

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

RENA DOMINIKA SALZMANN

APLICAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA NA ANÁLISE DA QUALIDADE DA
ÁGUA: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO ALTO IGUAÇU

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

CURITIBA
2015

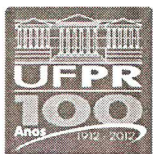
RENA DOMINIKA SALZMANN

APLICAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA NA ANÁLISE DA QUALIDADE DA
ÁGUA: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO ALTO IGUAÇU

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao curso de Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Ambiental. Orientador: Prof. Michael Mannich.

CURITIBA

2015



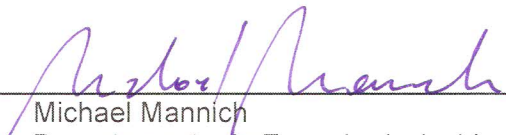
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

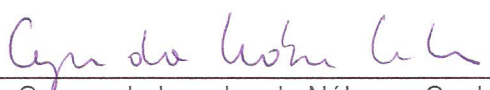
TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

RENA DOMINIKA SALZMANN

APLICAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA NA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO ALTO IGUAÇU

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 9,5, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a): 
Michael Mannich
Departamento de Engenharia Ambiental / UFPR

Membro(a) 1: 
Cynara de Lourdes da Nóbrega Cunha
Departamento de Engenharia Ambiental / UFPR

Membro(a) 2: 
Regina Tiemy Kishi
Departamento de Hidráulica e Saneamento / UFPR

Curitiba, 30 de novembro de 2015

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por todas as oportunidades que tem me proporcionado.

Ao meu Orientador, Prof. Michael Mannich, pelo acompanhamento, suporte, dedicação e paciência, não somente ao longo da elaboração do trabalho de conclusão de curso, mas também durante o período em que participei da iniciação científica.

Aos meus pais, Ingo e Gudula Salzmänn, e à minha irmã, Anke Salzmänn, que sempre me apoiaram e incentivaram durante toda a graduação, sem os quais nada disso seria possível.

Aos meus amigos, Carolina, Érika, Fabíola, Gabriele, Júlia, Melina, Muriel, Patrícia, Alexandre, Edson, Gabriel, João Pedro, Kaian, Leandro, Leon e Rodrigo, pela ajuda e apoio nos estudos, pelos momentos de descontração, pelas aventuras e por todas as risadas.

RESUMO

Uma maneira de avaliar a qualidade da água é através de curvas de permanência, que indicam a probabilidade de excedência de determinado parâmetro em relação a um valor referencial. Esta pesquisa analisa a qualidade ambiental do rio Iguaçu, na região da bacia do Alto Iguaçu, através de curvas de permanência de qualidade da água de cinco estações de monitoramento. Os parâmetros avaliados foram pH, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais (ST), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), fosfato total (PO_4^{-3}), nitrogênio total (NT) e coliformes fecais (CF). A partir das séries históricas desses parâmetros foram construídas curvas de permanência, *boxplots* e gráficos de evolução temporal, sendo a análise dos dados realizada com base na Resolução CONAMA Nº 357/2005. Dentre os parâmetros analisados, mostraram-se condizentes com a legislação pH, turbidez e ST, os dois últimos com probabilidades de excedência inferiores a 10% em todas as estações. Para condutividade elétrica, DBO, fosfato total, NT e CF os valores estão em desacordo com os limites legais na maior parte do tempo, sendo a situação mais insatisfatória verificada na estação localizada em Curitiba. No caso do OD, constatou-se probabilidades de excedência inferiores a 5% em todas as estações, exceto na região de cabeceira da bacia. A análise temporal em termos de carga mostrou que há déficit de OD e massas excedentes de DBO, fosfato total e NT nas cinco estações. Nas regiões densamente urbanizadas, as massas excedentes médias são de $4,6 \times 10^6$ kg DBO, $1,9 \times 10^5$ kg PO_4^{-3} e $2,9 \times 10^6$ kg NT em relação ao enquadramento. Em áreas rurais e agrícolas esses valores são menores, de aproximadamente $2,1 \times 10^6$ kg DBO, $1,1 \times 10^5$ kg PO_4^{-3} e $2,4 \times 10^6$ kg NT. A análise espacial indicou que a qualidade da água mais deteriorada ocorre nas áreas industriais e urbanas, sendo melhorada à medida que o rio Iguaçu se dirige para Balsa Nova, refletindo a capacidade de autodepuração do corpo hídrico e a menor incidência de despejos sanitários e industriais. Por fim, conclui-se que, apesar de curvas de permanência de qualidade da água apresentarem restrições, são ferramentas que podem eficientemente auxiliar o gerenciamento de recursos hídricos.

Palavras-chave: curvas de permanência; qualidade da água; rio Iguaçu; bacia do Alto Iguaçu.

ABSTRACT

One way to assess water quality is through duration curves that indicate the exceedance probability of a certain parameter in relation to a reference value. This study analyzes the environmental quality of the Iguaçu River, in the region of the Alto Iguaçu basin, through water quality duration curves of five monitoring stations. The evaluated parameters were pH, electrical conductivity, turbidity, total solids (TS), biochemical oxygen demand (BOD), dissolved oxygen (DO), total phosphate (PO_4^{-3}), total nitrogen (TN) and faecal coliforms (FC). From the historical series obtained for these parameters, duration curves, boxplots and temporal evolution graphs were built, being the data analysis performed based on CONAMA's Resolution Nº 357/2005. Among the analyzed parameters, pH, turbidity and TS proved to be consistent with the legislation, being the exceedance probabilities for the last two below 10% in all stations. The observed values for electrical conductivity, BOD, total phosphate, TN and FC exceed legal limits most of the time, being the worst situation identified in the station located in Curitiba. For DO exceedance probabilities were below 5% in all stations, except in headwater areas. The temporal analysis in terms of loads showed DO deficits and BOD, total phosphate and TN mass surpluses in all five monitoring stations. In densely urbanized regions, the average mass surpluses in relation to the limits imposed by law are $4,6 \times 10^6$ kg BOD, $1,9 \times 10^5$ kg PO_4^{-3} and $2,9 \times 10^6$ kg TN. In rural and agricultural areas these values are lower, approximately $2,1 \times 10^6$ kg BOD, $1,1 \times 10^5$ kg PO_4^{-3} and $2,4 \times 10^6$ kg TN. The spatial analysis indicated that the most deteriorated water quality occurs in industrial and urban areas, being improved as the Iguaçu River heads to Balsa Nova, reflecting the self-purification capacity of the water body and the lower incidence of sanitary and industrial discharges. Finally, one can conclude that, although water quality duration curves have restrictions, they are tools that can effectively assist the water resources management.

Keywords: duration curves; water quality; Iguaçu River; Alto Iguaçu basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consequências do lançamento de poluentes orgânicos em um curso d'água..	10
Figura 2 – Curvas de permanência de vazão específica e de carga específica observada e compatível com o enquadramento no rio Paraíba do Sul para uma série completa (A) e reduzida (B) de vazões..	22
Figura 3 – Curvas de permanência de vazão específica e de carga específica observada e compatível com o enquadramento no rio Sorocaba para uma série completa (A) e reduzida (B) de vazões..	22
Figura 4 – Curvas de permanência de DBO e OD para a estação de monitoramento Ponte do Umbarazinho.....	24
Figura 5 – Curvas de permanência de DBO e OD para a estação de monitoramento Guajuvira.....	24
Figura 6 – Curvas de permanência de DBO e OD para a estação de monitoramento Balsa Nova.....	25
Figura 7 – Principais afluentes da bacia do Alto Iguaçu.....	28
Figura 8 – Localização da área de estudo e das estações analisadas na bacia do Alto Iguaçu	29
Figura 9 – Exemplo ilustrativo das curvas de permanência de carga, onde a área hachurada representa a massa excedente de DBO no rio.....	33
Figura 10 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem do OD (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos na bacia do Alto Iguaçu	35
Figura 11 – Exemplo ilustrativo da hipótese que retrata as limitações na curva de permanência de qualidade da água nos meses de janeiro e fevereiro, devido ao menor número de medições verificado nesse período.....	37
Figura 12 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para o pH no rio Iguaçu, medido em estações da bacia do Alto Iguaçu	38
Figura 13 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a condutividade elétrica no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu	39
Figura 14 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a turbidez no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu	40
Figura 15 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a concentração de ST no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu ...	41

Figura 16 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a concentração de DBO no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu	42
Figura 17 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a concentração de OD no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu	43
Figura 18 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a concentração de fosfato total no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu	45
Figura 19 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a concentração de NT no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu	46
Figura 20 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a concentração de CF no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu	47
Figura 21 – <i>Boxplots</i> para pH, condutividade elétrica e as concentrações de turbidez, ST, DBO, OD, fosfato total, NT e CF no rio Iguaçu	48
Figura 22 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para as cargas de ST no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu	51
Figura 23 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para as cargas de DBO no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu	53
Figura 24 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para as cargas de OD no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu	55
Figura 25 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para as cargas de fosfato total no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu	57
Figura 26 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para as cargas de NT no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu	59
Figura 27 – <i>Boxplots</i> para as cargas de ST, DBO, OD, fosfato total e NT no rio Iguaçu	60
Figura 28 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem do pH (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu	74
Figura 29 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem da condutividade elétrica (1983-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu	75
Figura 30 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem da turbidez (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu	76

Figura 31 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem dos ST (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu	77
Figura 32 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem da DBO (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu	78
Figura 33 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem do OD (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu	79
Figura 34 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem do fosfato total (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu	80
Figura 35 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem do NT (1987-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu	81
Figura 36 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem dos CF (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu	82
Figura 37 – Gráficos de evolução temporal para os parâmetros pH e condutividade elétrica no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu	84
Figura 38 – Gráficos de evolução temporal para as concentrações de ST, turbidez, DBO e OD no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu	85
Figura 39 – Gráficos de evolução temporal para as concentrações de fosfato total, NT e CF no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu	86
Figura 40 – Gráficos de evolução temporal para as cargas de ST e DBO no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu	88
Figura 41 – Gráficos de evolução temporal para as cargas de OD, fosfato total e NT no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Poluentes urbanos: principais tipos, fontes e impactos produzidos	8
Tabela 2 – Enquadramento de águas doces segundo a Resolução CONAMA Nº 357/2005.....	19
Tabela 3 – Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005 para parâmetros de qualidade da água analisados neste estudo	20
Tabela 4 – Dados gerais das estações de monitoramento analisadas na bacia do Alto Iguaçu	28
Tabela 5 – Intervalos de anos analisados e número de medições correspondentes para dados de vazão e qualidade da água nas estações estudadas	30
Tabela 6 – Percentagem de medições mensais por parâmetro de QA analisado.....	36
Tabela 7 – Massas excedentes obtidas através das curvas de permanência de carga dos parâmetros ST, DBO, OD, fosfato total e NT no rio Iguaçu	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CF – Coliformes Fecais
CIESP – Centro das Indústrias do Estado de São Paulo
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT – Coliformes Totais
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
EPA – U. S. Environmental Protection Agency
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NT – Nitrogênio Total
OD – Oxigênio Dissolvido
pH – Potencial Hidrogeniônico
PNQA – Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
Q – Vazão
SD – Sólidos Dissolvidos
SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SF – Sólidos Fixos
SMDU/SP – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de São Paulo
SS – Sólidos Suspensos
SSed – Sólidos Sedimentáveis
ST – Sólidos Totais
SV – Sólidos Voláteis
UNT – Unidades Nefelométricas de Turbidez

SÚMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	OBJETIVO GERAL	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3	REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1	ÁGUA: DISTRIBUIÇÃO, DISPONIBILIDADE E IMPORTÂNCIA	4
3.2	POLUIÇÃO DAS ÁGUAS.....	4
3.2.1	Tipos de Fontes Poluidoras	5
3.2.2	Principais Fontes Poluidoras em Corpos Aquáticos	5
3.2.2.1	Esgotos Domésticos	5
3.2.2.2	Efluentes Industriais	6
3.2.2.3	Drenagem Pluvial Urbana	7
3.2.2.4	Escoamento Superficial de Áreas Florestais, Rurais e Agrícolas.....	7
3.2.3	Principais Impactos do Lançamento de Poluentes em Rios	8
3.2.4	Capacidade de Autodepuração de Corpos Hídricos.....	9
3.3	QUALIDADE DAS ÁGUAS	11
3.3.1	Monitoramento e Avaliação da Qualidade das Águas Brasileiras	11
3.3.2	Parâmetros de Qualidade da Água.....	12
3.3.2.1	Parâmetros Físicos	12
3.3.2.1.1	Condutividade Elétrica	12
3.3.2.1.2	Sólidos Totais (ST)	13
3.3.2.1.3	Turbidez	14
3.3.2.2	Parâmetros Químicos	14
3.3.2.2.1	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	14
3.3.2.2.2	Fosfato Total	15
3.3.2.2.3	Nitrogênio Total.....	15
3.3.2.2.4	Oxigênio Dissolvido (OD).....	16
3.3.2.2.5	Potencial Hidrogeniônico (pH)	16
3.3.2.3	Parâmetros Biológicos	17
3.3.2.3.1	Coliformes Fecais (CF)	17
3.3.3	Enquadramento de Corpos d'Água.....	18

3.3.3.1	Legislação Pertinente.....	19
3.4	CURVAS DE PERMANÊNCIA DE QUALIDADE DA ÁGUA	20
3.5	ESTUDOS DE APLICAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	21
3.6	CONSIDERAÇÕES ESTATÍSTICAS IMPORTANTES PARA ANÁLISES DE SÉRIES TEMPORAIS	26
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1	ÁREA DE ESTUDO	27
4.2	ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO ANALISADAS	28
4.3	LEVANTAMENTO, COLETA E ORGANIZAÇÃO DE DADOS	29
4.4	DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DE AMOSTRAGEM	31
4.5	REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS E ANÁLISE DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	31
4.5.1	Curvas de Permanência	32
4.5.2	Gráficos de Evolução Temporal.....	34
4.5.3	Diagramas de Caixa (<i>Boxplots</i>)	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DE AMOSTRAGEM	35
5.2	ANÁLISE DE pH, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E CONCENTRAÇÕES DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	38
5.2.1	Análise Temporal.....	38
5.2.1.1	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	38
5.2.1.2	Condutividade Elétrica	39
5.2.1.3	Turbidez	40
5.2.1.4	Sólidos Totais (ST).....	41
5.2.1.5	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	42
5.2.1.6	Oxigênio Dissolvido (OD)	43
5.2.1.7	Fosfato Total	44
5.2.1.8	Nitrogênio Total (NT).....	45
5.2.1.9	Coliformes Fecais (CF)	46
5.2.2	Análise Espacial	47
5.3	ANÁLISE DE CARGAS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	49
5.3.1	Análise Temporal.....	49

5.3.1.1	Sólidos Totais (ST).....	50
5.3.1.2	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	52
5.3.1.3	Oxigênio Dissolvido (OD)	54
5.3.1.4	Fosfato Total	56
5.3.1.5	Nitrogênio Total (NT).....	58
5.3.2	Análise Espacial	60
5.4	LIMITAÇÕES NAS CURVAS DE PERMANÊNCIA	61
5.5	METAS DE DESPOLUIÇÃO HÍDRICA NO RIO IGUAÇU.....	62
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	64
7	REFERÊNCIAS.....	66
APÊNDICE 1 – Representações Gráficas da Distribuição Temporal de Amostragem		73
APÊNDICE 2 – Gráficos de Evolução Temporal para pH, Condutividade Elétrica e Concentração		83
APÊNDICE 3 – Gráficos de Evolução Temporal de Carga		87

1 INTRODUÇÃO

As políticas brasileiras de gestão das águas fundamentam-se na valorização dos recursos hídricos, o que é endossado pela Lei Federal Nº 9.433/1997, que instituiu a Política e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRITES, 2010).

A Lei Federal Nº 9.433/1997 propõe a integração entre o planejamento territorial, a gestão ambiental e de recursos hídricos, apresentando como instrumentos de gestão os planos de recursos hídricos; o enquadramento dos rios em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos; a cobrança pelo uso da água; a compensação a municípios; e o sistema de informações de recursos hídricos (BRASIL, 1997).

Dentre as competências do sistema de gestão de recursos hídricos está o monitoramento da qualidade da água de rios, que é regulado pela Resolução CONAMA Nº 357/2005, a qual dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelecendo os padrões de qualidade das águas e os limites individuais para cada substância em cada classe. Na prática, apesar de previsto pela legislação, o monitoramento da qualidade da água de corpos aquáticos muitas vezes não é realizado adequadamente, devido a limitações financeiras e logísticas (FORMIGONI *et al.*, 2011).

Uma das formas de monitoramento da qualidade da água é por meio de análises periódicas de parâmetros físicos, químicos, e biológicos do corpo hídrico (ANA, 2009a). A medição desses parâmetros pode ser realizada através de diferentes formas, devendo-se considerar fatores como frequência e número de pontos de amostragem, além das variabilidades espacial e temporal dos parâmetros.

A variabilidade espacial é evidenciada por meio de variações do parâmetro ao longo da seção transversal e do eixo longitudinal do corpo hídrico; a variação temporal, por sua vez, ocorre devido à ação de variáveis meteorológicas, hidrogeológicas e antrópicas, sendo que aquelas determinam os fenômenos de variação sazonal e intra-dia (CETESB, 2011).

Uma maneira de avaliar as variações dos parâmetros de qualidade da água é mediante o uso de curvas de permanência, comumente utilizadas em hidrologia para verificar com qual frequência a vazão ou o nível de um rio excede ou iguala um valor

especificado (FOSTER, 1924; SEARCY, 1959). O objetivo é a construção de uma curva de probabilidades acumuladas, que pode ser utilizada para verificar a porcentagem do tempo em que determinado parâmetro condiz com os limites impostos pela legislação. Desse modo, curvas de permanência de qualidade da água podem ser instrumentos úteis para a gestão de recursos hídricos, pois são ferramentas objetivas e de fácil análise.

Curvas de permanência de carga, em particular, são viáveis para estudos de qualidade da água, pois permitem avaliar a qualidade em conjunto com a quantidade hídrica, que é uma das diretrizes fundamentais da Lei Nº 9.433/1997. Essa análise integrada é extremamente importante, já que a qualidade da água relaciona-se com a vazão por meio de processos de diluição de poluentes, podendo a concentração de um parâmetro variar significativamente para períodos secos e úmidos (FORMIGONI *et al.*, 2011).

Levando-se em consideração que a aplicação de curvas de permanência para análises de qualidade da água ainda é pouco estudada e difundida no meio técnico e científico, fica evidente que estudos nessa área são necessários. Nesse contexto, a presente pesquisa visa utilizar curvas de permanência de qualidade da água para avaliar a qualidade ambiental do rio Iguaçu, na região da bacia do Alto Iguaçu.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o diagnóstico espacial e temporal da qualidade ambiental do rio Iguaçu, na região da bacia do Alto Iguaçu, através de curvas de permanência de qualidade da água de cinco estações de monitoramento localizadas ao longo do rio.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a qualidade da água do rio Iguaçu com base em séries históricas de pH, condutividade elétrica, turbidez, ST, DBO, OD, fosfato total, NT e CF.
- Gerar e avaliar, para as estações de monitoramento analisadas, curvas de permanência, gráficos de evolução temporal e *boxplots* para pH, condutividade elétrica e as concentrações de turbidez, ST, DBO, OD, fosfato total, NT e CF.
- Gerar e avaliar, para as estações de monitoramento analisadas, curvas de permanência, gráficos de evolução temporal e *boxplots* para as cargas de ST, DBO, OD, fosfato total e NT.
- Verificar, a partir dos resultados obtidos, o atendimento dos parâmetros analisados à Resolução CONAMA Nº 357/2005, para todas as cinco estações de monitoramento, tomando-se como base os valores limite para rios enquadrados na classe 2.
- Comparar os resultados obtidos para as concentrações e cargas de ST, DBO, OD, fosfato total e NT, a fim de concluir se há diferença nas porcentagens do tempo em que os parâmetros condizem com o enquadramento.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 ÁGUA: DISTRIBUIÇÃO, DISPONIBILIDADE E IMPORTÂNCIA

De acordo com Brito *et al.* (2007), aproximadamente 2/3 da superfície terrestre é coberta por água; dessa fração, 97,5% consiste de água salgada, sendo encontrada em mares e oceanos. A água doce – própria para consumo humano e atividades agrícolas/industriais – equivale a apenas 2,5% do total, estando distribuída em calotas polares, geleiras, rios, lagos, reservatórios subterrâneos, entre outros (REBOUÇAS, 2006).

A água disponível na Terra pode ser encontrada nos três estados físicos da matéria: sólido, líquido e gasoso. O ciclo hidrológico, por sua vez, é o processo que descreve a dinâmica e a circulação da água na superfície terrestre, tendo como principais componentes evapo(transpi)ração, precipitação, infiltração, percolação e drenagem (CHOW *et al.*, 1988; TUNDISI, 2003).

Além de reger diversos processos ecológicos da biosfera, a água é de fundamental importância para os seres vivos, pois regula grande parte de suas funções vitais. Assim, é indispensável para o desenvolvimento de diversas atividades industriais e humanas, possuindo valor econômico, social e ambiental (TSUTIYA *et al.*, 2008).

3.2 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

De acordo com a Lei Nº 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, poluição representa:

A degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

A poluição das águas é definida por Von Sperling (2005, p. 47) como sendo a “adição de substâncias ou formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d’água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos”. Vale ressaltar que a introdução de substâncias no corpo aquático pode ocorrer tanto de forma natural quanto antrópica. Na maioria dos casos, porém, interferências humanas predominam e são as principais responsáveis pela poluição das águas.

3.2.1 Tipos de Fontes Poluidoras

A introdução de contaminantes no corpo hídrico se dá por meio de fontes poluidoras, que podem ser pontuais ou difusas, dependendo da forma com que ocorre a descarga do poluente no corpo d’água.

No caso das fontes pontuais, os poluentes atingem a água mediante lançamentos localizados, como é o caso dos despejos de esgoto sanitário em um rio. Como o lançamento é concentrado no espaço, a identificação dessas fontes é relativamente simples, facilitando o seu controle (GARCIAS & SOTTORIVA, 2009).

Fontes difusas, em contrapartida, promovem a inserção dos poluentes de forma distribuída ao longo de parte da extensão do corpo d’água. O aporte de nutrientes em rios através da drenagem urbana é um exemplo de poluição difusa. Nesse caso não há um ponto de lançamento específico, o que dificulta o controle e a identificação da fonte poluidora (EPA, 2012a).

3.2.2 Principais Fontes Poluidoras em Corpos Aquáticos

De uma maneira geral, existem três fontes principais responsáveis pela introdução de poluentes nos corpos hídricos, sendo elas esgotos domésticos, efluentes industriais e escoamento superficial, tanto de áreas urbanas quanto rurais.

3.2.2.1 Esgotos Domésticos

Os esgotos domésticos são oriundos de residências, escolas e atividades comerciais e institucionais, sendo constituídos por restos de alimentos, detergentes,

produtos químicos de limpeza, fezes, urina, águas provenientes de banhos e máquinas de lavar, entre outros (JORDÃO & PESSOA, 1995, *apud* SILVA, 2003).

As características físico-químicas e biológicas dos esgotos domésticos variam bastante de acordo com os usos da água, dependendo do quadro social, econômico e cultural da população. De acordo com Mello (2007), aproximadamente 99,9% da composição dos esgotos domésticos consiste de água, sendo os 0,1% restantes compostos por sólidos, matéria orgânica carbonácea, nutrientes, microrganismos patogênicos e indicadores de contaminação fecal.

Os sólidos presentes nos esgotos domésticos são classificados de acordo com as suas características físico-químicas e sua sedimentabilidade, podendo ser orgânicos, inorgânicos, suspensos, dissolvidos, e sedimentáveis. Em relação à matéria orgânica, proteínas, carboidratos e lipídios são os principais constituintes encontrados em efluentes domésticos. Quanto aos nutrientes, nitrogênio e fósforo são os mais abundantes, sendo oriundos de fezes, urina, detergentes, e resíduos alimentícios. Já no caso de organismos patogênicos, os mais comuns são bactérias, vírus, helmintos e protozoários, enquanto *Escherichia coli* e coliformes (totais e fecais) são os principais indicadores de contaminação fecal nos esgotos domésticos (VON SPERLING, 2005).

3.2.2.2 Efluentes Industriais

Os efluentes industriais apresentam características variáveis, as quais dependem do tipo da indústria, da matéria-prima processada, do processo e das tecnologias de produção adotadas. Em termos de importância ambiental, os principais poluentes presentes em efluentes industriais são metais e micropoluentes orgânicos (SHI, 2011).

De acordo com Von Sperling (2005), os metais são gerados principalmente por indústrias químicas, metálicas e galvanoplastias. Zinco, alumínio, mercúrio, chumbo e cádmio são alguns dos metais que podem estar presentes nos despejos industriais, e que, acima de determinadas concentrações, são tóxicos para os organismos existentes no ecossistema aquático. Além disso, esses elementos podem bioacumular e alcançar níveis tróficos elevados na cadeia alimentar, podendo gerar problemas de saúde pública.

Em relação aos micropoluentes orgânicos, pode-se citar fenol, cloreto de metileno, clorofórmio, naftaleno, entre outros. As principais fontes desses contaminantes são lavanderias; indústrias químicas, farmacêuticas e petrolíferas; indústrias de fabricação de plásticos e produtos mecânicos; além de indústrias de produção de pesticidas. Pelo fato de apresentarem biodegradação lenta, micropoluentes orgânicos podem bioacumular, sendo que alguns de seus metabólitos podem apresentar toxicidade maior do que os produtos originais (SOARES, 2011).

Vale ressaltar que, além de metais e micropoluentes orgânicos, efluentes industriais também contêm sólidos, nutrientes (nitrogênio e fósforo), dentre outros poluentes presentes em esgotos domésticos.

3.2.2.3 Drenagem Pluvial Urbana

O sistema de drenagem pluvial urbana, formado pela micro e pela macrodrenagem, é responsável por coletar e dispor o escoamento superficial gerado devido à precipitação atmosférica sobre as superfícies urbanas (TUCCI, 2005).

O sistema de microdrenagem, que é composto por pavimentos de ruas, guias, sarjetas e galerias de águas pluviais, coleta a água da chuva e a transporta até o sistema de macrodrenagem, que é responsável pela destinação final do escoamento captado (SMDU/SP, 2012).

A drenagem pluvial é comumente responsável por promover a poluição difusa em corpos aquáticos, devido ao transporte de matéria orgânica, nutrientes, resíduos sólidos e metais até os rios. Essa poluição é agravada quando esgotos sanitários são despejados nas redes de drenagem de águas pluviais, através de ligações clandestinas ou em casos de ausência de redes de coleta de esgoto, introduzindo organismos patogênicos nas águas escoadas (PROSAB, 2009).

3.2.2.4 Escoamento Superficial de Áreas Florestais, Rurais e Agrícolas

O escoamento direto em áreas ocupadas por matas, florestas e campos transporta matéria orgânica para os corpos hídricos, proveniente de resíduos do solo, da fauna e flora local. Em áreas onde a cobertura do solo foi mantida ou pouco

alterada, o aporte de nutrientes e sedimentos ao corpo d'água é reduzido, já que há elevadas taxas de infiltração e baixa erosão no solo (VON SPERLING, 2005).

O escoamento superficial em áreas agrícolas, por sua vez, tende a contribuir de forma mais acentuada para a degradação da qualidade da água dos corpos hídricos. Nessas áreas, a aplicação de pesticidas, fertilizantes e adubo animal sobre o solo é bastante comum, sendo muitos desses poluentes introduzidos nos corpos d'água por meio de processos de percolação e escoamento superficial. É importante evidenciar que solos ocupados por agricultura geralmente apresentam altas taxas de erosão, devido à retirada da vegetação natural do solo, o que beneficia o aporte de sedimentos à água (KATSUÓKA, 2001).

3.2.3 Principais Impactos do Lançamento de Poluentes em Rios

Os impactos causados pela introdução de poluentes em corpos d'água são diversos e dependem das cargas lançadas. A Tabela 1 apresenta os principais poluentes urbanos, suas fontes e os impactos causados.

Tabela 1 – Poluentes urbanos: principais tipos, fontes e impactos produzidos

Poluentes	Origem	Impactos
Nitrogênio e Fósforo	Sistemas sépticos inadequados; desmatamento; fertilizantes.	Redução do oxigênio dissolvido; crescimento de algas; degradação da água de consumo.
Sedimentos	Obras de construção; áreas desmatadas; processos erosivos.	Aumento da turbidez; redução do oxigênio dissolvido; degradação da vida aquática.
Organismos Patogênicos	Lançamento de efluentes domésticos; sistemas sépticos inadequados.	Riscos à saúde humana pelo consumo; inviabilidade do uso recreacional.
Metais Pesados: chumbo, cádmio, zinco, mercúrio, alumínio, etc.	Processos industriais; resíduos de óleo do motor; mineração; queima de combustíveis.	Toxicidade da água e do sedimento; acumulação na atividade biológica e na cadeia trófica.
Pesticidas e Produtos Sintéticos	Herbicidas, fungicidas, inseticidas; processos industriais; lavagem de solos contaminados.	Toxicidade da água e do sedimento; acumulação na atividade biológica e na cadeia trófica.

Fonte: PROSAB (2009).

Nos casos em que as fontes de poluição pontual e/ou difusa são contínuas, pode ocorrer degradação do ecossistema aquático; introdução de microrganismos patogênicos na água; proliferação de doenças de veiculação hídrica; restrição dos usos da água; dificuldade e elevação nos custos de tratamento da água; deplecionamento do oxigênio dissolvido; dentre outros (PROSAB, 2009).

3.2.4 Capacidade de Autodepuração de Corpos Hídricos

O lançamento de poluentes em corpos d'água promove alterações que causam instabilidade no ecossistema aquático. Para que o equilíbrio no meio seja restabelecido, ocorre um evento de sucessão ecológica, denominado autodepuração. Esse fenômeno consiste no processo natural de neutralização de poluentes orgânicos, introduzidos na água por fontes de poluição pontuais e difusas (GHANGREKAR, 2015).

Como o processo é gradual ao longo do tempo, associa-se os estágios de sucessão ecológica a quatro zonas físicas do rio, denominadas zonas de depuração, sendo elas: zona de degradação, zona de decomposição ativa, zona de recuperação e zona de águas limpas.

