçu	P3	1.215	0,34
	Iguaçu	IG-8	218	0,08	Iguaçu	IG-8	216	0,07	Iguaçu	IG-8	230	0,07
	Iguaçu	P6	0	0,00	Iguaçu	P6	0	0,00	Iguaçu	P6	0	0,00
	SOMA		268.971	100,00	SOMA		313.795	100,00	SOMA		352.988	100,00

O perfil de DBO ao longo do rio Iguaçu, desde a nascente do rio Iraí, até a foz do rio Verde é apresentado nas Figuras 7 e 8, para as 6 vazões estudadas, com diagnóstico de 2005, e prognóstico para os anos de 2015 e 2025.

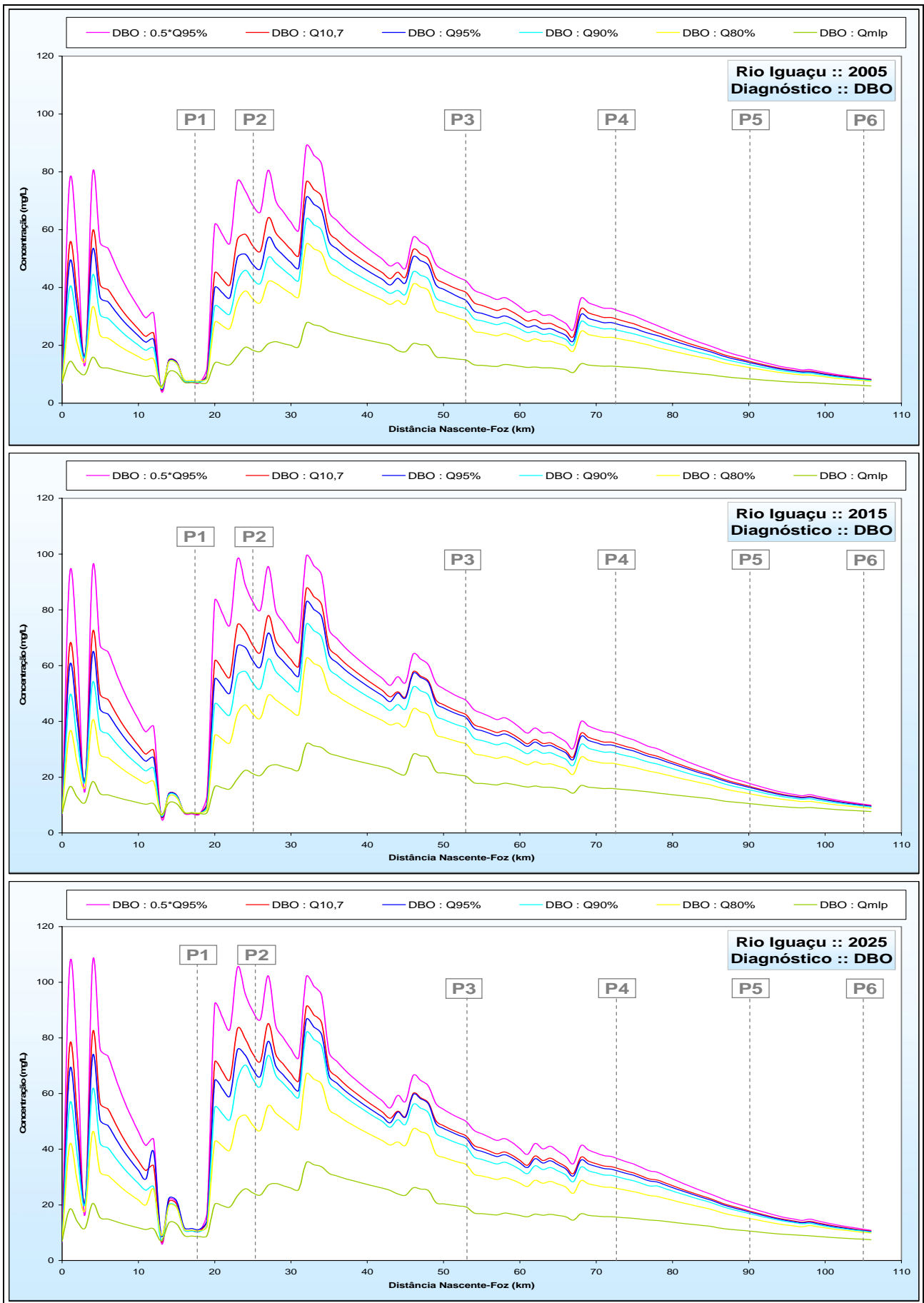


Figura 7: Perfil de concentração de DBO ao longo do Rio Iguaçu, para os anos de 2005, 2015 e 2025 e os seis cenários de vazão: 50%Q_{95%}, Q_{1-,7}, Q_{95%}, Q_{90%}, Q_{80%} e Q_{MLP}.

