

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Engenharia de São Carlos

Investimentos em controle de perdas dos sistemas de abastecimento de água nas bacias hidrográficas Piracicaba, Capivari e Jundiáí

Rafael Santos Carvalho

Orientador: Prof. Assoc. Tadeu Fabricio Malheiros

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E SANEAMENTO

RAFAEL SANTOS CARVALHO

INVESTIMENTOS EM CONTROLE DE PERDAS DOS SISTEMAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS PIRACICABA,
CAPIVARI E JUNDIAÍ

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos – SP

2023

RAFAEL SANTOS CARVALHO

Investimentos em controle de perdas dos sistemas de abastecimento de água nas bacias hidrográficas Piracicaba, Capivari e Jundiá

Trabalho de dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Assoc. Tadeu Fabricio Malheiros

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos - SP

2023

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

C136i Carvalho, Rafael Santos
Investimentos em controle de perdas nos sistemas de abastecimento de água nas bacias hidrográficas Piracicaba, Capivari e Jundiá / Rafael Santos Carvalho; orientador Tadeu Fabricio Malheiros. São Carlos, 2023.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2023.

1. Perdas nos sistemas de abastecimento de água. 2. Avaliação do desempenho de operadoras. 3. Indicadores de perdas no abastecimento de água. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **RAFAEL SANTOS CARVALHO**.

Título da dissertação: "Investimentos em controle de perdas dos sistemas de abastecimento de água nas bacias hidrográficas Piracicaba, Capivari e Jundiá".

Data da defesa: 14/04/2023.

Comissão Julgadora

Resultado

Prof. Associado **Tadeu Fabricio Malheiros (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC-USP)

APROVADO

Dr. **Luis Eduardo Gregolin Grisotto**
(Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos/COBRAPE)

APROVADO

Dra. **Ester Feche Guimarães**
(Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo/SABESP)

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:

Prof. Dr. **Luiz Antonio Daniel**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Carlos De Marqui Junior**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por toda a força concedida nesse caminho. Agradeço a minha família, em especial aos meus pais, Itamar e Maria Vera, por todo o apoio desde sempre, e as minhas irmãs Tamires, Daniela, Rafaela e Fernanda.

Agradeço aos meus amigos James, Damazio, Rayanne, Lucas, Marcus, Roberto, Edson e Mateus que, entre outros, me ajudaram e motivaram durante esse percurso.

Agradeço ao Professor Tadeu por toda ajuda e compreensão durante a pesquisa como meu orientador, bem como aos demais que fizeram e fazem a equipe NUPS.

Agradeço ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo financiamento dos projetos do programa. Agradeço também ao apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil, através do qual o presente trabalho foi realizado e pela concessão da bolsa.

RESUMO

CARVALHO, R. S. **Investimentos em controle de perdas nos sistemas de abastecimento de água nas bacias hidrográficas Piracicaba, Capivari e Jundiaí**. Trabalho de dissertação de Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 158 p. 2023.

As perdas nos sistemas de abastecimento de água são um grande problema em todo o mundo, especialmente nos países em desenvolvimento e representam o principal indicador de ineficiência para o setor. No Brasil a realidade ainda está distante da ideal, com o percentual médio de perdas do país se mantendo próximo a 40 % na última década. As perdas representam grandes prejuízos e apesar da necessidade de investimentos para o seu combate ser alta, a sua redução e controle fornecem benefícios proporcionais nos aspectos ambiental e econômico. O acervo científico deste tema é mais rico acerca das tecnologias e práticas de controle, no entanto, a avaliação do desempenho e econômica bem como a análise sobre gestão e governança, que constitui o primeiro passo para a redução das perdas, ainda carece de mais atenção. No âmbito nacional, os Comitês das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Comitês PCJ) têm se destacado devido ao empenho em reduzir os níveis de perdas de suas operadoras de água, com um programa de ações de controle inserido em seu planejamento há mais de duas décadas. Sob esta perspectiva, a presente pesquisa objetiva avaliar, no contexto das Bacias do PCJ, a evolução do desempenho das operadoras de água analisando a efetividade dos investimentos realizados no combate às perdas financiados com recursos próprios dos seus comitês. O estudo é planejado em três etapas. A primeira consiste na definição do recorte territorial e temporal, na escolha e coleta dos indicadores de perdas. A segunda corresponde ao levantamento dos investimentos realizados para combate às perdas financiados com recursos dos Comitês PCJ, bem como a análise de outros programas de controle de perdas. Na última etapa será empregada a classificação das práticas referentes aos investimentos realizados, utilizando uma matriz de interação para identificar e avaliar o direcionamento dessas ações empreendidas, complementada com a execução do *benchmarking* para avaliação do desempenho entre as operadoras do estudo. Os resultados obtidos apontam que a atuação dos Comitês PCJ sobre a problemática em questão destaca-se no cenário paulista, tanto em relação ao seu planejamento quanto a execução de empreendimentos, alcançando uma variedade de boas práticas encontradas na literatura sobre o tema. Os indicadores de perdas avaliados mostram que no contexto geral da região há uma melhora apresentada, apesar de alguns municípios ainda possuírem níveis ruins de desempenho e notou-se também a relevância de investimentos de outras fontes sobre a evolução desses indicadores. As Bacias PCJ apresentaram um Índice de Perdas na Distribuição – IN049, que em 1999 tinha um valor médio para os municípios da bacia de 34,13%, e em 2018 apresentou valor de 33,55%. Para o Índice de Perdas por Ligação – IN051 o valor médio na bacia foi reduzido para 246,33 l/ligação/dia, em comparação aos 429,40 l/ligação/dia de 1999. Quanto ao alinhamento de suas ações para melhoria da eficiência do abastecimento de água com as dimensões de sustentabilidade, conclui-se que apesar de abrangidas, as dimensões ambiental e econômica merecem maior atenção para que os Comitês PCJ executem plenamente uma gestão sustentável no aspecto das perdas de água.

Palavras chave: Perdas nos sistemas de abastecimento de água; Avaliação do desempenho de operadoras; Indicadores de perdas no abastecimento de água.

ABSTRACT

CARVALHO, R. S. **Investments in controlling losses in water supply systems in the Piracicaba, Capivari and Jundiá watersheds.** Dissertation submitted to the School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, in order to obtain the title of Master of Science in Hydraulic Engineering and Sanitation. São Carlos, 158 p., 2023.

Losses in water supply systems are a major problem all over the world, especially in developing countries, and represent the main indicator of inefficiency for the sector. In Brazil, reality is still far from ideal, with the average percentage of losses in the country remaining close to 40% in the last decade. Losses represent great losses and despite the high need for investments to combat them, their reduction and control provide proportional benefits in the environmental and economic aspects. The scientific collection on this subject is richer regarding technologies and control practices, however, the performance and economic assessment as well as the analysis of management and governance, which is the first step towards reducing losses, still needs more attention. At the national level, the Piracicaba, Capivari and Jundiá River Basin Committees (PCJ Committees) have stood out due to their commitment to reducing the levels of losses of their water operators, with a program of control actions included in their planning for more than two decades. From this perspective, this research aims to evaluate, in the context of the PCJ Basins, the evolution of the performance of water operators, analyzing the effectiveness of investments made in combating losses financed with the own resources of their committees. The study is planned in three stages. The first consists of defining the territorial and temporal cut, in the choice and collection of loss indicators. The second corresponds to the survey of investments made to combat losses financed with resources from the PCJ Committees, as well as the analysis of other loss control programs. In the last step, the classification of practices related to the investments made will be used, using an interaction matrix to identify and evaluate the direction of these undertaken actions, complemented with the execution of benchmarking to evaluate the performance among the operators in the study. The results show that the performance of the PCJ Committees on the issue in question stands out in the São Paulo scenario, both in relation to its planning and the execution of projects, reaching a variety of good practices found in the literature on the subject. The evaluated loss indicators show that in the general context of the region there is an improvement, despite some municipalities still having poor performance levels and the relevance of investments from other sources on the evolution of these indicators was also noted. The PCJ Basins presented a Distribution Loss Index - IN049, which in 1999 had an average value for the municipalities of the basin of 34.13%, and in 2018 it presented a value of 33.55%. For the Connection Losses Index – IN051, the average value in the basin was reduced to 246.33 l/connection/day, compared to 429.40 l/connection/day in 1999. Regarding the alignment of its actions to improve efficiency of water supply with the dimensions of sustainability, it is concluded that, despite being covered, the environmental and economic dimensions deserve greater attention so that the PCJ Committees fully execute a sustainable management in the aspect of water losses.

Keywords: Losses in water supply systems; Operator performance evaluation; Water supply losses indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de vazamentos em sistemas de distribuição de água.....	27
Figura 2 – Perdas aparentes nos componentes do SAA.....	29
Figura 3 – Componentes para controle das perdas reais.....	33
Figura 4 – Componentes para controle das perdas aparentes.....	35
Figura 5 - Aplicação dos recursos das Cobranças Federal PCJ e FEHIDRO por PDC.....	61
Figura 6 – Projetos financiados pelo CBH-SMT através do FEHIDRO, de 1996 a 2016.....	66
Figura 7 – Procedimento metodológico da pesquisa.....	70
Figura 8 – Porte dos municípios integrantes dos Comitês PCJ.....	72
Figura 9 – Sistema Produtor de Água Cantareira.....	76
Figura 10 – Resultados da priorização para controle de perdas no abastecimento.....	79
Figura 11 – Evolução temporal do IN049 médio ponderado e dos investimentos em combate às perdas.....	93
Figura 12 – Evolução temporal do IN051 médio ponderado e dos investimentos em combate às perdas.....	93
Figura 13 – Valor absoluto investido pelo PCJ em perdas entre 1999 e 2018.....	96
Figura 14 – Valor médio per capita anual investido pelo PCJ em perdas, de 1999 a 2018.....	97
Figura 15 – Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos para Nova Odessa.....	99
Figura 16 – Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos para Campinas.....	99
Figura 17 – Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos para Limeira.....	100
Figura 18 – Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos para Piracicaba.....	100
Figura 19 – Relação do IN049 (2019) com os investimentos das operadoras do tipo empresas públicas ou privadas.....	102
Figura 20 – Relação do IN051 (2019) com os investimentos das operadoras do tipo empresas públicas ou privadas.....	102

Figura 21 – Relação do IN049 e IN051 (2019) com os investimentos das operadoras do tipo administração pública direta.....	103
Figura 22 – Relação do IN049 e IN051 (2019) com os investimentos das operadoras do tipo autarquias.....	103
Figura 23 – Relação do IN049 e IN051 (2019) com os investimentos das operadoras do tipo sociedade de economia mista.....	104
Figura 24 – Proporção da presença de investimentos PCJ em ações de controle de perdas.....	106
Figura 25 – Práticas abrangidas nos investimentos PCJ em controle de perdas.....	106
Figura 26 – Investimentos PCJ por classes de práticas em controle de perdas.....	107
Figura 27 – Potencial de influência das ações em combate às perdas sobre as dimensões de sustentabilidade.....	110
Figura 28 – Relação do desempenho das categorias de práticas com as dimensões de sustentabilidade.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Volume e custo de água não faturada por região do planeta.....	46
Tabela 2 – Avaliação dos indicadores de perdas.....	56
Tabela 3 – Áreas de drenagem das Bacias PCJ.....	75
Tabela 4 – Investimentos em combate às perdas por CBH.....	86
Tabela 5 – Participação do controle de perdas de SAA nos investimentos previstos por CBH.....	88
Tabela 6 – Participação do controle de perdas de SAA nos investimentos previstos por CBH.....	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Matriz de balanço hídrico para as perdas de água.....	23
Quadro 2 – Perdas físicas e sua origem e magnitude de acordo com o subsistema.....	26
Quadro 3 – Causas prováveis de falhas em tubulações nos SAA.....	27
Quadro 4 – Perdas aparentes e sua origem.....	28
Quadro 5 – Comparativo dos modelos de benchmarking em diferentes localidades.....	44
Quadro 6 – Vantagens do uso de indicadores de desempenho.....	51
Quadro 7 – Evolução histórica dos indicadores de perdas de água.....	52
Quadro 8 – Indicadores de perdas de importantes instituições nacionais e internacionais.....	53
Quadro 9 – Estrutura do Programa de redução de perdas aparentes dos Comitês PCJ.....	61
Quadro 10 – Estrutura do Programa de redução de perdas reais dos Comitês PCJ.....	62
Quadro 11 – Recursos do CEIVAP destinados às ações em saneamento.....	64
Quadro 12 – População e natureza jurídica da operadora de água dos municípios.....	73
Quadro 13 - Práticas de controle de perdas organizadas em processos.....	82
Quadro 14 – Estrutura da Matriz de Interação.....	84
Quadro 15 – Escala de avaliação da matriz de interação.....	84
Quadro 16 – Matriz de interação das práticas de controle de perdas inseridas nos investimentos em controle de perdas do PCJ com a gestão sustentável.....	108

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

CBH AT – Comitê de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

CBH PCJ – Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá

CBH SMT – Comitê de Bacia Hidrográfica do Sorocaba e Médio Tietê

CEIVAP - Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

ETA – Estação de tratamento de água

ETE – Estação de tratamento de efluentes

FEHIDRO – Fundo Estadual de Recursos Hídricos

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IN049 – Índice de perdas percentual SNIS

IN051 – Índice de perdas por ligação SNIS

IPD – Índice de Perdas na Distribuição

IPL – Índice de Perdas por Ligação

ITB – Instituto Trata Brasil

IWA – *International Water Association*

ODM – Objetivos do Desenvolvimento do Milênio

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

PDC – Programa de Duração Continuada

PERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

SAA – Sistemas de Abastecimento de Água

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SES – Sistema de esgotamento sanitário

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SSPP/SEADE – Sistema Seade de Projeções Populacionais

TGCA – Taxa geométrica de crescimento anual

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

VRP – Válvula redutora de pressão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
3.1	PERDAS EM SAA.....	22
3.1.1	Perdas de água reais ou físicas	25
3.1.2	Perdas de água aparentes ou comerciais	28
3.2	CONTROLE DAS PERDAS EM SAA	30
3.2.1	Controle de perdas reais	32
3.2.2	Controle das perdas aparentes	34
3.3	DIAGNÓSTICO E ANÁLISE ECONÔMICA DAS PERDAS EM SAA.....	36
3.3.1	Diagnóstico e avaliação das ações em combate às perdas de água no abastecimento	36
3.3.2	<i>Benchmarking</i> para avaliação do desempenho ou métrico	40
3.3.3	Análise de investimentos no setor de abastecimento de água e combate às perdas 44	
3.4	INDICADORES DE PERDAS EM SAA	50
3.5	O COMBATE ÀS PERDAS EM SAA DENTRO DO PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO	57
3.5.1	O controle de perdas no planejamento de recursos hídricos do estado de São Paulo 59	
4	METODOLOGIA	69
4.1	1ª ETAPA: DEFINIÇÃO DO RECORTE TERRITORIAL E TEMPORAL DO ESTUDO E DOS INDICADORES DE PERDAS UTILIZADOS	70
4.1.1	Módulo I: Caracterização da área de estudo	71
4.1.2	Módulo II: Seleção e coleta dos indicadores	77

4.2	2ª ETAPA: LEVANTAMENTO DOS INVESTIMENTOS EM CONTROLE DE PERDAS NAS BACIAS PCJ E ANÁLISE DO PLANEJAMENTO DE COMBATE ÀS PERDAS EM COMITÊS NO ESTADO DE SÃO PAULO.....	80
4.2.1	Módulo III: Coleta dos dados de investimentos em perdas no Comitê PCJ e avaliação do cenário de planejamento dos demais comitês paulistas	80
4.3	3ª ETAPA: CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS INVESTIMENTOS EM PRÁTICAS DE COMBATE ÀS PERDAS NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	81
4.3.1	Módulo IV: Classificação dos investimentos de acordo com as práticas de controle de perdas e uso da matriz de interação para estudo dos impactos resultantes..	81
4.3.2	Módulo V: Análise da evolução temporal dos indicadores de perdas e investimentos realizados nos SAA e execução do <i>benchmarking</i> para avaliação do desempenho.....	84
5	RESULTADOS.....	86
5.1	PLANEJAMENTO E ATUAÇÃO DOS COMITÊS PCJ EM CONTROLE DE PERDAS EM SAA.....	86
5.1.1	Combate às perdas dos Comitês PCJ no contexto dos CBH em São Paulo ...	86
5.1.2	Evolução temporal dos investimentos e indicadores de perdas em SAA.....	92
5.1.3	Distribuição dos investimentos em controle de perdas nas Bacias PCJ	95
5.2	<i>BENCHMARKING</i> DOS INVESTIMENTOS PCJ EM CONTROLE DE PERDAS DE SAA.....	101
5.2.1	Efetividade dos investimentos por natureza jurídica da operadora	101
5.2.2	Práticas abrangidas pelos investimentos	105
5.3	ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DAS AÇÕES PCJ EM CONTROLE DE PERDAS.....	108
6	CONCLUSÃO	113
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
	APÊNDICE I – EVOLUÇÃO TEMPORAL DO IN049, IN051 E DOS INVESTIMENTOS EM COMBATE ÀS PERDAS	126

1 INTRODUÇÃO

As preocupações e discussões internacionais relacionadas ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário em geral ocorrem desde a primeira metade do século XX e possuem cada vez mais importância na agenda mundial atual. Se o seu enfoque inicial esteve mais atrelado a questões de higiene e saúde, hoje, com o grave cenário ligado a problemas de disponibilidade hídrica que atingem todas as regiões do planeta e cuja responsabilidade se atribui, entre outros fatores, às alterações climáticas observadas nas últimas décadas, essa discussão ganhou um escopo mais amplo, abrangendo também a gestão sustentável deste recurso (GUDE, 2017; HERRERA, 2019).

No âmbito destas discussões sobre uma estrutura de esforços para o desenvolvimento global, nas quais a pauta de recursos hídricos está indispensavelmente presente, a Meta 7C dos Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM) da Organização das Nações Unidas (ONU) que visava “reduzir pela metade, até 2015, a proporção de pessoas sem acesso sustentável a água potável e saneamento básico” (UNITED NATIONS, 2015a), configura um dos marcos importantes do planejamento global voltado ao acesso à água (FULLER et al., 2016; MARTEN, 2019).

Numa continuidade destes esforços, os países membros da Assembleia Geral das Nações Unidas comprometeram-se em 2015 com os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), dentre os quais o ODS 6 visa até o ano 2030 “garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos” (UNITED NATIONS, 2015b) e exibe um foco maior nos desafios globais de água e saneamento (TRUSLOVE et al., 2019).

No entanto, apesar do cumprimento da Meta 7C dos ODM, o déficit de água acessível permanece generalizado em todo o planeta, o que revela a desigualdade deste progresso, seja entre países ou dentro de tais, e remonta às preocupações sobre a sua disponibilidade (CASSIVI et al., 2018; EZBAKHE; GINÉ-GARRIGA; PÉREZ-FOGUET, 2019). De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos 2020, a demanda por água deve seguir crescente nos próximos 20 anos e estima-se que ao final das próximas três décadas mais de 3 bilhões de pessoas (cerca de 40% da população mundial) irão conviver com o estresse hídrico severo (UNESCO, 2020).

Estimativas apontam que será preciso um incremento substancial nos investimentos do setor para garantir a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos e atingir assim o ODS 6, o

que leva a comunidade científica a estudar continuamente alternativas para a melhoria dos sistemas de abastecimento de água (SAA) considerando aspectos técnicos, ambientais e econômicos (DJUKIC et al., 2016; LEIGLAND; TREMOLET; IKEDA, 2016).

Neste sentido, as perdas de água representam um grave problema em todo o mundo, especialmente nos países em desenvolvimento, e representam o principal indicador de ineficiência para o setor de abastecimento, sendo causadas principalmente por falhas na infraestrutura dos sistemas de distribuição e no processo gerencial das operadoras (TSUTIYA, 2006; VILANOVA; FILHO; BALESTIERI, 2014).

De acordo com um estudo global realizado por Liemberger e Wyatt (2019), anualmente são perdidos volumes absurdamente elevados em SAA, que além do dano ambiental alarmante perante as previsões sobre a disponibilidade deste recurso vital, representam também prejuízos econômicos enormes. Estes autores estimam que mundialmente por ano são perdidos 126 bilhões de metros cúbicos de água, representando um prejuízo anual de 39 bilhões de dólares.

A quantidade de água perdida varia entre as regiões do planeta, havendo regiões como a Europa, onde estima-se perdas de 9,8 bilhões de metros cúbicos anuais, enquanto na América latina este valor é estimado em mais de 25 bilhões de metros cúbicos por ano (LIEMBERGER; WYATT, 2019).