Inicialmente, ou seja, à montante do lançamento de efluentes, tem-se a zona de águas limpas, onde há boa qualidade da água e equilíbrio ecológico. Após o despejo, inicia a zona de degradação, na qual a concentração de matéria orgânica é bastante elevada e onde predomina a degradação aeróbia, que gera produtos finais estáveis como dióxido de carbono, água, fosfatos e nitratos. Nessa zona já ocorre uma diminuição sensível no número de seres vivos, apesar de haver alta diversidade de espécies, sendo possível verificar um aumento na população de bactérias, principalmente se a contaminação se dá devido a esgotos domésticos (ANDRADE, 2010).

Após as perturbações iniciais, o ecossistema volta a se organizar e começa a zona de decomposição ativa. Nela, a qualidade da água encontra-se no estado mais deteriorado, havendo elevada degradação aeróbia da matéria orgânica e, conseqüentemente, baixas concentrações de oxigênio dissolvido, que pode ser totalmente consumido pelos microrganismos. No caso da ausência de oxigênio, a decomposição é realizada por meio de bactérias anaeróbias e aeróbias facultativas,

produzindo metano, amônia e gás sulfídrico, os quais, dependendo das concentrações, podem ser tóxicos e causar mau odor (UNESCO, 1982).

Em seguida, tem-se a zona de recuperação, que apresenta águas mais claras, nas quais a matéria orgânica já se encontra estabilizada. Assim, o consumo de oxigênio dissolvido já não é mais tão significativo e não há mais ocorrência de condições anaeróbias. Como nesse estágio existe uma maior concentração de nutrientes, há o desenvolvimento de algas e ocorre uma maior diversificação da cadeia alimentar (GHANGREKAR, 2015).

Por fim, volta-se à zona de águas limpas, com condições normais anteriores à poluição em termos de OD, matéria orgânica, bactérias e organismos patogênicos. Nessa zona o ecossistema volta a ser estável, havendo o restabelecimento de uma cadeia alimentar normal, com alta diversidade de espécies.

A Figura 1 apresenta a dinâmica dos parâmetros OD, DBO, nitrogênio (amoniaco e nitrato), algas, bactérias e fungos ao longo das quatro zonas de depuração do corpo aquático, após o lançamento de um esgoto orgânico.

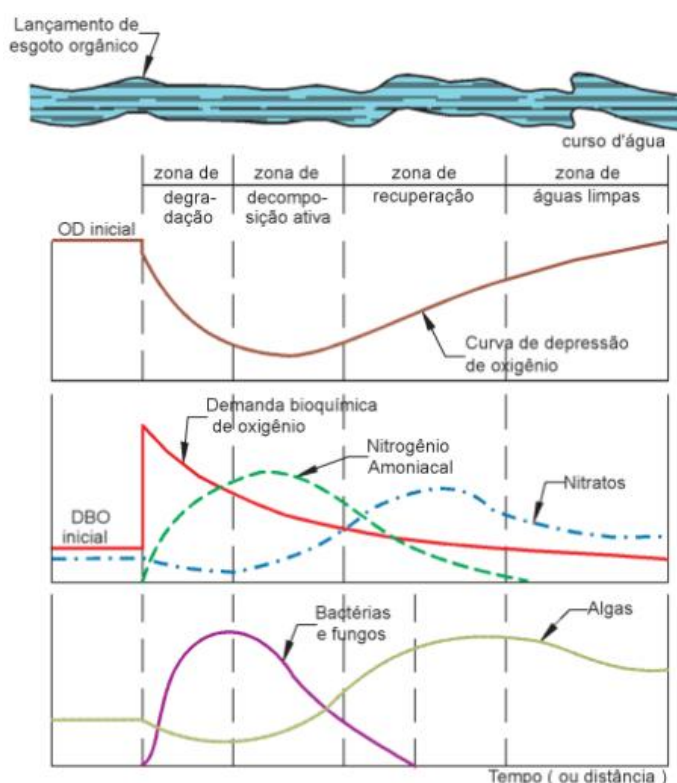


Figura 1 – Consequências do lançamento de poluentes orgânicos em um curso d'água. **Fonte:** Adaptado de Mota (1995).

É importante evidenciar que não existe depuração absoluta, ou seja, apesar de o ecossistema voltar ao equilíbrio, esse é atingido sob condições diferentes das anteriores, resultando numa comunidade aquática adaptada, distinta da original (VON SPERLING, 2005).

3.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS

A qualidade da água dos corpos hídricos é reflexo das condições naturais, do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica. É influenciada tanto por condições naturais, como escoamento superficial e infiltração em áreas de matas e florestas, quanto por intervenções antrópicas, através do despejo de efluentes industriais e domésticos em rios (ESPINDULA, 2012).

Diversos rios brasileiros apresentam condições precárias de qualidade da água, devido à poluição causada por atividades industriais, domésticas e agrícolas. Além de trazer malefícios à saúde humana, corpos hídricos com qualidade da água deteriorada causam impactos negativos sobre a fauna e flora local, podendo provocar eutrofização, mortandade de peixes, entre outros fenômenos indesejáveis (SAWYER *et al.*, 2003).

Assim sendo, é de fundamental importância monitorar a qualidade da água dos corpos aquáticos, o que é alcançado através de análises periódicas de parâmetros físicos, químicos e biológicos do corpo hídrico (ANA, 2009a).

3.3.1 Monitoramento e Avaliação da Qualidade das Águas Brasileiras

O monitoramento de rios e reservatórios de domínio da União é competência da Agência Nacional de Águas (ANA), responsável por desempenhar ações de regulação, gestão e planejamento de recursos hídricos. As informações das estações de monitoramento e os dados de quantidade e qualidade da água são disponibilizados pela ANA através do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb).

O Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), desenvolvido pela ANA, tem como objetivo a ampliação do conhecimento sobre a qualidade das águas superficiais brasileiras, com o intuito de orientar a elaboração

de políticas públicas para a recuperação da qualidade ambiental em rios e reservatórios.

Dentre as dificuldades enfrentadas atualmente pela ANA em relação ao monitoramento de águas superficiais, pode-se citar a ausência de redes estaduais de monitoramento e a heterogeneidade das redes de monitoramento existentes, quanto ao número de parâmetros analisados, à frequência de amostragem, entre outros. No caso de águas subterrâneas, o monitoramento é bastante prejudicado pelo fato de não existir uma rede nacional de monitoramento (ANA, 2015a).

3.3.2 Parâmetros de Qualidade da Água

A água pode conter substâncias e componentes que comprometem a sua qualidade, podendo alterar suas características físicas, químicas e biológicas. Para que seja possível medir o grau de poluição dos corpos aquáticos, utiliza-se parâmetros de qualidade de água, que podem ser físicos, químicos ou biológicos (ARAÚJO, 2009).

As subseções seguintes apresentam uma descrição detalhada dos parâmetros de qualidade da água relevantes nesta pesquisa e expõem os limites estipulados pela legislação brasileira para tais.

3.3.2.1 Parâmetros Físicos

3.3.2.1.1 Condutividade Elétrica

De acordo com Zuin *et al.* (2009), a condutividade mede a capacidade da água em conduzir uma corrente elétrica, onde os íons dissolvidos atuam como condutores. Sendo assim, a condutividade elétrica é proporcional à concentração de íons dissociados na água.

Sabendo-se que sais solúveis em água dissolvem-se em íons, e que salinidade é a medida da quantidade de sais presentes no corpo hídrico, fica evidente que condutividade elétrica e salinidade estão inter-relacionadas (*State of California*, 2010).

Somente análises de condutividade não são capazes de indicar quais são as espécies de íons presentes na água; porém, podem revelar possíveis fontes poluidoras. Valores elevados de condutividade elétrica podem ocorrer devido a despejos de efluentes domésticos em rios, por exemplo. Tais efluentes são ricos em matéria orgânica, contribuindo para a introdução de espécies iônicas como sódio (Na^+), magnésio (Mg^{+2}), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{-2}), carbonato (CO_3^{-2}), nitratos (NO_3^{-2}) e fosfatos (PO_4^{-3}) no corpo aquático, aumentando sua condutividade elétrica (GUIMARÃES & NOUR, 2001, *apud* ZUIN *et al.*, 2009).

Não existe nenhum limite estabelecido na Resolução CONAMA Nº 357/2005 para a condutividade elétrica. Porém, de acordo com a CETESB (2009), níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados.

3.3.2.1.2 Sólidos Totais (ST)

A presença de sólidos em corpos d'água pode causar diversos efeitos indesejados, como cor, turbidez, sabor e odor, afetando negativamente o ecossistema aquático. Entre as fontes contribuidoras de sólidos na água, pode-se citar erosão do solo, despejo de efluentes industriais e domésticos, resíduos agrícolas, entre outros (ANA, 2014).

Em termos técnicos, sólidos referem-se à matéria residual que permanece após processos de evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água, à temperatura pré-estabelecida e durante determinado intervalo de tempo. Sólidos totais (ST) equivalem ao resíduo que fica no cadinho após evaporação e secagem da amostra em estufa a 103-105°C. Esses, por sua vez, são subdivididos em sólidos suspensos (SS) e sólidos dissolvidos (SD) (SAWYER *et al.*, 2003).

Sólidos suspensos são compostos por material orgânico e inorgânico, e representam a porção dos ST que é retida por um filtro de diâmetro $\leq 2 \mu\text{m}$, enquanto sólidos dissolvidos relacionam-se com a fração de sólidos que atravessa o filtro (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 1999). Dentro dos sólidos suspensos há os sólidos sedimentáveis (SSed), que são os SS capazes de sedimentar devido à ação da gravidade.

Há ainda a classificação em termos de sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF): os primeiros representam a porção orgânica dos sólidos, que evapora após

ignição da amostra a 550-600°C; SF, em contrapartida, referem-se à fração inorgânica, remanescente após ignição (CETESB, 2015a).

3.3.2.1.3 Turbidez

A turbidez representa a dificuldade que um feixe de luz experimenta para atravessar a coluna d'água (*Missouri Department of Natural Resources*, 2013). Segundo Crittenden *et al.* (2005), a presença de sólidos suspensos e materiais coloidais no líquido, como areia, argila, algas e detritos, provoca espalhamento e absorção da luz incidente, dando um aspecto turvo à água.

Esses materiais são oriundos de processos de erosão dos solos, principalmente em épocas chuvosas, ou chegam ao corpo d'água devido a atividades de mineração e ao descarte de efluentes domésticos e industriais (ANA, 2014). Níveis elevados de turbidez podem interferir negativamente nos processos de fotossíntese e oxigenação do corpo hídrico, causando desequilíbrio no sistema.

A turbidez é um importante indicador de saúde pública no cenário do abastecimento potável de água. Níveis elevados podem indicar que o processo de tratamento de água não está sendo eficiente em termos de remoção de agentes patogênicos, haja vista que partículas em suspensão podem envolver microrganismos, protegendo-os de processos de desinfecção química (SAWYER *et al.*, 2003).

3.3.2.2 Parâmetros Químicos

3.3.2.2.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A demanda bioquímica de oxigênio é definida como a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos, tais como bactérias e fungos, durante a oxidação aeróbia de material orgânico presente na água corrente. Folhas, galhos, troncos e resíduos da fauna e flora local são fontes naturais de DBO. Atividades antrópicas também podem aumentar os níveis de matéria orgânica nos corpos d'água, por meio de lançamento de efluentes domésticos e de estações de tratamento de águas residuais, por exemplo (EPA, 2012b; ANA, 2014).

Geralmente são necessários 20 dias para que ocorra a oxidação biológica completa da matéria orgânica contida nos efluentes. Uma vez que este período é bastante longo, e considerando-se que a maioria da DBO total é consumida em 5 dias, utiliza-se comumente o teste de $DBO_{5,20}$. Nesse teste mede-se a quantidade de oxigênio consumido na oxidação da matéria orgânica durante um período de 5 dias, a uma temperatura de incubação de 20°C (CETESB, 2015b).

Assim, testes de DBO mostram o potencial poluidor de efluentes domésticos e industriais quando despejados em córregos e rios, sendo importantes para atividades de controle da poluição em tais ambientes (SAWYER *et al.*, 2003).

3.3.2.2.2 Fósforo Total

O fósforo é um macronutriente bastante importante para processos biológicos, sendo amplamente utilizado pelas células. Resíduos de detergentes superfosfatados contidos em esgotos domésticos, efluentes de indústrias de fertilizantes e pesticidas, e águas que drenam áreas agrícolas e/ou urbanas constituem as principais fontes de fósforo em águas naturais (ANA, 2014).

Nos corpos hídricos, o fósforo ocorre predominantemente na forma de fosfatos, sendo encontrados ortofosfatos, fosfatos condensados e fosfatos organicamente ligados. O teste de fósforo total mede somente as formas de fosfato que são convertidas para ortofosfato durante o processo de oxidação por digestão ácida (DANELON *et al.*, 2012).

O despejo de águas residuais com teores elevados de fosfato em corpos aquáticos pode promover o crescimento acelerado e excessivo de algas, causando depleção nos níveis de oxigênio, o que resulta em águas eutrofizadas em reservatórios (CETESB, 2015c).

3.3.2.2.3 Nitrogênio Total

O nitrogênio, assim como o fósforo, é um macronutriente, sendo essencial para o desenvolvimento de diversas plantas. Há várias fontes de nitrogênio nas águas naturais, sendo a principal delas esgotos sanitários, os quais introduzem na água nitrogênio amoniacal e orgânico. Escoamento de águas pluviais por solos

contendo fertilizantes, a própria atmosfera e efluentes de indústrias farmacêuticas, petroquímicas, siderúrgicas, entre outras, também são importantes fontes de nitrogênio nas águas (CETESB, 2015d).

As formas mais comuns de nitrogênio em corpos aquáticos são nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito, e nitrato, sendo as duas primeiras reduzidas e as duas últimas oxidadas. Se predominarem as formas reduzidas numa amostra de água, o foco de poluição encontra-se próximo; se prevalecerem as formas oxidadas, por sua vez, a distância até a fonte poluidora é significativamente maior. O nitrogênio, em conjunto com o fósforo e demais nutrientes presentes no corpo hídrico, pode proporcionar o enriquecimento do ecossistema, promovendo crescimento exagerado de algas (ANA, 2014; CETESB, 2015d).

3.3.2.2.4 Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido – um dos parâmetros mais importantes para caracterizar a qualidade da água de corpos hídricos – representa uma medida relativa da quantidade de oxigênio que está dissolvida na água, sendo importante para o metabolismo dos organismos aquáticos e os processos de autodepuração que ocorrem nesses ambientes (FIORUCCI & FILHO, 2014).

Durante a degradação da matéria orgânica, o oxigênio é consumido pelos microrganismos aeróbios, reduzindo sua concentração na água. Concentrações muito baixas de OD, por sua vez, podem provocar mortandade de peixes, que o necessitam para respirar, além de gerar compostos malcheirosos à base de amônia e sulfetos (DAVIS & McCUEN, 2005; CETESB, 2014).

De acordo com a EPA (2012b) e Sawyer *et al.* (2003), os níveis de oxigênio dissolvido na água ou em águas residuais estão diretamente relacionados com a DBO: valores de DBO maiores indicam que mais oxigênio está sendo consumido, a uma taxa mais elevada.

3.3.2.2.5 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Conforme Sawyer *et al.* (2003), as moléculas de água sofrem dissociação, produzindo íons hidrogênio (H^+) e hidroxila (OH^-), os quais se relacionam com a

acidez ou alcalinidade de uma solução, respectivamente. O pH indica a atividade dos íons hidrogênio, sendo definido como o anti-logaritmo da concentração de H^+ (em mol/L): $pH = -\log [H^+]$.

A escala de pH varia de 1 (extremamente ácido, H^+ é a espécie predominante) a 14 (muito básico, OH^- como espécie dominante), tendo-se 7 como pH neutro a 25°C. A concentração de H^+ é geralmente obtida com medidores de pH, que consistem em um eletrodo de vidro conectado a um dispositivo eletrônico que mostra as medições (VICAIRE, 2006).

Em ecossistemas aquáticos, o pH influencia o metabolismo e a fisiologia de espécies da fauna e flora local, devendo estar entre 6 e 9 para garantir o equilíbrio e o funcionamento adequado desses sistemas. Além disso, o pH relaciona-se com a solubilização e precipitação de metais pesados, podendo oscilações desse parâmetro contribuir para tais fenômenos. Vale ressaltar que as alterações no pH podem ser de origem natural (absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica, dissolução de rochas, entre outros) ou antrópica (despejo de esgotos domésticos e industriais) (DAVIS & McCUEN, 2005; ANA, 2014).

3.3.2.3 Parâmetros Biológicos

3.3.2.3.1 Coliformes Fecais (CF)

Os coliformes fecais, também denominados coliformes termotolerantes, são representados pelas bactérias que suportam temperaturas superiores a 40°C, sendo caracterizadas por fermentarem lactose com produção de gás a uma temperatura de 44,5 - 45,5°C em 24h (SILVA, 1997, *apud* GEUS & LIMA, 2008).

Assim como os coliformes totais, os coliformes fecais habitam o trato intestinal de animais de sangue quente, sendo excretados em grande quantidade nas fezes. Dentro do grupo dos coliformes termotolerantes há três gêneros de bactérias: *Escherichia*, *Enterobacter* e *Klebsiella*, sendo as duas últimas de origem não fecal. A bactéria *Escherichia coli* é frequentemente utilizada como indicador de contaminação fecal e de eventual presença de organismos patogênicos (CONTE *et al.*, 2004).

A descarga de efluentes domésticos em corpos hídricos constitui a principal fonte de coliformes fecais na água. Apesar de os CF normalmente não causarem doenças, concentrações elevadas dessas bactérias, ou sua proliferação exagerada, podem indicar a existência de organismos patogênicos capazes de promover doenças de veiculação hídrica, como disenteria bacilar, cólera, entre outras (ANA, 2014).

Assim, os coliformes fecais são importantes para determinar a balneabilidade de ambientes aquáticos, sendo que para o uso de recreação de contato primário devem ser obedecidos os padrões previstos na Resolução CONAMA Nº 274/2000, estando os padrões de qualidade para os demais usos estabelecidos na Resolução CONAMA Nº 357/2005.

3.3.3 Enquadramento de Corpos d'Água

O enquadramento de corpos hídricos consiste no estabelecimento do nível de qualidade a ser alcançado ou mantido em um segmento do corpo d'água ao longo do tempo (ANA, 2007). Como instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Nº 9.433), o enquadramento de corpos aquáticos visa “assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas” e “diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes” (BRASIL, 1997).

Além de ser fundamental no processo de controle da poluição das águas, o enquadramento é essencial para outros instrumentos de gestão de recursos hídricos e ambiental, tais como planos de bacia, outorga, licenciamento e monitoramento. Assim, esse instrumento promove a integração entre o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Meio Ambiente (ANA, 2007).

No Brasil, o sistema de enquadramento é organizado por classes de qualidade, ou seja, os padrões de qualidade estabelecidos para cada classe são formados pelos padrões mais restritivos dentre todos os usos contemplados naquela classe (ANA, 2015b).

A Resolução CONAMA Nº 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e dá as diretrizes ambientais para o seu enquadramento. No caso de águas

doces, a resolução define cinco classes distintas: especial, 1, 2, 3, e 4. A Tabela 2 contém uma descrição mais detalhada das classes utilizadas para o enquadramento de corpos hídricos.

**Tabela 2 – Enquadramento de águas doces segundo a Resolução
CONAMA Nº 357/2005**

Classe	Destinação
Especial	Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
1	Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA Nº 274/2000; irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
2	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA Nº 274/2000; irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e aquicultura e atividade de pesca.
3	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; pesca amadora; recreação de contato secundário; e dessedentação de animais.
4	Navegação e harmonia paisagística.

Fonte: Brasil (2005).

3.3.3.1 Legislação Pertinente

A legislação responsável por estabelecer os padrões de qualidade das águas e os limites individuais para as substâncias em cada classe é a Resolução CONAMA Nº 357/2005. A Tabela 3 apresenta os limites estabelecidos pela legislação para os parâmetros de qualidade da água relevantes nesta pesquisa.

Tabela 3 – Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005 para parâmetros de qualidade da água analisados neste estudo

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Coliformes Fecais	≤ 200* NMP/100mL	≤ 1000* NMP/100mL	≤ 2500** NMP/100mL	-
Demanda Bioquímica de Oxigênio***	≤ 3 mg/L	≤ 5 mg/L	≤ 10 mg/L	-
Fósforo Total****	≤ 0,1 mg/L	≤ 0,1 mg/L	≤ 0,15 mg/L	-
Nitrogênio Total	≤ 2,18 mg/L	≤ 2,18 mg/L	-	-
Oxigênio Dissolvido	> 6 mg/L	> 5 mg/L	> 4 mg/L	> 2 mg/L
Potencial Hidrogeniônico	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Sólidos Dissolvidos Totais	≤ 500 mg/L	≤ 500 mg/L	≤ 500 mg/L	-
Turbidez	≤ 40 UNT	≤ 100 UNT	≤ 100 UNT	-

Observações:

* Limite estipulado para demais usos d'água, exceto uso de recreação de contato primário

** Limite estipulado para uso de recreação de contato secundário

*** Valores estipulados para a DBO_{5,20}

**** Limites válidos somente para ambientes lóticos

Fonte: BRASIL (2005).

3.4 CURVAS DE PERMANÊNCIA DE QUALIDADE DA ÁGUA

Curvas de permanência são amplamente utilizadas em Hidrologia, onde representam curvas de frequência cumulativa que indicam a porcentagem de tempo durante o qual vazões de referência são igualadas ou superadas (SEARCY, 1959). Essa ferramenta pode ser aplicada em outras áreas, como para estudos de qualidade da água. Nessa condição, as curvas são utilizadas para verificar a porcentagem do tempo em que determinado parâmetro condiz com os limites impostos pela legislação.

As curvas de permanência são obtidas com base em medições diárias, semanais ou mensais do parâmetro avaliado, as quais são ordenadas em forma crescente, calculando-se para cada dado o tempo de permanência referente. É importante ressaltar que para frequências de amostragem de menor resolução, como as mensais, a probabilidade de registrar eventos extremos é menor, o que

acaba comprometendo a variância dos dados e o cálculo de valores médios e máximos. Além disso, efeitos diurnos e semanais podem não ser contemplados (PRZYBYSZ, 2007; COELHO, 2013).

3.5 ESTUDOS DE APLICAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA

Curvas de permanência ainda são pouco aplicadas para estudos de qualidade da água em corpos hídricos, apesar de serem ferramentas potencialmente úteis e viáveis para essa finalidade. A produção científica nacional e internacional referente a curvas de qualidade da água é relativamente escassa, refletindo que essa técnica é nova e está sujeita a debates em relação à sua validade. Um dos empecilhos para a análise estatística através de curvas de permanência é a característica determinística da qualidade da água, que é influenciada por processos meteorológicos, uso e ocupação do solo, despejos de efluentes, entre outros (COELHO, 2013).

Pesquisas realizadas por Cunha *et al.* (2012) descreveram a aplicação conjunta das curvas de quantidade e qualidade da água como uma ferramenta para auxiliar o gerenciamento dos recursos hídricos. O estudo consistiu em compilar dados de fósforo total – monitorados de 2005 a 2009 com frequência bimestral – e vazão média mensal (1959-2003), para os rios Paraíba do Sul e Sorocaba, no estado de São Paulo. Vale ressaltar que o estudo utilizou séries de vazão completas e reduzidas, as últimas considerando apenas as medições dos últimos dez anos da série histórica.

A carga de fósforo total observada no rio Paraíba do Sul (Figura 2) foi inferior à carga compatível com o seu enquadramento em aproximadamente 90% do tempo, tanto para séries de vazões completas quanto reduzidas. Dessa forma, os autores defendem a ideia de que os serviços ambientais no sistema aquático podem ser explorados, o que significa que esse trecho do rio Paraíba do Sul ainda pode comportar retiradas de água e eventuais lançamentos de efluentes.

Para as duas séries temporais investigadas no rio Sorocaba, as cargas observadas de fósforo total superaram aquelas compatíveis com o enquadramento em mais de 95% do tempo (Figura 3). Segundo os autores, a diferença entre as

curvas sugere que a incompatibilidade com o enquadramento é especialmente crítica em regimes de maiores vazões ($> 20 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$). Assim, é necessário rever as outorgas de uso da água e avaliar e mitigar as fontes pontuais e difusas para inibir o aporte de fósforo nesse trecho do rio Sorocaba.

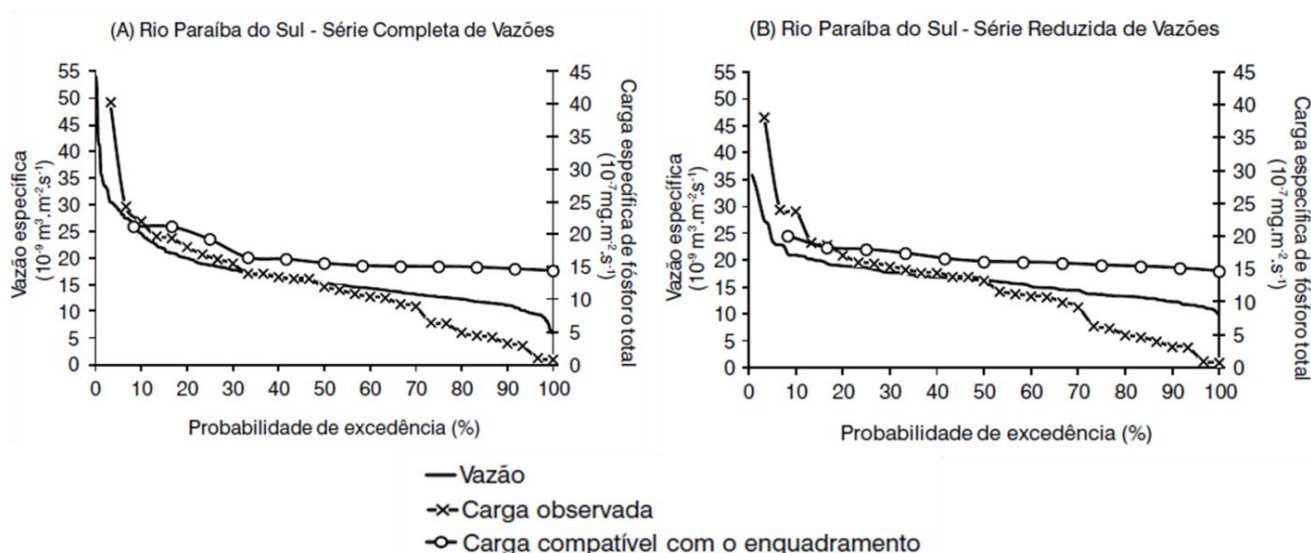


Figura 2 – Curvas de permanência de vazão específica e de carga específica observada e compatível com o enquadramento no rio Paraíba do Sul para uma série completa (A) e reduzida (B) de vazões. **Fonte:** Adaptado de Cunha *et al.* (2012).

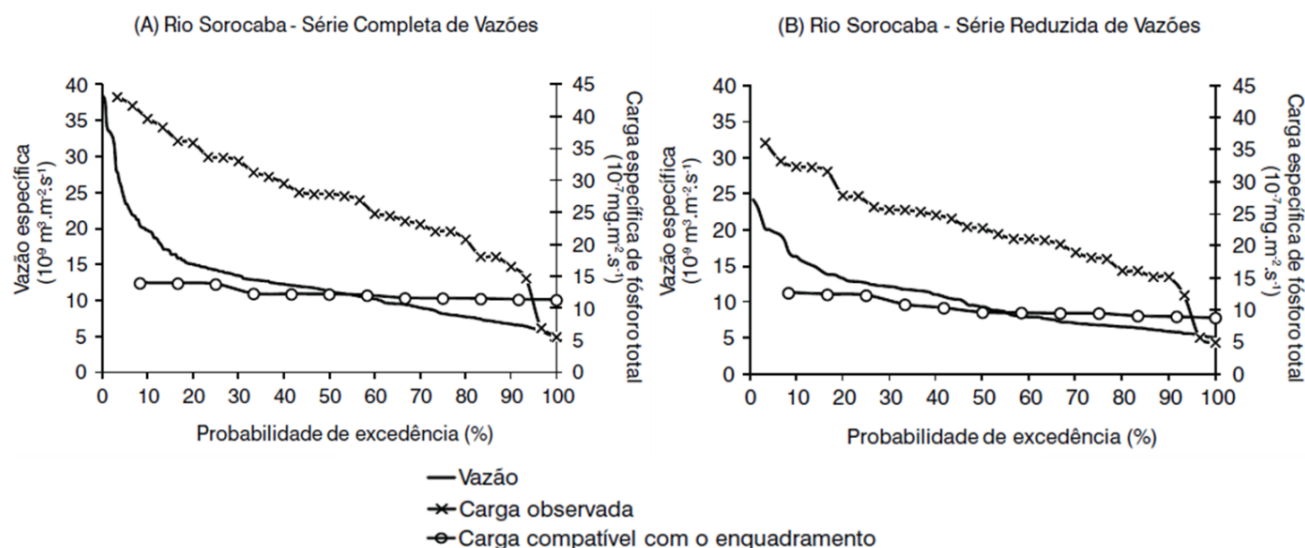


Figura 3 – Curvas de permanência de vazão específica e de carga específica observada e compatível com o enquadramento no rio Sorocaba para uma série completa (A) e reduzida (B) de vazões. **Fonte:** Adaptado de Cunha *et al.* (2012).

Os resultados produzidos por Cunha *et al.* (2012) mostraram que é necessário integrar a gestão da qualidade e da quantidade da água, o que pode ser obtido através da utilização de curvas de permanência. Conforme os autores, essas se mostraram viáveis para a avaliação do estágio de enquadramento dos corpos d'água estudados e têm potencial para serem aplicadas em diversos estudos ambientais, além de dar suporte aos programas de gerenciamento de recursos hídricos.

Formigoni *et al.* (2011) também realizaram pesquisas relacionadas à aplicação de curvas de permanência em análises de qualidade da água. O estudo realizado consistiu em avaliar os parâmetros OD e DBO na bacia do Alto Iguaçu (utilizando dados das estações de monitoramento Ponte do Umbarazinho, Guajuvira, e Balsa Nova) mediante dois tipos de curvas de permanência: um considerando a análise integrada entre quantidade e qualidade, e outro focando apenas na qualidade da água.

A curva de análise integrada foi obtida através do ajuste exponencial das concentrações do parâmetro de qualidade associadas às frequências das vazões. A curva de permanência considerando somente a qualidade da água, em contrapartida, foi construída a partir da ordenação da série histórica e dos cálculos das frequências de ocorrência.

Para a estação de monitoramento Ponte do Umbarazinho (Figura 4) as curvas de permanência foram elaboradas para o período de 1993 a 2010. Foi possível identificar que a DBO atendeu à classe de enquadramento na maior parte do tempo, tanto para a curva associada às frequências de vazão (53%), quanto para a curva relacionada à série histórica (62%), sem associação com os dados de vazão. O OD, por sua vez, apresentou resultados insatisfatórios, atendendo à classe em apenas 10% do tempo, em ambos os tipos de curvas analisados.