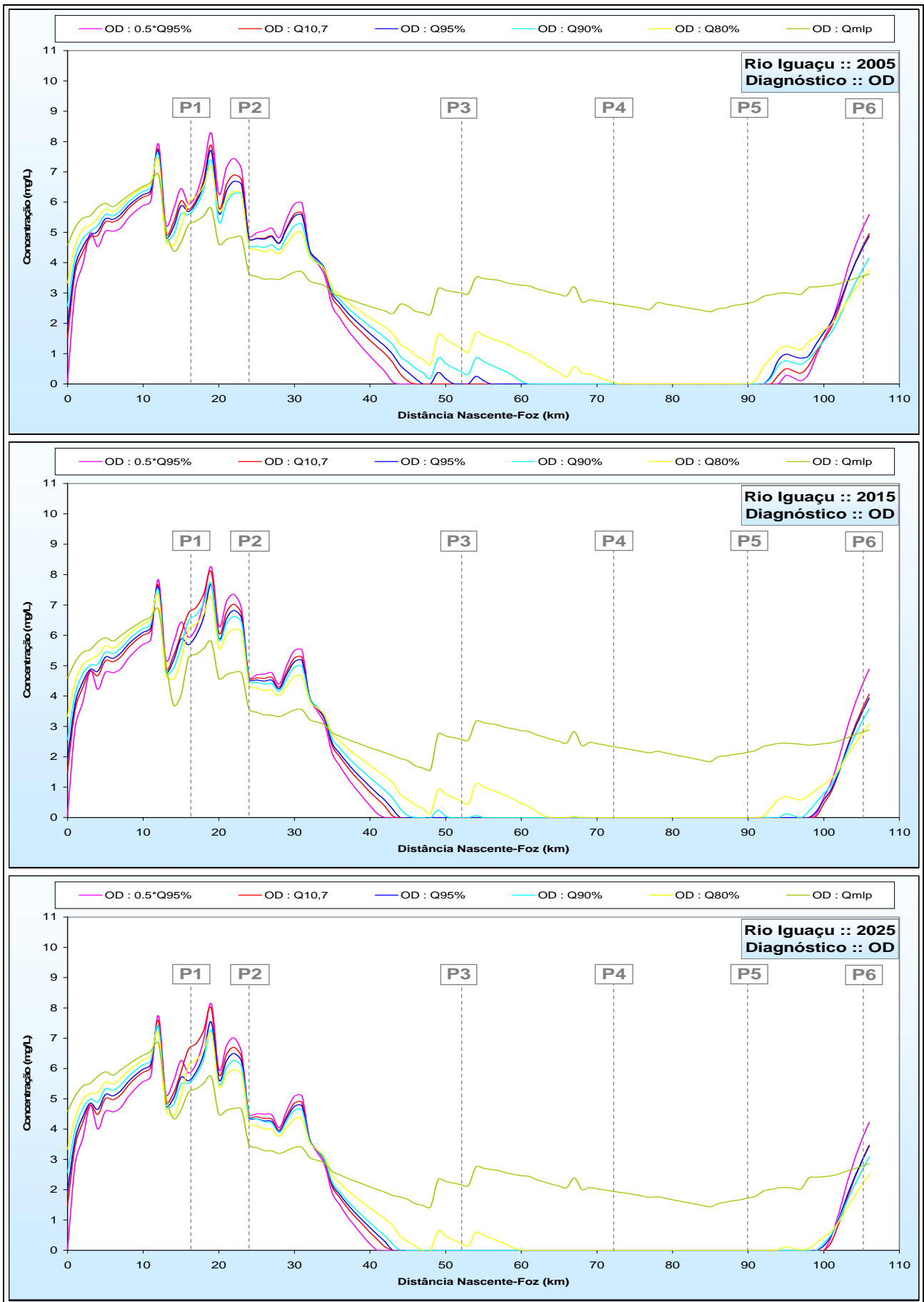


Figura 8: Perfil de concentração de OD ao longo do Rio Iguaçu, para os anos de 2005, 2015 e 2025 e os seis cenários de vazão: $50\%Q_{95\%}$, $Q_{1-,7}$, $Q_{95\%}$, $Q_{90\%}$, $Q_{80\%}$ e Q_{MLP} .