De maneira geral, a perda de água corresponde à diferença entre o volume produzido disponibilizado e o volume informado no consumo final, sendo classificada em perdas reais: associadas aos vazamentos dos volumes físicos de água do sistema; e perdas aparentes: as perdas comerciais oriundas de fraudes e falhas na medição final junto aos consumidores (SILVA; DE PÁDUA; BORGES, 2016; TARDELLI FILHO, 2016; WALSKI et al., 2006).

É de conhecimento global a necessidade da redução das perdas de água na distribuição dos sistemas de abastecimento e, portanto, a execução de práticas para o seu controle possui cada vez maior importância para as operadoras (MOLINOS-SENANTE; MOCHOLÍ-ARCE; SALA-GARRIDO, 2016a). Entretanto, devido à complexidade de fatores envolvidos, é também um grande desafio para as operadoras atingirem e manterem níveis adequados para as perdas, ponto chave para a promoção da sustentabilidade nos SAA em geral (GÜNGÖR-DEMIRCI et al., 2018; VAN DEN BERG, 2015).

Por essas razões, vários países como Alemanha, Áustria, Dinamarca, Grã-Bretanha, Portugal e Suíça têm desenvolvido programas especiais de análise cuidadosa sobre os índices

técnicos, econômicos e de confiabilidade dos seus sistemas, melhorando assim os resultados no controle de perdas (CLARKE; BODEN; MCDONALD, 2012; MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVA-MOORTHY, 2013; OCIEPA; MROWIEC; DESKA, 2019; PIETRUCHA-URBANIK; TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK, 2018; WERNER; COLLINS, 2012).

Ainda assim, mesmo em países desenvolvidos, a exemplo dos Estados Unidos da América, a infraestrutura de abastecimento precisa com urgência de grandiosos investimentos financeiros para conter a deterioração das tubulações que provocam grande parte das perdas de água e, ao mesmo tempo, acompanhar as demandas crescentes e as metas de confiabilidade para as operadoras de água (JIN; PIRATLA, 2016).

Nas regiões em desenvolvimento a situação é ainda mais grave devido a influência de agravantes como o crescimento populacional, a expansão de áreas urbanas e conseqüentemente das redes de distribuição de água, e a ineficiência técnica, política e econômica para promover melhorias no desempenho dos serviços de abastecimento (MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2011; NDUNGURU; HOKO, 2016). Segundo Kadu e Dighade (2015), os percentuais de perdas para a maioria desses sistemas são superiores a 50% do volume produzido, devido à falta de planejamento, projeto, operação e manutenção adequados.

A realidade brasileira, apesar das crescentes discussões sobre o assunto que deram impulso ao planejamento de ações centradas no combate às perdas e melhorias na eficiência das empresas do setor de saneamento, ainda está distante da ideal, com o percentual médio de perdas do país próximo a 40%, havendo também acentuadas desigualdades regionais que implicam na disparidade da evolução destes índices (SNIS, 2019; SOBRINHO; BORJA, 2016).

O acompanhamento do desempenho das operadoras e os estudos sobre os benefícios de investimentos em programas de combate às perdas no setor de abastecimento são ferramentas extremamente úteis para a avaliação econômica e de eficiência das ações adotadas, previsão de retorno financeiro e direcionamento da alocação de recursos pelas entidades gestoras, sendo inclusive obrigatórias para o alcance de financiamentos em diversos casos (DJUKIC et al., 2016; HUTTON; HALLER; BARTRAM, 2007).

Entretanto, vários fatores interferem na avaliação dos investimentos: os projetos normalmente têm por característica custos fixos iniciais elevados, taxas de retorno pequenas, taxas mínimas regulatórias, arbitrariedade em interferências políticas, longos prazos de resposta, carência de indicadores confiáveis, etc. (AMEYAW; CHAN, 2013; CAMBRAINHA; FONTANA, 2015).

Melato (2010) considera o entendimento do problema como o ponto de partida para qualquer programa de combate às perdas. Para a autora, deve-se executar a avaliação do sistema seguida da elaboração da matriz de balanço hídrico que, por sua vez, permite conhecer o perfil das perdas de água, e posteriormente são necessárias outras metodologias para buscar entender a efetividade das ações propostas, como é o caso da avaliação de sustentabilidade. Entre as técnicas de avaliação de sustentabilidade está a matriz de interação, ferramenta que fornece a relação entre ações ou práticas determinadas com os fatores de impacto associados.

O *benchmarking* é também uma ferramenta de avaliação do controle de perdas descrito como uma ação sistemática que investiga práticas e processos operacionais e os compara entre diferentes empresas de saneamento (CABRERA JR. et al., 2014). Este instrumento vem sendo aplicado cada vez mais nos sistemas de abastecimento de água segundo Mutikanga (2012), que aponta sua importância para os tomadores de decisão, reguladores e outros atores decisórios do saneamento na análise do desempenho das operadoras.

Nesse contexto, a região das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), localizada na região Sudeste do Brasil, através do esforço de seus comitês têm dado grande foco ao planejamento para a redução e controle dos níveis de perdas no abastecimento de água, tendo direcionado nas duas últimas décadas aproximadamente 37% dos investimentos oriundos da arrecadação com a cobrança pela água para ações neste segmento (SANTI, 2018).

A gestão das perdas é uma das estratégias para atender melhor a demanda de água na região, cuja disponibilidade hídrica é crítica, e para tal é estimado que até 2035 serão investidos US\$ 8,02 milhões para solucionar os seus principais problemas de perdas nos sistemas de abastecimento (SANTI; CETRULO; MALHEIROS, 2020).

De acordo com o Plano de Bacias PCJ 2010-2020, o programa de uso racional da água e combate às perdas recebeu a maior previsão de investimentos entre os programas de duração continuada para a década, e segue sendo um dos programas prioritários no Plano de Bacias 2020-2035, o que indica a preocupação dos órgãos de planejamento quanto a este problema (COBRAPE, 2010; PROFILL-RHAMA, 2020). A Fundação Agência das Bacias PCJ, entidade executiva dos Comitês PCJ, investiu, de 1994 a 2019, aproximadamente US \$ 36,7 milhões no controle de perdas (SANTI; CETRULO; MALHEIROS, 2020).

No entanto, o índice de perdas médio das operadoras inseridas nas Bacias PCJ é de 34% e alguns municípios apresentam índices ainda mais elevados, atingindo em alguns casos, percentuais superiores a 50% de perdas na distribuição (PROFILL-RHAMA, 2020). Há por

exemplo neste cenário, operadoras como a do município de Limeira, com índice de perdas por ligação de 77,97 l/ligação/dia, um bom desempenho a nível nacional, e casos como o de Piracicaba, com perdas de 689,86 l/ligação/dia, valor bastante elevado (PROFILL-RHAMA, 2020; SNIS, 2019).

Essa disparidade dos níveis de desempenho em combate às perdas aliada a presença de um programa de investimento há duas décadas no âmbito das Bacias PCJ instiga o interesse em entender a real situação do desempenho das operadoras, bem como os fatores intervenientes à efetividade na implementação de investimentos e consequente execução de práticas de controle.

Frente à problemática exposta, considerando o âmbito das Bacias PCJ, o presente trabalho propõe-se a avaliar a evolução do desempenho das operadoras buscando entender as disparidades existentes nos níveis de eficiência dos sistemas de abastecimento de água, fazendo uma análise sobre o planejamento dos Comitês PCJ e os seus investimentos realizados no combate às perdas de água nos últimos 20 anos, através do levantamento de indicadores e custos das ações investidas, estudo dos possíveis benefícios apresentados e fatores intervenientes. Dessa forma, pretende-se responder às seguintes questões:

- Que investimentos financiados pelos Comitês PCJ foram realizados em ações para o controle e redução das perdas nos sistemas de abastecimento de água? Essas ações converteram-se em níveis superiores de desempenho e sustentabilidade para as operadoras dos serviços de abastecimento? O planejamento dos Comitês PCJ no âmbito do combate às perdas de água está alinhado com outras experiências dentro do estado de São Paulo?

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do estudo é avaliar, no âmbito da região das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba Capivari e Jundiá, a atuação dos Comitês PCJ no combate às perdas nos SAA dos seus municípios.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos se pretende:

- Identificar os tipos de investimento associados às ações de combate e redução das perdas de água que estão sendo financiados pelos Comitês PCJ nas operadoras da região estudada;
- Analisar a sustentabilidade do conjunto de investimentos financiados pelos Comitês PCJ realizados no combate às perdas em SAA da região estudada, no período entre 1999 e 2018;
- Analisar a evolução temporal dos indicadores de perdas da região, realizando o *benchmarking* para avaliação do desempenho;
- Identificar os aspectos positivos e os pontos que devem receber prioridade de melhoria no planejamento dos recursos hídricos para esta temática.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PERDAS EM SAA

A medida que os problemas ligados à disponibilidade de água e à pressão sobre os recursos hídricos aumentam em todo o planeta, torna-se mais evidente a importância da racionalidade em seu uso e dos esforços para atingir melhores níveis de desempenho dos SAA, mobilizando a discussão entre operadoras, órgãos gestores e a comunidade científica (BEZERRA; PERTEL; MACÊDO, 2019).

Este maior entendimento sobre a necessidade de SAA mais eficientes tornou as perdas de água um dos principais temas de debate em todo o mundo nos últimos anos, haja visto que estas fornecem as informações que compõem os indicadores de maior relevância neste quesito (SANTI; CETRULO; MALHEIROS, 2018; VILANOVA; FILHO; BALESTIERI, 2014). Não limitando-se somente aos vazamentos de tubulações, de maneira geral, as perdas de água representam a diferença entre o volume produzido de água e o volume final consumido. Apesar da importância de medir perda na produção, o foco da presente discussão serão as perdas na etapa de distribuição, definição que aborda também o aspecto da água que é entregue, mas não contabilizada (TARDELLI FILHO, 2016).

É comum classificar as perdas em dois tipos: perdas reais ou físicas, que são as perdas de água do sistema em pressão, até o extremo da rede no hidrômetro dos consumidores, englobando o volume de perdas ocasionado por fissuras, rupturas e extravasamentos; e perdas aparentes ou comerciais, que se referem ao consumo não autorizado e aos erros de medições para o volume produzido e consumido (SILVA; DE PÁDUA; BORGES, 2016).

A *International Water Association* (IWA) propõe um esquema para a matriz de balanço hídrico para as perdas de água onde ilustra os destinos para a água nos sistemas de abastecimento de acordo com a autorização do consumo e o faturamento oriundo deste recurso, como apresentado no Quadro 1 (FUNASA, 2014).

De acordo com Van den Berg, (2015), a redução dos níveis de perdas constitui a chave para a implantação e viabilização da sustentabilidade na gestão da água, porém, é também um enorme desafio frente a significativa distância entre a situação atual do aproveitamento dos recursos hídricos e as condições consideradas sustentáveis, especialmente nas regiões menos desenvolvidas.

Segundo uma estimativa do Banco Mundial em 2006, as perdas físicas de água correspondiam a cerca de 32 bilhões de metros cúbicos por ano e metade delas ocorriam em países em desenvolvimento, onde os valores chegavam a 45 milhões de metros cúbicos perdidos diariamente, correspondentes a um valor econômico superior a 14 bilhões de dólares anuais (WORLD BANK, 2006).

Quadro 1: Matriz de balanço hídrico para as perdas de água.

VOLUME DE ENTRADA NA DISTRIBUIÇÃO	CONSUMOS AUTORIZADOS	Consumo autorizado faturado	Consumo medido faturado	ÁGUA FATURADA
			Consumo não medido faturado (estimado)	
	Consumo autorizado não faturado	Consumo medido não faturado	ÁGUA NÃO FATURADA	
		Consumo não medido e não faturado		
	PERDAS DE ÁGUA	Perdas Aparentes (Comerciais)		Consumo não autorizado
				Falhas nos medidores
	Perdas reais (Físicas)	Vazamentos e extravasamentos em reservatórios		
		Vazamentos em adutoras e redes de distribuição		
Vazamentos nos ramais prediais				

Fonte: Adaptado de FUNASA (2014).

No entanto, estudos realizados no contexto asiático e, posteriormente, mundial, apontaram que esta primeira estimativa foi razoavelmente conservadora e, além disso, em decorrência de fatores como o crescimento populacional e a expansão de áreas urbanas, os valores para perdas atualmente são muito maiores, estimados em cerca de 126 bilhões de metros cúbicos anuais, equivalentes a aproximadamente 40 bilhões de dólares por ano (LIEMBERGER; WYATT, 2019).

Neste âmbito, nota-se que os investimentos em gestão operacional e de manutenção dos SAA recebem menor atenção por parte das concessionárias e são usualmente preteridos em relação às ações voltadas à ampliação de cobertura e capacidade hidráulica, contribuindo assim para maiores perdas nos sistemas (PERTEL; DE AZEVEDO; VOLSCHAN JUNIOR, 2016).

No Brasil, a intensificação da degradação ambiental e a crescente demanda de água para diversos setores impulsionaram uma série de ações para a adoção de práticas e tecnologias voltadas ao controle de perdas no abastecimento (SOBRINHO; BORJA, 2016). No entanto, tais ações ainda não foram suficientes para estabelecer, principalmente a nível nacional, melhores indicadores neste quesito, já que, de acordo com o diagnóstico dos serviços de água e esgoto do SNIS referente ao ano de 2019 o percentual médio de perdas na distribuição em todo o país é de 39,2%, havendo assim um aumento de 0,7% com relação ao ano anterior. Além disso, de acordo com o mesmo documento, observa-se acentuada disparidade destes níveis dentro do país, onde enquanto a Região Sudeste apresenta o melhor desempenho, com índice de 36,1%, a Região Norte possui o pior, com preocupantes 55,2% de perdas na distribuição.

Dentre as principais causas destes elevados índices destaca-se a carência de maiores investimentos em manutenção e em tecnologias para melhor operação e monitoramento das redes de distribuição, valores cobrados que não refletem corretamente o grau de disponibilidade ou escassez do recurso e reduzido incentivo para ações de melhoria em gestão (OLIVEIRA et al., 2018). Essa deficiente gestão dos SAA, no que tange as perdas de água, implicam em menores eficiências, pior qualidade e confiabilidade do serviço, diminuição da disponibilidade hídrica para outros usos, desperdício de energia nos processos de abastecimento de água, emissão desnecessária de gases de efeito estufa, entre outros inconvenientes (VILANOVA; FILHO; BALESTIERI, 2014).

Zyoud et al. (2016), afirmam que há uma considerável variedade de alternativas no contexto de redução e controle de perdas de água. Segundo estes autores, tais alternativas podem variar de acordo com cada realidade local e também em termos de eficiência, complexidade, custo e impacto. Há opções de rotina, como o controle passivo de vazamentos e a substituição de linhas de serviço e hidrômetros defeituosos, opções flexíveis como campanhas de conscientização pública e ações educacionais, e alternativas com maior grau de sofisticação como o emprego de técnicas avançadas, que incluem monitoramento online, sensores com medições de diversos parâmetros e controle de pressão (DUTRA; OLIVEIRA, 2017; FRITZ; GIMENES; PINA FILHO, 2020).

Apesar de se saber que a necessidade de investimentos é consideravelmente alta, a redução e o controle das perdas nos SAA fornecem benefícios não somente no aspecto ambiental, enquanto medidas necessárias para conter o avanço da escassez hídrica, mas também no âmbito econômico, com significativas reduções nos custos de produção e consequente

expansão da oferta de água, e no campo social, pois possibilitam a economia financeira tanto para as operadoras quanto para os usuários finais (SANTI, 2018).

3.1.1 Perdas de água reais ou físicas

As perdas de água reais correspondem ao volume físico de água perdido até o medidor do consumidor final, por meio de fissuras, extravasamentos e roturas, variando de acordo com o período de duração médio, o caudal e a frequência das fugas de água (ALEGRE et al., 2005). Este tipo de perda representa em muitos casos, mais de 70% das perdas totais dos SAA, uma quantidade significativa e intimamente ligada ao recente agravamento dos problemas de escassez de água em todo o mundo, o que torna a sua redução vital para segurança hídrica futura (SAMIR et al., 2017).

É preciso entender as perdas físicas como um problema multifacetado que não limita-se apenas à visão ambiental de desperdício do volume de água em si, mas abrange também todo um conjunto de processos que vão desde a captação nos corpos hídricos, a adução, as etapas de tratamento e a distribuição para os usuários, e possuem diferentes custos econômicos, ambientais e sociais (ABOELNGA et al., 2018). Neste sentido, as perdas reais na distribuição têm a maior relevância no aspecto social já que as ações para reparo nesta etapa estão diretamente atreladas a redução do volume disponibilizado e interrupção no fornecimento (CAMBRAINHA; FONTANA, 2015).

Alegre et al. (2005), apontam como principais fatores de influência sobre as perdas reais de água o estado das tubulações, a pressão do sistema, o comprimento médio e a densidade de ramais, o comprimento total das tubulações, a localização do medidor domiciliar, as condições do terreno, o tipo de solo e a frequência de vazamentos na rede. A idade da rede e de seus componentes é um dado também importante pois implica no fator de estado dos materiais que o os compõem, tendo em vista que ao longo do tempo as suas condições físicas se alteram diminuindo a eficiência e consequentemente o desempenho do sistema de abastecimento, levando assim a maior incidência de falhas e ao aumento dos níveis de perdas de água (GÜNGÖR; YARAR; FIRAT, 2017).

Sendo assim, é possível classificar as perdas físicas em duas subcategorias de acordo com a origem de sua ocorrência (PNCDA, 2003):

- Perdas operacionais: são as perdas associadas aos procedimentos de operação e manutenção dos sistemas, comumente decorrentes de falhas da própria equipe

operacional. A esta categoria atribui-se as perdas referentes a excessos ou desperdícios em processos produtivos rotineiros, como a limpeza das unidades de tratamento, por exemplo.

- Perdas por vazamentos: correspondem aos volumes perdidos por falhas na estrutura de abastecimento, como rupturas, trincas, entre outros problemas, sendo observadas desde a adução, as redes de distribuição e ramais prediais.

Diante do exposto, o Quadro 2 apresenta uma relação entre as origens e magnitudes das perdas reais por subsistema dentro de um SAA (MOURA et al., 2004):

Quadro 2: Perdas físicas e sua origem e magnitude de acordo com o subsistema.

PERDAS FÍSICAS	SUBSISTEMA	ORIGEM	MAGNITUDE
	Adução de água bruta	Vazamentos nas tubulações Limpeza do poço de sucção*	Variável
	Tratamento	Vazamentos estruturais Lavagem de unidades*	Significativa
	Reservação	Vazamentos estruturais Extravasamentos Limpeza*	Variável
	Adução de água tratada	Vazamentos nas tubulações Descargas	Variável
	Distribuição	Vazamentos nas redes Vazamentos em Ramais Descargas	Significativa

Fonte: Adaptado de Moura et al. (2004). Nota: * Considera-se perdido apenas o volume excedente ao necessário.

Em concordância com o que se observa no Quadro 2, Tardelli Filho (2016) coloca como causa principal das perdas físicas em um SAA as suas condições de infraestrutura, que influem diretamente na incidência de vazamentos, havendo também relevância para as pressões especialmente no subsistema de distribuição. Neste sentido, Moura et al. (2004) apresentam também uma relação entre as causas para as falhas e rupturas nas tubulações de acordo com as etapas inerentes a concepção, execução e operação dos sistemas de abastecimento, como exposto no Quadro 3.

Para Bezerra e Cheung (2013), os vazamentos correspondentes às falhas na estrutura de abastecimento podem ser classificados em três diferentes tipos: vazamentos inerentes, vazamentos não visíveis e vazamentos visíveis, como ilustrado na Figura 1 (FUNASA, 2014).

- Vazamentos inerentes não visíveis e não detectáveis: correspondem ao volume de água perdido nas peças como juntas, conexões, válvulas, etc. Sua localização

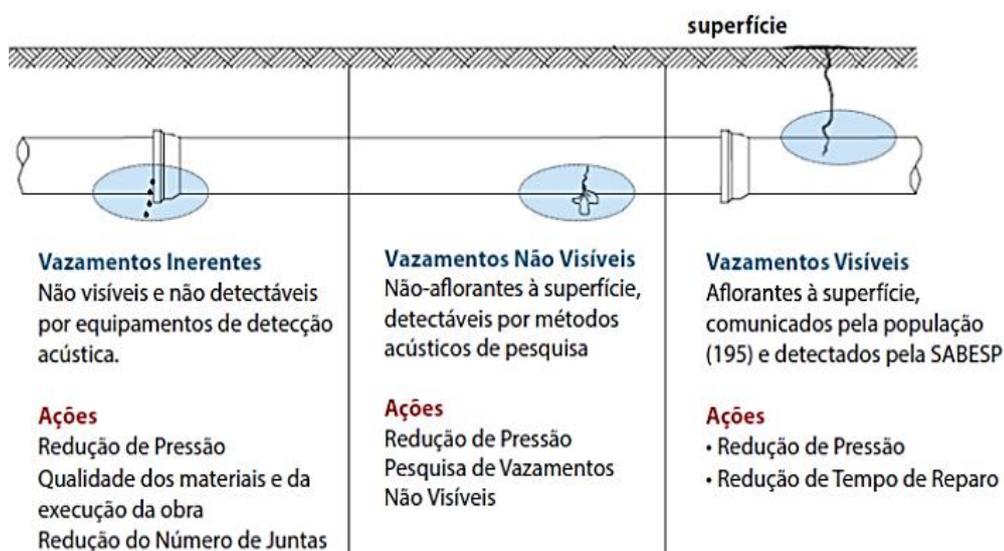
é difícil devido não atingirem a superfície e possuírem vazões pequenas (abaixo de 0,25 m³/h). Em contrapartida, estes vazamentos perduram por elevados períodos de tempo.