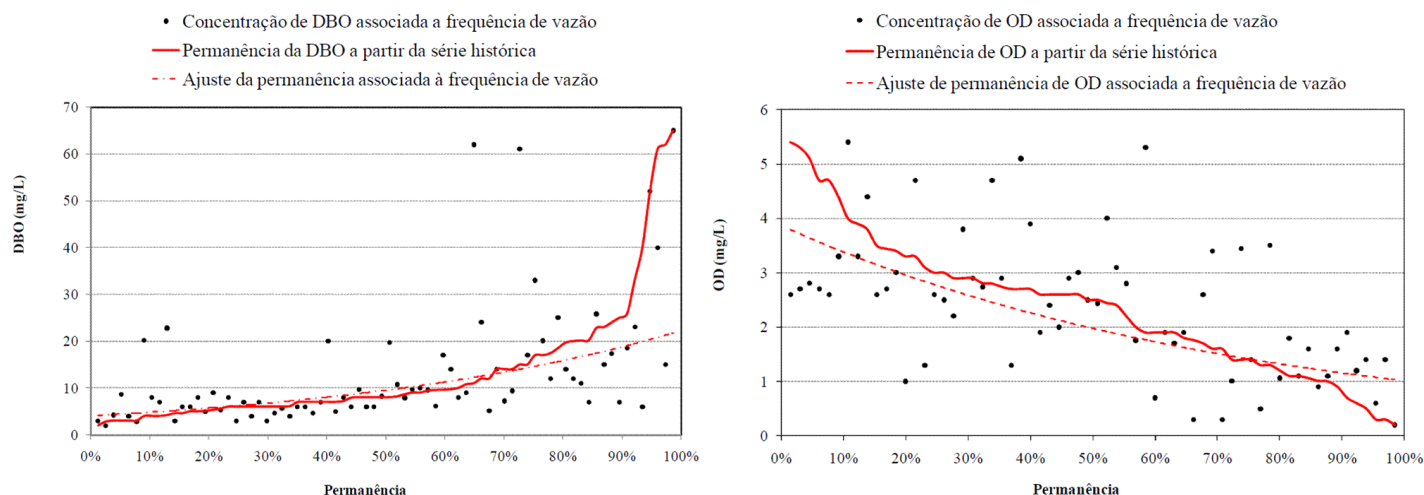


Figura 4 – Curvas de permanência de DBO e OD para a estação de monitoramento Ponte do Umbarazinho. **Fonte:** Adaptado de Formigoni *et al.* (2011).

Na estação de monitoramento Guajuvira (Figura 5), para a qual o período analisado foi de 1987 a 2010, a concentração de DBO apresentou resultados semelhantes para as duas curvas formuladas. Os valores mostraram-se condizentes com os limites impostos pela legislação em 85% do tempo para a curva associada às frequências de vazão e 77% do período para a curva relacionada à série histórica. Para o OD, verificou-se conformidade ao enquadramento em apenas 5% do tempo para a curva referente à série histórica, enquanto aquela relacionada às frequências de vazão apresentou valores que não atenderam os limites mínimos impostos pela lei em nenhum momento.

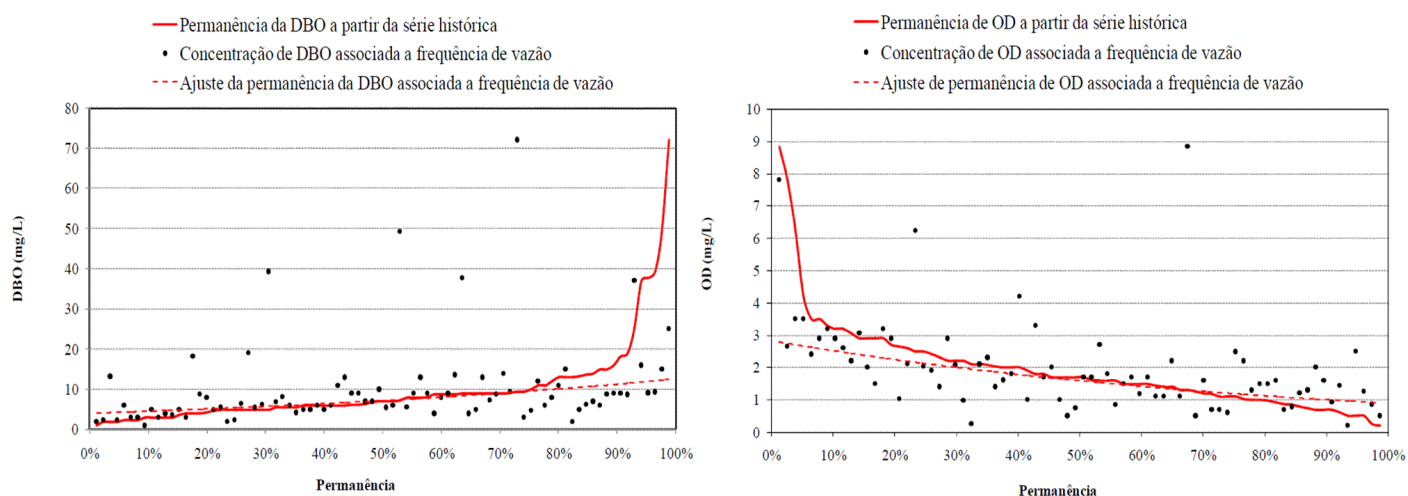


Figura 5 – Curvas de permanência de DBO e OD para a estação de monitoramento Guajuvira. **Fonte:** Adaptado de Formigoni *et al.* (2011).

Na estação Balsa Nova (Figura 6) a análise foi realizada para o intervalo de 1993 a 2010, sendo que os autores concluíram que ambas as curvas de DBO, tanto a formulada a partir da série histórica quanto aquela associada à série de vazão, apresentaram comportamento semelhante. Em relação ao OD, a curva associada à frequência de vazão aponta o parâmetro sempre acima de 2mg/L (limite para rios classe 4), já a curva elaborada a partir da série histórica mostra que o parâmetro atende ao enquadramento em 75% do período.

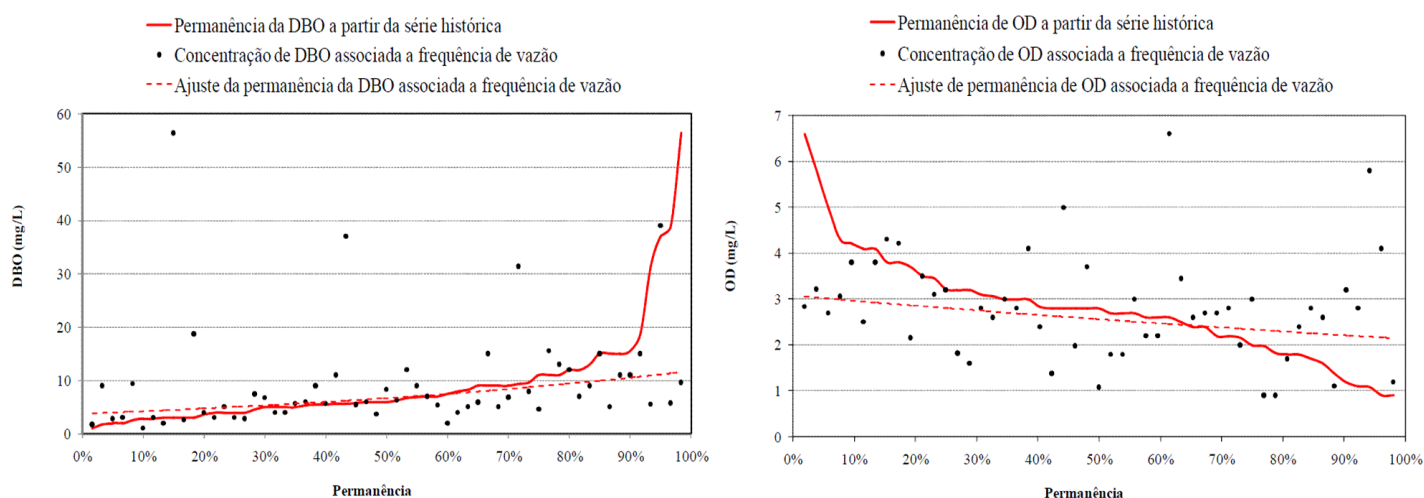


Figura 6 – Curvas de permanência de DBO e OD para a estação de monitoramento Balsa Nova. **Fonte:** Adaptado de Formigoni *et al.* (2011).

Os resultados obtidos por Formigoni *et al.* (2011) também mostraram que curvas de permanência de qualidade da água podem ser ferramentas eficientes para auxiliar os processos de gestão de qualidade da água, principalmente por promoverem a integração entre a gestão ambiental e de recursos hídricos. Os autores concluíram que a curva de permanência de qualidade associada às frequências das vazões permite o estabelecimento de medidas de controle de carga poluente em função do risco de atendimento aos padrões de qualidade. As curvas de permanência de qualidade, por sua vez, consideram a natureza aleatória das concentrações, podendo ser eficientes no controle da poluição.

3.6 CONSIDERAÇÕES ESTATÍSTICAS IMPORTANTES PARA ANÁLISES DE SÉRIES TEMPORAIS

Análises estatísticas de séries temporais se baseiam na premissa de que as séries são estacionárias, ou seja, os dados oscilam sobre uma média constante, independente do tempo, sendo a variância das flutuações a mesma. Séries estacionárias essencialmente não apresentam saltos, tendências ou ciclos, sendo as características populacionais de medições recentes as mesmas de dados mais antigos (OLIVEIRA, 2012). Assim, é preciso verificar se as séries são estacionárias antes de submetê-las a testes estatísticos, com o intuito de corrigi-las caso não forem.

Uma forma de testar a estacionariedade de uma série é através da análise de tendências, sendo o teste de Mann-Kendall comumente utilizado. Esse método tem como hipótese nula observações independentes e identicamente distribuídas, isto é, não há tendências. Hipóteses alternativas consideram que a série apresenta tendências monotônicas ao longo do tempo. Sazonalidades significativas podem afetar a sensibilidade do teste de Mann-Kendall, sendo recomendado utilizar, nesse caso, o teste de Kendall sazonal, que aplica os cálculos separadamente para os dados de cada estação (HAMED & RAO, 1998, *apud* BLAIN, 2010; COELHO, 2013).

O método da dupla massa é outra maneira para identificar se ocorreram mudanças no comportamento dos dados ao longo do tempo. Essa análise compara os valores acumulados de uma estação com os de outra, que geralmente representa a média de estações vizinhas. Assim, obtêm-se graficamente duas retas que podem apresentar mudança na declividade se houve uma anormalidade, indicando que os dados mais recentes diferem dos mais antigos (UFAL e UFSC, 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Alto Iguaçu, que compreende grande parte da região metropolitana de Curitiba, é composta por 25 municípios e abrange uma população de 2.528.981 habitantes, cuja grande maioria reside em Curitiba. Essa bacia nasce na Serra do Mar e apresenta uma área de drenagem de 2.800 km², possuindo como rio principal o Iguaçu (KNAPIK, 2009).

Considerado o maior rio do estado do Paraná, com aproximadamente 1.275 km, o rio Iguaçu é formado pelo encontro dos rios Iraí e Atuba, na região leste do município de Curitiba, desaguando no rio Paraná. Ao longo de seu percurso, irriga pastagens e plantações, além de conter cinco hidrelétricas em seu leito, desempenhando um importante papel sócioeconômico e ambiental. Atualmente é enquadrado como rio classe 2, sendo apontado pelo IBGE como o segundo rio brasileiro mais poluído em 2008 (Instituto das Águas do Paraná, 2009; MARONI, 2010; CIESP, 2013).

O trecho do rio Iguaçu pertencente à bacia do Alto Iguaçu possui 86 km de extensão, direcionando-se até a foz do Rio Verde. A bacia, por sua vez, é constituída por 28 afluentes principais (Figura 7), sendo eles Atuba, Belém, Barigui, Cotia, Despique, Divisa, Faxinal, Iraí, Iraizinho, Isabel Alves, Itaquí, Mascate, Maurício, Miringuava, Miringuava-Mirim, Padilha, Palmital, Passaúna, Pequeno, Piunduva, Piraquara, Alto Boqueirão, Avariú, do Meio, Guajuvira, Ressaca, Verde e Turvo (BRITES, 2010; SEMA, 2010).

Dentre eles, os rios Miringuava, Miringuava-Mirim, Verde, Maurício, Despique, Cotia e Faxinal apresentam boas condições. Já os afluentes que atravessam áreas densamente urbanizadas, como os rios Barigui, Atuba, Padilha e Belém, apresentam condições de qualidade da água bastante deterioradas, com altos teores de coliformes e matéria orgânica, além de níveis deplecionados de oxigênio dissolvido (Instituto das Águas do Paraná, 2015a).

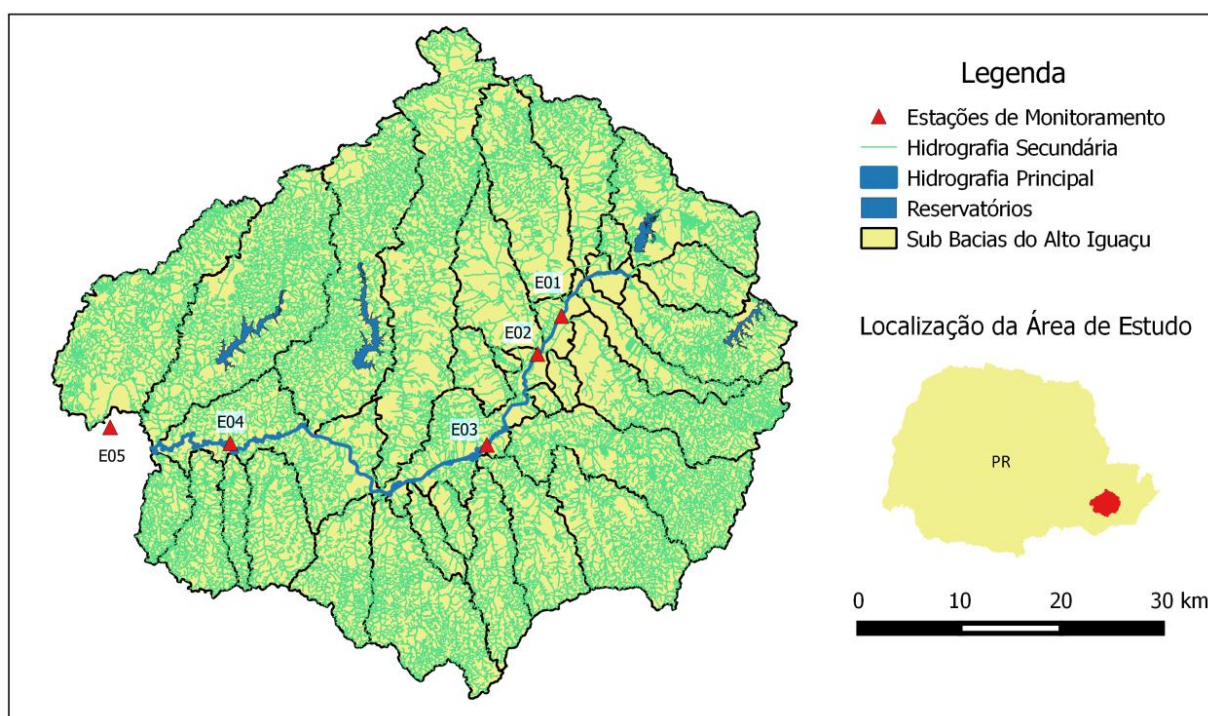


Figura 8 – Localização da área de estudo e das estações analisadas na bacia do Alto Iguaçu

4.3 LEVANTAMENTO, COLETA E ORGANIZAÇÃO DE DADOS

Os parâmetros de qualidade da água analisados nesta pesquisa foram pH, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais (ST), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), fósforo total, nitrogênio total (NT) e coliformes fecais (CF).

Tanto os dados de qualidade da água quanto os de vazão foram obtidos na forma de séries históricas, no sítio eletrônico Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015c). Para as séries de vazão as medições são diárias, enquanto as de qualidade da água apresentam frequência mensal não contínua. Ou seja, apesar de haver casos com mais de uma medição por mês, o padrão majoritariamente observado é de intervalos de um ou mais meses entre as medições de qualidade.

Além dos dados da Agência Nacional de Águas, medições adicionais de qualidade da água, resultantes de pesquisas desenvolvidas por Knapik (2009) e Coelho (2013), foram utilizadas para complementar o banco de dados. Adicionalmente, medições de vazão do Sistema de Informações Hidrológicas do Instituto das Águas do Paraná foram utilizadas para completar dados faltantes da

ANA (Instituto das Águas do Paraná, 2015b). Dessa forma, foi possível preencher as séries históricas de vazão para todas as estações, com exceção da E02, que apresenta uma falha de 64 medições no período de 1994 a 1999, a qual corresponde a 37% dos dados de vazão disponíveis para a estação.

Após a coleta dos dados de vazão e qualidade da água, esses foram organizados em planilhas eletrônicas Excel®, realizando-se uma análise de consistência para eliminar medições inconsistentes ou duvidosas. Foram retirados valores inverossímeis e falhas de medição representadas por '0' e '99999' na série de dados. A Tabela 5 apresenta os intervalos de anos avaliados em cada estação e mostra o número de medições de vazão e qualidade da água correspondentes, sendo dados inconsistentes desconsiderados nessa contabilização.

Tabela 5 – Intervalos de anos analisados e número de medições correspondentes para dados de vazão e qualidade da água nas estações estudadas

	E01	E02	E03	E04	E05
Intervalo Analisado					
Qualidade da Água	1983 - 2014	1984 - 2011	1991 - 2014	1981 - 2014	1992 - 2011
Vazão	1983 - 2014	1984 - 1994 1999 - 2011	1991 - 2014	1981 - 2014	1992 - 2011
Número de Medições					
pH	297	186	201	244	127
Cond. Elétrica	279	175	238	225	117
Turbidez	245	132	147	185	118
ST	165	58	83	120	85
DBO	321	221	236	267	124
OD	308	209	230	259	118
Fosfato Total	188	87	113	130	85
NT	122	48	69	70	69
CF	219	106	125	178	71
Q	347	172	247	302	133

É importante ressaltar que, apesar de haver medições para nitritos, nitratos, nitrogênio orgânico e amoniacal no Hidroweb (ANA, 2015c), analisou-se somente o NT, já que as séries históricas para as espécies de nitrogênio supracitadas apresentam relativamente poucos dados. O mesmo ocorre para o fósforo total, sendo as análises realizadas somente em termos de fosfato total.

4.4 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DE AMOSTRAGEM

A avaliação da distribuição temporal das amostras de qualidade da água foi realizada de dois modos distintos. No primeiro foram elaborados gráficos contendo o número de medições para um determinado parâmetro no eixo ordenado, sendo os meses, de janeiro até dezembro, distribuídos na abscissa. Assim, padronizou-se as representações gráficas por parâmetro de qualidade da água, apresentando-se o número de medições disponíveis por mês para cada uma das cinco estações.

A segunda forma associou a distribuição temporal das medições de qualidade da água com as vazões médias mensais, as quais foram representadas graficamente. Nesse caso, porém, o número de medições de qualidade da água mensal foi a média das medições entre todas as estações analisadas (E01 - E05).

4.5 REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS E ANÁLISE DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A avaliação estatística dos parâmetros de qualidade da água foi realizada de forma gráfica, através de duas análises: temporal e espacial. A primeira utiliza curvas de permanência e gráficos de evolução temporal; a segunda baseia-se em diagramas de caixa (*boxplots*). Tais representações foram utilizadas para verificar o atendimento dos parâmetros à Resolução CONAMA Nº 357/2005, baseando-se nos limites para a classe 2. Todos os gráficos foram elaborados no *software* Origin[®].

A construção e análise dos gráficos foi efetuada primeiramente para pH, condutividade elétrica e as concentrações de turbidez, ST, DBO, OD, fosfato total, NT e CF. Em seguida, realizou-se o mesmo procedimento para os gráficos de carga, referentes aos parâmetros ST, DBO, OD, fosfato total e NT. Os valores de carga (kg/dia) para essas variáveis foram obtidos através da multiplicação das concentrações pelas vazões verificadas nos dias das medições de qualidade.

Vale ressaltar que as análises estatísticas efetuadas nesta pesquisa baseiam-se na hipótese de que as séries históricas são estacionárias, ou seja, desenvolvem-se aleatoriamente ao redor de uma média constante ao longo do tempo, não apresentando tendências de crescimento ou decrescimento (SOBREIRO *et al.*, 2009).

4.5.1 Curvas de Permanência

Para a elaboração das curvas de permanência ordenou-se crescentemente as séries de dados de qualidade da água e calculou-se suas frequências acumuladas. Além disso, determinou-se os valores complementares das frequências acumuladas, obtidos subtraindo-se a frequência acumulada de 1. Esse procedimento foi realizado para cada parâmetro das cinco estações estudadas.

A curva de permanência apresenta no eixo ordenado a medição do parâmetro de qualidade da água (em concentração ou carga) e na abscissa os valores complementares das frequências acumuladas, equivalentes à probabilidade de excedência. Nessas curvas, a leitura corresponde à probabilidade de determinado valor ser superado ou igualado em um dado período de tempo, ou seja, $P(x \geq X) = 1 - P(x < X)$.

No caso particular do OD, avaliou-se a probabilidade de não-excedência, já que a qualidade ambiental associada a esse parâmetro é condicionada a valores elevados, ao contrário dos demais parâmetros de qualidade da água. Nesse contexto, utilizou-se as frequências acumuladas, que representam a probabilidade de a variável apresentar valor inferior ao arbitrado $P(x < X)$.

Dessa forma, para pH, condutividade elétrica e as concentrações de turbidez, ST, DBO, OD, fosfato total, NT e CF, gerou-se um gráfico por parâmetro, contendo cinco curvas de permanência, uma para cada estação. Para facilitar a análise dos dados, foram incluídos nos gráficos os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005 para rios classe 2 e 3, com o intuito de avaliar se o enquadramento é respeitado e verificar como os parâmetros se comportam para os limites referentes à classe 3, que apresenta usos da água mais restritos em relação à classe 2.

Para as curvas de permanência de carga (kg/dia), montadas para ST, DBO, OD, fosfato total e NT, construiu-se um gráfico por parâmetro e estação, contendo duas curvas de permanência: uma para a carga observada na estação e outra referente à carga compatível com o enquadramento do corpo aquático. As cargas compatíveis com o enquadramento foram obtidas através da associação das vazões a uma concentração única, correspondente ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 357/2005 para cada variável estudada.

A Figura 9 mostra um exemplo das curvas de permanência de carga geradas nesta pesquisa. A curva vermelha corresponde à carga de DBO observada na estação e a pontilhada representa a carga compatível desse parâmetro com o enquadramento. Nesse caso, as cargas de DBO relativas ao enquadramento foram obtidas multiplicando-se as vazões pelo limite de 5 mgO₂/L, estipulado pela Resolução CONAMA N° 357/2005 para rios classe 2.

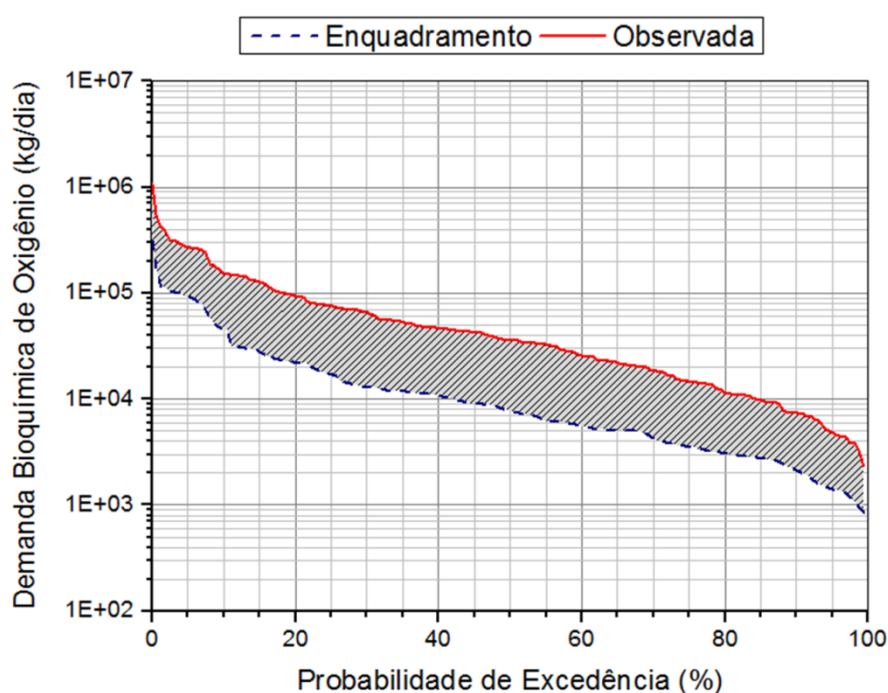


Figura 9 – Exemplo ilustrativo das curvas de permanência de carga, onde a área hachurada representa a massa excedente de DBO no rio

Através das curvas de permanência de carga foi possível verificar quando as cargas observadas estão acima do enquadramento e identificar o quão afastado da condição ideal – aquela condizente com os limites legais – o corpo aquático se encontra. A área hachurada da Figura 9 representa a massa excedente de DBO no rio (em kg), sendo obtida através da diferença entre as integrais das curvas vermelha e pontilhada, respectivamente. O procedimento de cálculo dessas áreas foi efetuado através de integração diretamente no *software* Origin®.

4.5.2 Gráficos de Evolução Temporal

Os gráficos de evolução temporal foram plotados para pH, condutividade elétrica, as concentrações e cargas dos parâmetros analisados. Foram adotados gráficos de dispersão de 1985 a 2015, seguindo-se o padrão de um gráfico contendo os dados das cinco estações para o mesmo parâmetro de qualidade da água. Para facilitar a análise dos dados, foram incluídos nos gráficos os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005 para rios classes 2 e 3, quando disponíveis.

4.5.3 Diagramas de Caixa (*Boxplots*)

Com o intuito de descrever estatisticamente a variação espacial dos parâmetros de qualidade da água ao longo do rio Iguaçu, utilizou-se *boxplots*, que fornecem informações sobre a mediana, dispersão e assimetria dos dados. Esses gráficos foram construídos para pH, condutividade elétrica, as concentrações e cargas dos parâmetros analisados.

Para cada parâmetro gerou-se um gráfico contendo os diagramas de caixa das cinco estações, ordenadas de montante à jusante na abscissa, ou seja, de E01 até E05. Os percentis utilizados para a construção da caixa foram 10º, 25º (quartil inferior), 50º (mediana), 75º (quartil superior) e 90º, e 1º e 99º para os *whiskers*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados e discutidos primeiramente em relação à distribuição temporal de amostragem, sendo as análises temporais e espaciais, em termos de pH, condutividade elétrica, concentração e carga, realizadas em seguida.

5.1 ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DE AMOSTRAGEM

A Figura 10 mostra a distribuição temporal de amostragem para o OD no rio Iguaçu. O gráfico superior expõe o número mensal de medições em cada uma das cinco estações, enquanto o inferior considera o número mensal de medições como sendo a média das cinco barras do gráfico superior.

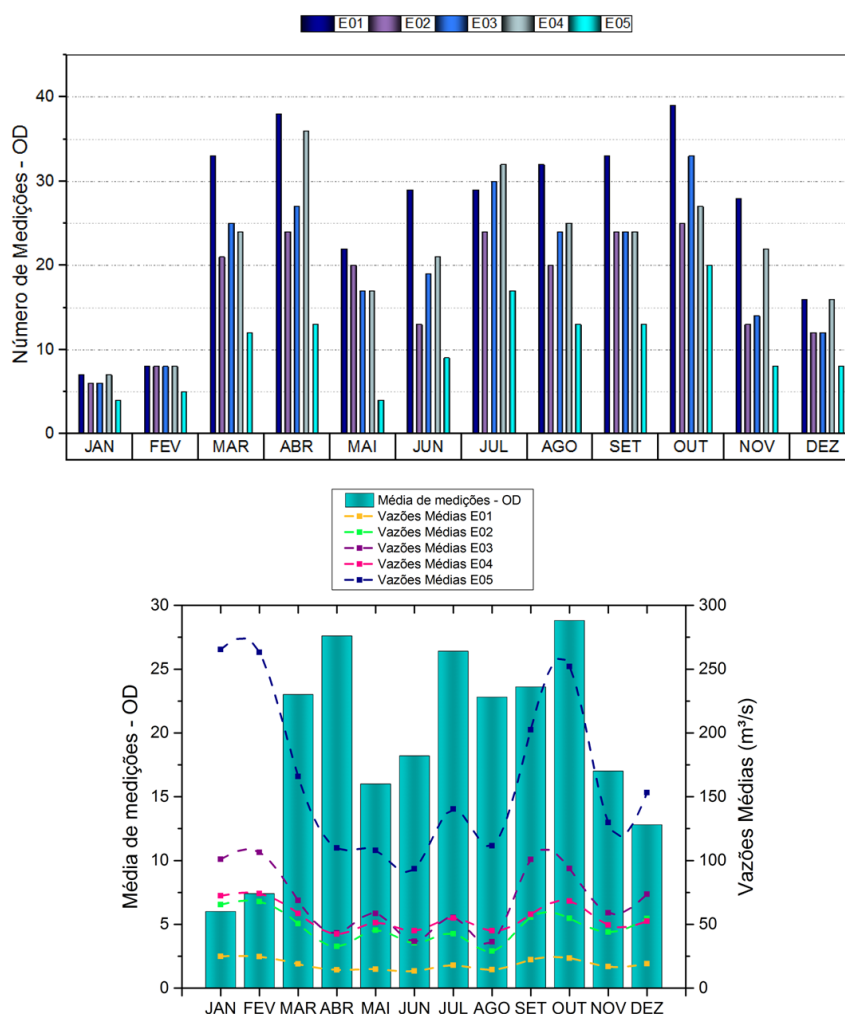


Figura 10 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem do OD (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos na bacia do Alto Iguaçu

Com base na Figura 10 e nos gráficos do Apêndice 1, referentes à distribuição temporal de amostragem dos demais parâmetros de qualidade da água contemplados nesta pesquisa, foi possível identificar que a estação E01 (Ponte BR-277) geralmente apresenta o maior número de medições, sendo seguida pela E04 (Guajuvira). Para a maioria dos parâmetros notou-se que os picos de medições ocorrem em outubro, com exceção de DBO e fosfato total, para os quais esse fenômeno foi observado em abril.