No trecho inicial (Figura 1), a contribuição de carga poluidora é oriunda do rio Iraizinho, tanto de fonte doméstica (58% em 2005), como de fonte difusa (42 % em 2005), com um baixo índice de tratamento de esgoto (25%), e com presença de área urbano residencial apenas na seção mais próxima da foz. Já o rio Piraquara pertence à área de manancial, não apresentando portanto cargas de origem doméstica e industrial. A concentração de DBO no ponto de monitoramento P1 se mantém predominantemente na classe 3, atingindo a classe 2 para OD em vazões de baixa permanência. O reflexo na qualidade da água no rio Iraí (Figuras 7 e 8), primeiros 21 km, se apresenta acentuado devido a simplificações do modelo de qualidade da água adotado, em especial no que concerne à representação hidráulica do reservatório do Rio Iraí.

Já o segundo trecho (Figura 2), nota-se nitidamente o grande aporte de carga poluidora devido principalmente aos rios Palmital e Atuba, afluentes da margem direita do rio Iguaçu, margem esta com alto grau de urbanização e baixos índices de atendimento de esgoto associada a grande densidade demográfica dos municípios banhados pelas bacias, entre eles Curitiba, Colombo e Pinhais, que somam juntos mais de 600 mil habitantes. No rio Iguaçu há um grande aumento do grau de poluição, atingindo picos de mais de 100 mg/L de DBO para vazões mais restritivas, com início de um acentuado decaimento da concentração de oxigênio dissolvido nos quilômetros a jusante do ponto P2. A concentração de DBO se mantém fora de classe para vazões de maiores permanências no ponto de monitoramento P2, perfil esse não acompanhado pela permanência da concentração de OD.

Entre os pontos de monitoramento P2 e P3 (Figura 3), há entrada de afluentes com baixa qualidade da água localizados tanto na margem direita do rio Iguaçu (rios Belém e Padilha), como na margem esquerda, como é o caso do rio Ressaca, cuja foz está localizada no Canal Paralelo, a jusante da captação de água pela Sanepar. Esse rio está passando por um forte processo de urbanização, principalmente na área sob influência do município de Fazenda Rio Grande, cujo crescimento demográfico previsto para os próximos anos é bastante acentuado. No rio Iguaçu as concentrações de DBO permanecem fora de classe para todas as vazões, o mesmo acontecendo para a concentração de OD, cuja melhora apenas é observada para vazões com permanência abaixo de 20%. Mesmo a entrada de dois afluentes de áreas de manancial, rios Itaqui e Pequeno, não são suficientes para amenizar o elevado grau de poluição desse trecho.

No trecho entre os pontos P3 e P4 (Figura 4), o maior aporte de carga doméstica e industrial é proveniente do rio Barigüi, que engloba grande parte da principal área industrial da cidade de Curitiba e Região Metropolitana. A qualidade da água observada no rio Iguaçu (Figura 7), já apresenta uma significativa melhora em termos de decaimento de DBO, devido principalmente a entrada de afluentes com menor aporte de matéria orgânica, como os rios Cotia, Maurício e Faxinal, cuja contribuição difusa é maior que a contribuição doméstica. Contudo, a concentração de OD permanece em valores nulos ou próximos de zero na maior parte do trecho e das vazões de

permanência, com uma piora gradativa nos anos de 2015 e 2025, indicando que o rio ainda não consegue depurar a matéria orgânica recebida quilômetros a montante.

A situação observada no quarto trecho também se repete entre os pontos P4 e P5 (Figura 5), contudo apresentando um decaimento mais acentuado da concentração de DBO, mas ainda sem elevar os níveis de OD (Figuras 7 e 8). Os rios afluentes desse trecho contribuem para uma melhor diluição da concentração de poluentes do rio Iguaçu, visto não apresentarem atividade industrial significativa, com predomínio de áreas agrícolas nas bacias dos rios Pianduva e Onças.