Quadro 3: Causas prováveis de falhas em tubulações nos SAA.

ETAPA	CAUSA DA FALHA
Planejamento e Projeto	Subdimensionamento Ausência de ventosas e outros dispositivos de controle Ausência de manual de operação
Construção	Processo construtivo deficiente Má qualidade dos materiais de equipamentos e peças
Operação	Enchimento ou esvaziamento Manobras inadequadas Descumprimento das regras de operação Ausência de treinamento
Manutenção	Ausência de ações preventivas Tempo de resposta Interação operação/usuário Ausência de treinamento
Expansão	Ausência de projeto Interação baixa ou inexistente com o sistema em funcionamento

Fonte: Adaptado de Moura et al. (2004).

Figura 1: Tipos de vazamentos em sistemas de distribuição de água.



Fonte: Adaptado de FUNASA (2014).

- Vazamentos detectáveis (não visíveis): estes também não chegam na superfície, no entanto, é possível detectá-los por meio de tecnologias de detecção acústica. A sua vazão é bem superior aos inerentes, e possui considerável relevância para

as perdas do sistema, especialmente se não for feita uma fiscalização eficiente por parte da operadora.

- Vazamentos visíveis: se manifestam rapidamente, por apresentar uma vazão muito elevada, facilitando a sua detecção pelas equipes das operadoras ou mesmo pelos próprios usuários.

Apesar de muitas vezes preterido em relação a outras preocupações inerentes aos SAA, o tópico das perdas oriundas de vazamentos e falhas constituem a parcela mais significativa do total perdido de água, não podendo mais serem ignorados os seus impactos nos mais diversos âmbitos (BHAGAT et al., 2019; GUPTA; KULAT, 2018).

3.1.2 Perdas de água aparentes ou comerciais

As perdas aparentes são correspondentes ao volume de água consumido, mas não contabilizado pela companhia de saneamento, devido a diferentes causas como erros de medição nos hidrômetros e demais tipos de medidores, ligações clandestinas, falhas no cadastro comercial e fraudes (MOURA et al., 2004). Nota-se que o problema provém não somente das falhas de gerenciamento das companhias, mas também da ação ilícita de usuários, como abordado no Quadro 4.

Quadro 4: Perdas aparentes e sua origem.

PERDAS APARENTES	ORIGEM	
	Hidrômetros parados Hidrômetros que submedem Ligações clandestinas Ligações inativas reabertas	Fraudes
Erros de leitura Imprecisão no cadastro	Imprecisões na gestão do sistema	

Fonte: Adaptado de Moura et al. (2004).

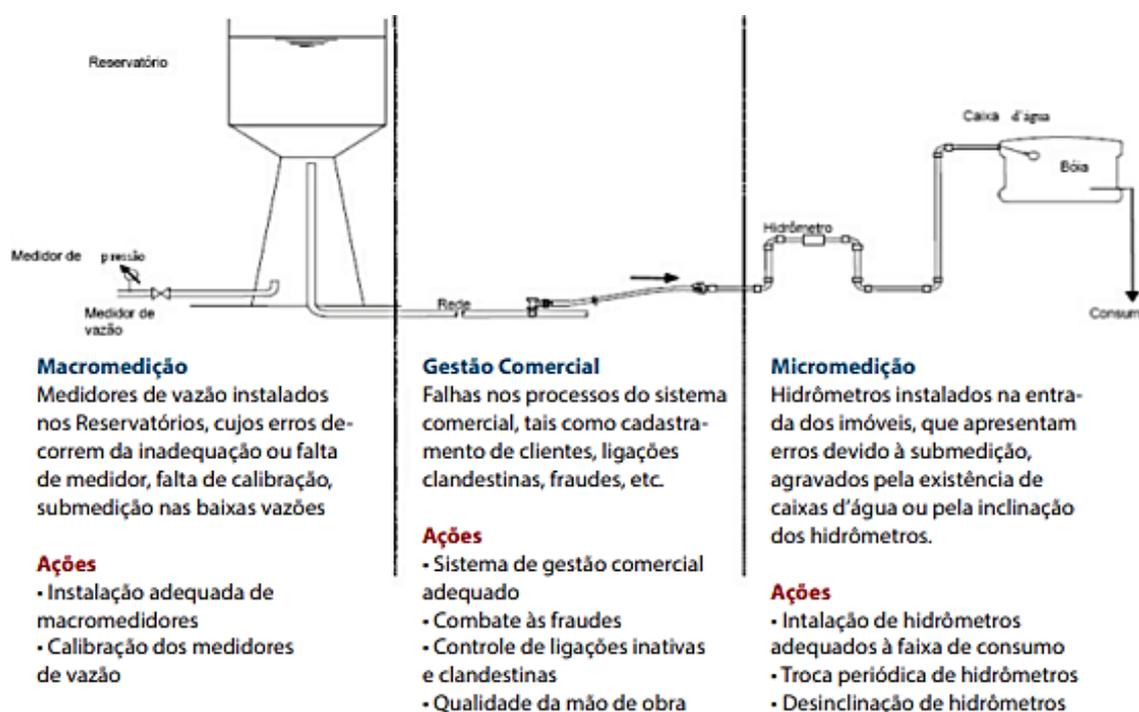
Portanto, no caso das perdas aparentes, também chamadas de perdas comerciais, a água é efetivamente consumida, mas não é faturada. De acordo com Ríos et al. (2014), esta parcela das perdas totais pode, a depender do cenário em que se insere, representar prejuízos maiores que os oriundos da parcela física das perdas, do ponto de vista financeiro.

No contexto brasileiro, o valor médio do índice de perdas de faturamento das concessionárias de água é superior à 30%, um percentual resultante das elevadas perdas de água em quase todo o país e que alerta sobre a necessidade de melhoria na eficiência das prestadoras

de serviço, principalmente no tocante à parcela das perdas aparentes que pode representar mais de 50% das perdas totais (SILVA; DE PÁDUA; BORGES, 2016).

Os dados referentes a água não lucrativa indicam que há muito espaço para melhorias na gestão dos recursos hídricos nas cidades e também sugerem uma falta de motivação para resolver o problema no curto prazo, devido a questões como a falta de incentivos às unidades de gestão, a defesa dos interesses privados devido à corrupção, a falta de sensibilização dos usuários do serviço de água e a ausência de vontade política (GONZÁLEZ-GÓMEZ; GARCÍA-RUBIO; GUARDIOLA, 2011). Esse conjunto de fatores contribui para o aumento das imprecisões nas medições do consumo e nos furtos de água através de fraudes que configuram, como já mencionado, as principais causas das perdas comerciais (BHAGAT et al., 2019). A Figura 2 ilustra a origem das perdas comerciais de acordo com os componentes do SAA.

Figura 2: Perdas aparentes nos componentes do SAA.



Fonte: Adaptado de FUNASA (2014).

A componente de micromedição no sistema é onde ocorrem, além das perdas oriundas de problemas inerentes a ausência de manutenção dos medidores, o maior número de fraudes, seja por meio de ligações clandestinas ou por intervenções nos hidrômetros afim de diminuir a aferição do consumo efetivo do usuário, destacando-se práticas como (MOURA et al., 2004):

- Rompimento do lacre e inversão do hidrômetro;
- Execução do *by pass* antes do hidrômetro;

- Violação do hidrômetro por meio de furo na cúpula e inserção de obstáculo para travar os dispositivos do hidrômetro;
- Acesso por torneira ou registro após o hidrômetro.

Numa análise acerca das regiões em desenvolvimento, onde já se observou serem mais elevados os índices de água não faturada, Santi (2018) destaca também a relação das perdas aparentes em SAA com a presença de áreas de vulnerabilidade social, apontando que a inexistência ou ineficiência do abastecimento, realidade comum para estas localidades, leva os usuários a cometer as fraudes, induzindo o aumento do número de ligações clandestinas e conseqüentemente das perdas comerciais.

Tendo em vista a relevância do tema das perdas de água, reais e aparentes, no cenário global atual, suas definições e causas, discutidas na presente seção deste estudo, a seção 3.2 aborda os principais mecanismos e processos voltados ao controle e redução das perdas de água.

3.2 CONTROLE DAS PERDAS EM SAA

Para que se possa desenvolver métodos eficientes e intervenções eficazes quanto à redução e controle das perdas de água em sistemas de abastecimento é necessário entender que a composição deste problema envolve diversos fatores físicos, técnicos, gerenciais, econômicos e ambientais, detendo assim elevada complexidade (GÜNGÖR-DEMIRCI et al., 2018).

Devido também a esta complexidade de suas causas, segundo Tsutiya (2006), os resultados das ações para redução das perdas não são imediatos, devendo ser definidas metas exequíveis para os programas de controle, que, por sua vez, possuem maturação prolongada que exige a persistência dos profissionais envolvidos. Entretanto, apesar das dificuldades de execução eficiente de um programa de controle de perdas, as suas ações em sistemas de abastecimento de água são consideravelmente estratégicas para o processo de tomada de decisões em busca da garantia de sustentabilidade e também para a competitividade da operadora frente a concorrência, trazendo benefícios em diversos segmentos (KUSTERKO et al., 2018):

- Econômico, uma vez que, passados os investimentos iniciais, os resultados trazem redução de custos operacionais e aumento no faturamento já em curto prazo;
- Tecnológico, na modernização de equipamentos e capacitação técnica;

- Energético, tendo em vista que a redução de perdas gera economia e eficiência energética;
- Sociocultural, considerando a necessidade de ações e campanhas sociais e educativas para a conscientização dos envolvidos na redução de fraudes;
- Ambiental, pois a gestão de perdas é fundamental para reduzir os impactos da crise hídrica mundial.

Logo, o controle das perdas é um processo que não se resume a uma única etapa, pois é crucial a continuidade das ações, podendo, de maneira geral, ter suas atividades categorizadas em três principais estágios que se repetem: (1) diagnóstico e monitoramento de perdas de água, (2) estudo de alternativas econômicas e concepção de medidas de intervenção e (3) implementação prática de ações reativas, remediando os problemas já existentes, e proativas, prevenindo e evitando a ocorrência e repetição do problema (AL-WASHALI; SHARMA; KENNEDY, 2016).

De acordo com Tsutiya, (2006), as intervenções para o combate às perdas podem ser classificadas entre ações para combater as suas causas e ações para o combate dos seus efeitos. Estudando estratégias para gerenciamento das perdas em abastecimento de água, Kiliç (2021) cita a grande atenção que tem se dado as intervenções em controle de pressões na rede de distribuição, velocidade de reparos e melhorias na qualidade da gestão operacional do sistema.

Diversos estudos têm sido realizados afim de analisar, aperfeiçoar e descobrir novas práticas para controle e redução da água não faturada, seja no âmbito da detecção de vazamentos (AGAPIOU et al., 2016; FARAH; SHAHROUR, 2017; XU et al., 2014), gestão das pressões (PARRA; KRAUSE, 2017; SAMIR et al., 2017), gerenciamento do sistema (ABU-MAHFOUZ et al., 2016; GIUDICIANNI et al., 2020; ZYOUD et al., 2016), entre outros fatores associados.

Em um levantamento bibliográfico sobre as principais medidas utilizadas para melhoria do desempenho de operadoras de água no que tange a redução e controle de perdas, Santi, Cetrulo e Malheiros, (2021) elencaram 54 práticas aplicadas aos sistemas, um número que ilustra a variedade de alternativas desenvolvidas e adotadas pelos gestores dos sistemas de abastecimento, condizente com a diversidade de fatores intervenientes deste problema, como já mencionado. Os autores consideram ainda que para o alcance de melhores resultados de desempenho é necessária a combinação entre as práticas, abordando em conjunto ações voltadas para a redução das perdas físicas aliadas a intervenções no combate as perdas comerciais.

3.2.1 Controle de perdas reais

De maneira geral, as ações voltadas a redução das perdas reais em SAA objetivam minimizar os volumes perdidos na etapa de distribuição (SANTOS et al., 2014). É essencial considerar os seguintes aspectos acerca do combate as perdas físicas (ABES, 2015):

- **A existência de um cadastro técnico atualizado e confiável:** ainda que não se tenha condições de usar uma ferramenta sofisticada que exija alta exigência tecnológica, possuir um cadastro, ainda que simples, mas que retrate fielmente a realidade do sistema quanto a sua infraestrutura de distribuição é primordial;
- **Delimitação de áreas estanques para avaliação das perdas:** torna mais prática e fácil a avaliação e o entendimento das causas e efeitos para as perdas, bem como a definição de intervenções posteriores para elevação do desempenho;
- **Macromedição:** fundamental para o diagnóstico do sistema, para a valoração dos níveis de perdas e para o acompanhamento dos resultados das ações adotadas.

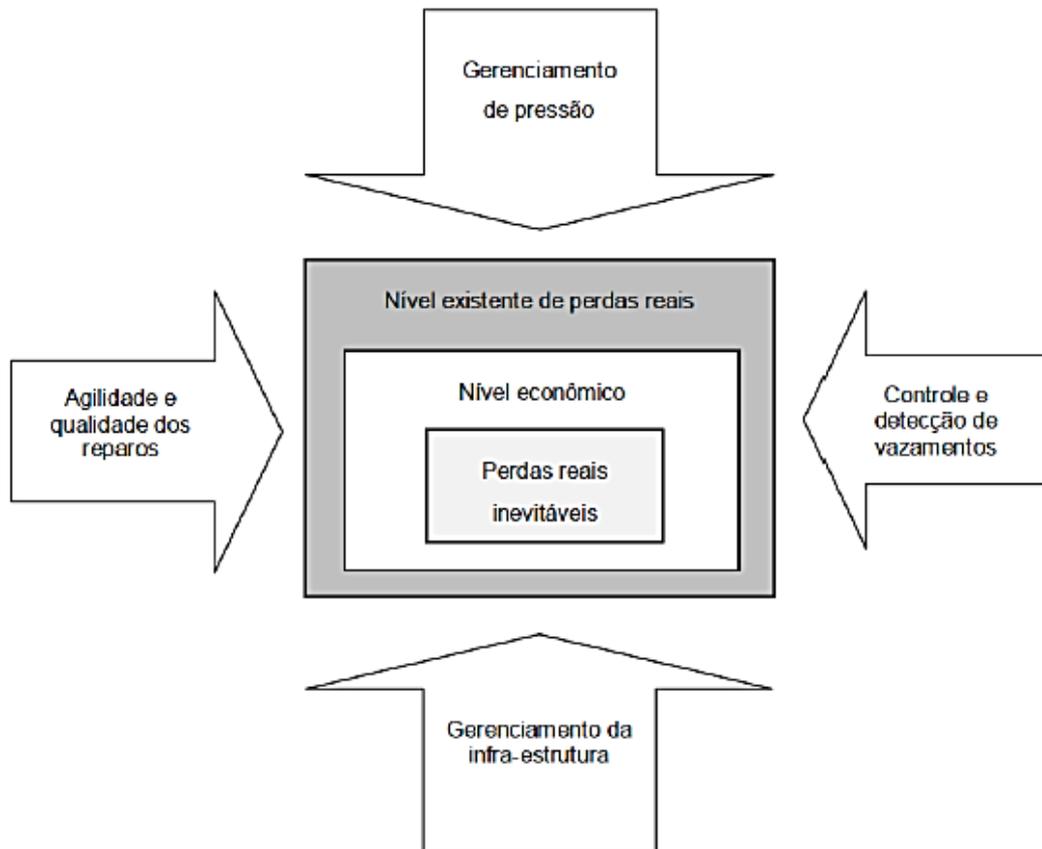
Diversas práticas e tecnologias têm sido estudadas e aplicadas por meio de diferentes ações na gestão das perdas (SANTI, 2018). A Figura 3 apresenta um esquema para classificar as ações para controle de perdas em 4 grandes grupos (THORNTON; STHURM; KUNKEL, 2008).

Analisando o esquema da Figura 3, entende-se as setas direcionadas para o centro da figura como os quatro grandes grupos de classificação dos tipos de ações de controle de perdas, cuja direção induz a redução do tamanho das perdas reais do sistema. Para estas, por sua vez, é feita também uma classificação não de tipologia, mas de quantificação, tendo no retângulo mais ao centro do esquema da figura as perdas reais inevitáveis, resultantes da impossibilidade técnica de anular completamente os vazamentos; envolvida pelo nível econômico estabelecido para as perdas, já explicado anteriormente; e por fim, no retângulo maior está o nível das perdas reais existentes no sistema.

Segundo Santos et al. (2014), o controle ativo de vazamentos é correspondente à execução de estudos periódicos e monitoramento do sistema com o intuito de detectar por meio de tecnologias para captação acústica de ruídos, visando encontrar saídas de água que resultam em vazamentos não visíveis.

Essa classe de práticas, como o nome sugere, é oposta ao controle passivo, situação na qual as operadoras de abastecimento somente contam com notificações por parte da população a respeito de vazamentos, o que não é interessante, já que a principal parcela das perdas reais é oriunda de vazamentos não aparentes (TARDELLI FILHO, 2016). Para avaliar os resultados das pesquisas acústicas em uma área de controle (setor de abastecimento, zona de pressão ou outra denominação) é necessário realizar campanhas de medição de vazão e pressão antes e depois das varreduras (SANTOS et al., 2014).

Figura 3: Componentes para controle das perdas reais.



Fonte: Adaptado de Thornton, Sthurm e Kunkel (2008).

Thornton, Sthurm e Kunkel (2008) indicaram que frequência e o volume dos vazamentos podem ser reduzidos através do correto gerenciamento das pressões dentro da rede de distribuição de água, utilizando métodos como a setorização do sistema, controle de bombas e emprego de válvulas reguladoras de pressão. Os estudos e simulações de pressões e vazamentos nos sistemas de distribuição também constituem uma tendência global com o intuito de aumentar o nível de conscientização das concessionárias de água para a minimização das perdas, com modelagens envolvendo desde análises econômicas para o custo dos sistemas de controle de pressões às avaliações sobre o comportamento hidráulico das redes (ARAUJO; RAMOS; COELHO, 2006; CREACO; WALSKI, 2017; SAMIR et al., 2017). De acordo com

Walski et al. (2006), estes estudos de modelagem exigem a compreensão dos sistemas existentes para a adequação do modelo ao problema real.

A rapidez nas ações de reparos em redes de abastecimento devido aos vazamentos, sejam eles visíveis ou não, é muito importante, devendo o período de tempo entre o conhecimento do problema e a intervenção remediadora ser o mínimo possível, desde que este não prejudique a qualidade do serviço (SANTOS et al., 2014). As ações inseridas nesta classe estão fortemente ligadas ao treinamento e preparo das equipes, que devem estar capacitadas para agir habilmente, evitando também a reincidência de problemas (ABES, 2015).

As práticas visando a execução correta da implantação do sistema de abastecimento, da captação, adução, reservação à distribuição de água, desde a concepção e projeto aos processos de escolha de material para os elementos do sistema e a mão de obra, bem como o acompanhamento e manutenção das suas condições estruturais estão englobadas dentro da gestão da infraestrutura, que constitui o conjunto de atividades mais relevante no controle das perdas de água (ABES, 2015; TSUTIYA, 2006).