Para todos os parâmetros verificou-se um decréscimo significativo nas medições de outubro a dezembro, sendo janeiro e fevereiro os meses com as menores quantidades de dados de qualidade da água disponíveis. Adicionalmente, constatou-se que houve uma queda no número de medições no mês de maio.

A Tabela 6 reforça essas constatações, mostrando que o número de medições em janeiro, fevereiro, maio, novembro e dezembro está abaixo da média mensal esperada de 8,3%, referente a uma distribuição igualitária de medições ao longo do ano. Janeiro e fevereiro possuem em média 3% das medições do ano, representando um déficit de 5,3% em relação à média, o que está potencialmente relacionado com o período de férias. Limitações financeiras e logísticas podem igualmente favorecer a redução no número de medições de qualidade da água durante o verão chuvoso.

Tabela 6 – Percentagem de medições mensais por parâmetro de qualidade da água

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
pH	2.6	3.0	8.6	11.1	6.5	8.4	11.6	10.3	9.4	13.3	8.6	6.5
Cond. Elétrica	2.7	2.9	8.6	11.0	6.5	8.4	10.9	10.0	9.8	13.6	8.8	6.7
Turbidez	3.1	3.8	10.1	12.1	5.6	8.7	10.9	9.5	9.0	12.6	8.6	6.0
ST	3.4	2.8	10.6	13.3	4.6	9.5	11.0	9.1	8.0	14.2	7.4	6.1
DBO	2.9	2.9	9.3	11.9	6.6	8.0	11.2	10.2	10.2	11.8	8.0	7.0
OD	2.6	3.2	10.0	12.0	7.0	7.9	11.5	9.9	10.3	12.5	7.4	5.6
Fosfato Total	2.6	3.4	10.2	12.9	6.5	8.6	10.5	8.7	10.5	12.6	7.6	6.0
NT	3.4	2.6	11.2	12.2	3.6	9.4	10.9	7.8	8.6	16.1	7.5	6.8
CF	3.5	2.9	11.6	11.2	6.6	5.9	12.8	10.3	8.8	13.1	8.5	4.7
Média	3.0	3.1	10.0	12.0	5.9	8.3	11.3	9.5	9.4	13.3	8.0	6.2

Nota: As porcentagens foram calculadas considerando-se a média das medições entre todas as cinco estações como o número de medições de qualidade da água mensal.

É importante destacar que a quantidade de chuvas incidente sobre a bacia hidrográfica durante as diferentes estações do ano afeta sua qualidade da água. Épocas chuvosas, por exemplo, favorecem a introdução de cargas poluidoras difusas no corpo d'água, através do escoamento superficial. Por outro lado, elevados índices pluviométricos proporcionam altas vazões no corpo hídrico, as quais podem diluir poluentes oriundos de fontes pontuais, promovendo uma melhora na qualidade da água (FORMIGONI *et al.*, 2011; COELHO, 2013).

Nos meses de janeiro, fevereiro e outubro a incidência de chuvas é elevada, o que promove altos níveis de vazão nesse período, como pode ser identificado na Figura 10. Portanto, se forem considerados somente lançamentos pontuais, assume-se que as concentrações dos poluentes nesses meses são mais baixas, devido aos fenômenos de diluição que ocorrem no corpo hídrico.

Sendo assim, as poucas medições em janeiro e fevereiro podem comprometer a representatividade e consistência da extremidade da curva de permanência de qualidade da água que representa as concentrações mais baixas. Essa hipótese é retratada na Figura 11, sendo a região hachurada no gráfico da direita aquela que eventualmente apresenta limitações devido à menor quantidade de dados de qualidade da água nos dois primeiros meses do ano.

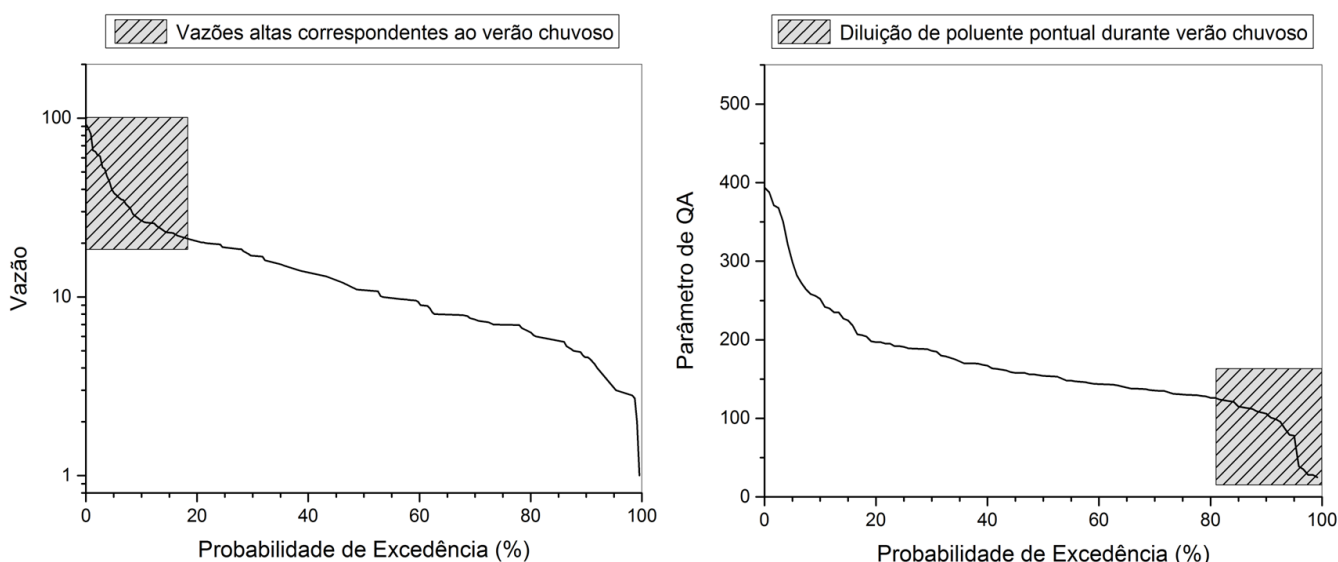


Figura 11 – Exemplo ilustrativo da hipótese que retrata as limitações na curva de permanência de qualidade da água nos meses de janeiro e fevereiro, devido ao menor número de medições verificado nesse período

5.2 ANÁLISE DE pH, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E CONCENTRAÇÕES DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

5.2.1 Análise Temporal

A análise temporal foi efetuada através de curvas de permanência e gráficos de evolução temporal obtidos para os parâmetros de qualidade da água avaliados, sendo contemplada nas subseções 5.2.1.1 a 5.2.1.9. Gráficos de evolução temporal separados por parâmetro e estação podem ser visualizados no Apêndice 2.

5.2.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

De acordo com a Resolução CONAMA Nº 357/2005, o nível aceitável de pH para rios classe 2 é entre 6,0 e 9,0. Nesse contexto, a Figura 12 mostra que os resultados obtidos são satisfatórios, já que os valores mantêm-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação na maior parte do tempo.

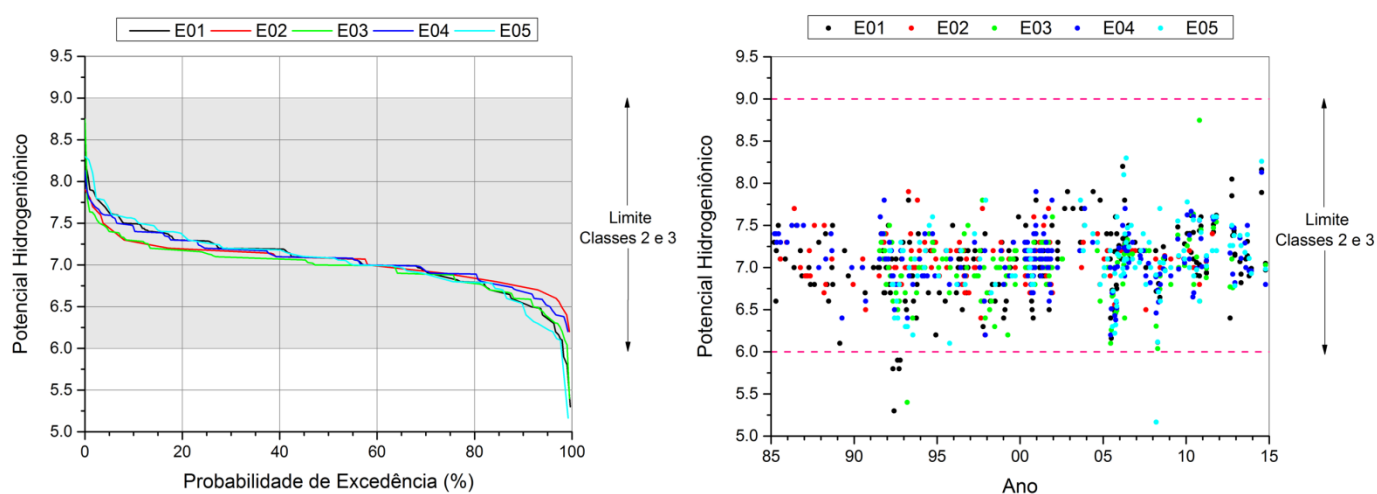


Figura 12 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para o pH no rio Iguaçu, medido em estações da bacia do Alto Iguaçu

Com base no gráfico de evolução temporal é possível identificar que a maioria dos valores de pH nas estações avaliadas enquadra-se na faixa entre 6,25 e 7,75. Não ocorre nenhuma medição acima do limite máximo de 9,0, enquanto há 7 medições inferiores à 6,0, a maioria pertencente à estação E01.

Os valores reduzidos de pH podem estar relacionados com a geração de dióxido de carbono durante processos de degradação da matéria orgânica, a qual é introduzida na água através de processos erosivos nas margens do rio ou do despejo de esgotos domésticos (MELO, 2002; DAVIS & McCUEN, 2005; ANA, 2014).

5.2.1.2 Condutividade Elétrica

Não há nenhum limite estabelecido na Resolução CONAMA Nº 357/2005 para condutividade elétrica; ainda assim, esse parâmetro é importante para estudos de qualidade da água, pois indica a existência de possíveis fontes poluidoras no corpo aquático. De acordo com a CETESB (2009), níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ representam ambientes impactados.

Observando-se a Figura 13, verifica-se que os valores de condutividade elétrica disponíveis para o período analisado encontram-se majoritariamente abaixo de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Através das curvas de permanência é possível identificar que, na maior parte do tempo, a probabilidade de exceder 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ é relativamente alta para todas as estações, variando entre 80 e 90% para E03, E04 e E05, e sendo de 97% em E02. Para E01, a probabilidade de excedência é mais reduzida, de aproximadamente 60%, havendo uma tendência crescente do parâmetro nessa estação.

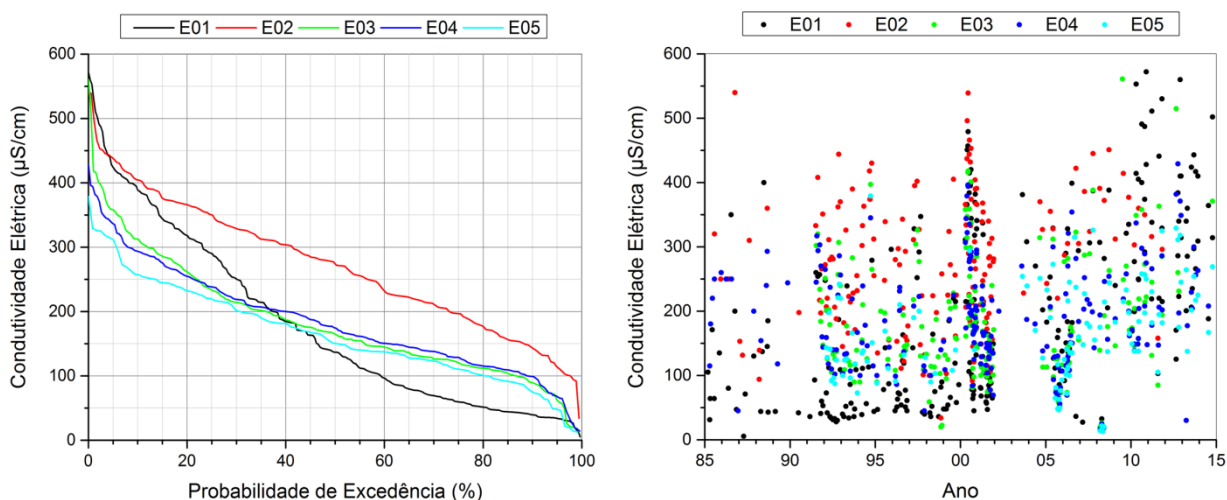


Figura 13 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a condutividade elétrica no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu

Os altos níveis de condutividade elétrica verificados nas estações analisadas refletem que há altas concentrações de íons dissolvidos nesses trechos, originados da introdução de efluentes sanitários e industriais nas águas e do escoamento direto decorrente das chuvas. Assim, o aporte de matéria orgânica nesses trechos é elevado, contribuindo para a introdução de espécies iônicas na água, gerando o aumento da condutividade elétrica. Alvejantes também podem elevar os níveis de condutividade elétrica nos rios, por possuírem íons de cloro (GUIMARÃES & NOUR, 2001, *apud* ZUIN *et al.*, 2009; SCHIAVETTI, 2015).

5.2.1.3 Turbidez

Analisando-se as curvas de permanência e o gráfico de evolução temporal da Figura 14, nota-se que, na maior parte do tempo, as estações apresentam valores de turbidez condizentes com a Resolução CONAMA Nº 357/2005, sendo a probabilidade de exceder o limite de 100 UNT inferior a 10% em todas as estações.

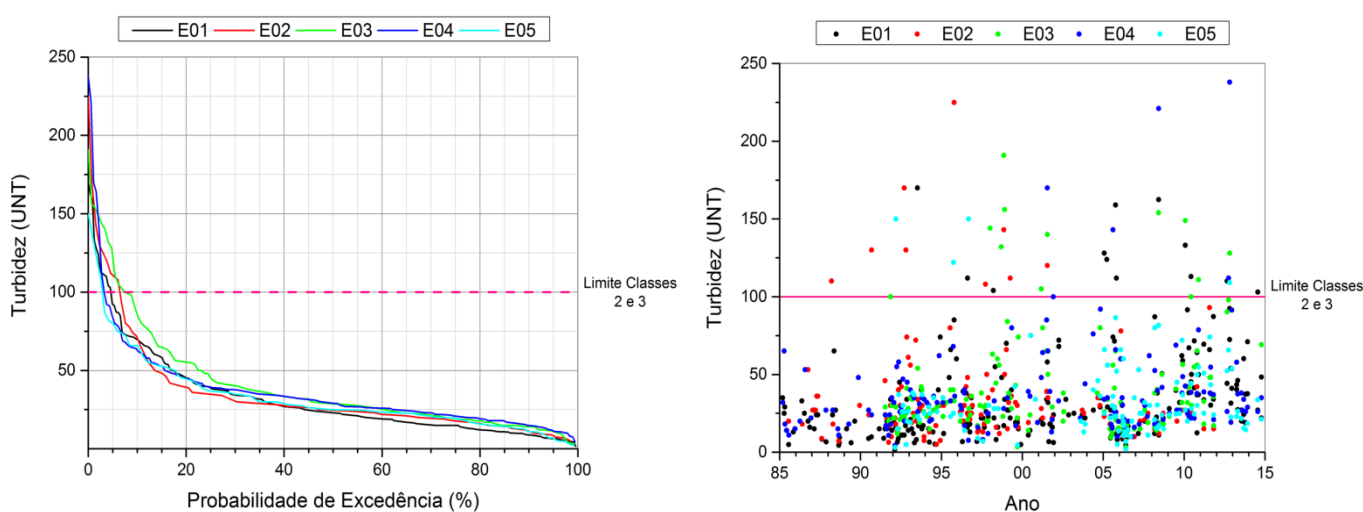


Figura 14 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a turbidez no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu

Além disso, nota-se que nas 5 estações os dados encontram-se majoritariamente abaixo de 50 UNT durante o período analisado. As estações E04 (Guajuvira) e E05 (Balsa Nova) possuem em média 5 valores superiores ao limite imposto, enquanto E01, E02 e E03 apresentaram um número médio de 10 medições acima de 100 UNT. Esses valores elevados de turbidez comumente ocorrem devido

a eventos pontuais de chuvas significativas, as quais induzem erosão nas margens do rio, aumentando a concentração de sólidos em suspensão na água (CETESB, 2009; ANA, 2014).

5.2.1.4 Sólidos Totais (ST)

Assim como para condutividade elétrica, não há nenhum limite estabelecido na Resolução CONAMA Nº 357/2005 para sólidos totais. Porém, a legislação estipula um valor máximo para sólidos dissolvidos totais, sendo o limite de até 500 mg/L para as classes 1, 2 e 3.

Tomando-se como base o limite para sólidos dissolvidos totais, e analisando-se a Figura 15, observa-se que as estações encontram-se dentro do valor aceitável estabelecido pelo CONAMA, sendo que nenhuma ultrapassa os 500 mg/L, com exceção da E02, que o faz em 1% do tempo.

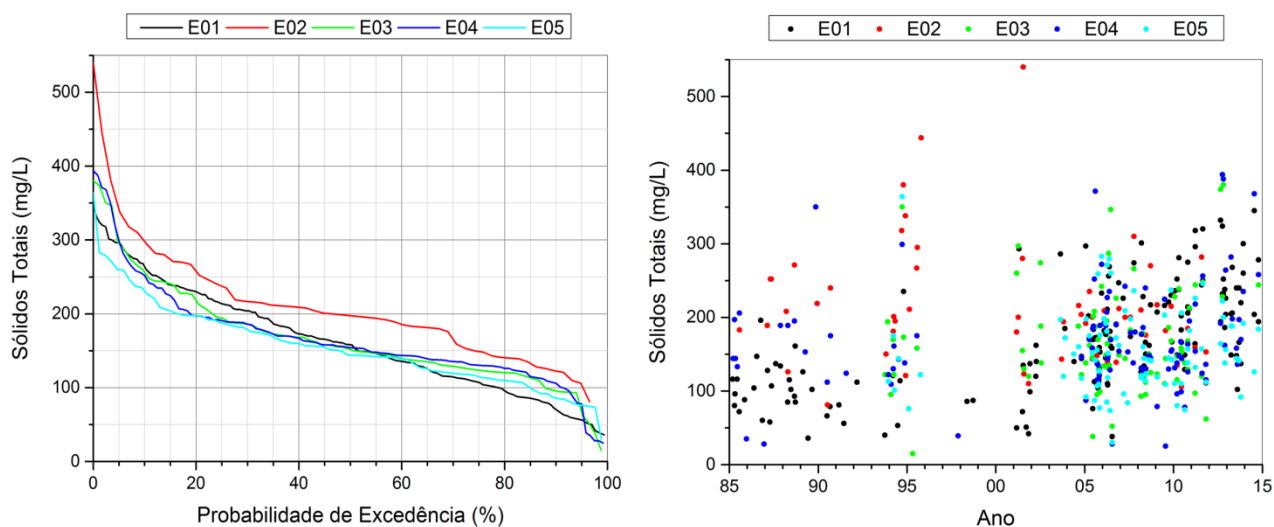


Figura 15 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a concentração de ST no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu

Além disso, de acordo com o gráfico de evolução temporal, é possível identificar que as estações E01, E03, E04 e E05 apresentam todas as suas medições abaixo de 400 mg/L, sendo detectada uma tendência de crescimento nos dados da E01. De uma forma geral, pode-se concluir que os valores de ST

obedecem ao enquadramento legal, com a ressalva de que o limite considerado é aquele para sólidos dissolvidos totais.

5.2.1.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Os limites impostos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005 para demanda bioquímica de oxigênio são de até 5 mgO₂/L para águas doces classe 2 e inferiores ou equivalentes a 10 mgO₂/L para rios enquadrados na classe 3. Nesse contexto, a Figura 16 demonstra que a DBO está acima do limite da classe 2 na maior parte do tempo.

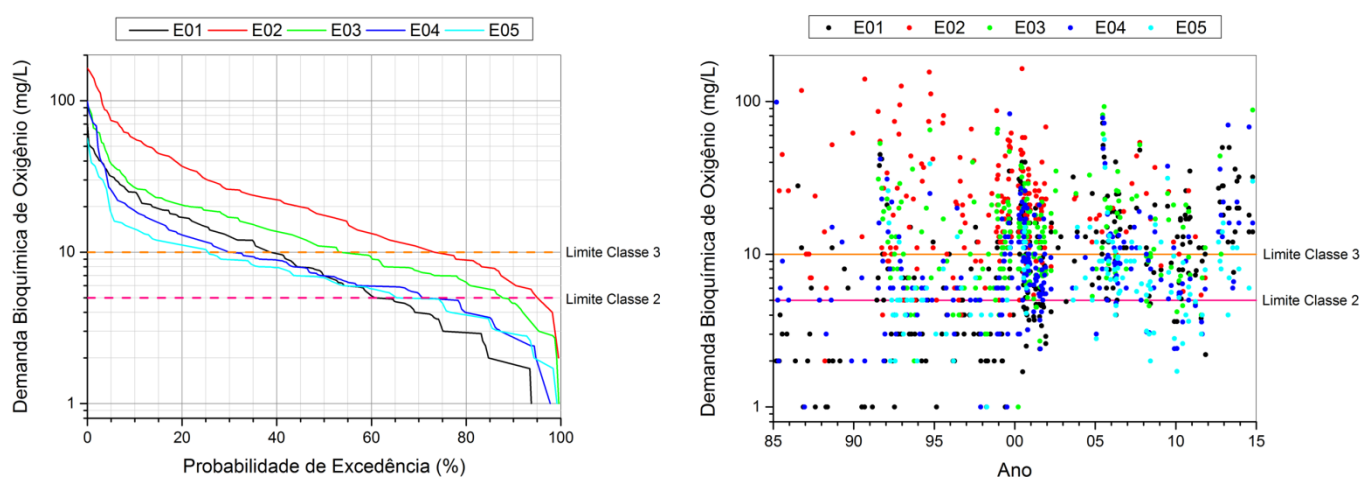


Figura 16 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a concentração de DBO no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu

Dentre as cinco estações, E03 e E02 apresentaram as maiores probabilidades de exceder 5 mgO₂/L, sendo essas respectivamente de 88 e 95%. Para E01, E04 e E05 as probabilidades de excedência mostraram-se igualmente insatisfatórias, variando entre 60 e 70%, sendo identificada uma tendência crescente nos valores de DBO na E01.

Levando-se em consideração o limite da classe 3, verifica-se que E01, E04 e E05 apresentam valores de DBO menores que 10 mgO₂/L na maior parte do tempo. Para E02 e E03, que mal satisfazem as concentrações máximas estipuladas para a classe 2, as probabilidades de excedência diminuiriam consideravelmente se fosse considerado o limite da classe 3, chegando a 73% para E02 e 53% para E03.

Os altos níveis de DBO em E02 e E03 ocorrem devido às elevadas concentrações de matéria orgânica nessas estações, introduzidas no rio majoritariamente devido a despejos de efluentes sanitários. Além disso, parte da fração orgânica nesse trecho é oriunda dos afluentes Belém e Padilha. A erosão das margens do rio pode aumentar a concentração da matéria orgânica na água, nesse caso, porém, em menor escala (BOLLMANN & EDWIGES, 2008).

As estações E04 e E05, apesar de excederem o limite da classe 2 em mais de 65% do tempo, apresentaram faixas de valores de DBO mais baixas em comparação com as demais estações. Isso pode estar relacionado com o fato de grande parte da matéria orgânica introduzida nas estações à montante ter sido degradada ao longo do curso do rio, o que implica em taxas menores de DBO.

5.2.1.6 Oxigênio Dissolvido (OD)

A partir da Figura 17, verifica-se que as estações E02, E03, E04 e E05 não atendem ao enquadramento legal para a classe 2, apresentando valores inferiores ao limite de 5 mgO₂/L (Resolução CONAMA Nº 357/2005) em 95% do tempo.

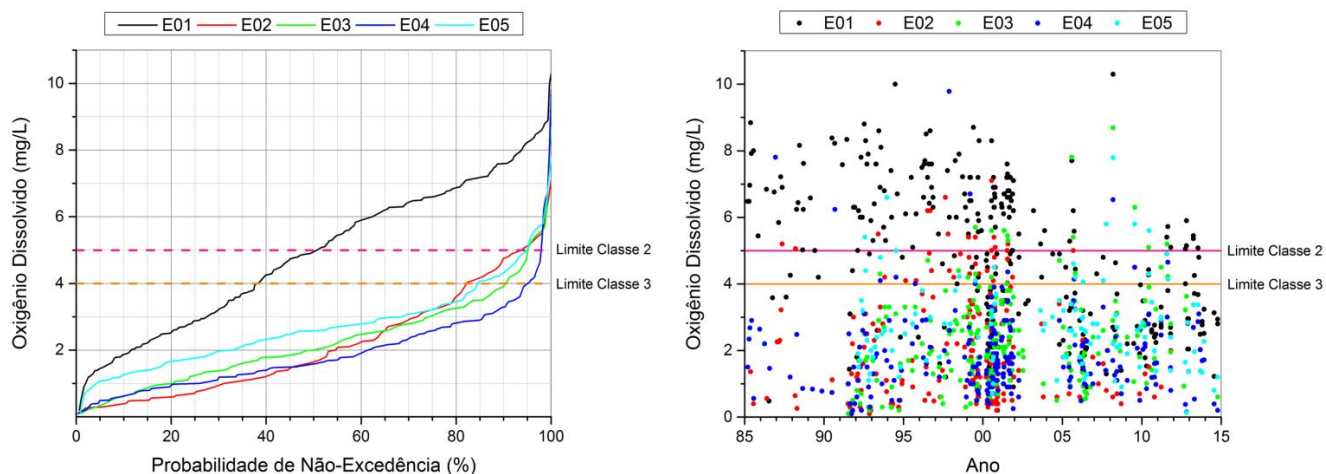


Figura 17 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a concentração de OD no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu

Para E01 a probabilidade de não exceder 5 mgO₂/L é de 50%, sendo possível identificar um decréscimo nos valores de OD nessa estação, condizente com a tendência crescente na DBO (Figura 16). Em E05 observa-se faixas de OD

levemente superiores às verificadas em E02, E03 e E04, porém, ainda em desacordo com o enquadramento.

Se fosse considerado o limite da classe 3 ($> 4 \text{ mgO}_2/\text{L}$), as probabilidades de não-excedência sofreriam uma redução de 12% em E01 e E02, sendo de 90, 95 e 85% nas estações E03, E04 e E05, respectivamente. Ainda assim, com exceção da E01, as estações apresentariam valores de OD insatisfatórios, na maior parte do tempo abaixo do limite mínimo estipulado.

A qualidade da água deteriorada verificada em E02 e E03 relaciona-se com os altos níveis de DBO nesses trechos (Figura 16), indicando que elevadas concentrações de OD são consumidas para degradar a matéria orgânica. (NAGALLI & NEMES, 2009). Da mesma forma, E04 e E05 também apresentaram valores bastante insatisfatórios de OD, apesar de estarem situadas em regiões mais afastadas das grandes cidades. Uma possível explicação para tal é a erosão nas margens do rio – agravada pela retirada da mata ciliar – responsável por aumentar a matéria orgânica na água, que requer OD para ser oxidada (ANA, 2014; CETESB, 2015d).

5.2.1.7 Fósforo Total

Assim como para ST, não há nenhum limite estabelecido na Resolução CONAMA Nº 357/2005 para fósforo total, que representa a forma predominante de fósforo em corpos hídricos (DANELON *et al.*, 2012). Porém, a legislação estipula limites máximos para fósforo total em ambientes lóticos, sendo esses $0,10 \text{ mgP/L}$ para as classes 1 e 2 e $0,15 \text{ mgP/L}$ para a classe 3.

Tomando-se como base o limite para fósforo total em rios classe 2, observa-se na Figura 18 que as estações superam, na maior parte do tempo, o valor aceitável estabelecido pelo CONAMA, sendo as probabilidades de excedência 65% (E01), 97% (E02), 90% (E03), 85% (E04) e 80% (E05). Se fosse considerado o limite de $0,15 \text{ mgP/L}$, referente à classe 3, haveria uma sutil diminuição nessas probabilidades, que cairiam para 60, 93, 85, 75 e 70%, respectivamente. Em ambos os cenários, os valores de fósforo total mostram-se insatisfatórios e significativamente acima dos valores máximos impostos pela legislação.

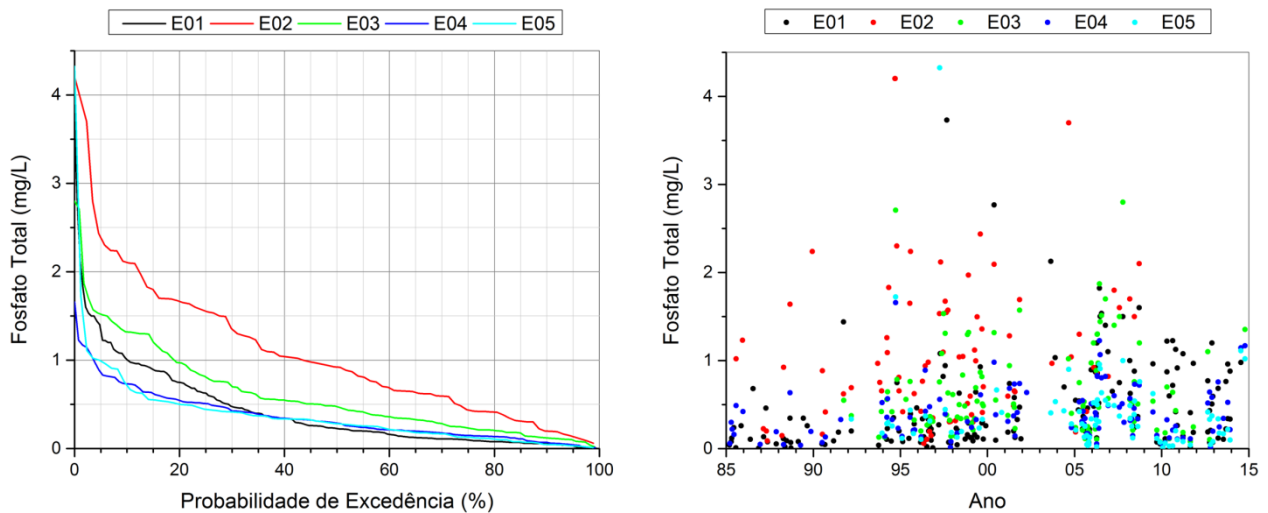


Figura 18 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a concentração de fosfato total no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu

Para as estações E01 e E03, é possível identificar que a maioria dos valores é inferior a $2,0 \text{ mgPO}_4^{-3}/\text{L}$, enquanto na E02 as medições de fosfato total mantiveram-se majoritariamente abaixo de $2,5 \text{ mgPO}_4^{-3}/\text{L}$. Possíveis fontes de fosfato nessas estações constituem resíduos de detergentes superfosfatados e matéria orgânica fecal, ambos contidos em esgotos domésticos, além de efluentes de indústrias de fertilizantes e pesticidas (ANA, 2014).