No trecho final, entre os pontos P5 e P6 (Figura 6), não há aportes significativos de matéria orgânica, e acrescido dos processos de diluição e autodepuração, já há uma melhora das condições de qualidade da água do rio Iguaçu (Figuras 7 e 8), com permanência na classe 3 para DBO na maior parte do tempo, e para OD no ano de 2005 para vazões com permanência maiores que 80%, com prognóstico de classe 4 para OD nos anos de 2015 e 2025.

5 CONCLUSÃO

As simulações para os ciclos de DBO e OD, bem como as variáveis analisadas durante o monitoramento, refletem bem a condição precária em que se encontram a maioria dos rios da Bacia do Alto Iguaçu. Esse resultado é devido, principalmente, às baixas taxas de atendimento de esgoto, que situam entre 0 a 64 %, em média. A carga remanescente nos primeiros 40 km a jusante da foz do Rio Iraí é decorrente de um total aproximado de 1,3 milhões de habitantes sem tratamento de esgoto. Os picos observados nesse trecho são justamente os afluentes com maiores índices de poluição, sendo os rios Palmital, Atuba, Belém, Padilha e Barigüi. Esses rios drenam a parte mais urbanizada de Curitiba e Região Metropolitana, com uma porcentagem de tratamento de esgoto entre 20 e 47 %.

Também é relevante observar o aumento do grau de poluição para vazões mais baixas, ou seja, aquelas cuja permanência em campo é maior. Ora, é justamente nas vazões $Q_{10.7}$, $Q_{95\%}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{80\%}$, que a concentração de DBO permanece fora de classe por um tempo de permanência maior. Essa situação é preocupante principalmente quando se fala em vazões de referência para o enquadramento dos corpos hídricos, de acordo com a Resolução CONAMA 357/05.

Finalmente, cabe destacar que a combinação das simulações com a estratégia de análise com base na matriz de hierarquização de cargas permite uma evidente aperfeiçoamento da análise do diagnóstico de uma bacia hidrográfica, neste caso especial, com significativos aportes de matéria orgânica.

AGRADECIMENTOS

Este artigo não seria possível sem o apoio financeiro através do Edital HidroGRH01/2004 da FINEP/CNPq/CT-Hidro no projeto Bacias Críticas: Bases Técnicas para a Definição de Metas Progressivas para seu enquadramento e a integração com os demais instrumentos de Gestão. Este trabalho compila um conjunto de informações de campo do período 2005-2006. Luiz Carlos Barbosa e Cristiane do Rocio Antunes tiveram um papel significativo nas atividades de campo e de laboratório.

BIBLIOGRAFIA

BIZZONI, M. (2000). “*Análise e Modelagem Numérica da Qualidade da Água na Região do Alto Iguaçu*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 170 p

BROWN, L. C. & BARNWELL, T. O. Jr. (1987). “*The Enhanced Stream Water Quality Model QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Computer Program Documentation and User Manual*”. USEPA, Athens GA.

FERNANDES et. al.(2005)“*A Importância da Matriz de Fonte de Poluição na Implementação do Enquadramento com Metas Progressivas*” in Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, Nov. 2005.

GASTALDINI, M.C. C. et al (2002). “*Diagnóstico atual e previsão futura da qualidade das águas do rio Ibicuí utilizando o modelo QUAL2E*”. Engenharia Sanitária e Ambiental (Artigo Técnico), V. 7, nº 3, jul/set 2002, p. 129 – 138.

KNAPIK, H.G. et al (2006) “*Metodologia de calibração do modelo QUAL2E para a Bacia do Alto Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba*” in Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Curitiba, Agosto, 2006.

KNAPIK, H. G. & FERNANDES, C. V. S.(2006). “*Modelagem da Qualidade da Água da Bacia do Alto Iguaçu: Monitoramento e Calibração*”. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, 130 p.

PORTO, M. F. A. P. et al. (2006). “*Bacias Críticas: Bases Técnicas para a definição de Metas Progressivas para seu Enquadramento e a Integração com os demais Instrumentos de Gestão*”. Relatório Parcial de Avaliação nº 1 – FINEP. Curitiba, PR.

SUDERHSA (2000). “*Plano de Despoluição Hídrica da Bacia do Alto Iguaçu*”. Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba – Relatórios Finais. Curitiba – PR.