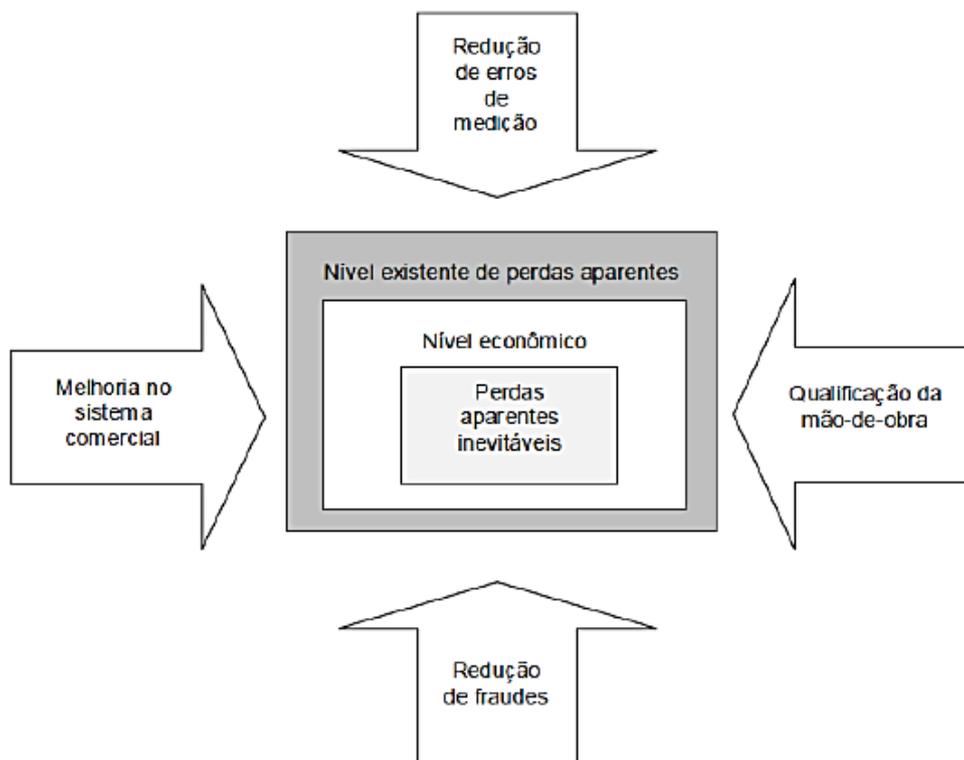
3.2.2 Controle das perdas aparentes

A perda aparente não só reduz a receita das entidades responsáveis pelos sistemas de abastecimento de forma direta, mas também implicam em erros básicos de informações, o que dificulta ainda mais a gestão do abastecimento de água, e além disso, comparada com a perda real, a sua investigação é ainda mais dificultosa, o que de certa maneira leva as operadoras e pesquisadores a focar nos vazamentos das redes em busca do controle das perdas do sistema (XIN et al., 2014).

As medidas para o controle e redução de perdas aparentes configuram as atividades de realização periódica com o objetivo de auxiliar no combate a água não faturada proveniente da não contabilização pela operadora, do fornecimento ou de parte dele aos consumidores usuários (ARREGUI et al., 2018).

De maneira semelhante ao esquema elaborado para as perdas reais, Thornton, Sthurm e Kunkel (2008) elaboraram o esquema apresentado na Figura 4, que ilustra uma composição das classes das ações voltadas ao combate e redução das perdas aparentes. As práticas são agrupadas nas categorias de redução de erros de medição, qualificação da mão de obra, melhora no sistema comercial e redução das fraudes, como mostrado (THORNTON; STHURM; KUNKEL, 2008):

Figura 4: Componentes do controle de perdas aparentes.



Fonte: Adaptado de Thornton, Sthurm e Kunkel (2008).

De acordo com (ARREGUI et al., 2018) os procedimentos de intervenção mais comuns realizados pelas operadoras de água são as inspeções de campo junto às conexões dos usuários com o intuito de reduzir a quantidade de consumidores ilegais, adulteração dos medidores e demais tipos de fraudes, e o acompanhamento das condições dos mecanismos de medição, realizando a substituição dos defeituosos para combater as imprecisões nas medições.

A diminuição dos níveis de perda aparente causados por imprecisões do medidor em fluxos baixos, entre outros fatores, pode resultar em aumentos substanciais de curto prazo na receita de serviços de saneamento e por consequência tornar as taxas cobradas cada vez mais equitativas para os consumidores de água no longo prazo, seguindo justamente contrário ao efeito das perdas comerciais, que acarretam em perdas de receita para as empresas de abastecimento de água e distorcem a integridade das informações de consumo necessárias para várias decisões de gerenciamento e estudos de engenharia (MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2011; RICHARDS; JOHNSON; BARFUSS, 2010).

É indispensável contar com profissionais qualificados para o entendimento da dimensão das perdas e consequentemente a concepção adequada de alternativas como soluções. O conhecimento adequado da equipe das operadoras permite analisar o desempenho dos medidores no abastecimento de água e identificar as principais causas das imprecisões que

podem ter sua origem no desenho dos medidores, nas curvas de precisão, nos padrões de consumo dos clientes ou em características específicas do sistema de abastecimento (ARREGUI et al., 2006; TSUTIYA, 2006).

No que diz respeito a melhorias no sistema comercial, embora o gerenciamento eficiente das operadoras de água esteja diretamente relacionado a todas as ações de controle de perdas, o combate às fraudes e erros de cadastro ou falhas no faturamento são ainda mais influenciados pelas condições de gestão dos sistemas de abastecimento, que deve ter bem articulada as práticas como inspeções às ligações, agilidade na atualização de cadastramento, tarifação da água e treinamento adequado para os profissionais (CRIMINISI et al., 2009).

De acordo com Mutikanga, Sharma e Vairavamoorthy (2011), apesar da atenção dada às perdas aparentes ainda não se equiparar às perdas físicas e vazamentos quanto à quantidade de estudos e métodos de avaliação e controle desenvolvidos, o entendimento da importância de seu combate é necessário para os avanços no combate às perdas totais.

3.3 DIAGNÓSTICO E ANÁLISE ECONÔMICA DAS PERDAS EM SAA

3.3.1 Diagnóstico e avaliação das ações em combate às perdas de água no abastecimento

A ampliação e desenvolvimento dos serviços abastecimento de água em todo o planeta tem sido acompanhada da exigência de maiores eficiências das operadoras destes serviços e conseqüentemente de menores valores de água perdida (MBUVI; DE WITTE; PERELMAN, 2012). Neste sentido, a avaliação do desempenho constitui o primeiro passo para a redução das perdas nos sistemas de abastecimento de água (KANAKOUDIS et al., 2013).

De acordo com Mutikanga et al. (2010), apesar da crítica situação referente a água não faturada e vazamentos em redes de abastecimento que se observa nos países em desenvolvimento, grande parte das operadoras de SAA não são capazes de medir seu desempenho e, portanto, a avaliação sobre os níveis de perdas de água não é amplamente praticada nessas regiões.

No cenário brasileiro, fatores como insuficientes condições técnicas, gerenciais e financeiras tornam mais difícil a obtenção de informações de boa qualidade que possam ser aplicadas aos indicadores de perdas de água, que por sua vez são imprescindíveis para a avaliação e conseqüentemente o controle e redução dos volumes perdidos (SANTI; CETRULO; MALHEIROS, 2018).

Diante do contexto de desinformação presente na gestão do abastecimento de água de diversas localidades, como discutido nos parágrafos anteriores, o uso de metodologias de caráter investigativo nesse âmbito se torna uma alternativa válida na busca de melhores diagnósticos dos sistemas, seja num aspecto mais geral do abastecimento ou no caso de setores específicos, como o de controle de perdas.

Realizando uma análise sobre as diferentes metodologias aplicáveis para a formação de ações em controle de perdas de sistemas de abastecimento de água, Melato (2010) considera que o entendimento do problema que será enfrentado deve ser o ponto de partida para qualquer programa de combate às perdas, sendo essencial a eficiência da etapa de diagnóstico dos sistemas de água operados.

Ainda de acordo com a autora, a avaliação do sistema deve preceder a elaboração da matriz de balanço hídrico, ferramenta que, por sua vez, permite conhecer o perfil das perdas de água ao quantificar o nível de perdas reais e aparentes através do uso de indicadores de desempenho. Ou seja, é preciso diagnosticar o sistema para entender qual a participação de cada classe (reais ou aparentes) na composição dos níveis de perdas de água totais, permitindo que se estruture de forma adequada o programa de gestão de ações para combate do problema em questão (MELATO, 2010).

Outro aspecto importante para o diagnóstico da situação dos sistemas de abastecimento é o uso de indicadores que possam melhor informar as operadoras, técnicos e pesquisadores da área sobre as condições de perdas, permitindo o conhecimento da evolução temporal do quadro, fornecendo assim subsídio para posteriores elaborações de alternativas de intervenções (SANTI, 2018).

Os indicadores para perdas em sistemas de abastecimento de água são comumente aplicados em metodologias de avaliação de impactos que são adaptadas para a realidade das perdas. Por se tratarem de ferramentas imprescindíveis para a aplicação das metodologias de avaliação de sistemas de abastecimento de água, esses indicadores serão melhor abordados posteriormente na Seção 3.4 do presente trabalho.

É necessário entender, porém, que para que tanto a utilização do diagnóstico do sistema e execução do balanço hídrico quanto a aplicação dos indicadores de perdas adequados sejam eficientes, é preciso que tais ações sejam realizadas de forma periódica, com atualização contínua, verificação de confiabilidade das informações e abrangendo sempre maiores e

melhores dados, valendo-se de atividades de auxílio como visitas rotineiras e testes em campo, por exemplo (MELATO, 2010; SANTI, CETRULO, MALHEIROS, 2021).

O balanço hídrico é muito útil para diagnosticar a situação das perdas de água de um sistema, entretanto, são necessárias outras metodologias para buscar entender a efetividade das ações propostas a partir do diagnóstico. Nesse sentido, Cunha, Santos e Gonzalez (2021) realizaram um estudo onde é apresentado um modelo de matriz de interação com uma estrutura que associa as partes ou subsistemas que integram um SAA com as intervenções planejadas no contexto do combate às perdas de água, num cenário real de uma operadora de saneamento.

O emprego dessa metodologia permitiu que tais autores investigassem e descrevessem as práticas de combate às perdas empregadas de forma alinhada com as etapas de um SAA, classificando-as de acordo com sua influência para cada uma dessas etapas, possibilitando assim o fornecimento de um parecer de orientação sobre a prática a se escolher segundo a localização dos maiores níveis de perdas do sistema.

Ainda segundo Cunha, Santos e Gonzalez (2021), relacionando cada parte do sistema com uma dimensão de sustentabilidade (econômica, ética/social e ambiental), conseguiu-se também associar e medir a interferência das ações praticadas pela operadora estudada para o desenvolvimento de uma gestão de águas sustentável, observando em seus resultados que a dimensão social é preterida em relação as demais.

De acordo com Cremonez et al. (2014), a matriz de interação corresponde a uma estrutura bidimensional de controle de itens listados, que fornece a relação entre ações ou práticas determinadas com os fatores de impacto associados. Ainda de acordo com esses autores, o método é muito eficiente na identificação de impactos diretos (alteração do ambiente que entra em contato com a ação transformadora) (CREMONEZ et al., 2014).

Finucci (2010) descreve o objetivo da técnica de matriz de interação como a identificação das interações das atividades de um projeto ou parte dele, com os aspectos ambientais envolvidos, sendo uma técnica essencialmente de identificação que apresenta a opção de incorporação de critérios de avaliação. Sendo assim, esse método é interessante para graduar o nível de impacto de uma determinada ação para diferentes ambientes ou sistemas atingidos, bem como para entender como se comportam estes sistemas sob a influência de diversas ações conjuntas.

Apesar de em termos de descrição e avaliação dos impactos a matriz de interação apresentar resultados simples e sem grande aprofundamento e detalhamento, para análises exploratórias a técnica tem um importante papel de comunicação, sendo encarada por muitos como uma síntese da avaliação ambiental que apresenta de forma clara e fácil quais são os impactos mais importantes e a relatividade dessa importância dentro do conjunto de ações (CREMONEZ et al., 2014; FINUCCI, 2010).

Outra vantagem do uso da matriz de interação é a sua boa adaptação para diferentes cenários e tipos de atividades ou projetos, bem como a possibilidade de acrescentar ou retirar linhas de ações ou colunas de impacto sem perder a efetividade da metodologia para o alcance do objetivo proposto, nem prejudicar a compreensão da matriz, como se nota no estudo de Valdetaro et al. (2015).

Entre outras técnicas de avaliação, são encontrados trabalhos sobre estudos de metodologias como o Método de Análise de Solução de Problemas (MASP) aplicado ao contexto de programas de ações em combate às perdas de água de sistemas de abastecimento, como é o caso do trabalho de Nihues (2014). O autor realiza análises sobre as práticas de gestão utilizadas por algumas operadoras de abastecimento de água na região de Foz do Iguaçu – PR, associando as ações empregadas na prática com a determinação teórica proposta pela metodologia em questão.

Piechnicki et al. (2011), por sua vez, analisaram para algumas operadoras de água da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), a aplicação da combinação do MASP com as diretrizes da metodologia *Plan, Do, Check and Action* (PDCA - planejar, realizar, checar e agir) para o planejamento de controle de perdas de operadoras de água, medindo a efetividade de tais métodos através da análise temporal dos indicadores de desempenho em perdas, conferindo como se deu a evolução da operadora nesse quesito após a sua inserção.

Em uma análise sobre a evolução temporal das ações em combate às perdas de água de operadoras da região metropolitana de Recife – PE, Santos et al. (2014) observaram que em um período de práticas constantes em combate ao problema, o investimento no setor resultou na redução dos níveis de perdas, com o Índice de Perdas por Ligação variando de 1.243,13 L/lig.dia para 993,23 L/lig.dia, entre janeiro e julho de 2011. Entretanto, com a interrupção das medidas, o índice elevou-se, superando o valor anterior ao emprego das ações de combate, chegando a 1.352,75 L/lig.dia em junho de 2012, indicando assim a importância da continuidade nas medidas de controle de perdas.

Para essa mesma região de estudo, Cunha et al., (2018) analisaram os relatórios operacionais da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) para o ano de 2017, considerando também outros dados da série histórica sobre o quesito de perdas de água, concluindo a partir dos resultados obtidos que as ações adotadas para combater o problema foram insuficientes, não resultando na melhoria dos indicadores. Os autores concluíram ainda que há dificuldades da prestadora de serviço para elaborar uma estratégia eficiente que resulte na diminuição do prejuízo financeiro oriundo das perdas.

3.3.2 *Benchmarking* para avaliação do desempenho ou métrico

Neste contexto dos métodos para avaliação dos serviços de água, Mutikanga (2012), aponta o *benchmarking* como um importante instrumento utilizado por responsáveis pela gestão pública, pelos tomadores de decisão no âmbito político, reguladores e outras instituições financeiras, levando a otimização de operações e o consequente melhoramento do desempenho das operadoras.

É observado como um método sistemático, proposto a investigar as práticas e processos operacionais de forma a identificar aqueles que conduzam aos melhores desempenhos, sendo parte integrante desta tática a troca de informações entre reguladores, gestores e prestadores de serviços, de modo a fornecer para tais uma avaliação de desempenho baseada na comparação com outras entidades do setor (CABRERA JR. et al., 2014).

De acordo com Cabrera et al. (2002), há duas principais tipologias deste método, o *benchmarking* para avaliação do desempenho ou *benchmarking* métrico, e o *benchmarking* processual. Estas duas vertentes na verdade se complementam, pois, enquanto o *benchmarking* métrico é uma ferramenta poderosa para localizar os problemas e consequentemente os pontos de origem para a procura por soluções, baseando-se nas informações provindas de indicadores definidos, o *benchmarking* processual identificará as práticas atreladas aos melhores desempenhos e fornecerá as possíveis soluções para os problemas.

Para Berg (2007), o *benchmarking* tem, além da grande importância no setor de água na avaliação e comparação de desempenho das operadoras, forte relevância para a política gestora, pois na ausência de dados sobre tendências históricas, linhas de base atualizadas e propostas de metas condizentes com a realidade, conflitos inerentes às decisões sobre mudanças para melhorar o desempenho do setor podem enfraquecer sistemas que já são frágeis, especialmente aqueles em países em desenvolvimento.

Para tal, essa técnica faz uso de séries de indicadores de diversos aspectos, no âmbito financeiro, técnico, administrativo, inovador, entre outras áreas (VAN DIJK; BLOKLAND, 2016). No entanto, é essencial para o sucesso deste método que os indicadores selecionados sejam adequados e representativos para a realidade que se deseja avaliar (BERG, 2007).

De acordo com Lushaba (2021), para fazer *benchmarking* de empresas de água, as condições básicas de operação precisam ser reconhecidas e isso é feito para alcançar resultados relevantes e comparáveis. Aspectos como topografia, geologia, hidrologia, escala de produção, idade da rede, densidade de clientes e renda são essenciais, pois esses fatores estão além do controle da equipe de gerenciamento.

A utilização do *benchmarking* para medir e comparar o desempenho das operadoras de água é uma prática relativamente nova, trazida para o âmbito dos serviços de abastecimento na década de 1990, a técnica foi desenvolvida primeiramente no setor privado e agora é amplamente praticada no setor de água (MCDONALD, 2016).

Entretanto, de acordo com Marques (2021), essa técnica não funciona meramente como a execução de uma cópia idêntica de modelos de sucesso, visto que para cada região ou mesmo para operadoras diferentes de uma mesma região existem características que não podem ser replicadas. A ferramenta então serve para sugerir adequações para cada modelo baseando-se naqueles com os níveis de desempenho mais adequados.

Além disso, a forma como os dados são transmitidos e compartilhados com o público tem forte influência sobre o nível de impacto da divulgação dos resultados do *benchmarking*. Passar uma mensagem clara e direta às concessionárias e ao público em geral é essencial para alcançar os efeitos esperados da divulgação pública dos resultados (HENRIQUES et al., 2020).

Diversos países desenvolvidos têm implementado o *benchmarking* para avaliação do desempenho em perdas, e seguem o estudando na regulação e planejamento dos sistemas de abastecimento de água. No entanto, a sua difusão e execução não ocorre ainda nas regiões em desenvolvimento (MARQUES; GOMES; MONTEIRO, 2005; SEPPÄLÄ, 2015).

Nesse contexto, Marques et al. (2021) levantaram dados referentes ao emprego do *benchmarking* com o intuito de conhecer as diferentes formas de sua aplicação nos serviços de abastecimento de água de diferentes países, além de realizar uma comparação sobre os desempenhos no quesito de perdas entre tais países de acordo com a estrutura de uso dessa metodologia, ou mesmo para locais que não fazem o seu uso.

Tais autores observaram que a estrutura ideal para o *benchmarking* que resulta na diminuição das perdas inclui frequência de aplicação menor que anual, regulamentação parcial, confidencialidade ausente, gratuidade, relatórios públicos e restritos às prestadoras de serviço e interatividade média na demonstração dos resultados (MARQUES et al., 2021).

Em um estudo com operadoras de abastecimento de água, Goede et al. (2016) levantaram dados baseando-se em entrevistas com gestores financeiros e consultas de informações com centros de controle operacionais para avaliar a aplicação da ferramenta de *benchmarking* nos Países Baixos. Através dos resultados obtidos puderam identificar cinco aspectos melhorados pela aplicação do *benchmarking*: a aprendizagem contínua, melhoria na transparência de dados, estímulo a gestão competitiva, prevenção de impactos negativos e ética profissional da direção.

O estudo apontou ainda que novos possíveis fatores de incentivo ao *benchmarking* podem obter êxito no fortalecimento da ferramenta. Os mais promissores influenciam positivamente quase todos os aspectos envolvidos pela ferramenta e são descritos como as ações de tornar o *benchmarking* adaptativo e envolver os consumidores dentro desse processo (GOEDE et al., 2016).

Em Portugal, segundo Pinto et al. (2017) a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) obteve êxito na implementação da sua estrutura de avaliação do desempenho, o que conseqüentemente se reflete em níveis melhores de prestação de serviços de água, incluindo no quesito de combate às perdas de água. De acordo com Marques et al., (2021), os percentuais de perdas no abastecimento de água no país se mantêm abaixo de 20%.

Em seu estudo sobre o uso de indicadores de desempenho e aplicação do *benchmarking* no cenário português, Henriques et al. (2020) apontam que há duas abordagens dependentes entre si que constituem a ferramenta de *benchmarking* empregada pela ERSAR. A primeira abordagem diz respeito à regulação estrutural do setor e como ela funciona, aspectos como a organização do setor, informação, assistência técnica e formação. Já a segunda diz respeito à regulação comportamental, direcionada a cada parte do setor, incluindo as dimensões legais e contratuais, aspectos econômicos, qualidade do serviço prestado, qualidade da água entregue para consumo humano e a relação da prestadora com os usuários.

O *benchmarking* no setor de saneamento em Portugal é feito com a participação obrigatória de todas as empresas prestadoras de serviço no país, uma vez que os relatórios fazem parte das políticas públicas de melhorias dos serviços de saneamento adotadas pelo governo

(MARQUES, 2021). Entretanto, segundo Pinto et al., (2017), dentro de sua abordagem regulatória a ERSAR atua no sentido de proporcionar uma mediação colaborativa ao invés de uma atuação restritiva e sancionatória.