Já as estações E04 e E05 apresentaram as faixas mais baixas de valores de fosfato total, com a maioria dos dados inferiores a $1,0 \text{ mgPO}_4^{-3}/\text{L}$, sendo a fonte mais provável de fósforo o escoamento de águas que drenam áreas agrícolas da região (CETESB, 2015c).

5.2.1.8 Nitrogênio Total (NT)

De acordo com a Resolução CONAMA Nº 357/2005, o valor de NT para águas doces de classe 1 ou 2 não deve ultrapassar a concentração de $2,18 \text{ mgN/L}$ em ambientes lóticos. Nesse contexto, a Figura 19 indica que, na maior parte do tempo, as estações ultrapassam o limite máximo estabelecido pela legislação.

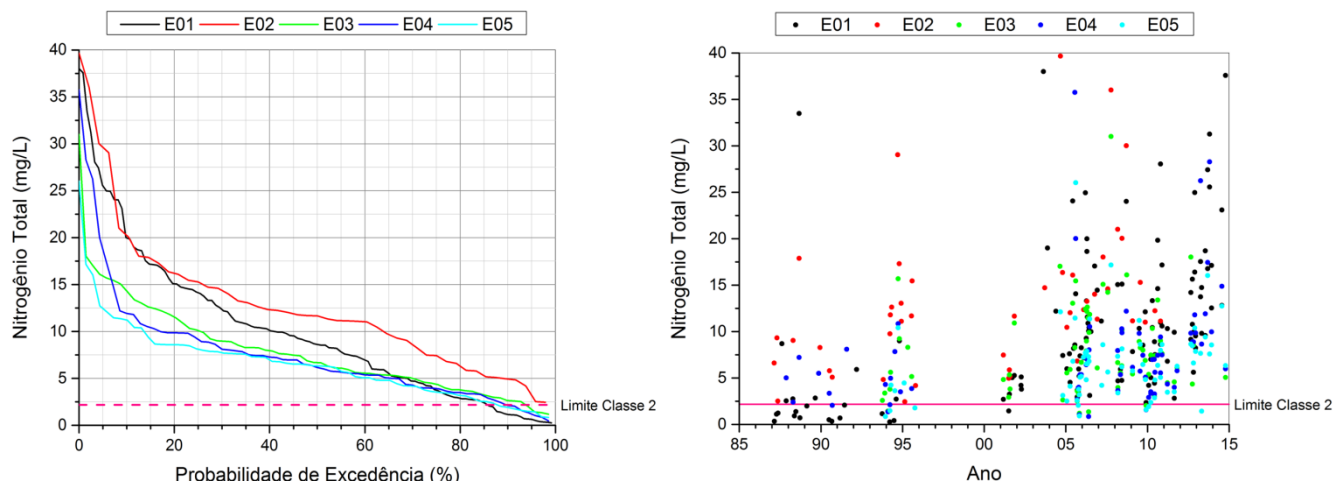


Figura 19 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a concentração de NT no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu

A E02 foi a que apresentou os dados menos satisfatórios, não sendo identificada nenhuma medição abaixo de 2,18 mgN/L. Em seguida, estão as estações E03, E04, E05 e E01, com probabilidades de excedência de 93, 89, 87 e 85%, respectivamente, sendo identificada uma tendência de aumento em E01. Com base no gráfico de evolução temporal verifica-se que entre 1996 e 2001 não há medições de NT em nenhuma das cinco estações de monitoramento, o que pode afetar as frequências representadas nas suas curvas de permanência.

Dentre as estações, E01, E02 e E03 apresentaram as faixas mais elevadas de NT, devido a despejos de efluentes industriais e domésticos, os quais constituem a principal fonte de nitrogênio orgânico nas águas. Nas estações E04 e E05, a principal fonte de nitrogênio provavelmente se deve ao uso de fertilizantes na agricultura local, os quais são drenados por águas pluviais até o rio, introduzindo compostos à base de nitrogênio na água (ANA, 2009a; CETESB, 2009).

5.2.1.9 Coliformes Fecais (CF)

Os limites impostos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005 para CF são de até 1.000 NMP/100mL para a classe 2 e inferiores ou equivalentes a 2.500 NMP/100mL para rios classe 3. Com base nos resultados observados na Figura 20, verifica-se que as probabilidades de excedência são significativamente elevadas nas estações, tanto para a classe 2 quanto para a 3.

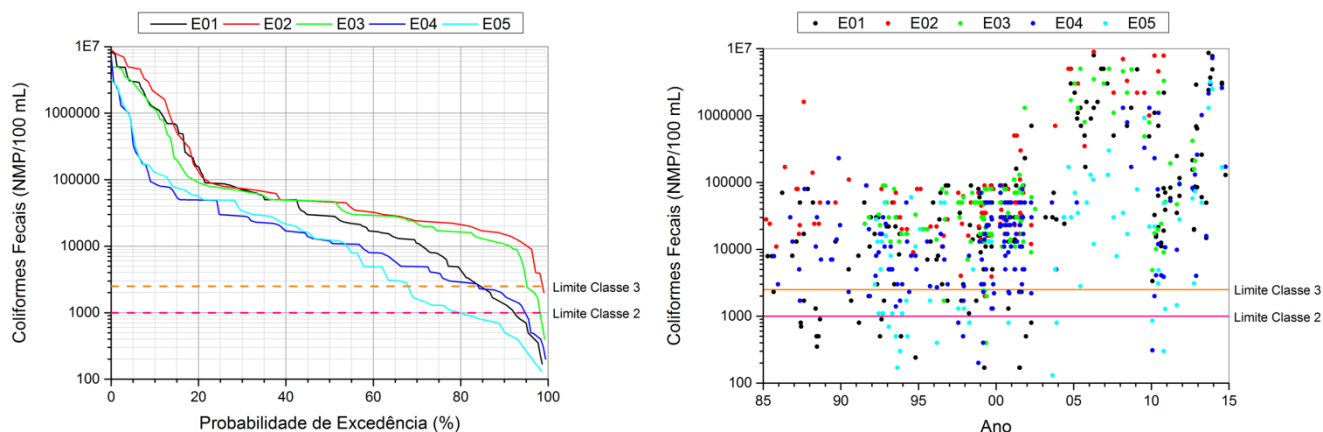


Figura 20 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para a concentração de CF no rio Iguaçu, medida em estações da bacia do Alto Iguaçu

As estações E01, E03 e E04 possuem probabilidades de excedência acima de 90% tomando-se como base o limite da classe 2. Para a E05, localizada em Balsa Nova, onde era de se esperar valores mais satisfatórios de CF, a probabilidade de excedência continua elevada, sendo de 80%. A estação E02, por sua vez, não mostrou nenhuma medição dentro do limite da classe 2, apresentando 99% de probabilidade de exceder o limite de 2.500 NMP/100mL referente à classe 3.

Em todas as estações os níveis de CF cresceram entre 1985 e 2015, o que se deve especialmente às descargas de efluentes domésticos na água – principal fonte dessas bactérias nos corpos hídricos. Observando-se o gráfico de evolução temporal, percebe-se que ocorre um aumento significativo nos CF após 2000, que pode eventualmente ser explicado por mudanças nas técnicas de coleta e análise laboratorial dos dados (WAHLIN & GRIMWALL, 2008).

5.2.2 Análise Espacial

Dentre os parâmetros analisados, turbidez e pH apresentaram as menores variações espaciais ao longo das estações monitoradas (Figura 21). Para a turbidez verificou-se uma distribuição semelhante nas cinco estações, as quais possuem medianas próximas a 25 UNT. A E03 apresentou a maior dispersão dos dados, estando os quartis primeiro e terceiro das demais estações entre 10 e 40 UNT. Para o pH a mediana fica em torno de 7,1, sendo as maiores variabilidades identificadas em E01 e E05, enquanto E02 apresenta a menor dispersão nos dados.

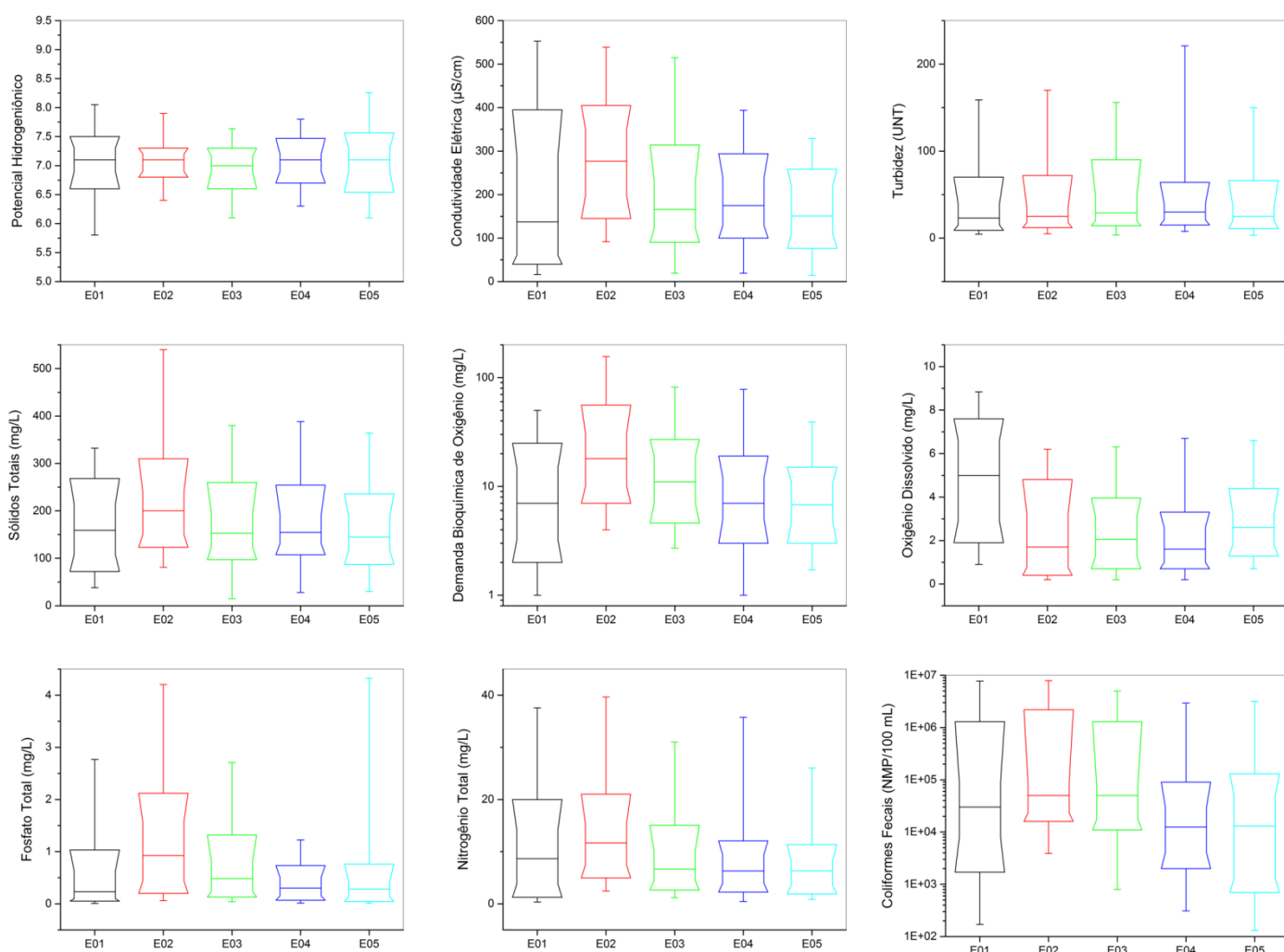


Figura 21 – *Boxplots* para pH, condutividade elétrica e as concentrações de turbidez, ST, DBO, OD, fósforo total, NT e CF no rio Iguaçu

Para condutividade elétrica, ST, DBO, fósforo total e NT é possível identificar um padrão na variabilidade espacial: ocorre um aumento desses parâmetros da estação E01 para a E02, a partir da qual eles vão decrescendo até chegar na E05. Com exceção do fósforo total, os parâmetros apresentaram a maior variabilidade de dados na estação E01. Similarmente, identificou-se um crescimento nas concentrações de CF na E02, ocorrendo uma diminuição desse parâmetro até a E04. Na E05, por sua vez, foi verificado um aumento no terceiro quartil e na variabilidade dos dados, os quais vinham diminuindo desde a estação E02.

No caso do OD houve uma redução significativa desse parâmetro na E02, o que se deve aos altos índices de DBO nesse trecho. À medida que o rio avança para

E05 ocorre a diminuição das concentrações de material orgânico na água, principalmente devido a processos de estabilização, implicando num consumo de OD cada vez mais reduzido com o aumento da distância percorrida. É interessante notar que os *boxplots* para esse parâmetro refletem a curva de depressão do OD, esperada após lançamentos orgânicos no curso d'água (Figura 1). O mesmo pode ser verificado nos diagramas de caixa da DBO, que refletem a dinâmica do parâmetro ao longo das quatro zonas de depuração do rio.

De uma forma geral, a qualidade da água encontra-se no pior estado na estação localizada em Curitiba (E02), sendo recuperada à medida que o rio Iguaçu se dirige para Balsa Nova (E05), região mais afastada das grandes cidades e centros industriais (BOLLMANN & EDWIGES, 2008).

5.3 ANÁLISE DE CARGAS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

5.3.1 Análise Temporal

Assim como na seção 5.2, a análise temporal em termos de carga foi realizada com base nas curvas de permanência e nos gráficos de evolução temporal, sendo as representações gráficas de evolução temporal por parâmetro e estação mostradas no Apêndice 3.

Na Tabela 7 são apresentadas informações referentes às áreas entre as curvas de permanência das Figuras 22 a 26, que representam a massa excedente de determinado parâmetro em relação aos valores de enquadramento. Esses valores são analisados e discutidos nas subseções 5.3.1.1 a 5.3.1.5, para cada um dos parâmetros de qualidade da água avaliados.

É importante destacar que os valores da Tabela 7 são indicativos e não representam necessariamente a massa de entrada ou a redução mássica exigida para que o enquadramento do rio Iguaçu seja cumprido. Isso ocorre porque a massa de poluente, quando introduzida no corpo hídrico, sofre transformações através de processos de degradação biológica, fixação no sedimento, entre outros.

Tabela 7 – Massas excedentes obtidas através das curvas de permanência de carga dos parâmetros ST, DBO, OD, fosfato total e NT no rio Iguaçu

Massa Excedente (kg)	E01	E02	E03	E04	E05	Média E02 - E05
ST	$-6,5 \times 10^7$	$-1,2 \times 10^8$	$-2,4 \times 10^8$	$-1,5 \times 10^8$	$-5,4 \times 10^8$	$-2,6 \times 10^8$
DBO	$4,8 \times 10^5$	$5,1 \times 10^6$	$4,2 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$	$2,7 \times 10^6$	$3,4 \times 10^6$
OD	$-3,8 \times 10^4$	$6,4 \times 10^5$	$1,5 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	$2,5 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$
Fosfato Total	$3,1 \times 10^4$	$2,2 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$7,8 \times 10^4$	$1,3 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$
NT	$6,3 \times 10^5$	$2,6 \times 10^6$	$3,2 \times 10^6$	$1,7 \times 10^6$	$3,0 \times 10^6$	$2,6 \times 10^6$

Observação: Com exceção do OD na E01, os demais valores negativos significam que a curva de permanência observada está abaixo da referente ao enquadramento, indicando que não há massa excedente do parâmetro no rio.

5.3.1.1 Sólidos Totais (ST)

Com base na Figura 22, observa-se que para todas as cinco estações a curva de permanência observada está abaixo da condizente ao enquadramento, considerando-se os limites legais para SDT. Isso ocorre em 100% do tempo, indicando que não há excesso de carga de ST nesses trechos do rio Iguaçu.

Esse fato é reforçado pelas massas excedentes negativas mostradas na Tabela 7, que variam, em módulo, entre $0,7 \times 10^8$ e $5,4 \times 10^8$ kg para as estações analisadas. A ordem de grandeza dessas massas é a mesma para E02, E03, E04 e E05, sendo que tais estações apresentam uma massa média de $2,6 \times 10^8$ kg ST abaixo do enquadramento.

Na região de cabeceira da bacia do Alto Iguaçu, onde está localizada E01, foram observadas as menores faixas de cargas de ST em comparação com as demais estações. Isso é refletido na curva de permanência dessa estação, a qual está abaixo de todas as curvas observadas nas estações restantes. A massa que E01 apresenta abaixo do enquadramento legal é de $6,5 \times 10^7$ kg ST.

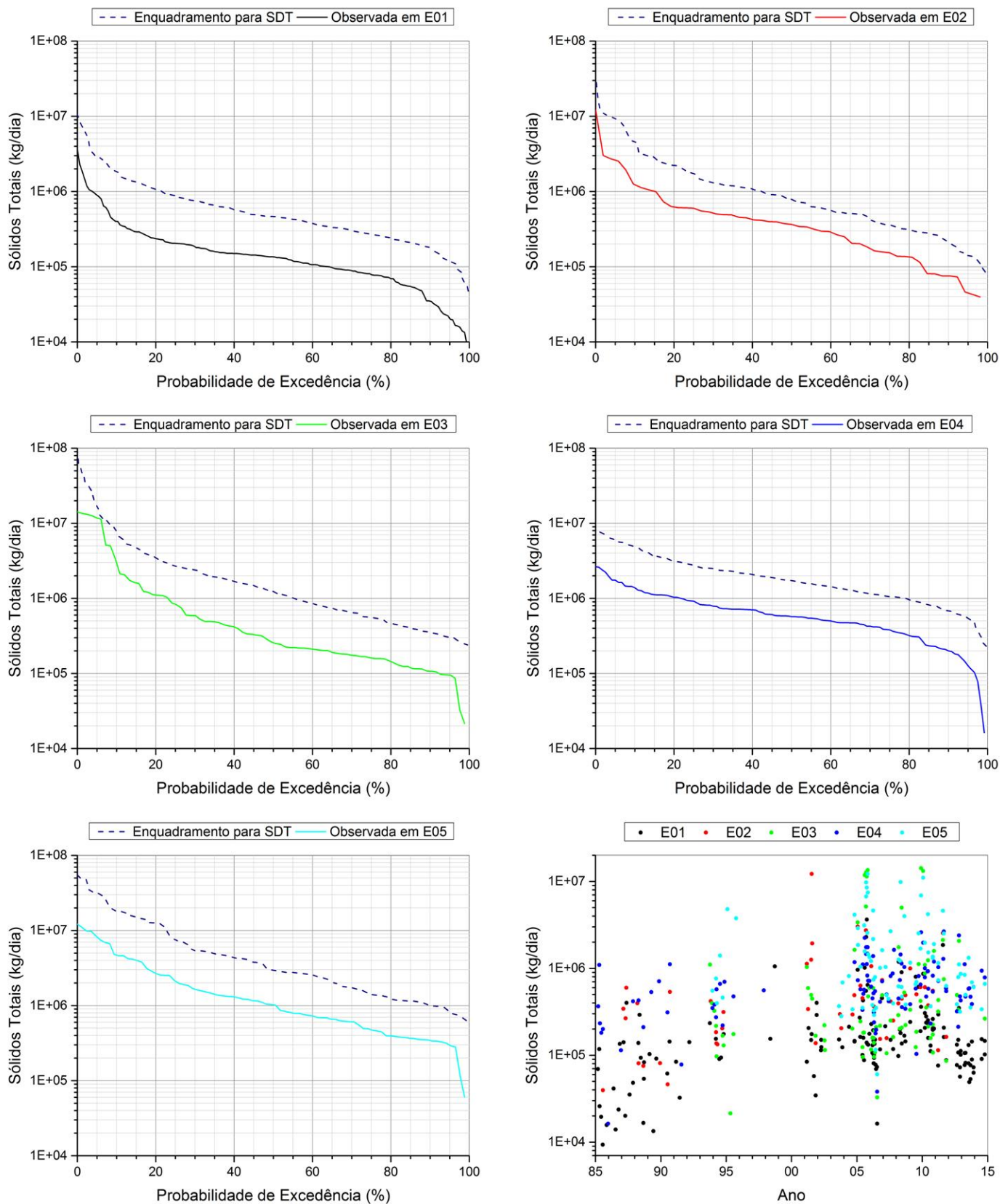


Figura 22 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para as cargas de ST no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu

5.3.1.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

De acordo com a Figura 23, as estações E02, E03 e E04 apresentam cargas incompatíveis com o enquadramento em 100% do tempo, o que pode ser identificado pelo fato de as curvas de permanência observadas sempre estarem acima das referentes aos limites legais. Em E01 e E05 cargas inferiores às de enquadramento ocorrem em 13 e 17,5% do tempo, respectivamente.

Com base nas curvas e no gráfico de evolução temporal, percebe-se que, assim como para ST, os valores mais satisfatórios para as cargas de DBO ocorrem na E01: a curva de permanência dessa estação está abaixo de todas as curvas observadas nas estações restantes. Adicionalmente, como pode ser verificado na Tabela 7, E01 apresentou a menor massa excedente dentre as estações, de aproximadamente $4,8 \times 10^5$ kg DBO. E04, apesar de estar 100% do tempo em desacordo com o enquadramento, apresenta o segundo menor excesso em massa ($1,5 \times 10^6$ kg), aproximadamente três vezes maior do que aquele verificado em E01.

Na estação E02 ocorre a qualidade da água mais deteriorada em termos de DBO, com cargas observadas superando em $5,1 \times 10^6$ kg aquelas relativas ao enquadramento. Vale destacar que a ordem de grandeza para as massas excedentes é a mesma para E02, E03, E04 e E05, sendo a média entre essas estações de $3,4 \times 10^6$ kg DBO, a maior verificada dentre todos os parâmetros avaliados.

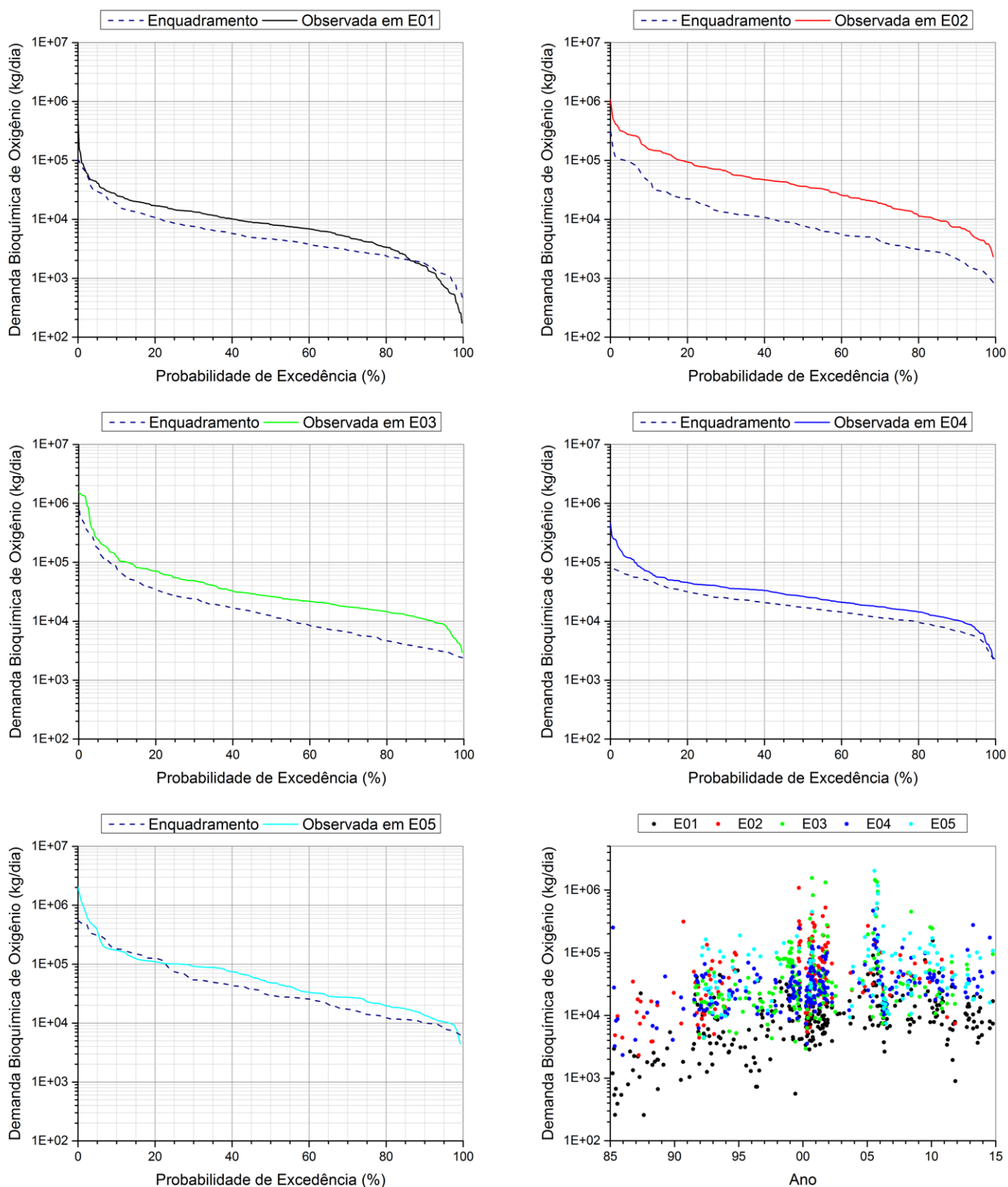


Figura 23 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para as cargas de DBO no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu

5.3.1.3 Oxigênio Dissolvido (OD)

Com base nas curvas de permanência indicadas na Figura 24, nota-se que, com exceção da E01, as demais estações de monitoramento apresentam cargas observadas abaixo das compatíveis ao enquadramento em praticamente 100% do tempo, indicando que há déficit de OD nesses trechos. A E01 apresentou um quadro mais satisfatório relativo às cargas de OD, obedecendo às cargas referentes aos limites legais em 38% do tempo.

As curvas de permanência observadas em E02, E03, E04 e E05 se aproximam do enquadramento quando ocorrem cargas altas, o que pode ser identificado na extremidade direita das curvas. A Tabela 7 mostra que a ordem de grandeza para a deficiência em massa de OD varia entre $0,6 \times 10^6$ e $2,5 \times 10^6$ kg para essas estações, sendo a média entre elas $1,5 \times 10^6$ kg.

Com base nas curvas e no gráfico de evolução temporal, percebe-se que, assim como para DBO, os valores mais insatisfatórios para as cargas de OD ocorrem na E02: a curva de permanência dessa estação está abaixo de todas as curvas observadas nas estações restantes. É interessante notar que E05, apesar de possuir as maiores cargas de OD dentre as estações analisadas, apresenta o maior déficit em massa de OD ($2,5 \times 10^6$ kg), por conta, potencialmente de possuir a maior área da bacia de contribuição e, conseqüentemente, maiores vazões.

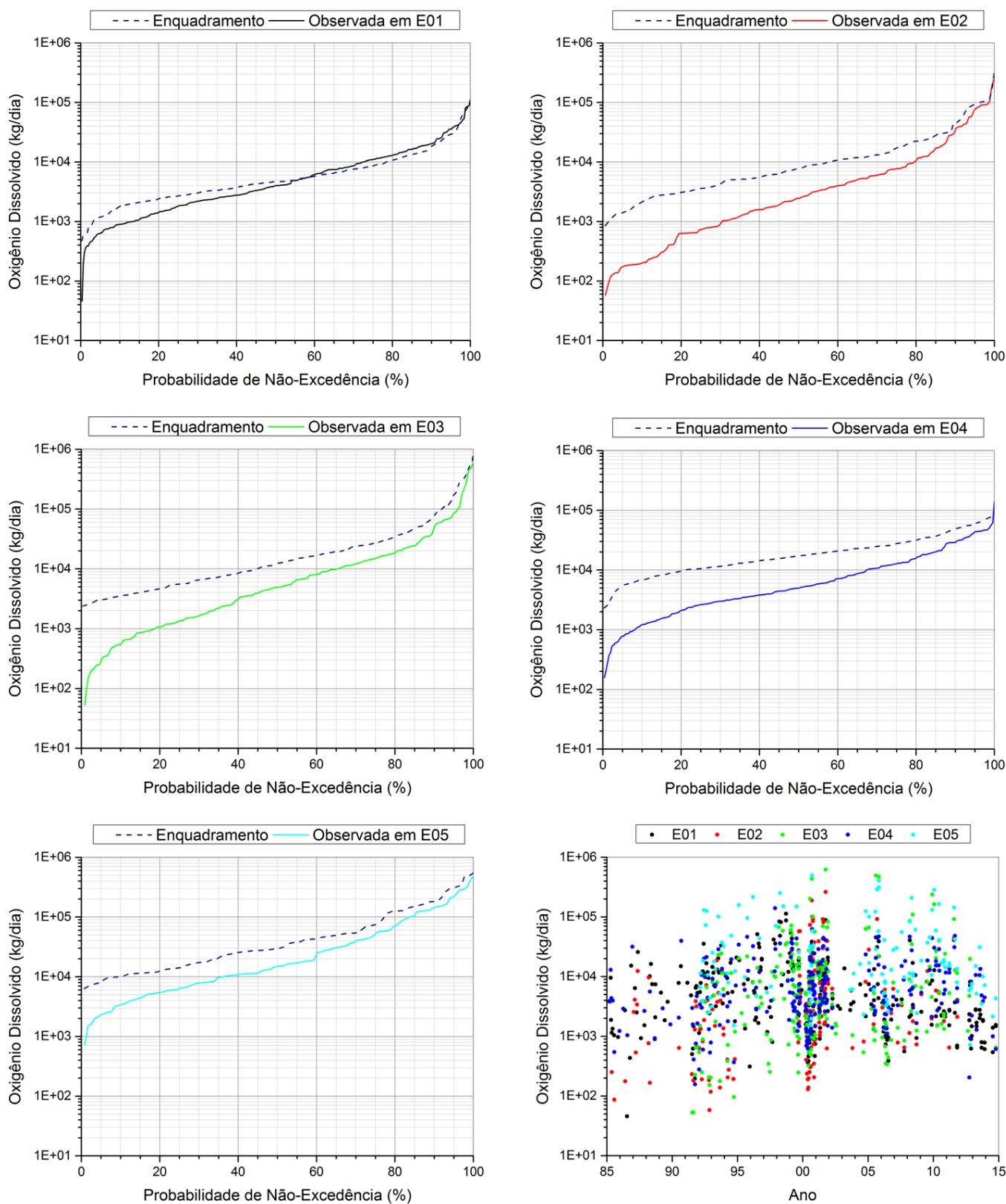


Figura 24 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para as cargas de OD no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu

5.3.1.4 Fósforo Total

Conforme a Figura 25, as estações E02 e E03 apresentam cargas incompatíveis com o enquadramento em 100% do tempo, já que em nenhum momento as curvas de permanência observadas estão abaixo das referentes ao enquadramento, considerando-se os limites legais para fósforo total. Em E01 cargas inferiores às de enquadramento ocorrem em 7% do tempo, sendo esse fato verificado em menos de 5% do tempo nas estações E04 e E05.