Para Henriques et al. (2020), a abordagem adotada pela ERSAR, é estruturada para influenciar o comportamento das operadoras. O emprego da ferramenta de *benchmarking* envolve a execução de exercícios anuais, onde as operadoras fornecem os dados para a entidade reguladora, a qual os utiliza para o cálculo dos indicadores de desempenho e consequente avaliação da qualidade de serviço, sendo posteriormente tornados públicos os resultados.

Diferentemente da abordagem portuguesa, de acordo com Marques et al. (2021), na Alemanha a participação das prestadoras de serviços de abastecimento de água na execução do *benchmarking* se dá de forma voluntária. Ainda assim, devido ao potencial de aperfeiçoamento dos serviços que a adoção desta ferramenta propicia, a mesma conta com a participação da maioria das prestadoras desse tipo de serviço, havendo também incentivos governamentais para que o *benchmarking* seja realizado.

A estruturação alemã do *benchmarking* se dá por meio de relatórios estaduais, onde constam os indicadores que por regra são classificados em cinco esferas: eficiência econômica, qualidade do fornecimento, segurança do fornecimento, serviço ao cliente e sustentabilidade (MARQUES, 2021). A quantidade e denominação dos indicadores pode variar, desde que a classificação acima seja obedecida. Além disso, as informações são fornecidas de forma anônima, garantindo também a segurança dos dados apresentados.

Em seu estudo, Marques, Simões e Pires (2011) analisam e discutem as consequências da implementação do *benchmarking* no setor de saneamento para diversos locais do planeta. Além dos locais já mencionados acima, o estudo aborda países em desenvolvimento como o Chile, Colômbia, Austrália e Zâmbia, bem como locais desenvolvidos, como Itália, Inglaterra, País de Gales e Bélgica, mostrando que mesmo usando diferentes abordagens e estruturas e em cenários distintos, o *benchmarking* mostra-se eficiente para o fim a que se propõe dentro dos serviços de água e esgoto, desde que executado de forma adequada.

O Quadro 5 a seguir fornece uma comparação resumida das características qualitativas das metodologias de emprego do *benchmarking* adotadas para sistemas de abastecimento de água em diferentes localidades. Têm-se também a apresentação do desempenho médio em termos de perdas reais de água para o ano de 2018, nos sistemas de tais localidades.

Quadro 5: Comparativo dos modelos de benchmarking em diferentes localidades.

Localidades	Frequência	Regulamentação	Início das atividades	Confidencialidade	Custos	Produto final	Interatividade	Perda de água
Países Baixos	menor	regulamentada	Década de 1980	ausente	gratuidade	relatórios público e privado	média	5%
Dinamarca	anual	parcialmente regulamentada	Década de 2000	ausente	gratuidade parcial	relatórios público e privado e plataforma digital	alta	7%
Alemanha	anual	voluntária	Década de 2000	total	*	relatório público	baixa	15%
Áustria	menor	voluntária	Década de 2000	total	cobrança	relatórios público e privado	baixa	15%
Canadá	menor	voluntária	Década de 1990	total	cobrança	relatórios público e privado e plataforma digital	alta	15%
Portugal	anual	regulamentada	Década de 1990	ausente	gratuidade	relatório público	baixa	18%
EUA	anual	voluntária	*	total	gratuidade parcial	relatório privado	baixa	20%
EBC Foundation	anual	voluntária	Década de 2000	total	cobrança	relatórios público e privado e plataforma digital	alta	24%
							Média das perdas	15%

Fonte: Adaptado de Marques et al. (2021).

Dados os exemplos de eficiência na aplicação dessa ferramenta, a implantação do *benchmarking* tem sido incluída em diversas propostas e programas de ações, não somente no quesito de perdas, mas em todos os aspectos dos sistemas de abastecimento de água. Assim, nesse cenário, diferentes pesquisas vêm sendo desenvolvidas, com o grau de análise variando de acordo com o grau de aplicação e disposição de dados de cada local (GONÇALVES; ALVES; ROBALO, 2014; SOUSA et al., 2019).

3.3.3 Análise de investimentos no setor de abastecimento de água e combate às perdas

Para Sobrinho e Borja (2016), seja qual for a ideia ou método escolhido para a realização do diagnóstico, estabelecimento de metas e ações para o controle das perdas, é indispensável a integração entre todas as partes da empresa ou instituição responsável pelo setor de abastecimento de água, já que, apesar da base do processo residir no conhecimento da real situação dos sistemas quanto às perdas, é necessário também a participação dos gestores

econômicos e técnicos para que se possa estabelecer objetivos e metas viáveis para a operadora (ZYOUD et al., 2016).

Enquanto empresa, uma operadora de água deve ser avaliada segundo critérios de rentabilidade de suas finanças, explorando os dados disponíveis nos balanços, avaliando a boa ou má gestão em termos de sustentabilidade econômica e financeira, possuindo este aspecto um papel crucial para a avaliação do desempenho da operadora (D'INVERNO; CAROSI; ROMANO, 2020).

Porém, existem diversos fatores de interferência que muitas vezes tornam mais difíceis a avaliação deste ponto de vista econômico, como investimentos com valores iniciais elevados, reduzidas taxas de retorno, valores mínimos regulatórios, interferências do cenário político externo às organizações, variados tipos de usuários e demandas dos serviços, escassez de indicadores confiáveis, prazos de retorno prolongados, etc. (AMEYAW; CHAN, 2013; CAMBRAINHA; FONTANA, 2015).

Dentro do contexto brasileiro, Rodrigues, Saiani e Veríssimo (2022) realizaram um estudo avaliando os investimentos executados nos sistemas de abastecimento de água no país, associando-os também aos impactos ambientais inerentes. Segundo esses autores, os resultados sugerem que as questões ambientais são preteridas com relação à expansão de redes de distribuição nas decisões das operadoras sobre os investimentos em abastecimento de água.

Além disso, o estudo aponta ainda ao respeito da efetividade das ações empreendidas que tais representam contribuição para reduzir as externalidades ambientais referentes aos problemas sanitários ligados ao saneamento, mas não têm sido eficientes com relação a melhorias no cenário de problemas causadores de perdas de água que, por sua vez, estão intimamente ligadas a outro grave problema ambiental que corresponde ao risco de exaustão de fontes de recursos hídricos.

Em um estudo com objetivo semelhante, Cambraínha e Fontana (2015) analisaram o direcionamento dos investimentos no âmbito do abastecimento de água do Nordeste do Brasil, região que historicamente sofre com extensas secas e problemas de disponibilidade hídrica. Concluiu-se que mesmo com o aumento expressivo no século XXI de ações no contexto hídrico da região, essas ações são focadas em execução de obras de captação e implementação de novas estruturas físicas e abastecimento de água, deixando assim o combate às perdas em segundo plano.

Boa parte dos estudos nesse aspecto econômico das perdas de água tem seu foco na quantificação do valor para este recurso e o prejuízo consequente do seu não faturamento devido as perdas dos sistemas de abastecimento. Numa recente pesquisa de abrangência global, Liemberger e Wyatt (2019) estimaram os volumes de água perdidos em diferentes regiões do planeta, como também o custo econômico da água não faturada referente às perdas anuais, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Volume e custo de água não faturada por região do planeta.

Região	Volume de água não faturada (Bilhões de m ³ /ano)	Nível médio de água não faturada (litros/hab./dia)	Custo (Bilhões de dólares/ano)
África Subsaariana	5,2	64	1,4
Austrália e Nova Zelândia	0,3	36	0,1
Cáucaso e Ásia Central	2,9	152	0,8
Leste da Ásia	19,3	42	6,2
Europa	9,8	50	3,4
América Latina e Caribe	25,4	121	8,0
Oriente Médio e Norte da África	15,0	96	4,8
Ilhas do Pacífico	0,2	211	0,1
Rússia, Ucrânia, Bielo-Rússia	3,5	65	1,1
Sul da Ásia	23,2	93	6,0
Sudeste da Ásia	6,7	81	2,0
EUA e Canadá	14,8	119	5,7
Total	126	77	39

Fonte: Adaptado de Liemberger e Wyatt (2019).

É possível destacar dois pontos referentes aos dados da Tabela 1. O primeiro diz respeito aos elevados volumes de água não faturados, portanto, perdidos nos sistemas de abastecimento de todo o mundo, que além da problemática socioambiental inserida no contexto de criticidade da disponibilidade hídrica presente em todos os continentes, como já mencionado no presente trabalho, acarretam num prejuízo total atrelado ao volume de perda estimado de quase 40 bilhões de dólares por ano.

Ainda segundo estes autores, há muita complexidade em se calcular o valor médio das perdas de água em nível de país, sendo necessária a realização de estudos locais, com análises sensíveis às especificidades de cada sistema, ou de um recorte espacial menor de sistemas, pois o custo ou valor de um metro cúbico de água não faturada pelas operadoras dos serviços de abastecimento variam de acordo com diversos fatores (LIEMBERGER; WYATT, 2019):

- A relação entre as perdas reais (físicas) e aparentes (comerciais);
- O cálculo do aumento de receitas usando a tarifa média de água como avaliação para a redução das perdas aparentes em serviços conjuntos de água e esgoto (prática aceita nos EUA em que as taxas de serviço de esgoto, se cobradas em função do volume de água consumido, também sejam incluídas na avaliação de perdas comerciais);
- Se algumas das perdas físicas recuperadas puderem ser vendidas a clientes existentes ou novos, essa parte do volume não faturado também pode ser avaliada usando a tarifa média;
- No caso de não haver demanda não atendida, qualquer redução das perdas físicas só levará a uma redução nos custos variáveis de captação, tratamento e distribuição de água, e esses, obviamente, variam extremamente dependendo da fonte de água (abastecimento de água de nascente por gravidade, dessalinização e / ou bombeamento para grandes altitudes, etc.);
- Se fontes de água adicionais forem necessárias para atender à demanda crescente, o capital e o custo operacional de tais fontes de água futuras terão um impacto significativo no valor da água não faturada.

Neste sentido, os resultados obtidos por Brea-Solis, Perelman e Saal (2017) em seu estudo de estimativa do valor de custo inerente as perdas de água reforçam a condição de variação nos valores encontrados de acordo com os sistemas de cada localidade. Numa análise envolvendo 35 prestadoras de serviço de água da Inglaterra e do País de Gales para o período entre 1995 e 2010, estes autores encontraram preços médios para o metro cúbico de água perdido variando entre £0,69 e £2,99¹ entre as operadoras.

Por sua vez, Molinos-Senante, Villegas e Maziotis (2019) calcularam os preços inerentes dos vazamentos de água para 23 empresas chilenas de água no período de 2007-2015 usando técnicas de fronteira estocástica em suas estimativas. Os resultados indicam que o valor

¹ Entre R\$3,74 e R\$16,20 na cotação atual da publicação do presente trabalho.

médio das perdas de água é de 0,441 € / m³, o que significa que em média o custo de perder um metro cúbico na rede de distribuição de água é de 0,441 €². Os autores fizeram também uma comparação das tarifas volumétricas de água e os custos dos vazamentos, sendo encontrado que a maioria das empresas de água possuem incentivos econômicos para ações de redução das perdas de água de seus sistemas, no entanto, não o fazem.

Em um estudo publicado posteriormente, os mesmos autores analisaram para o mesmo recorte territorial e temporal, utilizando uma metodologia de cálculo semelhante, a estimativa do custo marginal de melhoramento da qualidade do serviço em termos de vazamento de água na indústria hídrica chilena, abrangendo empresas de água de diferentes naturezas jurídicas. O valor para o custo marginal médio estimado para redução das fugas de água foi de 0,349 € / m³, ou seja, uma operadora de água precisa despende mais 0,349 € em seus custos de funcionamento para evitar uma perda de água de um metro cúbico (MOLINOS-SENANTE; VILLEGAS; MAZIOTIS, 2021).

Mesmo para regiões desenvolvidas, a literatura ainda é escassa em termos do entendimento dos fatores que impulsionam as perdas e da diversidade de impactos que estas causam, nos âmbitos econômico, ambiental e social, sendo a maioria dos estudos focados somente nas técnicas de redução, partindo, portanto, de um ponto de vista mais técnico (MOLINOS-SENANTE; VILLEGAS; MAZIOTIS, 2021; VAN DEN BERG, 2015).

Dentre outras pesquisas que estudaram a quantificação do valor para as perdas de água e os prejuízos inerentes a ineficiência dos sistemas de abastecimento se pode citar os estudos de Molinos-Senante et al. (2018), Molinos-Senante, Mocholí-Arce e Sala-Garrido (2016) e D'inverno, Carosi e Romano (2020).

Além das estimativas para o valor econômico da água e o preço adicional vinculado às perdas do setor de água, os estudos voltados a técnicas de gestão dos sistemas e análises de decisão sobre as melhores ações de combate a água não faturada, bem como pesquisas sobre as práticas mais eficientes no quesito são importantíssimos para o avanço das operadoras quanto ao direcionamento de investimentos para o controle das perdas de água (SANTI; CETRULO; MALHEIROS, 2020; ZYOUD et al., 2016).

De acordo com Van Den Berg (2015), a melhoria no desempenho das prestadoras do setor de água no combate às perdas é de grande contribuição à medida que adia ou reduz a

² R\$2,39 na cotação atual da publicação do presente trabalho.

necessidade de gastos no abastecimento, melhorando assim a saúde financeira da operadora, permitindo-lhe investir na melhoria da qualidade do serviço.

Buscando entender melhor os fatores que influenciam na eficiência da aplicação de investimentos no controle de perdas de sistemas de abastecimento de água, Moraes, Cavalcante e De Almeida (2010) estudaram a definição e priorização de áreas de controle desse problema. Tais autores afirmam que para a obtenção de melhoras na questão da eficiência operacional dos sistemas, os decisores do setor devem adotar uma nova postura nos processos de tomada de decisão, quanto a escolha das práticas que serão empreendidas.

Através do uso de uma ferramenta de análise multicritério, planejada para apoiar a decisão sobre a priorização das áreas críticas de perdas de uma cidade visando alocar investimentos de tempo e de recursos no combate às perdas de uma maneira mais eficiente, constatou-se que o foco dos esforços deve estar em buscar os locais mais críticos. Entretanto, a formulação de um modelo de hierarquização completa não se recomenda, devido as especificidades de cada local, tipo de problema causador e tipo de perda (MORAIS; CAVALCANTE; DE ALMEIDA, 2010).

O acompanhamento do desempenho das operadoras e os estudos sobre os benefícios de investimentos em programas de combate às perdas no setor de abastecimento são ferramentas extremamente úteis para a avaliação econômica e de eficiência das ações adotadas, previsão de retorno financeiro e direcionamento da alocação de recursos pelas entidades gestoras, sendo inclusive obrigatórias para o alcance de financiamentos em diversos casos (DJUKIC et al., 2016; HUTTON; HALLER; BARTRAM, 2007).

Dentre as diferentes abordagens existentes, pode citar-se as avaliações de sustentabilidade, análises de custo benefício, análise custo eficácia, avaliação de incertezas e os diferentes métodos probabilísticos a elas agregados entre as ferramentas aplicadas (AMEYAW; CHAN, 2015; SILVA; SALVADO, 2015; SJÖSTRAND et al., 2019).

Para o caso específico das perdas de água, de acordo com Venkatesh (2012) e Malm et al. (2015), a análise de custo-benefício é eficiente na comparação de investimentos e suas respectivas ações para a definição de projetos em programas de controle de perdas, sendo capaz de comparar todos os custos e benefícios de diferentes medidas a longo prazo.

Outro ponto recorrente e de grande importância na interação entre o diagnóstico da situação e a definição das ações e metas refere-se ao estabelecimento do nível econômico de

perdas de água (TSUTIYA, 2006). É de amplo conhecimento que a redução dos níveis de perdas a zero é tecnicamente impossível, além de inviável economicamente, pois a medida que tornam-se menores as perdas, mais altos são os investimentos necessários para seguir reduzindo-as (AL-WASHALI; SHARMA; KENNEDY, 2016; SOBRINHO; BORJA, 2016).

Sendo assim, o nível aceitável de perdas é uma indicação para estabelecer um patamar ótimo de até onde as ações e investimentos compensam economicamente para as operadoras dos sistemas de abastecimento e é influenciado por diversos fatores como as características individuais da rede, pressões do sistema, demandas e seus padrões, custo marginal da água e práticas operacionais (ISLAM; BABEL, 2013; TSUTIYA, 2006; ZYOUNG et al., 2016).

Não há, portanto, um padrão universal para o valor de investimentos adequado para o controle de perdas, pois este está intimamente ligado ao valor correspondente da produção de água, que varia de acordo com cada região (BREA-SOLIS; PERELMAN; S. SAAL, 2017; MOLINOS-SENANTE; VILLEGAS; MAZIOTIS, 2019).

Possuindo os dados do diagnóstico operacional do sistema e conhecendo também o nível aceitável para as perdas, a proposição das ações para o seu controle deve conformar um programa que conte também com metas adequadas a cada realidade técnica, ambiental, social e econômica. (ABES, 2015). Por sua vez, as alternativas propostas para ações de combate e redução presentes nos programas devem estar compatíveis com os recursos disponíveis, e é recomendável que haja avaliação técnica na sua escolha.

3.4 INDICADORES DE PERDAS EM SAA

Dentro do contexto da busca por melhores níveis de eficiência dos sistemas de abastecimento, os indicadores dos níveis de perdas de água constituem um mecanismo fundamental para o processo de avaliação do desempenho no controle de perdas (SANTI; CETRULO; MALHEIROS, 2018).

Estes indicadores variam de acordo com a abordagem, com as condições das informações de cada localidade e com o que se deseja informar, especificamente, de modo que cada tipo de indicador apresenta vantagens e desvantagens, sendo o aperfeiçoamento e o desenvolvimento de novos indicadores o foco de diversos estudos (LENZI et al., 2013; PERTEL; DE AZEVEDO; VOLSCHAN JUNIOR, 2016; RENAUD et al., 2014; SANTI; CETRULO; MALHEIROS, 2018).

De acordo com Miranda (2002), um indicador é uma representação de um parâmetro quantitativo de um determinado aspecto de desempenho. Pode-se definir os indicadores segundo a sua função, que pode ser de quantificar dados, tornar aparente a sua representação e facilitar a comunicação entre setores ou com o público, como também, facilitar a comparação.

No contexto das operadoras de abastecimento de água, os indicadores fornecem conteúdos para o acompanhamento das práticas adotadas e as decisões sobre investimentos, sendo essenciais para avaliações como é o caso *benchmarking*, tanto num âmbito interno entre as unidades de cada sistema, ou num contexto externo de outras operadoras (MIRANDA, 2002). Diversas vantagens podem ser observadas referentes à utilização de indicadores de desempenho nas prestadoras de serviços de saneamento, como mostra o Quadro 6 (ALEGRE et al., 2016).

Quadro 6: Vantagens do uso de indicadores de desempenho.

VANTAGENS DO USO DE INDICADORES DE DESEMPENHO	
Gestores	Melhor monitoramento das decisões da gestão
	Fornecimento de informações chave baseadas nas disfunções dos sistemas
	Viabilidade do uso do <i>benchmarking</i> para avaliação de desempenho internamente ou externamente.
	Destaca os pontos fortes e fracos do sistema.
Administração nacional ou regional	Fornece um esquema de referência para comparação do desempenho de diferentes tipos de gestores.
	Dispõe de suporte para o planejamento de políticas para o setor de água no âmbito da gestão integrada.
Reguladores	Entrega informações de monitoramento para suporte aos interesses dos consumidores.
	Torna propícia a avaliação do cumprimento dos objetivos estabelecidos no planejamento.
Financiadores	Possibilita a avaliação de investimentos e a escolha de projetos.
Consumidores	Traduz processos complexos em informação de fácil interpretação e de objetividade, expondo um grau de qualidade dos serviços.
Organizações supranacionais	Permite a identificação das principais assimetrias entre as regiões do planeta, fornecendo assim suporte para o planejamento.

Fonte: Adaptado de Alegre et al. (2016).

Alegre (1994) discute a definição de métricas e índices representativos para a avaliação dos sistemas no âmbito do saneamento em geral, que conseqüentemente abrange o tema das perdas de água, e apresenta a seguinte sugestão referente à escolha de indicadores:

"É aconselhável começar por calcular apenas um pequeno conjunto de indicadores, considerados "chave". Com o tempo e a experiência se poderá progressivamente aumentar o número de indicadores, o que corresponde a aumentar a complexidade e o volume de informação a manipular. Na opinião da autora os indicadores do grupo

“níveis de serviço” e os indicadores financeiros associados ao custo do serviço e à sustentabilidade económica da organização deverão ter prioridade de cálculo máxima, pois traduzem os resultados globais da atividade da organização.”

No âmbito do presente estudo, diferentes tipos de indicadores de perdas podem ser encontrados na literatura, com óticas e formatos distintos (BIASUTTI; COELHO, 2019). Por conta disso, a fim de padronizar, ou ao menos formar uma base para o cálculo dos índices, a IWA lançou no fim da década de 1990, as bases normativas para os indicadores de desempenho dos serviços de abastecimento de água, tornando esta ação bem-sucedida, tendo em vista que os padrões definidos foram adotados por diversos países (KANAKOUDIS et al., 2011).

Ao longo do tempo, a medida do surgimento de novos estudos e aplicações, estes indicadores são aprimorados (Quadro 7), destacando-se como entidades internacionais neste quesito a IWA e a *American Water Works Association* (AWWA) (SANTI, 2018).

Quadro 7: Evolução histórica dos indicadores de perdas de água.

Período	Modelo de Mensuração das Perdas	Desdobramentos
Anterior a 2000	Perdas de água frequentemente calculadas em %	IWA das restrições quanto ao uso de indicadores em % uma vez que estes variam com o consumo per capita e com a presença de grandes consumidores.
	Propostas de indicadores de perdas reais e aparentes começam a ser estudados	Algumas organizações de saneamento mais desenvolvidas começam a praticar o controle das perdas reais e aparente de forma desagregada.
De 2000 a 2006	Perda em litros/ligação. Dia ou litros/Km	Para a IWA estes indicadores retratam mais adequadamente a performance operacional dos sistemas e facilitam a comparação
	<i>Infrastructure Leakage Index</i> " (ILI)	A "IWA Task Force" propõe o ILI para mensurar a eficiência das ações de controle de perdas reais. Para o cálculo há a necessidade de distinção entre os volumes de perda real e aparente. Utilização inviável em países em desenvolvimento, como o Brasil, pela inexistência de dados.
	Surgem indicadores de perdas reais e aparentes	Dificuldade de aplicação principalmente em sistemas de países em desenvolvimento
De 2006 - Atual	Perdas em %; perda em litros/ligação.dia ou litros/Km	Apesar da não recomendação do uso dos indicadores de perda em %, muitos países ainda fazem uso desta metodologia pela facilidade de cálculo. Diversas organizações têm desenvolvido seus próprios indicadores que atendam as particularidades de cada sistema

Fonte: Adaptado de Santi (2018).

Contudo, distintas formas de indicadores para avaliação das perdas de água são ainda usadas em muitos países, onde a forma de coleta e medição dos dados varia (TONETO JÚNIOR; SAIANI; RODRIGUES, 2013). No Brasil ainda não existe padrão nacional consolidado dos indicadores de perdas e, por conseguinte, uma grande quantidade de indicadores é utilizada pelas entidades gestoras do setor, o que dificulta a comparação do desempenho no combate às perdas entre diferentes prestadores (BIASUTTI; COELHO, 2019).

Em seu estudo abordando a avaliação do desempenho no controle de perdas, Santi (2018) realizou um levantamento bibliográfico reunindo os indicadores referentes às perdas de água de diferentes e importantes instituições no âmbito nacional e internacional. As expressões que definem estes indicadores e as unidades de medidas em que são informados, para cada instituição, são expostas no Quadro 8.

Quadro 8: Indicadores de perdas de importantes instituições nacionais e internacionais.

Indicador	Cálculo	Variáveis	Unidade	
IWA	Perda de água por ramal	$\frac{365A15 \times C24}{H1}$	A15: Perdas de água (m³)	
			H1: Duração do período de referência;	
			C24: n° de ramais	
	Perdas de água por comprimento de conduta	$\frac{A15 \times C8}{H1}$	A15: Perdas de água (m³)	m³/ramal/ano
			H1: Duração do período de referência;	
			C8: Comprimento de condutas (km)	
	Perdas aparentes	$A16 + A17$	A16: Consumo total não autorizado A17: Consumo total de água não compatibilizada	m³
Perdas aparentes por ramal	$\frac{A18}{A3 - A5 - A7} \times 100$	A3: Água entrada total no sistema (m³) A5: Água bruta exportada (m³) A7: Água tratada exportada (m³) A18: Perdas aparentes (m³)	%	
Perdas aparentes por volume de água entrada no	$\frac{A18}{A3} \times 100$	A3: Água entrada total no sistema (m³) A18: Perdas aparentes (m³)	%	
Perda reais por ramal	$\frac{A19 \times 1000}{C24 \times \frac{H2}{24}}$	A19: Perdas reais (m³)	1/ramal/dia	
		C24: Número de ramais		
		H2: Tempo de pressurização do sistema		
Perda reais por comprimento de conduto	$\frac{A19 \times 1000}{C8 \times \frac{H2}{24}}$	A19: Perdas reais (m³)	1/Km/dia	
		C8: Comprimento de condutos (Km)		
		H2: Tempo de pressurização do sistema		

SNIS	IPD - Índice de perda na distribuição	$\frac{VD - VU}{VD} \times 100$	VP: Volume produzido VU: Volume utilizado	%
	IPF - Índice de perda de faturamento	$\frac{VD - VF}{VD} \times 100$	VP: Volume produzido VF: Volume faturado	%
	ILB - Índice linear bruto de perdas	$\frac{VD - VU}{EP \times ND}$	VD: Volume disponibilizado para distribuição VU: Volume utilizado EP: Extensão parcial da rede ND: n° de dias	m³/lig/dia
	IPL - Índice perda por ligação (IPL)	$\frac{VD - VU}{LA \times ND}$	VD: Volume disponibilizado para distribuição VU: Volume utilizado EP: Extensão parcial da rede ND: n° de dias	m³/lig/dia
	IN013 - Índice de perdas de faturamento	$\frac{AG006 + AG018 - AG011 - AG24}{AG006 + AG018 - AG024} \times 100$	AG006: Volume de água produzido AG011: Volume de água faturado AG018: Volume de água tratada importada AG024: Volume de serviço	%
	IN049 - Índice de perdas na distribuição	$\frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG24}{AG006 + AG018 - AG024} \times 100$	AG006: Volume de água produzido AG010: Volume de água consumda AG018: Volume de água tratada importada AG024: Volume de serviço	%
	IN050 - Índice bruto de perdas lineares	$\frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG24}{AG005} \times \frac{100}{365}$	AG005: Extensão da rede de água AG006 Volume de água produzida AG010: Volume de água consumda AG018: Volume de água tratada importada AG024: Volume de serviço	m³/dia/Km
	IN051 - Índice de perdas por ligação	$\frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG24}{AG002} \times \frac{10^6}{365}$	AG002: Qtde. ligações ativas de água AG006 Volume de água produzida AG010: Volume de água consumda AG018: Volume de água tratada importada AG024: Volume de serviço	L/dia/Km

AGHTM	PP - Porcentagem das perdas na distribuição	$\frac{VP}{VD} \times 100$	VP: Volume de perdas na distribuição VD: Volume disponibilizado para distribuição	%
	PV - Porcentagem de Vazamento	$\frac{Vv}{VD} \times 100$	Vv: Volume de vazamento VD: Volume disponibilizado para distribuição	%
IBNET	NRW - Non Revenue Water	$(AF + AV) \times 100$	AF: água fornecida AV: Água Vendida	%
	NRW - Non Revenue Water	$\frac{AF - AV}{\text{Extensão da rede} \times \text{n}^\circ \text{ de dias}} \times 100$	AF: água fornecida AV: Água Vendida	m ³ /Km/dia
	NRW - Non Revenue Water	$\frac{AF - AV}{\text{n}^\circ \text{ de ligação} \times \text{n}^\circ \text{ de dias}} \times 100$	AF: água fornecida AV: Água Vendida	l/Km/dia
AESBE/ ASSEMAE	IPA - Índice de perdas de água	$\frac{VP - VU}{VP} \times 100$	VP: Volume produzido Vu: Volume utilizado	%
	IPF - Índice de perdas de faturamento	$\frac{VP - VF}{VP} \times 100$	VP: Volume produzido VF: Volume faturado	%
	Índice de perda de água por extensão de rede	$\frac{VP - VU}{\text{Extensão da rede} \times \text{n}^\circ \text{ de dias}}$	VP: Volume produzido VU: Volume utilizado Extensão da rede (Km)	l/Km/dia
	Índice de perda de água por ligação	$\frac{VP - VU}{\text{n}^\circ \text{ total de ligações} \times \text{n}^\circ \text{ de dias}}$	VP: Volume produzido VU: Volume utilizado	l/lig/dia

Fonte: Santi (2018), adaptado de AESBE/ASSEMAE (1998), Alegre et. al. (2000), PNCDA (2003), Brasil (2014) e IBNET (2016).

Santi (2018) executou também uma análise sobre estes indicadores levantados, com o intuito de avaliar quais deles se adequavam melhor para a aplicação de uma avaliação dos índices de perdas no contexto das Bacias PCJ.

Para tal, foi aplicado um questionário junto aos especialistas da área de saneamento, contando efetivamente com a participação de 27 profissionais especializados do setor, dos quais 43% são profissionais de engenharia com atuação nesta área, 40% são colaboradores envolvidos no planejamento dos serviços de água e esgoto e 17% são indivíduos ligados à regulação do setor. Através do questionário, de maneira baseada na proposta de Meadows (1998), atribuiu-se notas numa escala de 0 a 10 para cada um dos indicadores de acordo com os critérios descritos a seguir:

- Exequibilidade: correspondente à viabilidade e à facilidade de medição do indicador, de acordo com disponibilidade, precisão e confiabilidade dos dados;
- Compreensibilidade: correspondente à facilidade de entendimento e interpretação do indicador e das variáveis que o compõe;
- Relevância: correspondente, na prática, à relação entre os indicadores e os objetivos de combate às perdas;
- Mensurabilidade: correspondente unidade de medida do indicador;
- Suficiência: correspondente à representatividade isolada de cada indicador de para uma determinada região, no âmbito do controle de perdas.

Para concluir a avaliação, Santi (2018) contou com a participação de seis especialistas de diferentes áreas de tomada de decisão do setor de saneamento para atribuir pesos aos indicadores mencionados anteriormente, baseando-se no trabalho de Figueira e Roy (2002), que por sua vez fundamenta-se na metodologia usada por Simons (1990). Desta forma, obteve-se uma média ponderada para cada indicador, como exposto na Tabela 2.

Tabela 2: Avaliação dos indicadores de perdas.

Indicador	Nota final
Índice de perda por ligação	8,389
Perdas de água por ramal	8,056
Porcentagem de perdas na distribuição	7,945
Índice de perda de faturamento	7,945
Índice de perdas por faturamento	7,778
Índice de perdas na distribuição	7,778
Índice de perda na distribuição	7,722
Água não faturada	7,612
Índice de perdas por ligação	7,389
Perdas aparentes	7,111
Perdas de água por comprimento de conduta	6,945
Perdas reais por ramal	6,777
Perdas aparentes por volume de água entrada no sistema	6,556
Índice bruto de perdas lineares	6,500
Perdas reais por comprimento de conduta	6,222
Porcentagem de vazamentos	6,166
Índice linear bruto de perdas	5,834

Fonte: Adaptado de Santi (2018).

Nota-se que os indicadores mais bem avaliados foram, na seguinte ordem, aqueles que indicam as perdas por ligação e as perdas por ramal, seguidos pelos indicadores de perdas na distribuição e no faturamento. De acordo com Kingdon, Liemberger e Marin (2003), os indicadores que medem as perdas por ligação por dia são os que melhor informam sobre o desempenho dos sistemas, já que a maioria das perdas ocorrem nas conexões de água.

Quanto aos indicadores de desempenho em perdas na distribuição expressos em percentuais, vê-se como vantagem o fácil entendimento e visualização, porém, ressalta-se que não são os mais recomendados para análises de comparação entre sistemas de abastecimento de locais diferentes, pois devido sua apresentação em percentual, pode-se obter distorções sobre os índices de perdas obtidos, levando a interpretações equivocadas sobre o desempenho (ABES, 2015).

Quanto à disponibilidade de informações, no contexto brasileiro, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) que é, atualmente, a base de dados mais completa sobre o setor no Brasil, foi concebido pelo Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS) e após o seu encerramento, em 2010, tem sido desenvolvido e administrado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (ITB; GO ASSOCIADOS, 2020).

Essa base de dados reúne informações de prestadores estaduais, regionais e municipais de serviços de acesso à água, coleta e tratamento de esgoto, além de resíduos sólidos, tendo dados sobre estes serviços disponíveis para o período 1995-2019, salientando-se que as informações obtidas são autodeclaradas pelas operadoras (SNIS, 2019).

3.5 O COMBATE ÀS PERDAS EM SAA DENTRO DO PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO

Conhecendo a essência, características e implicações do problema das perdas de água em sistemas de abastecimento, as metodologias e práticas para o seu combate, a importância da execução de diagnósticos eficientes e os indicadores que permitem medir da forma mais adequada a sua evolução, é imprescindível unir todos estes fatores para conformar planos e programas de ações a respeito dessa problemática.

De acordo com Pillot et al. (2016), a redução das perdas de água não é alcançada por meio de ações separadas e descoordenadas, mas sim pela implementação de um plano de ação

ou programa contínuo de atividades. Logo, o planejamento do setor hídrico e de saneamento é preponderante para a escolha e adoção de práticas e tecnologias de controle de perdas e a sua manutenção é tão importante quanto sua implantação.

Por constituir um grave problema em diversas regiões do planeta, as perdas integram a agenda de planejamento dos diversos atores do saneamento em suas variadas escalas, desde as operadoras concessionárias de água, agentes reguladores e comitês de recursos hídricos até os governos locais, regionais e nacionais (KILIÇ, 2021).

Marques et al. (2021) observam diversas ações tomadas por governos de países desenvolvidos como Alemanha, Portugal, Países Baixos e Áustria, que implicam direta ou indiretamente no planejamento do combate as perdas. Em seu trabalho, Pillot et al. (2016) apontam que na gestão de água da França há um limite definido por lei para as perdas de sistemas de abastecimento a partir do qual os atores do planejamento de operadoras tem por obrigação a elaboração de planos de combate as perdas de água.

Segundo Sobrinho e Borja (2016), na maioria dos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, são vistos ainda elevados níveis de perdas no abastecimento de água, distantes dos padrões ideais vistos nos países de primeiro mundo, que situam-se na faixa aproximada de 10% de água perdida.

Observando a realidade brasileira, Tardelli Filho (2016) afirma que os avanços no atendimento ao público com abastecimento de água são significativos, principalmente em comparação com a expansão da cobertura de coleta e tratamento de esgotos sanitários. No entanto, o autor pondera que esse avanço no setor de água não foi acompanhado em ações de manutenção e gestão dos sistemas, fazendo com que fatores essenciais como o controle de perdas recebessem menor ou nenhuma atenção, tendo a forma de governança dos recursos hídricos e sua relação com o saneamento um papel importante nesse quesito.

Nesse contexto, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) instituída pela Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 conferiu ao Poder Executivo Federal a demanda de executar a implantação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), que passou a guiar um novo modelo de gestão descentralizado, composto por conselhos, órgãos gestores e reguladores nacionais e regionais até o nível mais local dos comitês de bacias hidrográficas (COSTA; MERTENS, 2015; MESQUITA, 2018).

Mesquita (2018) aponta ainda que inicialmente as preocupações dos executores da PNRH estiveram mais atreladas ao setor hidrelétrico, industrial e de irrigação, deixando em segundo plano as questões atreladas ao abastecimento público de água e o esgotamento sanitário. Essa condição vem se alterando, haja visto a indissociável ligação entre gestão das águas e saneamento.

Carneiro et al. (2018) discutem essa relação entre a governança dos recursos hídricos e a gestão do saneamento no Brasil, apresentando aspectos que reforçam a necessidade de ambas funcionarem harmonicamente. Dentro desse contexto, as perdas de água ganham ainda mais relevância, já que representam essencialmente o desperdício de recursos hídricos e financeiros, contribuindo para prejuízos socioambientais e econômicos.

3.5.1 O controle de perdas no planejamento de recursos hídricos do estado de São Paulo

Em São Paulo, estado brasileiro mais populoso, o planejamento de recursos hídricos possui uma política regulamentada antes mesmo da nacional, através da lei estadual nº 7.663/91 que, inclusive, serviu como base para a criação da política nacional já mencionada.

A gestão descentralizada ocorre através da divisão do estado em Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), que possuem cada uma o seu comitê de bacia hidrográfica (CBH). São desenvolvidos então a nível local os planos de bacias, que são instrumentos instituídos pela política estadual para fornecer as diretrizes das ações por executar na bacia referentes aos recursos hídricos, as quais estão incluídas as atividades ligadas ao abastecimento público de água. Os planos de bacia conformam, juntos, o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) (SANTOS, 2018).

Atualmente, de acordo com Santos (2018), o PERH 2016/2019 de São Paulo conta com 8 Programas de Duração Continuada (PDC), que abrangem os principais aspectos a serem discutidos, planejados e financiados para gerir de forma adequada os recursos das bacias hidrográficas.

Dentre eles, o PDC 05: Promoção do uso racional dos recursos hídricos – URRH tem englobado principalmente ações ligadas ao monitoramento e combate das perdas de água em sistemas públicos de abastecimento, introduzindo no planejamento das bacias desde investimentos diretos como aquisições de tecnologias de controle de perdas para os sistemas, quanto indiretamente, no financiamento da criação de planos diretores municipais de controle

de perdas no abastecimento (COBRAPE, 2010; PROFILL-RHAMA, 2020). Além disso, são abrangidas pelo PDC 05 atividades de incentivo ao uso consciente do recurso.

É importante citar também nesse contexto o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) que é a instância econômico-financeira do Sistema Integrado de Recursos Hídricos de São Paulo, constituindo de acordo com Gil e Dias (2010), a principal fonte de recursos para financiar as ações de execução dos comitês de bacias hidrográficas paulistas.

De acordo com Trojan e Moraes (2015), os planos e programas de redução de perdas geralmente contêm projeções muito otimistas em relação às necessidades financeiras, técnicas e administrativas para atingir as metas estabelecidas. Uma característica comum desses programas é seu viés técnico.

Ainda segundo tais autores, é observada uma atenção predominante aos aspectos de aplicação de novas tecnologias, que se dirigem principalmente ao combate das perdas reais, e acabam sendo menosprezadas as medidas administrativas para combate das perdas não físicas.

Nesse sentido, nos próximos tópicos serão apresentadas informações referentes ao planejamento e execução de ações em controle de perdas de sistemas de abastecimento de água de comitês de bacias hidrográficas no estado de São Paulo que possuem Agência de Bacia, bem como dados sobre o desempenho no quesito perdas no abastecimento. Escolheu-se tal amostra afim de padronizar os comitês abordados e devido tais possuem banco de dados sobre o tema.

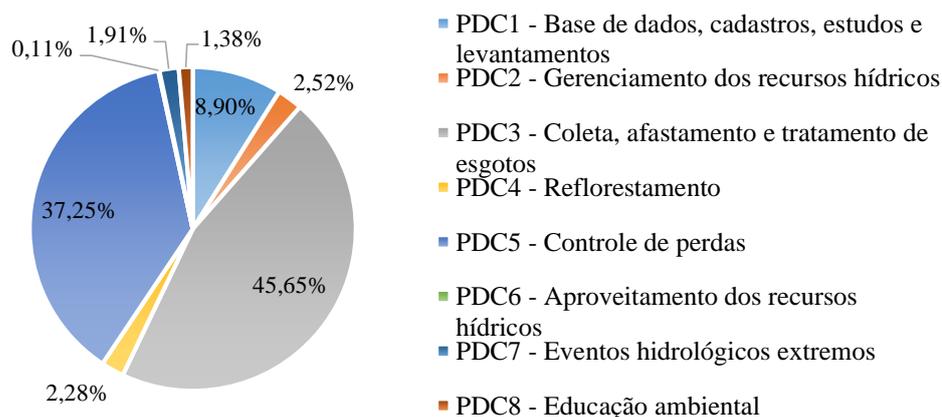
Planejamento e atuação no controle de perdas no abastecimento de água dos Comitês PCJ

De acordo com o Relatório de Gestão das Bacias PCJ 2019, de 1994 a 2018, os recursos financeiros priorizados pelos Comitês PCJ foram concentrados nas áreas de saneamento, controle de perdas hídricas e monitoramento hidrológico (PCJ, 2019).

Ainda segundo o mesmo documento, o número de 158 empreendimentos contratados (concluídos, em execução ou não iniciados) no período acima mencionado, com os recursos oriundos do FEHIDRO, Cobrança Federal e Cobrança Mineira, voltados ao combate e redução das perdas de água atingem a soma de R\$ 252.730.850,30, sendo o Controle de Perdas o segundo PDC que mais recebeu investimentos, como mostrado na Figura 5 (PCJ, 2019).