De acordo com a Tabela 7 e o gráfico de evolução temporal, percebe-se que, assim como para ST e DBO, os valores mais satisfatórios para as cargas de fósforo total ocorrem em E01, estando sua curva de permanência abaixo de todas as curvas observadas nas demais estações. E01 e E04 apresentaram as menores massas excedentes, de $3,1 \times 10^4$ e $7,8 \times 10^4$ kg PO_4^{-3} , respectivamente. A ordem de grandeza para os excessos em massa de fósforo total varia entre 0,8 e $2,2 \times 10^6$ kg para E02, E03, E04 e E05, sendo a média entre essas estações de $1,5 \times 10^5$ kg.

Na estação E02, a qualidade da água observada em termos de fósforo total é a mais distante da situação ideal, ou seja, daquela condizente com o enquadramento, sendo a massa excedente de $2,2 \times 10^5$ kg PO_4^{-3} . Além disso, com base no gráfico de evolução temporal, é possível identificar tendências de aumento nas cargas nessa estação e em E01.

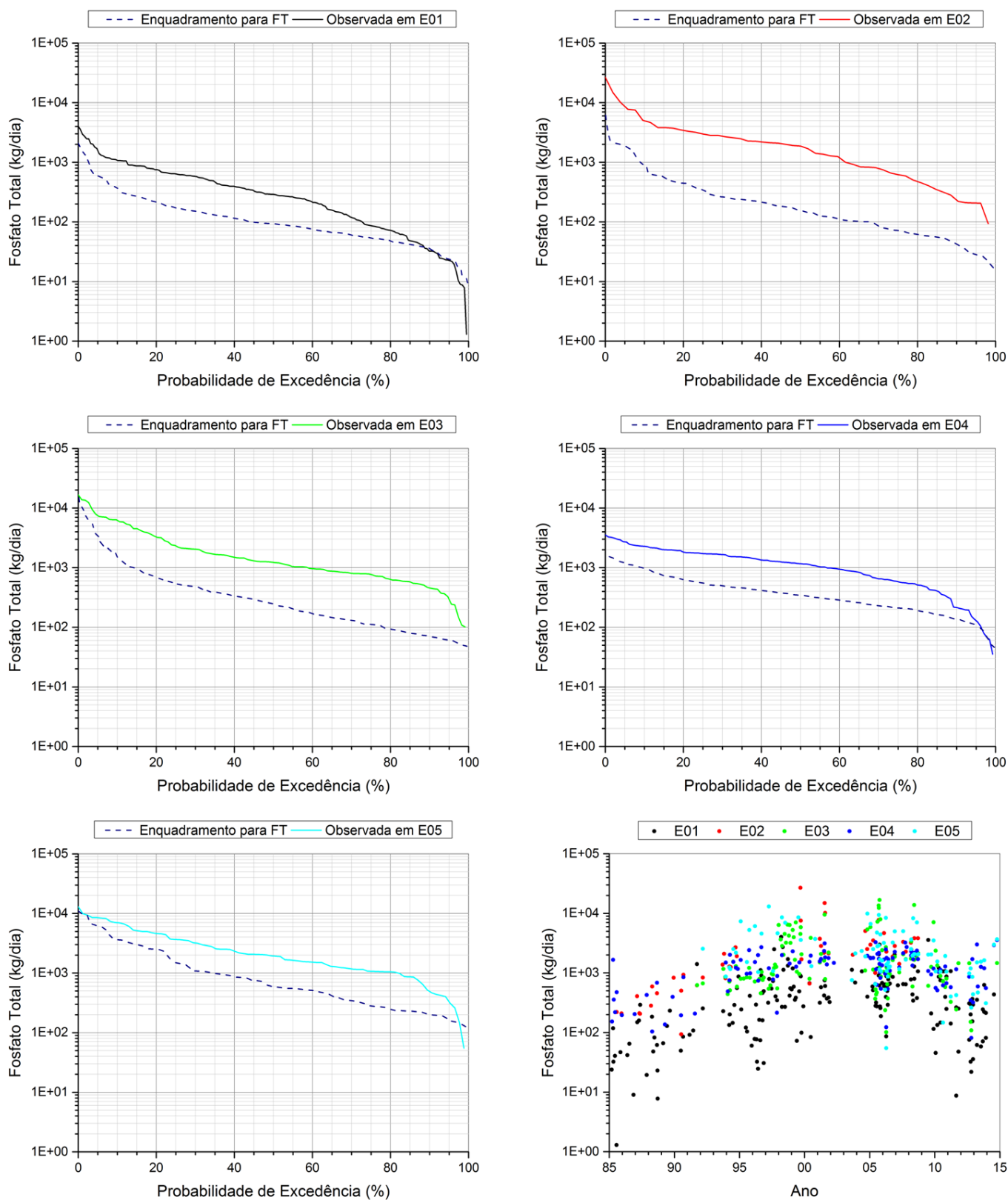


Figura 25 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para as cargas de fosfato total no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu

5.3.1.5 Nitrogênio Total (NT)

Com base nas curvas de permanência apresentadas na Figura 26, nota-se que todas as cinco estações de monitoramento apresentam cargas observadas acima das compatíveis ao enquadramento legal. Isso ocorre em 100% do tempo, indicando que há excesso de NT nesses trechos.

Segundo a Tabela 7 e o gráfico de evolução temporal, é possível notar que, assim como para ST, DBO e fósforo total, os valores mais satisfatórios para as cargas de NT total ocorrem na região de cabeceira da bacia (em E01), estando sua curva de permanência abaixo de todas as curvas observadas nas demais estações. E01 e E04 apresentaram as menores massas excedentes, de $0,6 \times 10^6$ e $1,7 \times 10^6$ kg NT, respectivamente. As faixas mais elevadas de carga foram observadas em E05, o que provavelmente se deve às maiores vazões médias mensais observadas nessa estação (vide Apêndice 1).

As estações E02, E03 e E05 possuem massas excedentes similares e de mesma ordem de grandeza, as quais são de aproximadamente $3,0 \times 10^6$ kg NT. A estação E02, apesar de não possuir a maior massa excedente entre as estações, aparenta apresentar as maiores distâncias entre as curvas observada e de enquadramento. O excesso médio em massa para E02, E03, E04 e E05 é de $2,6 \times 10^6$ kg NT, o segundo maior dentre os parâmetros avaliados, estando atrás somente da DBO.

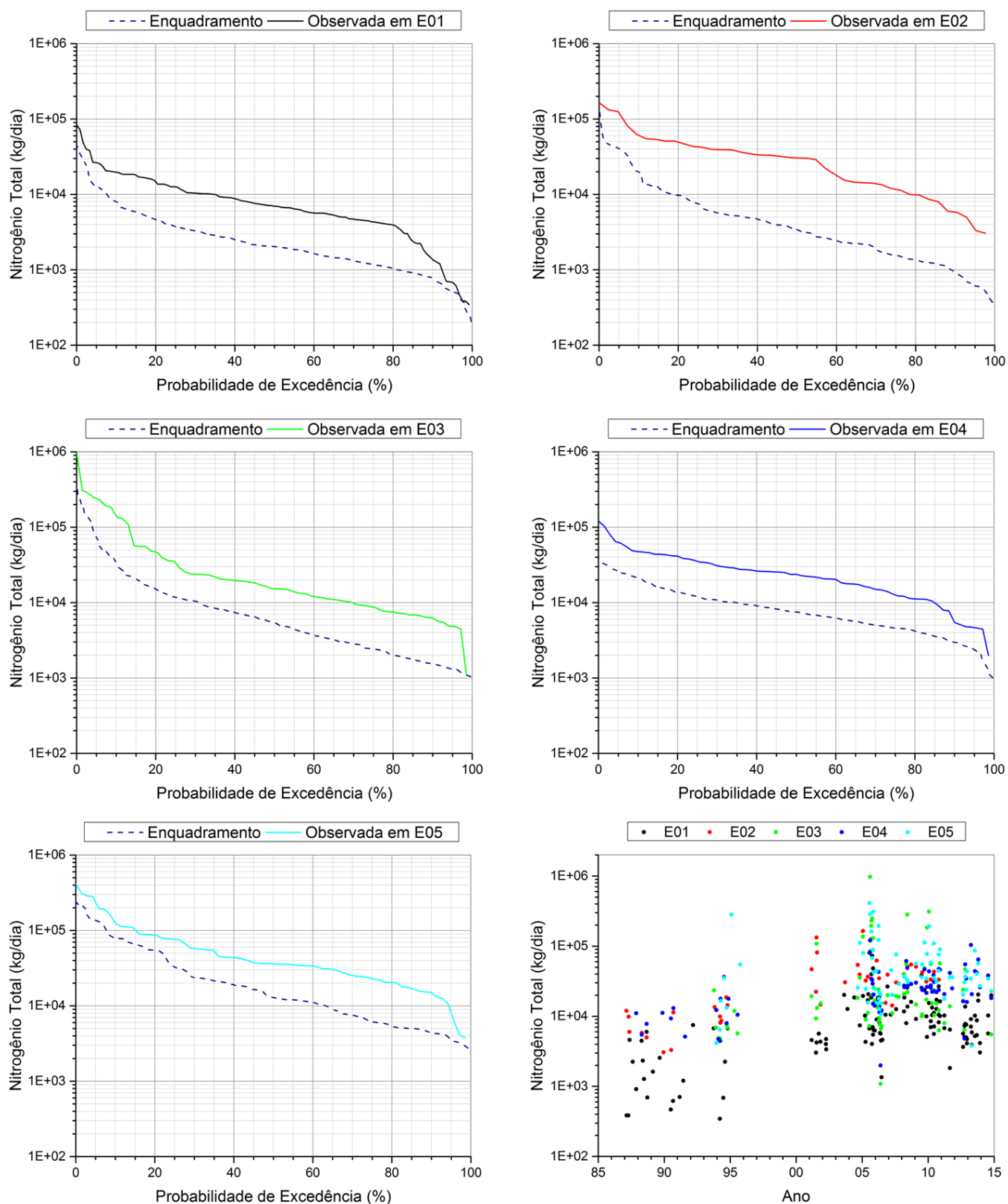


Figura 26 – Curvas de permanência e gráfico da evolução temporal para as cargas de NT no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu

5.3.2 Análise Espacial

Com base na Figura 27, é possível observar um comportamento similar para a variabilidade espacial das cargas de DBO e fósforo total ao longo das estações monitoradas. Em ambos os casos ocorre um aumento considerável desses parâmetros de E01 até E02, após a qual eles tendem a estabilizar até chegar na E05, indicando que houve oxidação da matéria orgânica e retenção de fósforo total no sedimento (BAIRD & CANN, 2011; NUNES, 2013).

Em E01 e E02 foi identificada a maior variabilidade nos dados de DBO e fósforo total, enquanto a estação E04 mostrou a menor dispersão para esses valores. Ademais, verificou-se que as estações E03 e E04 apresentam mesmas medianas, o que ocorre tanto para as cargas de DBO quanto para as de fósforo total.

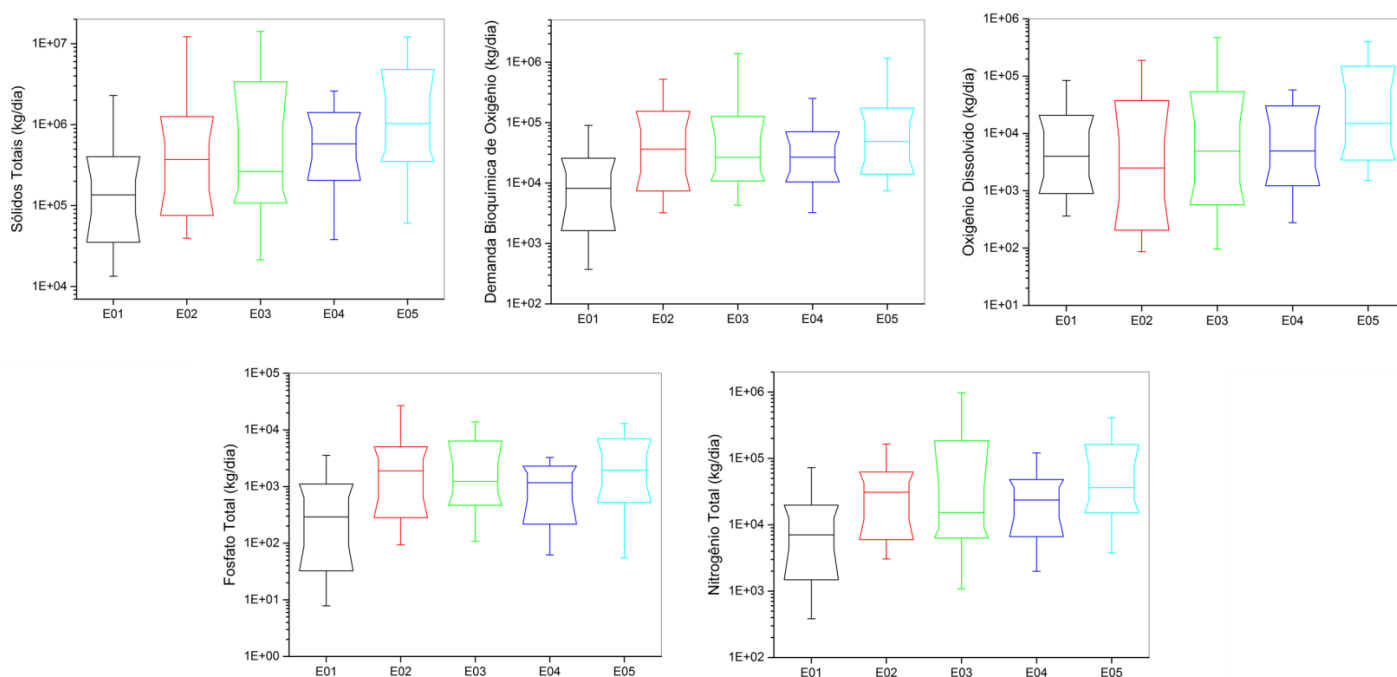


Figura 27 – *Boxplots* para as cargas de ST, DBO, OD, fósforo total e NT no rio Iguaçu

Assim como para DBO e fósforo total, é possível identificar um padrão na variabilidade espacial de ST e NT: de E01 para E02 ocorre um crescimento nas cargas desses parâmetros, enquanto de E02 para E03 há um aumento considerável

na dispersão dos dados, que cai em E04 e volta a subir em E05. Em ambos os casos E03 apresentou a maior variabilidade dos dados dentre as estações. O aumento verificado nas cargas de ST e NT entre E01 e E02 relaciona-se com as frequentes descargas de esgotos domésticos nesse trecho (Instituto das Águas do Paraná, 2015a).

Em relação ao OD, houve uma redução significativa nas cargas desse parâmetro na E02, a partir da qual ocorre um aumento gradual até a estação E05. Dentre todas as estações, E02 e E03 apresentaram a maior variabilidade nos dados, além de possuírem os valores mais insatisfatórios para OD, o que se deve às elevadas cargas de DBO verificadas nesses trechos. Sendo assim, à medida que o rio Iguaçu avança para Balsa Nova, ocorre a degradação da matéria orgânica, implicando no aumento dos teores de OD com a distância.

5.4 LIMITAÇÕES NAS CURVAS DE PERMANÊNCIA

Como descrito nas subseções 5.2.1 e 5.3.1, verificou-se tendências crescentes para as concentrações e cargas de ST, DBO e NT em E01, ocorrendo um decréscimo nos valores de OD. Adicionalmente, identificou-se um crescimento na condutividade elétrica e nas cargas de fosfato total nessa estação. Os CF, por sua vez, aumentaram em todas as estações avaliadas. Os gráficos contidos nos Apêndices 2 e 3 facilitam a visualização dessas tendências.

É importante destacar que as tendências foram detectadas exclusivamente através de análise visual, não sendo executados testes estatísticos para comprovar tal fenômeno. Sendo assim, sentiu-se dificuldade na sua avaliação e identificação, principalmente devido à frequência de amostragem não contínua, caracterizada por grandes intervalos entre medições consecutivas.

Coelho (2013) realizou análises de tendências para séries de concentração e carga de parâmetros de qualidade da água no rio Iguaçu, no trecho da bacia do Alto Iguaçu. Por meio do teste de Mann-Kendall, o autor detectou tendências crescentes para condutividade elétrica, ST e CF na estação E01, verificando aumento do último parâmetro também em E03, E04 e E05. Para as séries de carga, os resultados indicaram tendências decrescentes para DBO e fosfato total na E01, contrárias àquelas observadas nesta pesquisa. Vale ressaltar que a análise de Coelho utiliza

séries reduzidas (2006-2012), enquanto esta pesquisa avalia séries históricas de 20 a 30 anos.

Segundo Coelho (2013), a análise de tendências reforçou a constatação da influência sazonal nas condições de qualidade da água na bacia, sendo as tendências na realidade aumentos nas concentrações em função da mudança de estação. Além disso, o autor cita estudos realizados por Wahlin & Grimwall (2008), os quais notaram que tendências em séries históricas de nutrientes podem ser mais significativamente influenciadas por mudanças em técnicas de amostragem e práticas de laboratório do que por variações no corpo hídrico propriamente dito.

As tendências nos dados de condutividade elétrica, ST, DBO, OD, fosfato total, NT e CF refletem a não-estacionariedade dessas séries históricas, indicando que as curvas de permanência para esses parâmetros, principalmente na E01, podem apresentar menor representatividade e inconsistência de dados. Isso ocorre porque, nesta pesquisa, as análises estatísticas de frequência foram aplicadas de forma direta sobre as séries de dados, podendo ocorrer maior variabilidade nas medições, como destacado por Coelho (2013).

5.5 METAS DE DESPOLUIÇÃO HÍDRICA NO RIO IGUAÇU

Como exposto nas subseções 5.3.1.1 a 5.3.1.5, com exceção dos ST, as cargas avaliadas nas cinco estações estão em desacordo com aquelas referentes ao enquadramento na maior parte do tempo, indicando haver deficiência de OD e massas excedentes de DBO, fosfato total e NT. Portanto, é fundamental que sejam tomadas medidas de despoluição hídrica nesses trechos do rio Iguaçu, a fim de que o enquadramento seja cumprido.

Entre E02 e E03, onde a urbanização é mais densa, as massas excedentes médias são de $4,6 \times 10^6$ kg DBO, $1,9 \times 10^5$ kg fosfato total e $2,9 \times 10^6$ kg NT em relação ao enquadramento. Nessas áreas, a principal fonte dessas substâncias na água são despejos domésticos e industriais, que contêm matéria orgânica, resíduos de detergentes superfosfatados, nitrogênio orgânico e amoniacal. A drenagem pluvial urbana também pode contribuir para o aporte de nutrientes e material orgânico no corpo hídrico (VON SPERLING, 2005; EPA, 2012b).

Sendo assim, é importante que o governo identifique os pontos onde ocorrem lançamentos de esgoto bruto e tome providências para que esses efluentes sejam devidamente tratados antes de serem despejados no rio. Adicionalmente, é necessário garantir que a remoção de nutrientes e matéria orgânica está sendo eficiente nos processos de tratamento aos quais os esgotos sanitários e industriais são submetidos. Um sistema de drenagem urbana adequado também contribui eficientemente para a despoluição hídrica (SMDU/SP, 2012).

No trecho compreendido entre E04 e E05, que passa por áreas rurais e agrícolas, as massas excedentes médias são de $2,1 \times 10^6$ kg DBO, $1,1 \times 10^5$ kg fosfato total e $2,4 \times 10^6$ kg NT em relação aos limites legais. Nesses locais, o aporte de matéria orgânica e nutrientes se dá principalmente através do escoamento direto, que carrega resíduos da fauna e flora, de fertilizantes e excrementos animais até a água. Solos ocupados por agricultura e margens do rio onde a vegetação natural foi retirada podem acentuar o transporte desses sedimentos à água, devido às elevadas taxas de erosão (KATSUÓKA, 2001).

Nessas áreas é necessário promover ações de reconstituição da mata ciliar, visando reduzir a erosão. Ademais, técnicas de cultivo que diminuam a velocidade do escoamento da água ou reduzam a quantidade de áreas de solo exposto e, portanto, mais susceptível à erosão, minimizam o desgaste dos solos agrícolas. Plantio em curvas de nível ou terraços e a associação de culturas são exemplos desses métodos. Outro grande problema é a aplicação de pesticidas, fertilizantes e adubos em períodos chuvosos. Nesse contexto, seria interessante que o governo promovesse programas de educação ambiental para pequenos e grandes produtores, focando nesses aspectos.

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se inferir que as ações mais imediatas devem ser direcionadas à região onde está situada a estação E02 (Curitiba), que apresentou os valores mais insatisfatórios para as cargas de DBO, OD, fosfato total e NT. Se forem aplicadas medidas eficientes de despoluição hídrica nessa localidade, haveria uma melhora significativa na qualidade da água local e à jusante.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa destaca a aplicação de curvas de permanência para a avaliação de parâmetros de qualidade da água em cinco estações de monitoramento do rio Iguaçu, na bacia do Alto Iguaçu, visando verificar o atendimento aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005 para rios classe 2.

Segundo a análise temporal, mostraram-se condizentes com a legislação o pH e as concentrações de ST e turbidez, sendo as probabilidades de excedência para os dois últimos inferiores a 10% em todas as estações. A condutividade elétrica e as concentrações de DBO, OD, fosfato total, NT e CF apresentaram valores em desacordo com os limites legais na maior parte do tempo.

Para condutividade elétrica, DBO e fosfato total verificou-se probabilidades de excedência superiores a 95% na estação E02, enquanto dados mais satisfatórios foram identificados em E01, com excedência em torno de 60%. No caso do OD, constatou-se probabilidades de excedência inferiores a 5% em todas as estações, exceto em E01. Para NT e CF na E02 não houve nenhuma medição abaixo do limite da classe 2, sendo valores mais reduzidos encontrados em E01 e E05.

A análise temporal em termos de carga mostrou resultados similares aos obtidos para as concentrações: com exceção dos ST, as cargas de DBO, OD, fosfato total e NT estão em desacordo com aquelas referentes ao enquadramento na maior parte do tempo. Em todos os casos a E02 apresentou a qualidade da água mais deteriorada, sendo valores mais satisfatórios identificados na região de cabeceira da bacia do Alto Iguaçu, ou seja, em E01.

No caso do NT, todas as estações de monitoramento possuem cargas observadas superiores às de enquadramento em 100% do tempo, indicando excesso de NT nesses trechos. Para DBO, OD e fosfato total, as curvas de permanência observadas em E02 e E03 estão sempre em desacordo com aquelas referentes aos limites legais, ou seja, há deficiência de OD e massas excedentes de DBO e fosfato total nessas estações.

Tanto para as séries de concentração, quanto para as de carga, foram identificadas tendências crescentes em E01 para ST, DBO e NT, ocorrendo um decréscimo nos valores de OD nessa estação. Adicionalmente, E01 apresentou um

aumento na condutividade elétrica e nas cargas de fosfato total. Os CF parecem aumentar em todas as estações avaliadas.

A existência de tendências, por sua vez, indica a não-estacionariedade das séries históricas, comprometendo a análise estatística de frequências. Dessa maneira, as curvas de permanência podem apresentar menor representatividade e inconsistência de dados, principalmente em E01. Portanto, recomenda-se que as séries de qualidade da água sejam sujeitadas a testes estatísticos que garantam sua estacionariedade antes de serem submetidas a análises de frequência.

Os resultados obtidos na análise espacial mostraram que a zona de decomposição ativa – onde a qualidade da água é a mais deteriorada – ocorre nas áreas industriais e densamente urbanizadas, em E02 (Curitiba). À medida que o rio Iguaçu se dirige para Balsa Nova há uma melhora na qualidade da água, sendo o trecho E03-E05 caracterizado como zona de recuperação. Portanto, ações imediatas de despoluição hídrica devem ser direcionadas principalmente à região onde está situada a estação E02.

Em relação à distribuição temporal de amostragem, verificou-se que para a maioria dos parâmetros o número de medições em janeiro, fevereiro, maio, novembro e dezembro é inferior à média mensal esperada de 8,3%, correspondente a uma distribuição igualitária de medições ao longo do ano. A situação mais crítica ocorre em janeiro e fevereiro, que possuem em média 3% das medições do ano, sendo esse déficit atribuído ao período de recesso e a limitações financeiras/logísticas para o monitoramento durante o verão chuvoso.

A alta incidência de chuvas nesse período implica em níveis de vazão elevados, que podem diluir os poluentes presentes no corpo hídrico. Portanto, se forem considerados somente lançamentos pontuais, a escassez de medições em janeiro e fevereiro podem comprometer a representatividade e consistência da extremidade da curva de permanência que representa as concentrações mais baixas dos parâmetros de qualidade da água.

Por fim, este estudo mostra que a aplicação de curvas de permanência para análises de qualidade da água apresenta restrições; porém, é um método que tem potencial para auxiliar o gerenciamento de recursos hídricos, principalmente durante a fase de diagnóstico da qualidade da água, direcionamento e tomada de decisão de medidas de despoluição hídrica.

7 REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. (2007). *Cadernos de Recursos Hídricos 5: Panorama do Enquadramento dos Corpos d'Água do Brasil e Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil*. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA%20DO%20ENQUADRAMENTO.pdf>>; Acesso em 08 de Abril de 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas. (2009a). *Portal da Qualidade das Águas*. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede_monitoramento.aspx>; Acesso em 08 de Maio de 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas. (2009b). *Inventário das Estações Fluviométricas*. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/inf hidrologicas/InventariodasEstacoesFluviometricas.pdf>>; Acesso em 08 de Fevereiro de 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas. (2014). *Portal da Qualidade das Águas: Indicadores de Qualidade – Índice de Qualidade das Águas (IQA)*. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn8>; Acesso em 29 de Janeiro de 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas. (2015a). *Portal da Qualidade das Águas: Avaliação de Qualidade – Introdução*. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/avaliacao.aspx#>>; Acesso em 29 de Abril de 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas. (2015b). *Portal da Qualidade das Águas: Enquadramento – Bases Conceituais*. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx>>; Acesso em 29 de Abril de 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas. (2015c). *Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb)*. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>; Acesso em 07 de Fevereiro de 2015.

ANDRADE, L. N. (2010). Autodepuração dos Corpos d'Água. *Revista da Biologia*, v. 5, p. 16-19.

ARAÚJO, C. S. T. (2009). *Desenvolvimento de Metodologia Analítica para Extração e Pré-Concentração de Ag(I) utilizando a Moringa oleifera Lam.* 186p. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais.

BAIRD, C.; CANN, M. (2011). *Química Ambiental*. 4ª Edição. Porto Alegre: Bookman.

BLAIN, G. C. (2010). Detecção de tendências monótonas em séries mensais de precipitação pluvial do estado de São Paulo. *Bragantia*, v. 69, n. 4, p1027-1033.

BOLLMANN, H. A.; EDWIGES, T. (2008). Avaliação da qualidade das águas do Rio Belém, Curitiba-PR, com o emprego de indicadores quantitativos e perceptivos. *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 13, n. 4.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília, 1981.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Brasília, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 274, de 29 de novembro de 2000. Brasília, 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.

BRITES, A. P. Z. (2010). *Enquadramento dos corpos d'água através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica*. 177 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo.

BRITO, L. T. L.; SILVA, A. S.; PORTO, E. R. (2007). Disponibilidade de Água e a Gestão dos Recursos Hídricos. In: SILVA, A. S. *et al. Potencialidades da Água de Chuva no Semi-Árido Brasileiro*. Petrolina/PE: Embrapa Semi-Árido, p. 13-32.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2009). *Qualidade de águas interiores no estado de São Paulo*. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/aguas-interiores/files/2013/11/variaveis.pdf>>; Acesso em 16 de Maio de 2015.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2011). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/guia-nacional-coleta-2012.pdf>>; Acesso em 16 de Maio de 2015.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2014). *Alterações físico-químicas: Oxigênio Dissolvido*. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/mortandade/causas_oxigenio.php>; Acesso em 10 de Maio de 2015.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2015a). *Série de Sólidos*. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/variaveis/aguas/variaveis_fisicas/serie_de_solidos.pdf>; Acesso em 09 de Fevereiro de 2015.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2015b). *Demanda Bioquímica de Oxigênio*. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/variaveis/aguas/variaveis_quimicas/demanda_bioquimica_de_oxigenio.pdf>; Acesso em 09 de Fevereiro de 2015.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2015c). *Fósforo Total*. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/variaveis/aguas/variaveis_quimicas/fosforo_total.pdf>; Acesso em 09 de Fevereiro de 2015.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2015d). *Série de Nitrogênio (nitrogênio orgânico, amônia, nitrato e nitrito)*. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/variaveis/aguas/variaveis_quimicas/serie_de_nitrogenio.pdf>; Acesso em 09 de Fevereiro de 2015.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering: USA.

CIESP – Centro das Indústrias do Estado de São Paulo. (2013). *IBGE apresenta ranking dos 10 rios mais poluídos do Brasil*. Disponível em: <<http://www.ciespjacarei.org.br/noticias/ibge-apresenta-ranking-dos-10-rios-mais-poluidos-do-brasil/>>; Acesso em 07 de Fevereiro de 2015.

COELHO, M. (2013). *Estratégia de Monitoramento da Qualidade da Água para a Gestão de Recursos Hídricos em Bacias Urbanas*. 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná.

CONTE, V. D.; COLOMBO, M.; ZANROSSO, A. V.; SALVADOR, M. (2004). Qualidade microbiológica de águas tratadas e não tratadas na região nordeste do Rio Grande do Sul. *Informa*, v. 16, nº 11-12, p. 83-84.