Entretanto, apesar dos altos investimentos, observa-se situação bastante crítica para a meta de índice de perdas estabelecida para o ano de 2020 (25%), onde somente 23% dos municípios atendem a esta meta (PROFILL-RHAMA, 2020).

Figura 5: Aplicação dos recursos das Cobranças Federal PCJ e FEHIDRO por PDC.



Fonte: Adaptado de Fundação Agência das Bacias PCJ (2019).

A estrutura do programa de ações de redução de perdas dos Comitês de Bacias PCJ é apresentada no Plano de Bacias PCJ 2010 – 2020 que, sendo continuada no plano mais recente. O Quadro 9 e Quadro 10 a seguir mostram as ações adotadas no planejamento do programa, e informações preliminares sobre periodicidade e custos dessas ações de acordo com o nível de perdas em que o executor da ação se encontre.

Quadro 9: Estrutura do Programa de redução de perdas aparentes dos Comitês PCJ.

Premissas para investimentos por faixa de IPD	Unid.	Ruim	Regular	Bom	Manutenção
		$\geq 40\%$	$< 40\%$ e $> 25\%$	$\leq 25\%$ e $> 20\%$	$\leq 20\%$
Cadastro Comercial					
Periodicidade do recadastro	anos	5	8	10	10
Preço unitário Cadastro Comercial	R\$/lig	R\$ 8	R\$ 6	R\$ 5	R\$ 5
Tempo de execução do cadastro	anos	1	1	1	1
Troca de Medidores					
Vida útil dos hidrômetros pequenos CPH até 3m ³ /h	anos	5	6	7	7
Vida útil dos hidrômetros grandes CPH > 3m ³ /h	anos	2	3	4	4
Preço unitário da troca (pequenos)	R\$/hd	R\$ 55	R\$ 55	R\$ 55	R\$ 55
Preço unitário da troca (grandes)	R\$/hd	R\$ 220	R\$ 220	R\$ 220	R\$ 220
Índice de pequenos medidores	%	99%	99%	99%	99%
Adequação Cavalete e Caixa Proteção Hidrômetro					
Índice anual de subst. cavalete e caixa	% a.a	5%	3%	2%	2%
Preço unitário (cavalete + caixa)	R\$/und	R\$ 200	R\$ 200	R\$ 200	R\$ 200
Deteção e Combate a Fraudes					
Total de ligações pesquisadas	%	10%	7%	5%	5%
Prazo da pesquisa	anos	1	1	1	1
Índice de ligações com fraudes	%	20%	20%	15%	15%
Preço unitário pesquisa de fraudes	R\$/lig	37%	37%	37%	37%
Preço unitário reparo de fraudes	R\$/lig	84%	84%	84%	84%

Fonte: COBRAPE (2010).

Quadro 10: Estrutura do Programa de redução de perdas reais dos Comitês PCJ.

Premissas para investimentos por faixa de IPD	Unid.	Ruim ≥40%	Regular <40% e >25%	Bom <=25% e >20%	Manutenção <=20%
Pesquisa e Reparo de Vazamentos (não-visível)					
Prazo para pesquisa em 100% da rede	anos	1	2	3	3
Vazamentos encontrados (não-visíveis)	vaz/km	1,3	0,8	0,6	0,6
Índice de vazamentos em redes	%	10%	10%	10%	10%
Índice de vazamentos em ramais	%	90%	90%	90%	90%
Preço unitário reparo de vaz. em redes	R\$/vaz	R\$ 520	R\$ 520	R\$ 520	R\$ 520
Preço unitário subst. ramais	R\$/ramal	R\$ 230	R\$ 230	R\$ 230	R\$ 230
Preço unitário pesquisa de vazamentos	R\$/Km	R\$ 250	R\$ 250	R\$ 250	R\$ 250
Substituição de Rede e Ramal					
Índice anual de subst. de redes	%	1,5%	1,2%	1,2%	1,2%
Índice anual de subst. de ramais	%	2,0%	1,5%	1,5%	1,5%
Preço unitário de subst. de redes	R\$/Km	R\$120.000	R\$120.000	R\$120.000	R\$120.000
Preço unitário de subst. de ramais	R\$/ramal	R\$ 230	R\$ 230	R\$ 230	R\$ 230
Estanqueidade de reservatórios					
Índice de habitantes por reservatório	hab/und.	20.000	20.000	20.000	20.000
Preço de controle de nível e manut. estrutura	R\$/und.	R\$ 30.000	R\$ 20.000	R\$ 15.000	R\$ 15.000
Periodicidade	anos	5	5	5	5
Setorização e Modelagem Hidráulica					
Total de habitantes por setor hidráulico	hab/setor	60.000	30.000	15.000	-
Total de VRP por setor hidráulico	und./setor	2	1	1	-
Total de macros ou outros por setor	und./setor	1	1	1	-
Prazo entre novas setorizações	anos	5	5	5	-
Preço médio de setorização	R\$/setor	R\$400.000	R\$200.000	R\$ 80.000	-
Preço médio de instalação de um macromedidor	R\$/und.	R\$50.000	R\$40.000	R\$ 30.000	-
Preço médio de modelagem hidráulica	R\$/setor. ano	R\$100.000	R\$ 70.000	R\$ 40.000	-
Preço médio de instalação de VRP	R\$/und.	R\$ 63.200	R\$ 40.000	R\$ 25.000	-

Fonte: COBRAPE (2010).

De acordo com o trabalho de Santi (2018), em 2013 39 municípios que compõem a bacia PCJ possuíam plano de combate às perdas. Segundo o Plano de Bacias PCJ 2020 – 2035, 29 municípios apresentam um plano de combate às perdas específico, 33 têm seu planejamento no quesito inserido dentro de seus planos municipais de saneamento básico e somente 8 não apresentaram um instrumento próprio de planejamento em perdas (PROFILL-RHAMA, 2020).

Atualmente os Comitês PCJ escolheram o PDC 5, com o Sub PDC 5.1 - Controle de perdas em sistemas de abastecimento de água como um de seus três programas de duração continuada prioritários, aqueles que recebem maior percentual de investimentos. Segundo o

Plano de Bacias PCJ 2020 -2035 as ações desse PDC merecem prioridade alta e se prevê um investimento necessário de R\$ 42.690.161,22 para alcançar a meta do plano, devendo este valor ser financiado por outras fontes e as ações executadas por municípios e operadoras de água (PROFILL-RHAMA, 2020).

Há ainda de acordo com o mesmo plano um projeto de *benchmarking* para controle de perdas que recebeu classificação de prioridade muito alta e deve receber R\$ 300.000,00 de investimento, este financiado através de recursos dos Comitês PCJ (PROFILL-RHAMA, 2020).

Planejamento e atuação no controle de perdas no abastecimento de água do Comitê de Integração das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP)

Para a situação particular do rio Paraíba do Sul, a gestão dos recursos hídricos conta, além dos órgãos de poder público a nível federal e local, com o Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP), que exerce a função de órgão integrador nas atividades ligadas ao planejamento e operacionalização de ações da bacia do rio Paraíba do Sul (CAVALCANTI; MARQUES, 2016).

De acordo com Cavalcanti e Marques (2016), o CEIVAP tem como objetivo principal a promoção da articulação de discussões e competências sobre os recursos hídricos entre os três estados da Bacia (São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro); entre estes e os municípios que os compõem e entre Estados e União, bem como ser articulador entre os comitês das bacias afluentes que compõem o Rio Paraíba do Sul. O CEIVAP atua então realizando estudos e viabilizando programas de investimento alinhados sempre com o desenvolvimento sustentável da bacia.

Os comitês de bacias hidrográficas dos rios afluentes de domínio estadual, estabelecidos na área do CEIVAP são: CBH Paraíba do Sul/SP, CBH Médio Paraíba do Sul/RJ, CBH Piabanha/RJ, CBH Rio Dois Rios/RJ, CBH Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana/RJ, CBH Preto e Paraibuna/MG e CBH Compé/MG (ALVARENGA; ALMEIDA, 2017).

Com relação a atuação e planejamento do CEIVAP a respeito de ações de controle de perdas de água nota-se que a pasta tem sido preterida em comparação a outras demandas do saneamento, principalmente aquelas diretamente ligadas a qualidade da água das bacias. Em um estudo sobre sua atuação na bacia do Paraíba do Sul, Alvarenga e Almeida (2017) levantaram informações sobre os investimentos realizados no período de 2003 a 2017, geridos pelo CEIVAP, apontando que a prioridade é dada a ações no setor de esgotamento sanitário.

Quadro 11: Recursos do CEIVAP destinados às ações em saneamento.

Recursos do CEIVAP destinados às ações de saneamento por estado (Período de arrecadação: 2003 - 2007)						
Municípios da Bacia	Estados/Projetos e ações		SP	RJ	MG	TOTAL
	Total por estado		39	57	88	184
	Contemplados com 1 ou mais projetos		27	53	83	163
Projetos e ações de saneamento (recursos CEIVAP)	Concluídos, contratados, em andamento)	Qtde.	32	92	155	279
		R\$	11.323.139,14	27.237.869,14	33.621.130,11	72.182.138,39
	Cancelados	Qtde.	2	30	6	38
		R\$	599.429,91	7.793.908,01	1.088.380,50	9.481.718,42
	Total	Qtde.	34	122	161	317
		R\$	11.922.569,05	35.031.777,15	34.709.510,61	81.663.856,81
Obras, Projetos e Planos	Construção de ETE		6	2	7	15
	Construção de ETE e emissário			1		1
	Construção de rede coletora e elevatória		1			1
	Construção coletor tronco/ interceptores		2		1	3
	Construção de unidade de tratamento de resíduos sólidos				1	1
	Implantação de SES				1	1
	Implantação de Aterro Sanitário				1	1
	Usina de triagem e compostagem				2	2
	Projeto ETE		2		2	4
	Projeto ETE e emissário				2	2
	Projeto rede coletora				5	5
	Projeto SES				18	18
	Projeto executivo de SES			1		1
	Estudo básico e executivo		2	9		11
	Estudo de concepção				2	2
	Projeto básico de SES			13		13
	Plano geral de drenagem				1	1
	Plano municipal de saneamento			27	46	79
	Plano municipal de resíduos sólidos		19	39	55	113
	Adequação do plano de resíduos sólidos à legislação				11	11
TOTAL		32	92	155	279	

Fonte: Adaptado de Alvarenga e Almeida (2017).

Segundo esses autores, por meio do acesso a documentos e informações do CEIVAP foi possível identificar que mais de R\$ 72 milhões já foram aplicados como investimento no âmbito

do saneamento na bacia do rio Paraíba do Sul em um período de 14 anos de arrecadação de recursos financeiros advindos da cobrança pelo uso da água na bacia.

As informações fornecidas pelo CEIVAP através dos relatórios presentes em seu Banco de Acompanhamento de Projetos do PAP virtual, que compreendem desde as ações concluídas, em execução ou com contrato, mas não iniciadas, de 2013 até o horizonte de planejamento de 2025 somente um investimento ligado ao controle de perdas foi informado, dentre os 356 presentes nos relatórios (CEIVAP, 2022).

A respeito da inserção do controle de perdas no planejamento atual do CEIVAP, de acordo com o Plano Integrado de Recursos Hídricos do Paraíba do Sul (PIRH – PS) 2021, que é executado de forma articulada com os planos de bacias dos comitês afluentes, o controle de perdas ainda recebe uma atenção muito menor do que outras agendas. Fazendo uma comparação entre a agenda de abastecimento de água com a de esgotamento sanitário, observa-se que o orçamento CEIVAP para a primeira atinge o valor de R\$ 5.425.000,00, consideravelmente menor que os R\$ 357.274.092,26 destinados a segunda (PROFILL, 2021).

Entretanto, dentro do orçamento CEIVAP para a agenda de abastecimento de água está inclusa uma ação em controle de perdas descrita como: Programa de gerenciamento e controle de perdas em Sistemas de Distribuição de Água e detecção automática de vazamentos na rede de distribuição através do uso de inteligência artificial, que tem um orçamento previsto de R\$ 2.000.000,00 (PROFILL, 2021).

Planejamento e atuação no controle de perdas no abastecimento de água do Comitê de Bacia Hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê (CBH-SMT)

O CBH-SMT, formado em 1995, atualmente é constituído por 35 municípios dentro do estado de São Paulo e conta também com o apoio da Fundação Agência da Bacia Hidrográfica dos rios Sorocaba e médio Tietê (FABH-SMT), implantada em 2003 para apoio técnico, administrativo e financeiro ao comitê (NUNES; GUANDIQUE, 2022).

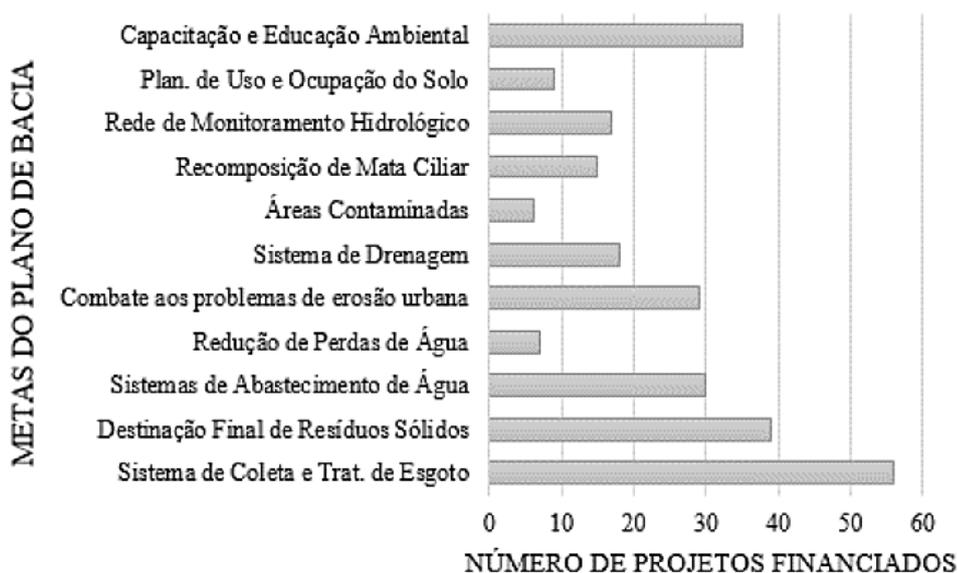
Segundo Paz e Jacobi (2020), que estudaram a integração entre políticas públicas de saneamento e recursos hídricos para a região do CBH-SMT, os investimentos provindos do FEHIDRO entre 2010 e 2014, que são geridos pelo comitê, têm sido alocados principalmente em ações de esgotamento sanitário e abastecimento de água, em comparação as vertentes de drenagem urbana e resíduos sólidos.

De acordo com o Relatório de Situação 2022 do CBH-SMT, analisando dados de 2020 nota-se que 13 municípios estão com o percentual de perdas menor que 25%, faixa considerada boa, 16 apresentam percentual de perdas entre 25% e 40%, faixa denominada regular, e 4 municípios tem esse percentual ultrapassando os 40%, desempenho considerado ruim pelo comitê. Para outros dois municípios não foram apresentadas informações (FABH-SMT, 2022a).

O Banco de Projetos FEHIDRO Concluídos na Bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê, disponibilizado pela FABH-SMT, apresenta todos os projetos concluídos com recursos geridos pelo CBH-SMT no horizonte de 1998 a 2022. Analisando a aplicação de recursos no combate às perdas dos sistemas de abastecimento de água, observa-se que dos 237 empreendimentos executados e já concluídos na bacia, 23 se enquadram como ações desse caráter, totalizando um valor de R\$ 11.513.402,60 investidos (FABH-SMT, 2022b).

Estudando os investimentos FEHIDRO em todos os âmbitos de aplicação do CBH-SMT, Santos (2018) aponta que, para o período de análise de 1996 a 2016, as ações ligadas a meta de redução de perdas de água em sistemas de abastecimento não tiveram uma participação de destaque na totalidade de projetos financiados, representando menos de 30% das ações na temática de sistemas de abastecimento de água.

Figura 6: Projetos financiados pelo CBH-SMT através do FEHIDRO, de 1996 a 2016.



Fonte: Adaptado de Santos (2018).

Com relação ao planejamento futuro referente ao controle de perdas, no Plano de Ação do Plano da Bacia Hidrográfica 2016 – 2027 do CBH-SMT, disponibilizado virtualmente pela FABH-SMT, os valores apresentados para investimentos previstos financiados pelo comitê totalizam R\$ 6.007.835,28. São previstos ainda R\$ 28.283.000,00 a serem investidos com

recursos administrados por outras fontes. Ainda segundo o documento, com relação aos compromissos prioritários, para o PDC 05 é definido exclusivamente a redução dos indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento (FABH-SMT, 2018).

Planejamento e atuação no controle de perdas no abastecimento de água do Comitê de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

O Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (CBH-AT), criado pela Lei Estadual nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991 tem atuação na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-06), estabelecida pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), é integrado por 36 municípios e tem a Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (FABHAT) como seu órgão executivo de apoio.

De acordo com Silva e Porto (2003), destaca-se na problemática de recursos hídricos da região, principalmente, a presença da Região Metropolitana de São Paulo, que é uma das áreas de maior densidade demográfica do planeta.

Dessa forma, segundo Jacobi, Buckeridge e Ribeiro (2021) a região do CBH-AT enfrenta o enorme desafio de fornecer água para mais de 20 milhões de habitantes numa área territorial proporcionalmente pequena e além disso é preciso considerar a intensa atividade industrial e, em menor escala mas ainda existente, agricultura que demandam mais uma fatia elevada de oferta de água, provocando uma situação de estresse hídrico que perdura há décadas.

Com relação à gestão dos recursos hídricos e saneamento, Momm et al. (2021) apontam a complexidade ainda maior, para o caso de uma região metropolitana, de integrar o planejamento entre estas pastas, questão que para o caso da região abrangida pelo CBH-AT conta ainda com o fato de que apesar da gestão estar organizada, acontece em escalas espaciais e políticas diferentes: a bacia hidrográfica para os recursos hídricos e os municípios para o saneamento, de acordo com as respectivas políticas nacionais.

Sobre a atuação do CBH-AT referente ao controle de perdas de sistemas de abastecimento de água, o Relatório de Situação 2022 elaborado pela FABHAT informa que mesmo tendo dados positivos com relação ao atendimento de água, a bacia do Alto Tietê mostra um elevado índice de perdas na distribuição, o que mostra que é necessário melhorar a atuação dos entes envolvidos nessa problemática para a obtenção de soluções (FABHAT, 2022).

Entretanto, analisando os investimentos financiados pelo próprio comitê, através do FEHIDRO, somente uma ação em perdas foi concluída, de acordo com o banco de dados virtual disponibilizado da FABHAT (CBH-AT, 2023).

Segundo o mesmo relatório, em 2020 oito municípios apresentaram índice de perdas na distribuição considerado ruim (maior que 40%), 26 estavam em situação regular (entre 25% e 40%) e somente dois apresentaram índices menores que 25%, desempenho considerado bom.

Em termos de investimentos provindos de outras fontes, destaca-se que R\$ 722 milhões foram investidos em 2021 pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que opera em 34 municípios do CBH-AT, para ações de combate às perdas nos sistemas de água, outros R\$ 44,7 milhões investidos pelo Serviço Municipal de Água e Esgoto (SEMAE) no município de Mogi das Cruzes, e ainda cerca de R\$ 1 milhão investido em São Caetano do Sul pelo Serviço de Tratamento de Água e Esgoto (SAESA) (FABHAT, 2022).

O plano de ação do Plano de Bacia Hidrográfica 2016 – 2019 do CBH-AT prevê três ações para agenda de controle de perdas. Duas delas com financiamento total pelo FEHIDRO, ou seja, investimentos geridos pelo CBH-AT, totalizando R\$ 6.514.528,68 direcionados a troca da infraestrutura de medição e controle de pressão. A outra ação apontada não especifica o caráter de execução, abrangendo assim uma diversidade de ações de controle de perdas já mencionadas no presente trabalho, para as quais se fez a previsão de R\$ 600.000.000,00 necessários a investir, provindos de outras fontes de financiamento (COBRAPE-JHS, 2019).

4 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem essencialmente quantitativa que, de acordo com Gerhart e Silveira (2009), recorre à linguagem matemática para descrever as relações entre variáveis de um problema ou as causas de um fenômeno, de natureza aplicada, onde se pretende analisar a existência de relação entre os investimentos realizados em combate às perdas de água e a evolução do desempenho alcançada nos serviços de abastecimento para este aspecto.

Quanto aos seus objetivos, o presente trabalho possui caráter exploratório, já que, segundo Gil (2002), esse tipo de estudo busca proporcionar maior familiaridade com o problema, de forma a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses, recorrendo ao uso de levantamento bibliográfico e análise de exemplos para compreensão do tema.