CRITTENDEN, J. C.; TRUSSELL, R. R.; HAND, D. W.; HOWE, K. J.; TCHOBANOGLIOUS, G. (2005). *Water Treatment – Principles and Design*. 2nd Edition. John Wiley & Sons.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C.; MENDIONDO, E. M. (2012). Integração entre curvas de permanência de quantidade e qualidade da água como uma ferramenta para a gestão eficiente dos recursos hídricos. *Eng Sanit Ambient*, v.17, n.4, p. 369-376.

DANELON, J. R. B.; NETTO, F. M. L.; RODRIGUES, S. C. (2012). Análise do nível de fósforo total, nitrogênio amoniacal e cloretos nas águas do córrego Terra Branca no município de Uberlândia (MG). *Revista Geonorte*, Edição Especial, v. 1, n. 4, p. 412-421.

DAVIS, A. P.; MCCUEN, R. H. (2005). *Stormwater Management for Smart Growth*. New York: Springer, 384 p.

EPA – U. S. Environmental Protection Agency. (2012a). *What is Nonpoint Source Pollution?* Disponível em: <<http://water.epa.gov/polwaste/nps/whatis.cfm>>; Acesso em 25 de Fevereiro de 2015.

EPA – U. S. Environmental Protection Agency. (2012b). *Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand*. Disponível em:

<<http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/vms52.cfm>>; Acesso em 25 de Janeiro de 2015.

ESPINDULA, N. L. (2012). *Influência do Uso e Cobertura da Terra na Qualidade da Água na Bacia do Rio Bubu, Município de Cariaca – ES*. 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Departamento de Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santo.

FIORUCCI, A; FILHO, E. B. (2014). *Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos*. Disponível em: <<http://qnint.s bq.org.br/qni/visualizarTema.php?idTema=20>>; Acesso em 08 de Maio de 2015.

FORMIGONI, Y.; BRITES, A. P.; FERNANDES, C.; PORTO, M. (2011). Análise Crítica da Curva de Permanência de Qualidade da Água com Base em Dados Históricos. *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, p. 1-14.

FOSTER, H. A. (1924). Theoretical frequency curves and their application to engineering problems. *Am. Soc. Civil Engineers Trans.*, v. 87, p. 142-303.

GARCIAS, C. M.; SOTTORIVA, E. M. (2009). Poluição Difusa Urbana Decorrente do Desgaste dos Freios Automotivos: Estudo de Caso na Sub-bacia 1 do Rio Belém em Curitiba – PR. *Seminário Internacional “Experiências de Agendas 21: Os Desafios do Nosso Tempo”*, p. 1-19.

GEUS, J. A. M.; LIMA, I. A. (2008). Análise de Coliformes Totais e Fecais: um comparativo entre técnicas oficiais VRBA e Petrifilm EC aplicados em uma indústria de carnes. *2º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais*.

GHANGREKAR, M. M. (2015). *Self Purification of Natural Streams*. Disponível em: <http://nptel.ac.in/courses/105105048/M10_L13.pdf>; Acesso em: 17 de Maio de 2015.

Instituto das Águas do Paraná. (2009). *Plano de Bacia Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira*. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/COALIAR/Assomec/apresentacao_assomec_08_05_09.pdf>; Acesso em 12 de Fevereiro de 2015.

Instituto das Águas do Paraná. (2015a). *Bacia do Rio Iguaçu*. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/BACIAS/iguacu.pdf>>; Acesso em 14 de Fevereiro de 2015.

Instituto das Águas do Paraná. (2015b). *Sistema de Informações Hidrológicas*. Disponível em: <<http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioVazoesFluviometricas.do?action=carregarInterfaceInicial>>; Acesso em 25 de Setembro de 2015.

KATSUÓKA, L. (2001). *Avaliação do impacto da atividade agropecuária na qualidade da água em áreas de captação superficial nas bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, São Paulo*. 203 p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) – Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo.

KNAPIK, H. G. (2009). *Reflexões sobre monitoramento, modelagem e calibração na gestão de recursos hídricos: estudo de caso da qualidade da água da bacia do Alto Iguaçu*. 197 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná.

MARONI, J. R. (2010). *Rio Iguaçu é “gigante” pela própria natureza*. Disponível em: <<http://www2.gazetadopovo.com.br/aguasdoamanha/noticias/post/id/205/titulo/Rio+Igua%C3%A7u+%C3%A9+%22gigante%22+pela+pr%C3%B3pria+natureza>>; Acesso em 12 de Fevereiro de 2015.

MELLO, E. J. R. (2007). *Tratamento de Esgoto Sanitário – Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari (MG)*. 99 f. Monografia (Pós Graduação latu sensu em Engenharia Sanitária) – UNIMINAS. Uberlândia, Minas Gerais.

MELO, M. F. (2002). *Hidrelétricas emitem gases do efeito estufa, revela estudo*. Disponível em: <<http://www.apoena.org.br/artigos-detalle.php?cod=207>>; Acesso em 12 de Outubro de 2015.

Missouri Department of Natural Resources. (2013). *Environmental Sciences Program: Water Quality Parameters*. Disponível em: <<http://www.dnr.mo.gov/env/esp/waterquality-parameters.htm>>; Acesso em 21 de Janeiro de 2015.

MOTA, S. (1995). *Preservação e conservação de recursos hídricos*. Rio de Janeiro: ABES.

NAGALLI, A.; NEMES, P. D. (2009). Estudo da Qualidade da Água de Corpo Receptor de Efluentes Líquidos, Industriais e Domésticos. *Rev. Acad. Ciênc. Agrár. Ambient.*, v. 7, n. 2, p. 131-144.

NUNES, M. L. F. (2013). *Distribuição e Fracionamento do Fósforo nos Sedimentos dos Rios Bacanga e Anil na Ilha do Maranhão*. 98 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Maranhão. São Luís, Maranhão.

OLIVEIRA, S. (2012). Um estudo em séries temporais na análise da receita nominal de vendas de veículos e motos. *R. cient. UNIFOR-MG, Formiga*, v. 7, n. 2, p. 64-73.

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. (2009). *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/prosab5_tema%204.pdf>; Acesso em 28 de Maio de 2015.

PRZYBYSZ, L. C. B. (2007). *A gestão de recursos hídricos sob a ótica do usuário de saneamento: estudo de caso da bacia do Alto Iguaçu*. 2007. 267p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná.

REBOUÇAS, A. C. (2006). Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*. São Paulo/SP: Escrituras Editora, 3ª Ed., p. 1-35.

SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science*. Fifth Edition. McGraw-Hill, Inc., N.Y.

SCHIAVETTI, A. (2015). *Informações ambientais sobre os parâmetros do kit de análise de água*. Disponível em: <http://www.cdcc.usp.br/bio/educar/textos/m_a_txt9.html>; Acesso em 12 de Outubro de 2015.

SEARCY, J. K. (1959). Flow-Duration Curves. Manual of Hydrology: Part 2, Low Flow Techniques. *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1542-A*, 33 p., Washington.

SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2010). *Bacias Hidrográficas do Paraná*. Disponível em: <http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Revista_Bacias_Hidrograficas_do_Parana.pdf>; Acesso em 09 de Fevereiro de 2015.

SHI, H. (2011). Industrial Wastewater Types, Amounts and Effects. *Encyclopedia of Life Support Systems – Point Sources of Pollution: Local Effects and it's Control*, Vol 1.

SILVA, L. M. (2003). *Avaliação da Eficiência de Sistema Não Convencional de Esgotos Sanitários e do Impacto dos Efluentes no Corpo Receptor*. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Rio Grande do Sul.

SMDU – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de São Paulo. (2012). *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana*. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivos/manual-drenagem_v1.pdf>; Acesso em 22 de Maio de 2015.

SOARES, T. (2011). *Avaliação da Eficiência de Tratamentos com Radiação UV e UV/H₂O₂ na Degradação de Micropoluentes Orgânicos*. 123 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná.

SOBREIRO, V. A.; ARAÚJO, P. H. S. L.; NAGANO, M. S. (2009). Precificação do etanol utilizando técnicas de redes neurais artificiais. *R.Adm.*, v.44, n.1, p.46-58.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (1999). 2540A – Solids. Disponível em: <http://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf>; Acesso em 24 de Janeiro de 2015.

State of California – State Water Resources Board. (2010). *Surface Water Ambient Monitoring Program: The Five Basic Water Quality Parameters*. Disponível em: <http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/310.pdf>; Acesso em 09 de Maio de 2015.

TSUTIYA, M. T.; MOREIRA, T. B. G.; FREITAS, I. C.; CARDOSO, L. C. (2008). *Abastecimento de Água: gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em*

sistemas de abastecimento – Guia do Profissional em treinamento (nível 2). Secretaria Nacional de Abastecimento Ambiental (org). Salvador: ReCESA, 139 p.

TUCCI, C. E. M. (2005). Ministério das Cidades – Global Water Partnership – World Bank – UNESCO: *Gestão de Inundações Urbanas*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

TUNDISI, J. G. (2003). Ciclo Hidrológico e Gerenciamento Integrado. *Gestão das Águas/Artigos*, p. 31-33.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (1982). *Technical papers in Hydrology: Dispersion and self-purification of pollutants in surface water systems*. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0005/000545/054542eo.pdf>>; Acesso em 15 de Maio de 2015.

Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). (2015). *Curso de Aperfeiçoamento em Gestão de Recursos Hídricos: Princípios de Hidrologia Ambiental*. Disponível em: <http://capacitacao.ana.gov.br/Lists/Editais_Anexos/Attachments/23/03.PHidrologiaAmb-GRH-220909.pdf>; Acesso em 3 de Dezembro de 2015.

VICAIRE – Virtual Campus in Hydrology and Water Resources. (2006). *Qualitative Hydrology – Water Quality Characteristics*. Disponível em: <<http://www.easybib.com/reference/guide/apa/chapter>>; Acesso em 21 de Janeiro de 2015.

VON SPERLING, M. (2005). *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. 3ª Ed., Vol. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 452 p.

WAHLIN, K.; GRIMWALL, A. (2008). Uncertainty in water quality data and its implications for trend detection: lessons from Swedish environmental data. *Environmental Science and Policy*, 11, 115-124.

ZUIN, V. G.; IORIATTI, M. C. S.; MATHEUS, C. E. (2009). O Emprego de Parâmetros Físicos e Químicos para a Avaliação da Qualidade de Águas Naturais. *Química Nova na Escola*, 31(1), p. 3-8.

APÊNDICE 1 – Representações Gráficas da Distribuição Temporal de Amostragem

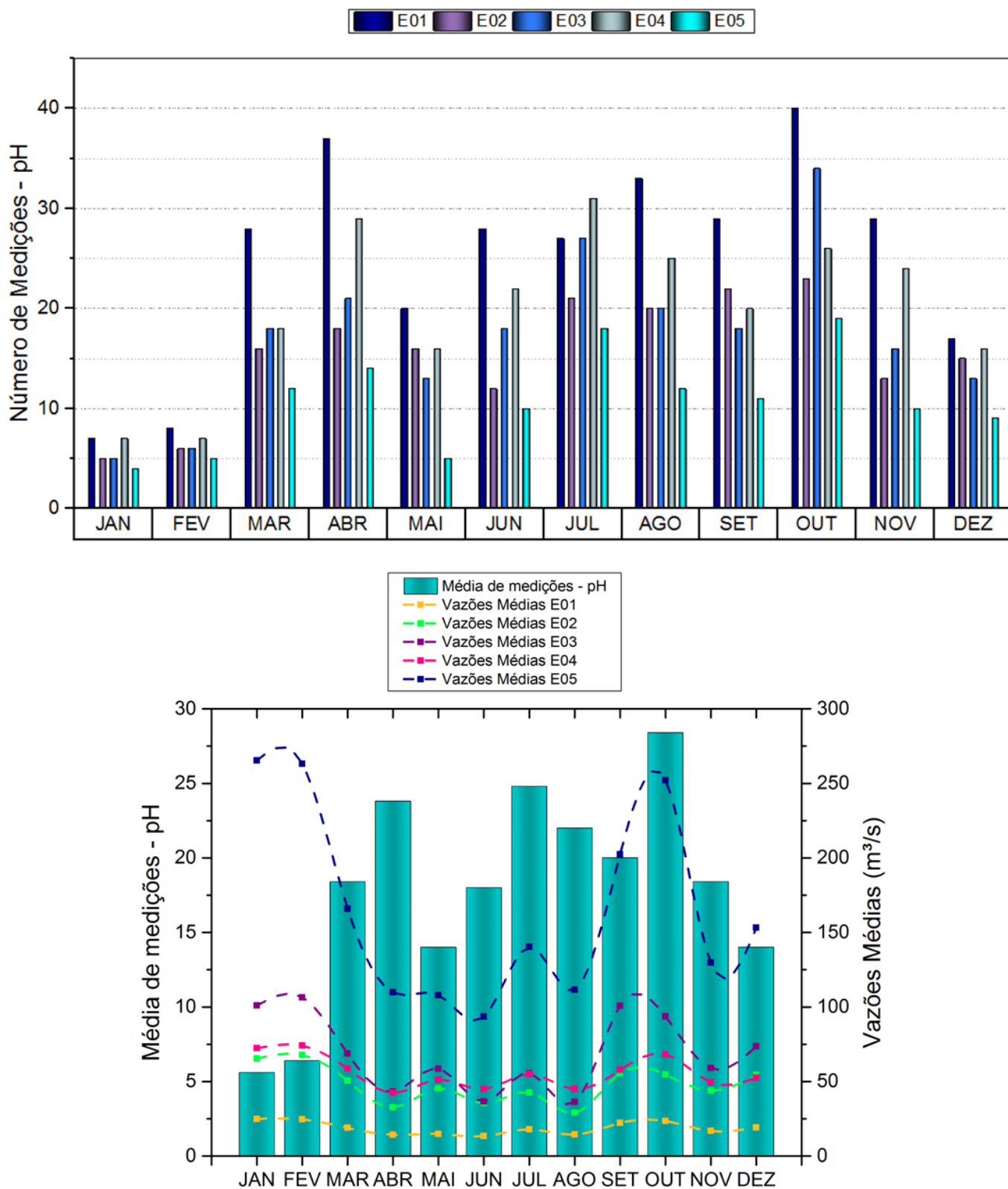


Figura 28 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem do pH (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu

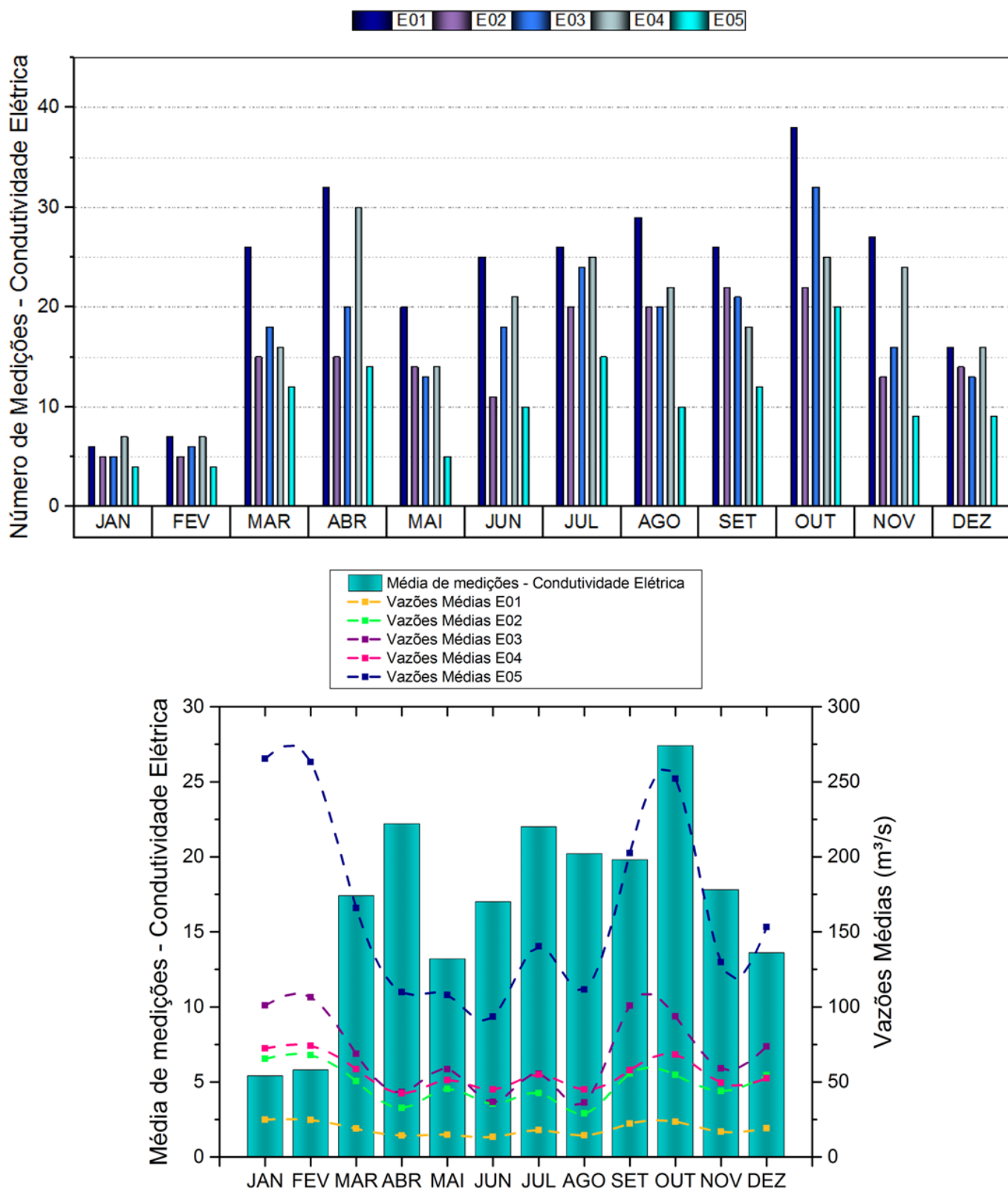


Figura 29 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem da condutividade elétrica (1983-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu

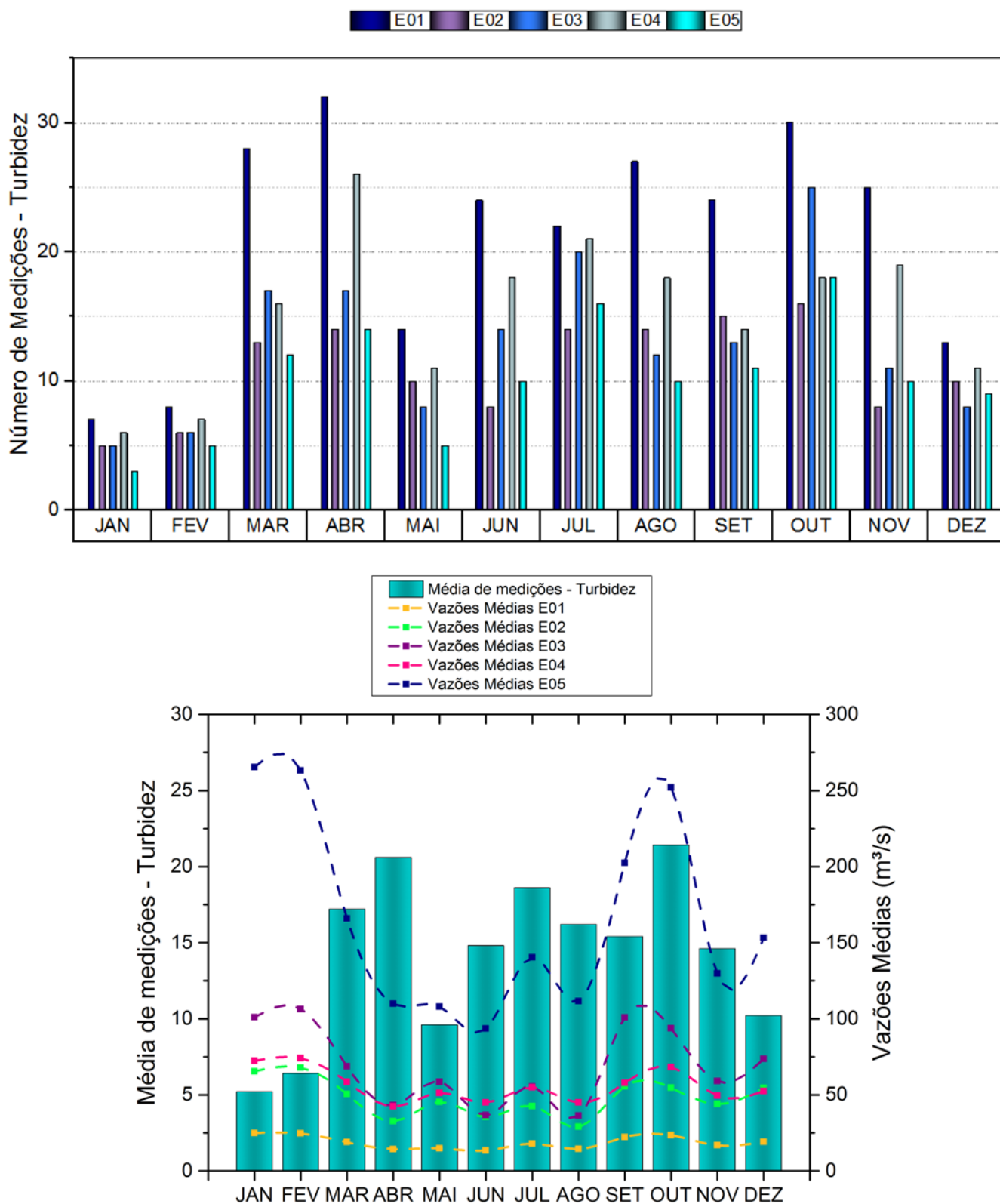


Figura 30 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem da turbidez (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu

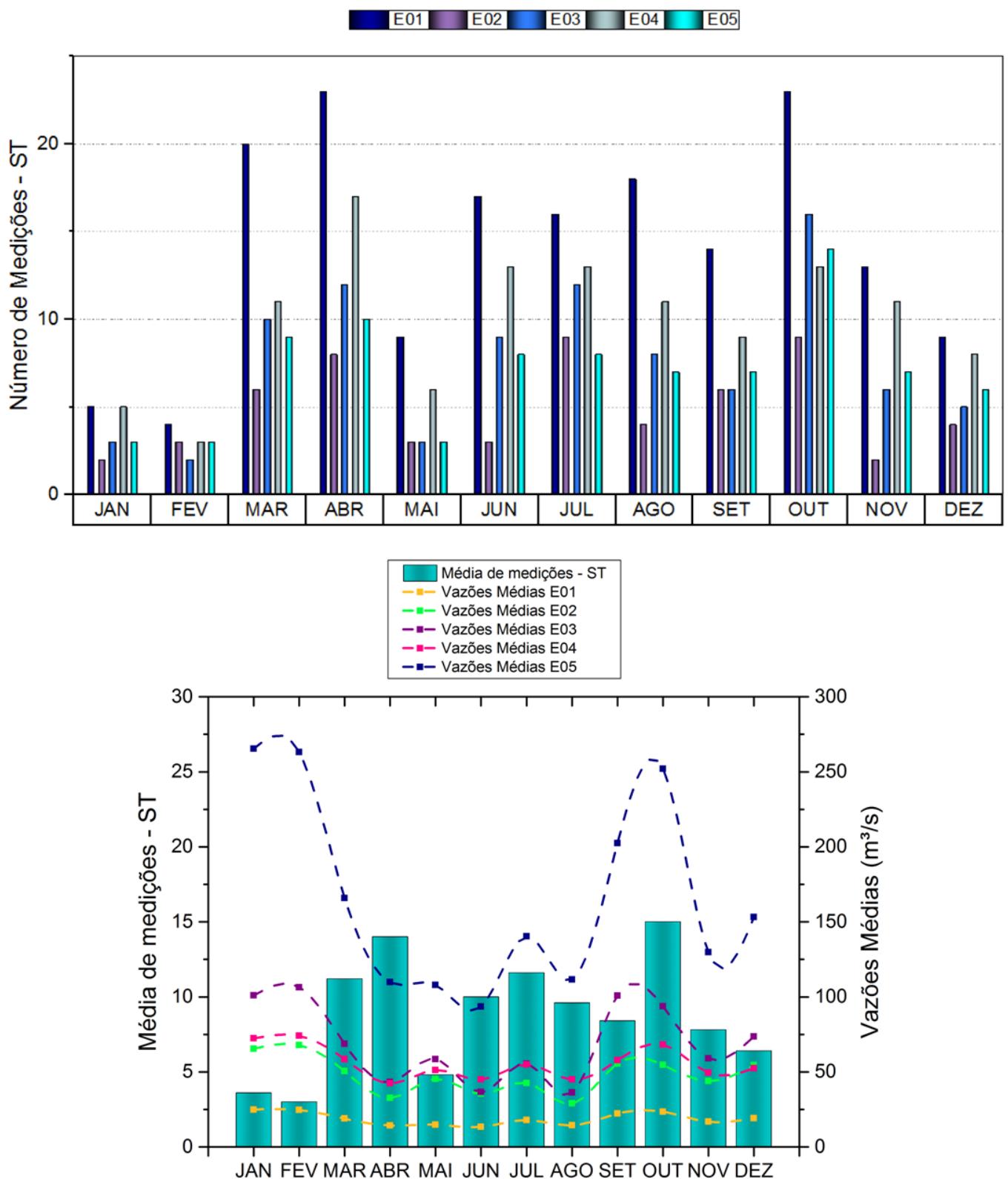


Figura 31 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem dos ST (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu

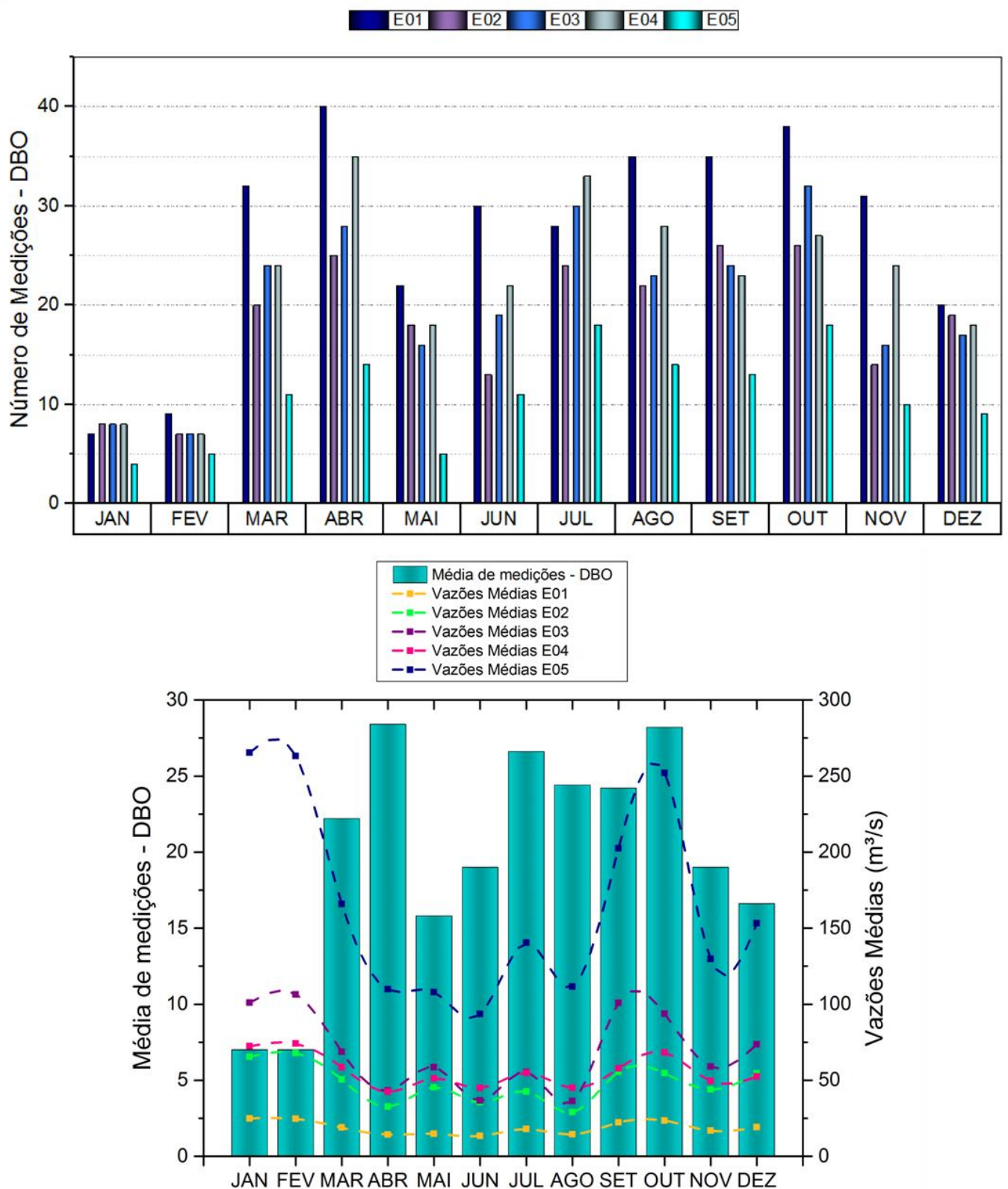


Figura 32 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem da DBO (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu

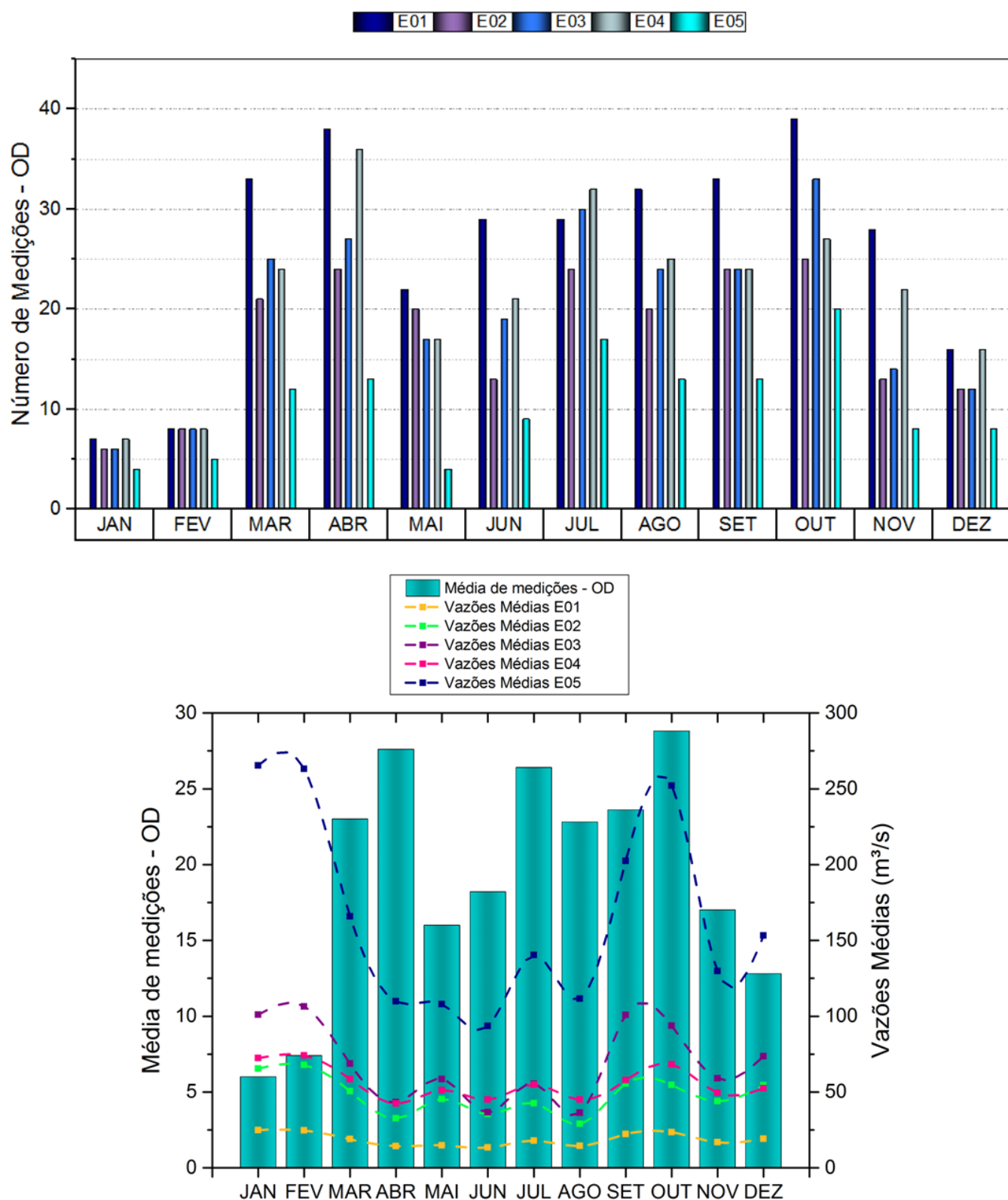


Figura 33 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem do OD (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu

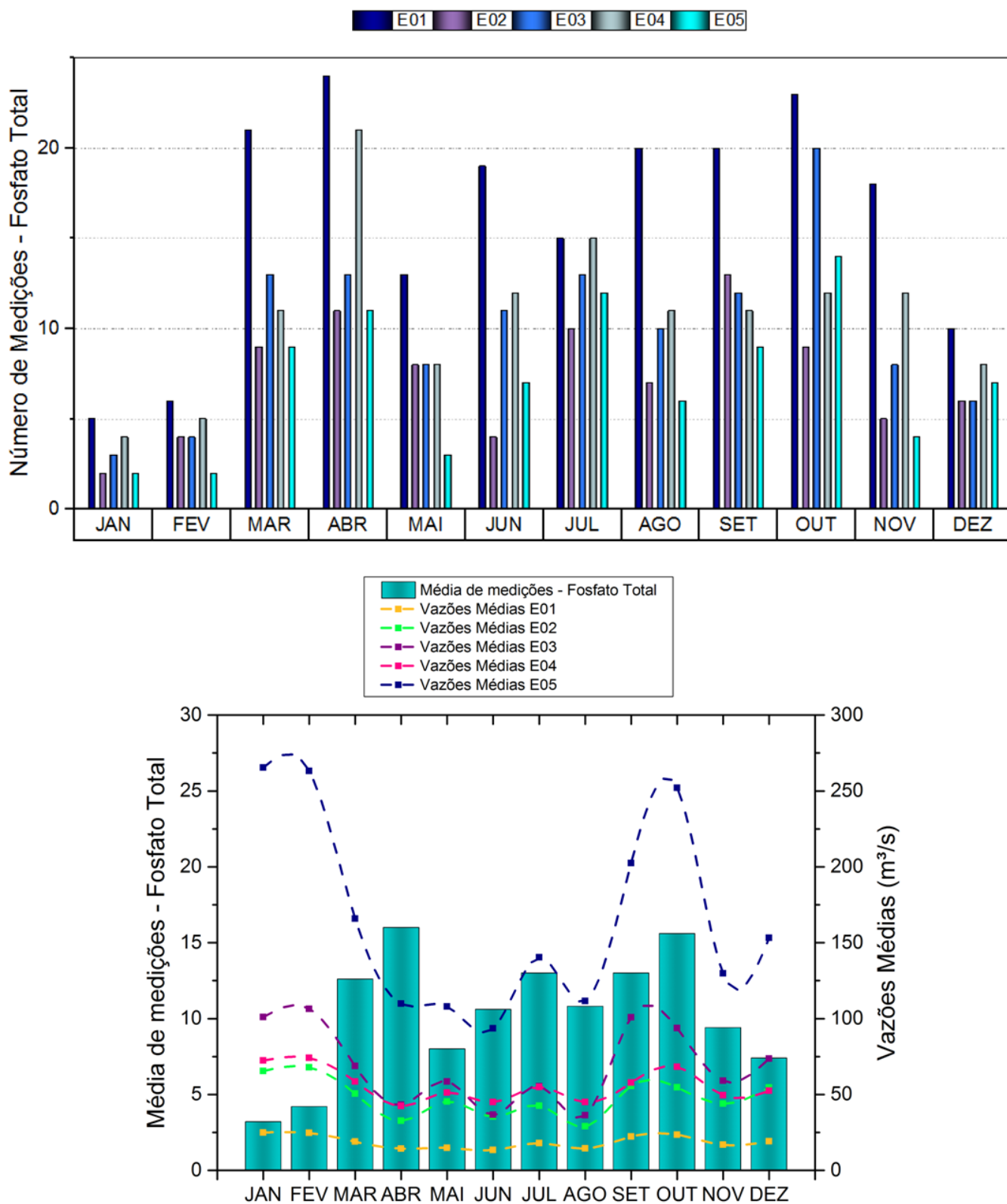


Figura 34 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem do fosfato total (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu

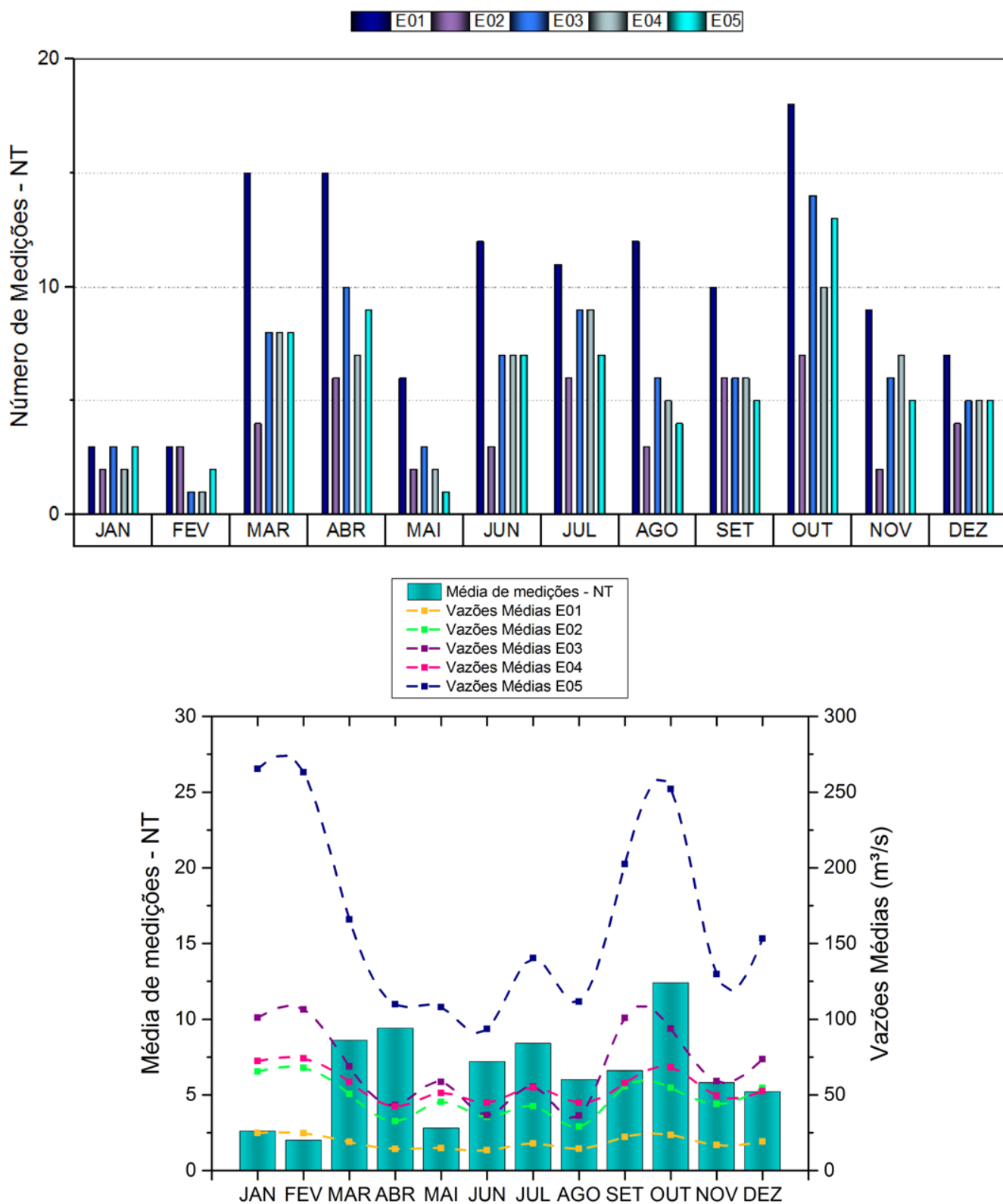


Figura 35 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem do NT (1987-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu

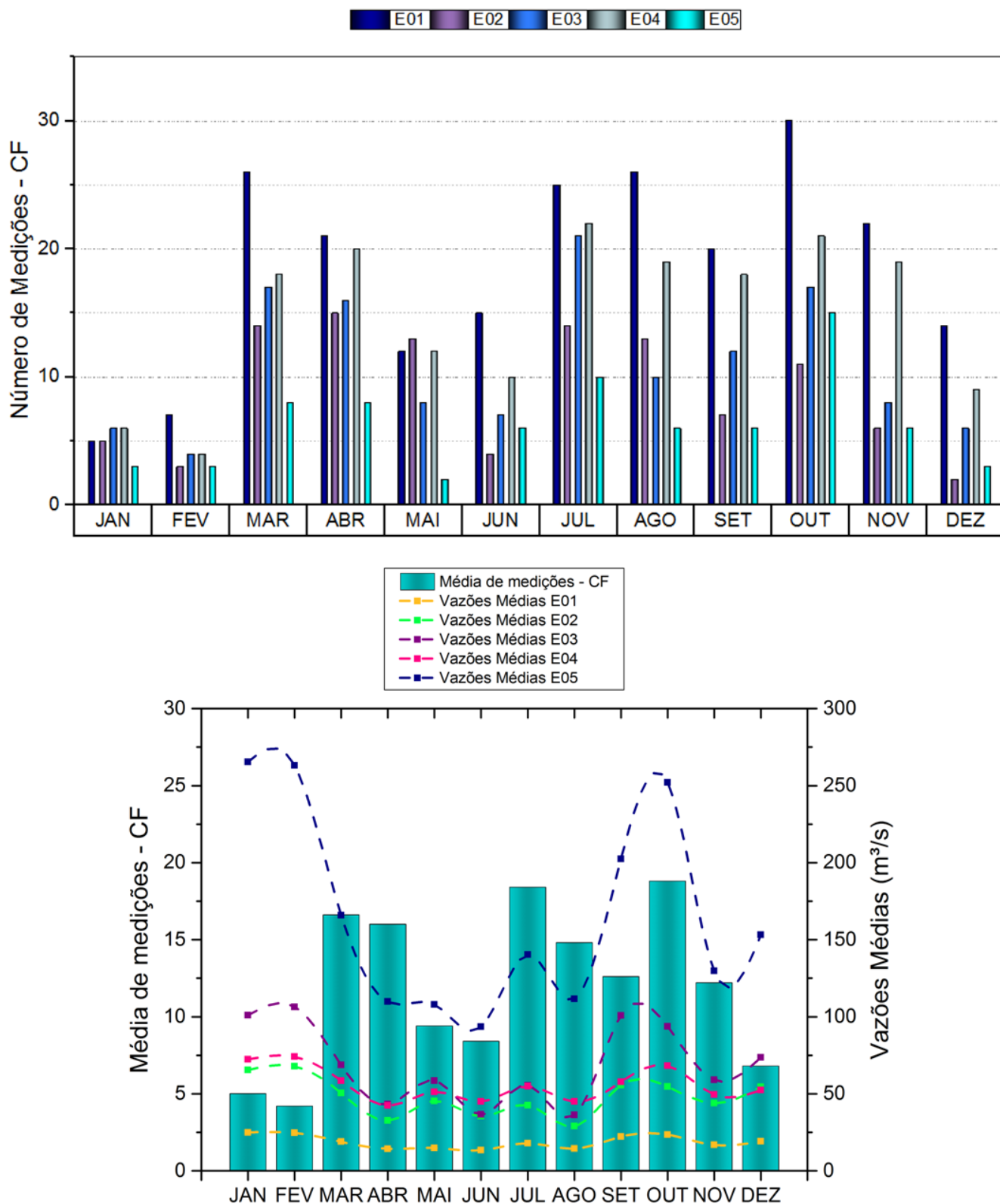


Figura 36 – Gráficos da distribuição temporal de amostragem dos CF (1982-2014) e das vazões médias mensais no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu

**APÊNDICE 2 – Gráficos de Evolução Temporal para pH, Condutividade Elétrica
e Concentração**

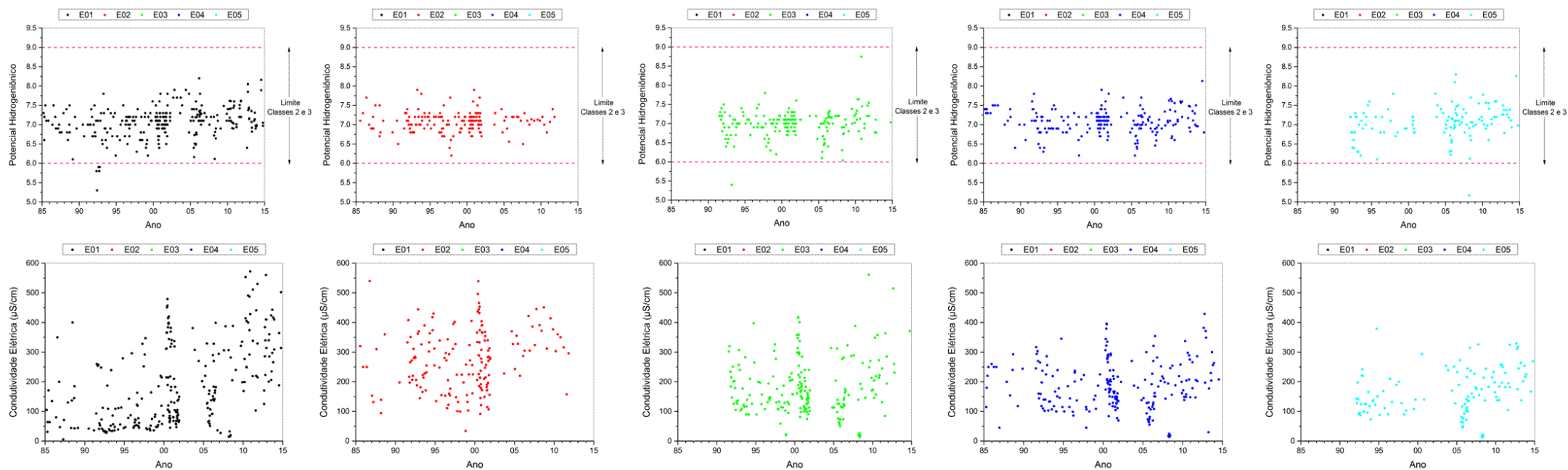


Figura 37 – Gráficos de evolução temporal para os parâmetros pH e condutividade elétrica no rio Iguaçu, medidos em estações da bacia do Alto Iguaçu

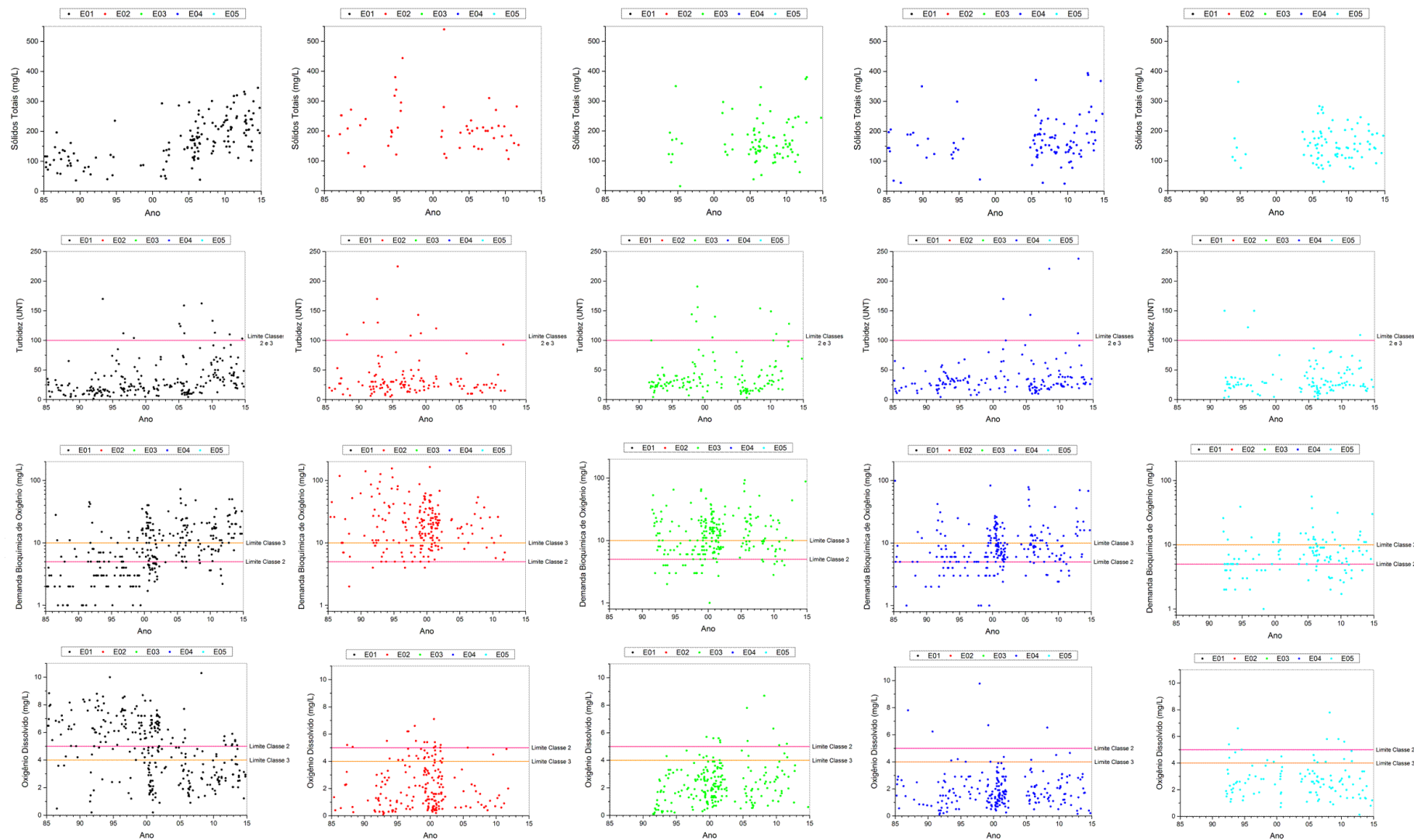


Figura 38 – Gráficos de evolução temporal para as concentrações de ST, turbidez, DBO e OD no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu

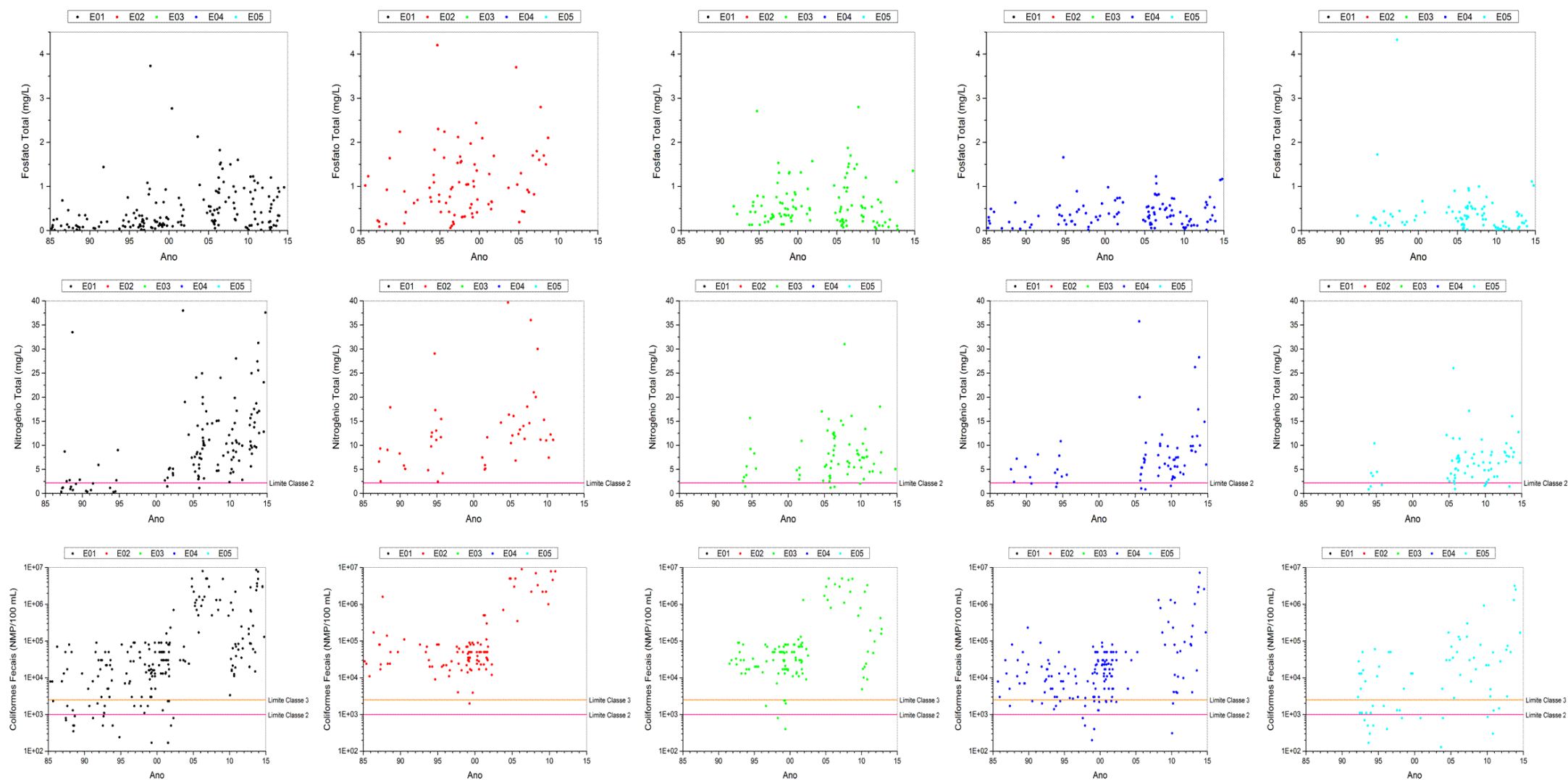


Figura 39 – Gráficos de evolução temporal para as concentrações de fosfato total, NT e CF no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu

APÊNDICE 3 – Gráficos de Evolução Temporal de Carga

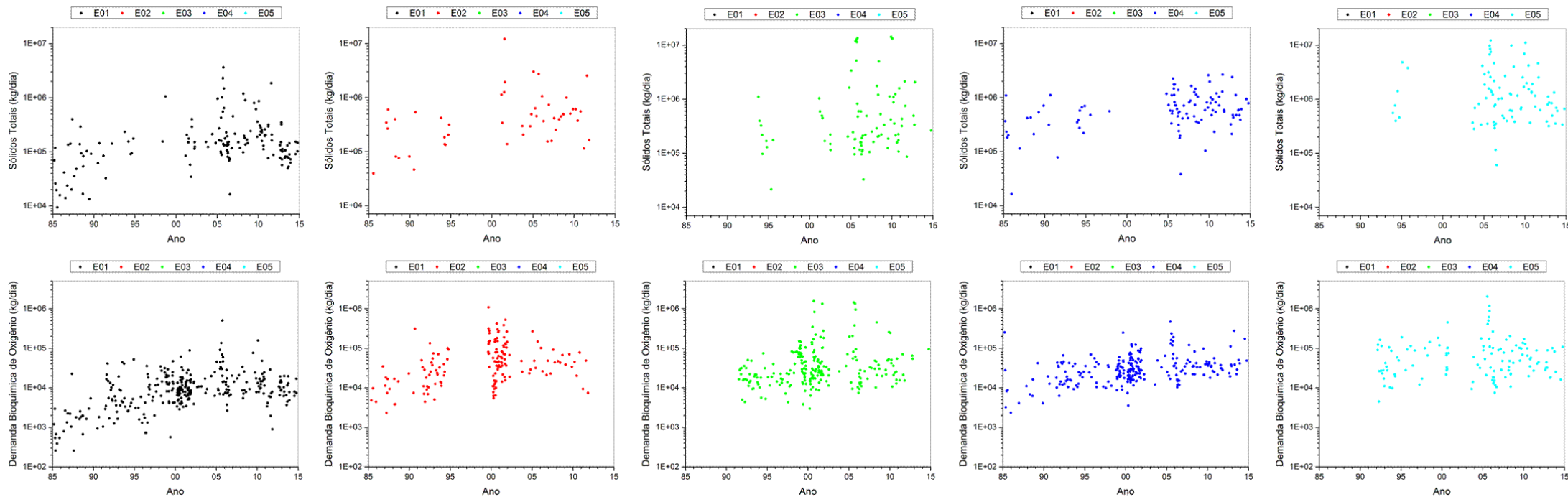


Figura 40 – Gráficos de evolução temporal para as cargas de ST e DBO no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu

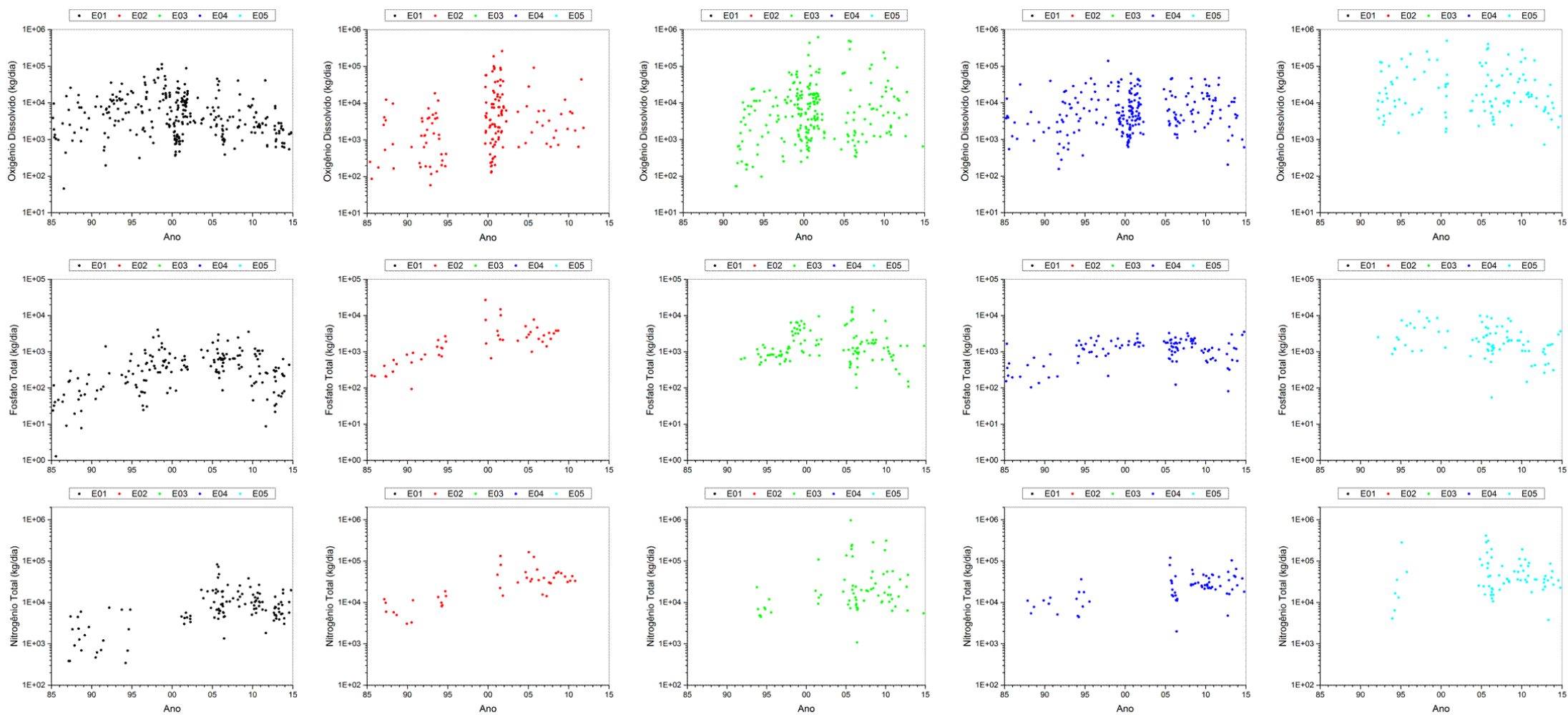


Figura 41 – Gráficos de evolução temporal para as cargas de OD, fosfato total e NT no rio Iguaçu, medidas em estações da bacia do Alto Iguaçu