Com relação aos procedimentos previstos, este estudo classifica-se, seguindo a definição de Gerhart e Silveira (2009), como uma pesquisa de campo, onde as investigações utilizam, além da pesquisa bibliográfica e/ou documental, estudos de caso e questionários ou entrevistas para a coleta de dados junto a pessoas e instituições, valendo-se de recursos de diferentes tipos de pesquisa.

O estudo foi planejado em cinco módulos distribuídos ao longo de três etapas de pesquisa. A primeira etapa consiste na definição do recorte territorial e temporal do estudo e na seleção e levantamento dos indicadores de perdas de água utilizados. A segunda etapa corresponde ao processo de coleta de informações sobre os empreendimentos realizados para combate às perdas no recorte escolhido e a pesquisa sobre a presença de ações de combate às perdas no planejamento de recursos hídricos de outros comitês de bacia dentro do estado de São Paulo, que possuem agência de bacia.

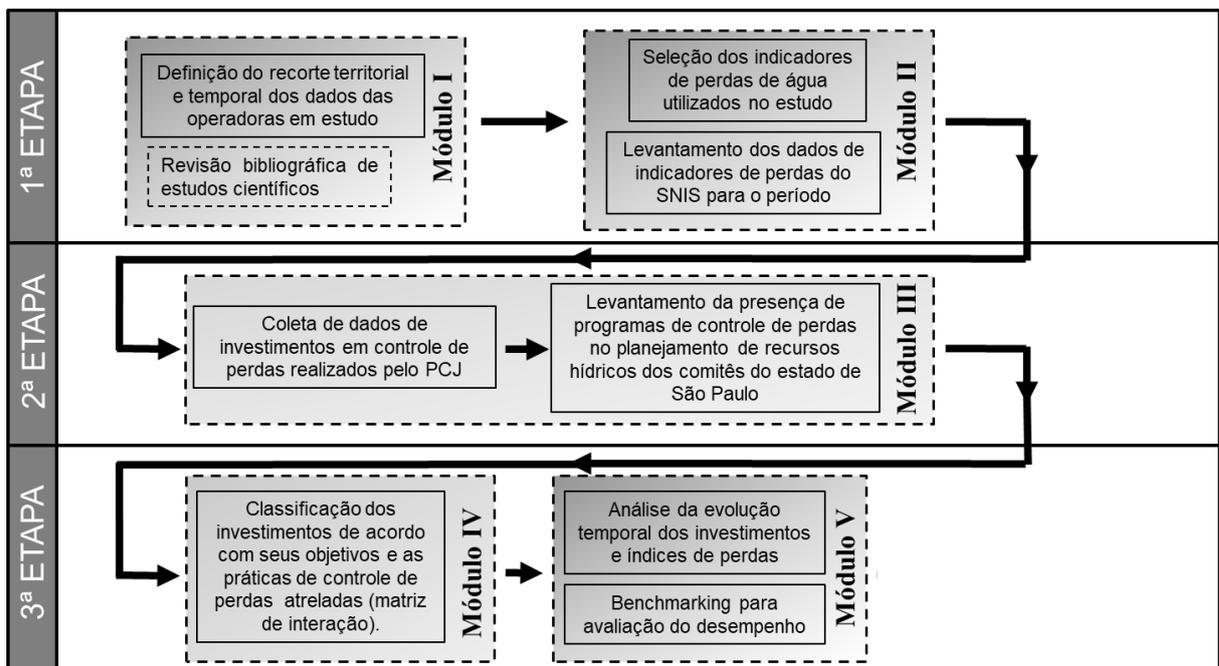
Por fim, na terceira etapa é executada uma classificação e análise sobre as práticas atreladas aos investimentos levantados, bem como sobre a sua relação com a evolução temporal dos indicadores de perdas. Em posse dos resultados obtidos ao fim desta etapa, pretendia-se realizar um momento com a Câmara Técnica de Integração e Difusão de Pesquisas e Tecnologias dos Comitês PCJ, para apresentar os dados e conclusões do estudo.

A princípio, a ideia para a pesquisa era trabalhar a análise das perdas em sistemas de abastecimento de água numa ótica mais específica de cada operadora, buscando conhecer o quadro completo de ações e valores investidos nessa problemática, para realizar a execução de

análises do tipo custo-benefício sobre tais ações. Entretanto, devido aos problemas com o fornecimento dos dados necessários para um estudo desse tipo, agravados com a ocorrência da situação pandêmica durante o período de execução da pesquisa, optou-se por realizar a análise de um ponto de vista mais amplo, na ótica do planejamento das Bacias PCJ como um todo.

A seguir é apresentado na Figura 7 um fluxograma explicativo com um resumo das fases do procedimento metodológico para o desenvolvimento do presente estudo.

Figura 7: Procedimento metodológico da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

O desenvolvimento da metodologia da pesquisa contou também com o diálogo permanente junto aos Comitês PCJ, por meio de suas Câmaras Técnicas de Saneamento e de Integração e Difusão de Pesquisas e Tecnologias, como também da Agência de Bacias PCJ, viabilizando a obtenção de informações e o contato com as operadoras, incluindo participações em reuniões envolvendo membros gestores de diferentes esferas no âmbito das Bacias PCJ.

4.1 1ª ETAPA: DEFINIÇÃO DO RECORTE TERRITORIAL E TEMPORAL DO ESTUDO E DOS INDICADORES DE PERDAS UTILIZADOS

O recorte territorial definido para o presente estudo corresponde às bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), que, por sua vez compõem, de acordo com o

Plano Estadual de Recursos Hídricos (SÃO PAULO, 1994), a Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos 05 (UGRHI 05).

A escolha desta região para o desenvolvimento da pesquisa pautou-se na sua importância a nível nacional, inserida num contexto de grande centro econômico e social (COBRAPE, 2011a), tomando em consideração os aspectos referentes ao atendimento do abastecimento público, a disponibilidade hídrica, os níveis de perdas de água e principalmente a existência de programas de ações de controle de perdas inseridos há pelo menos duas décadas como ações prioritárias nos instrumentos de planejamento de recursos hídricos das Bacias PCJ (COBRAPE, 2010; COPLAENGE, 2000; PCJ, 1994; PROFILL-RHAMA, 2020).

Levou-se também em conta a localização da região selecionada para o estudo com relação a proximidade e conseqüentemente melhor facilidade de acesso para o Campus São Carlos da Universidade de São Paulo, local de desenvolvimento da pesquisa, pensando na possível necessidade e oportunidade de visitas presenciais às operadoras e instituições englobadas no estudo.

Do ponto de vista temporal, o período de análise escolhido refere-se aos dados de investimentos e indicadores de perdas de água para o recorte territorial definido nas duas últimas décadas, mais precisamente, entre os anos de 1999 a 2018. Na definição deste espaço temporal, levou-se em conta aspectos como a inserção dos programas de combate às perdas mencionada no parágrafo anterior para este intervalo de tempo.

Considerou-se também a existência dos Planos de Bacias para a região e a disponibilidade de informações à cerca dos diversos indicadores de perdas existentes (cuja a seleção para este estudo será apresentada na seção seguinte) e dos investimentos realizados em projetos de ações para o controle e a redução da quantidade de água perdida pelos sistemas. A ideia de trabalhar com um conjunto de dados de uma série histórica é permitir não somente a análise dos níveis atuais de perdas, mas também a evolução do desempenho das operadoras nesse quesito.

4.1.1 Módulo I: Caracterização da área de estudo

A abrangência territorial das Bacias PCJ possui dentro de seus limites uma área compreendida de 15.377,82 km², dos quais 92,45% situam-se no Estado de São Paulo (SP) e os outros 7,55% no Estado de Minas Gerais (MG). A localização global da região está situada entre os meridianos 46° e 49° O e latitudes 22° e 23,5° S, possuindo aproximadamente uma

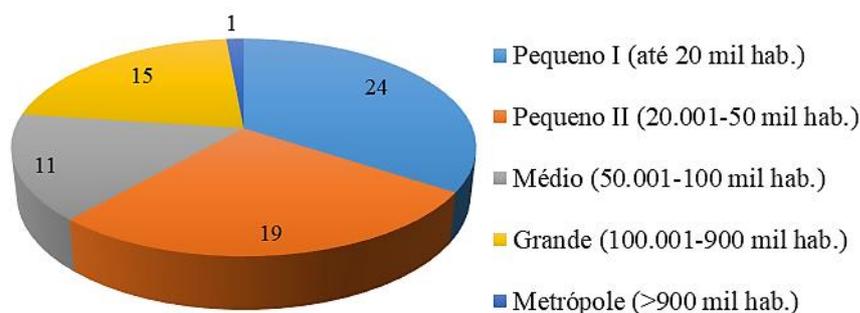
extensão de 300 km no sentido Leste-Oeste e 100 km no sentido Norte-Sul (PROFILL-RHAMA, 2020). Ao todo, 73 municípios têm seu território integrando a área das bacias PCJ, sendo 44 deles totalmente abrangidos e outros 29 com o território parcialmente inserido. Destes, 70 compõem os Comitês PCJ, onde 65 são municípios paulistas e outros cinco de estado de Minas Gerais (COBRAPE, 2010).

Os Comitês PCJ são formados pelo Comitê de Bacia Hidrográfica dos rios PCJ do Estado de São Paulo (PCJ Paulista), pelo Comitê de Bacia Hidrográfica dos rios PCJ do Estado de Minas Gerais (PCJ Mineiro) e pelo Comitê no âmbito da União (PCJ Federal). Esta formação se deve ao domínio dos rios que compõem as Bacias PCJ, que, do ponto de vista organizacional, pertencem em alguns casos a União, e noutros aos estados de São Paulo e Minas Gerais.

De acordo com estimativas do Sistema Seade de Projeções Populacionais (SSPP/SEADE) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população residente no território das Bacias PCJ para o ano de 2020 é de aproximadamente 5,8 milhões de pessoas e a dinâmica demográfica deste espaço aponta um ritmo de crescimento populacional superior ao do Estado de São Paulo e Minas Gerais, com uma taxa geométrica de crescimento anual (TGCA) estimada para o período 2000/2010 de 1,7% a.a., enquanto a TGCA paulista e mineira foi de 1,1% a.a. e 0,9% a.a. nesse mesmo período, respectivamente (PROFILL-RHAMA, 2020).

Quanto ao porte dos municípios, cabe destacar no recorte territorial em estudo a região metropolitana de Campinas, que representa uma importante área econômica a nível paulista e nacional, além de demográfica. A Figura 8 apresenta a distribuição dos municípios integrantes dos Comitês PCJ (IBGE, 2021; SEADE, 2021).

Figura 8: Porte dos municípios integrantes dos Comitês PCJ.



Fonte: Adaptado de SEADE (2020) e IBGE (2020).

Através dos dados fornecidos pelo SNIS e pelas estimativas de população da Fundação SEADE e do IBGE, fez-se a classificação dos municípios da região em estudo de acordo com a sua população e a natureza jurídica da operadora dos serviços de água que o atende, como mostrado no Quadro 12 a seguir.

Quadro 12: População e natureza jurídica da operadora de água dos municípios.

Município	População (2020)	Operadora
Estado de São Paulo		
Águas de São Pedro	3.122	Economia Mista
Americana	233.458	Autarquia
Amparo	69.639	Autarquia
Analândia	4.850	Adm. pública direta
Artur Nogueira	52.609	Autarquia
Atibaia	139.606	Empresa Pública
Bom Jesus dos Perdões	24.291	Adm. pública direta
Bragança Paulista	163.980	Economia Mista
Cabreúva	49.430	Economia Mista
Campinas	1.175.501	Economia Mista
Campo Limpo Paulista	82.842	Economia Mista
Capivari	54.231	Autarquia
Charqueada	16.933	Economia Mista
Cordeirópolis	24.356	Autarquia
Corumbataí	3.962	Adm. pública direta
Cosmópolis	71.282	Adm. pública direta
Dois Córregos	26.972	Autarquia
Elias Fausto	17.346	Economia Mista
Holambra	14.493	Empresa Privada
Hortolândia	230.268	Economia Mista
Indaiatuba	242.868	Autarquia
Ipeúna	7.571	Adm. pública direta
Iracemápolis	23.654	Adm. pública direta
Itatiba	117.916	Economia Mista
Itirapina	17.162	Adm. pública direta
Itu	169.772	Autarquia
Itupeva	59.159	Economia Mista
Jaguariúna	54.848	Adm. pública direta
Jarinu	29.820	Economia Mista
Joanópolis	12.666	Economia Mista
Jundiaí	407.016	Economia Mista
Limeira	296.300	Empresa Privada
Louveira	48.268	Adm. pública direta
Mairiporã	98.622	Economia Mista
Mogi Mirim	90.439	Autarquia

Mombuca	3.332	Economia Mista
Monte Alegre do Sul	7.749	Adm. pública direta
Monte Mor	59.614	Economia Mista
Morungaba	13.247	Economia Mista
Nazaré Paulista	18.445	Economia Mista
Nova Odessa	58.039	Economia Mista
Paulínia	105.037	Economia Mista
Pedra Bela	5.964	Economia Mista
Pedreira	46.548	Autarquia
Pinhalzinho	14.755	Economia Mista
Piracaia	26.287	Economia Mista
Piracicaba	389.873	Autarquia
Rafard	8.976	Adm. pública direta
Rio Claro	201.212	Autarquia
Rio das Pedras	34.416	Autarquia
Saltinho	7.860	Economia Mista
Salto	115.372	Autarquia
Santa Bárbara do Oeste	188.745	Autarquia
Santa Gertrudes	26.189	Empresa Privada
Santa Maria da Serra	6.141	Adm. pública direta
Santo Antônio de Posse	22.849	Adm. pública direta
São Pedro	34.208	Autarquia
Socorro	38.783	Economia Mista
Sumaré	283.212	Empresa privada
Torrinha	9.713	Economia Mista
Tuiuti	6.557	Adm. pública direta
Valinhos	124.742	Autarquia
Vargem	10.000	Economia Mista
Várzea Paulista	120.535	Economia Mista
Vinhedo	77.521	Autarquia
Estado de Minas Gerais		
Camanducaia	21.801	Economia Mista
Extrema	36.951	Economia Mista
Itapeva	9.881	Economia Mista
Sapucaí-Mirim	6.989	Economia Mista
Toledo	58.764	Economia Mista

Fonte: Adaptado de SNIS (2019), IBGE (2020) e SEADE (2020).

Nota-se para os prestadores dos serviços a predominância de operadoras do tipo sociedade de economia mista (49%), com administração pública (34 municípios). Outros 25% são do tipo Autarquias (18 municípios), 20% correspondem a administração pública direta (14 municípios), e 6%, são empresas privadas (quatro municípios).

Em linhas gerais, as Bacias PCJ apresentam índices elevados de abastecimento nas áreas urbanas, com um índice de atendimento urbano de água de 98% e um índice de atendimento total de água de 94% (PROFILL-RHAMA, 2020; SNIS, 2019).

Em termos de hidrografia, as Bacias PCJ são todas afluentes do Rio Tietê pela margem direita, e estendem-se por 14.216,58 km² no Estado de São Paulo, dos quais 11.492,84 km² pertencem à Bacia do Rio Piracicaba, 1.568,68 km² à Bacia do Rio Capivari e 1.155,06 km² à Bacia do Rio Jundiaí. No Estado de Minas Gerais, a área correspondente às Bacias PCJ contém um total de 1.161,24 km², toda inserida na Bacia do Rio Piracicaba (COBRAPE, 2011). Os principais cursos d'água que cruzam o território das Bacias PCJ são os Rios Atibaia, Atibainha, Cachoeira, Camanducaia, Capivari, Corumbataí, Jaguari, Jundiaí e Piracicaba, destacando-se as sete sub-bacias principais que compõem a UGRHI 5: Camanducaia, Jaguari, Atibaia, Corumbataí e Piracicaba, todas pertencentes a Bacia do Rio Piracicaba, além das bacias do Rio Capivari e do Rio Jundiaí (PCJ, 2018). As parcelas das sub-bacias mencionadas acima para cada estado e a participação na composição das Bacias PCJ são apresentadas na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3: Áreas de drenagem das Bacias PCJ.

Bacias	Sub-bacias	Área SP (km²)	Área MG (km²)	Área total (km²)	Parcela territorial PCJ (%)
Rio Piracicaba	Atibaia	2.773,96	44,54	2.818,5	18
	Camanducaia	903,98	136,73	1.040,71	7
	Corumbataí	1.717,59		1.717,59	11
	Jaguari	2.322,62	979,97	3.302,59	21
	Piracicaba	3.774,69		3.774,69	25
Rio Capivari	Capivari	1.568,68		1.568,68	10
Rio Jundiaí	Jundiaí	1.155,06		1.155,06	8
Total		14.216,58	1.161,24	15.377,82	100

Fonte: Adaptado de Fundação Agência das Bacias PCJ (2018).

Entre os mais importantes reservatórios que formam os principais lagos da região cita-se o da Usina Hidrelétrica de Barra Bonita, no Rio Piracicaba; o reservatório Salto Grande, no Rio Atibaia; os reservatórios Jacareí e Jaguari, no Rio Jacareí; o reservatório de Atibainha, no Rio Atibainha; e o reservatório da Cachoeira, no rio de mesmo nome, sendo os quatro últimos

citados, integrantes de uma importante parte do Sistema Produtor de Água Cantareira, um dos maiores do mundo e responsável por parte do abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (PCJ, 2018).

Devido a sua capacidade e função, o Sistema Cantareira, maior consumidor dos recursos hídricos das Bacias PCJ e a principal fonte de captação dos sistemas de abastecimento de água da RMSP, onde abastece cerca de nove milhões de pessoas, representa também um fator que apresenta grande importância ao se tratar de disponibilidade hídrica (PROFILL-RHAMA, 2020). De acordo com Demajorovic, Caruso e Jacobi (2015), a criticidade na situação de disponibilidade dos recursos hídricos nas Bacias PCJ se atribui, além da expansão urbana, agrícola e industrial, ao fator referente a transferência da parcela significativa dos volumes de água captados na região para o atendimento da RMSP através do Sistema Cantareira. Devido à crescente demanda de água, o cenário de disponibilidade hídrica tem se agravado nos últimos anos para a região (PCJ, 2018).

Figura 9: Sistema Produtor de Água Cantareira.



Fonte: (ANA, 2021).

Diante disso, a redução dos níveis de perdas de água dos SAA mostra-se ainda mais relevante para o contexto da região. Perante a essa preocupação, desde 1993, com a criação dos Comitês PCJ, a parcela maior dos investimentos oriundos do FEHIDRO vem sendo direcionada às ações voltadas para o saneamento básico, priorizando também investimentos em projetos de controle e redução das perdas de água dos sistemas de abastecimento (SANTI, 2018).

Levando em conta aspectos relacionados a disponibilidade hídrica e nível de perdas dos sistemas de abastecimento de água na área de captação, a Figura 9 apresenta o resultado do estudo de priorização dos investimentos em perdas do Plano de Bacias 2020-2035.

4.1.2 Módulo II: Seleção e coleta dos indicadores

Considerando o tópico anterior, a revisão bibliográfica sobre o tema e a proposta metodológica desta pesquisa, que aborda os dados de perdas para uma série histórica, definiu-se que os indicadores escolhidos para o presente estudo são o Índice de Perdas por Ligação (expresso em litros/dia/ligação) e o Índice de Perdas na Distribuição (expresso em percentual), ambos incluídos no banco de dados do SNIS, com os códigos IN051 e IN049, respectivamente. A escolha atentou-se também a comparação dos resultados com as metas do Programa de redução de perdas das Bacias PCJ, que utiliza o indicador de perdas expresso em percentual.

Índice de Perdas na Distribuição

O Índice de Perdas na Distribuição (IN049) apresenta a seguinte fórmula de cálculo:

$$\frac{\text{Volume de Água (Produzido + Tratado Importado - de Serviço)} - \text{Volume de Água Consumido}}{\text{Volume de Água (Produzido + Tratado Importado - de Serviço)}}$$

De acordo com o que é definido pelo SNIS: o “Volume de Água Produzido (AG006)” corresponde ao volume anual de água disponibilizado para consumo; o “Volume de Água Tratado Importado (AG018)” corresponde ao volume anual de água potável recebido de fornecedores externos; o “Volume de Água De Serviço (AG024)” é a quantidade anual de água (não faturada) usada para atividades operacionais e especiais, como lavagem das Estações de Tratamento de Água; o “Volume de Água Consumido (AG010)” corresponde à quantidade anual de água consumida por todos os usuários, considerando, inclusive, o volume de consumo estimado para as ligações cujo hidrômetro está parado ou é ausente.

Índice de Perdas por Ligação

O Índice de Perdas por Ligação (IN051) expressa a relação das perdas reais de água com a quantidade de ligações ativas da rede e tem a seguinte fórmula de cálculo:

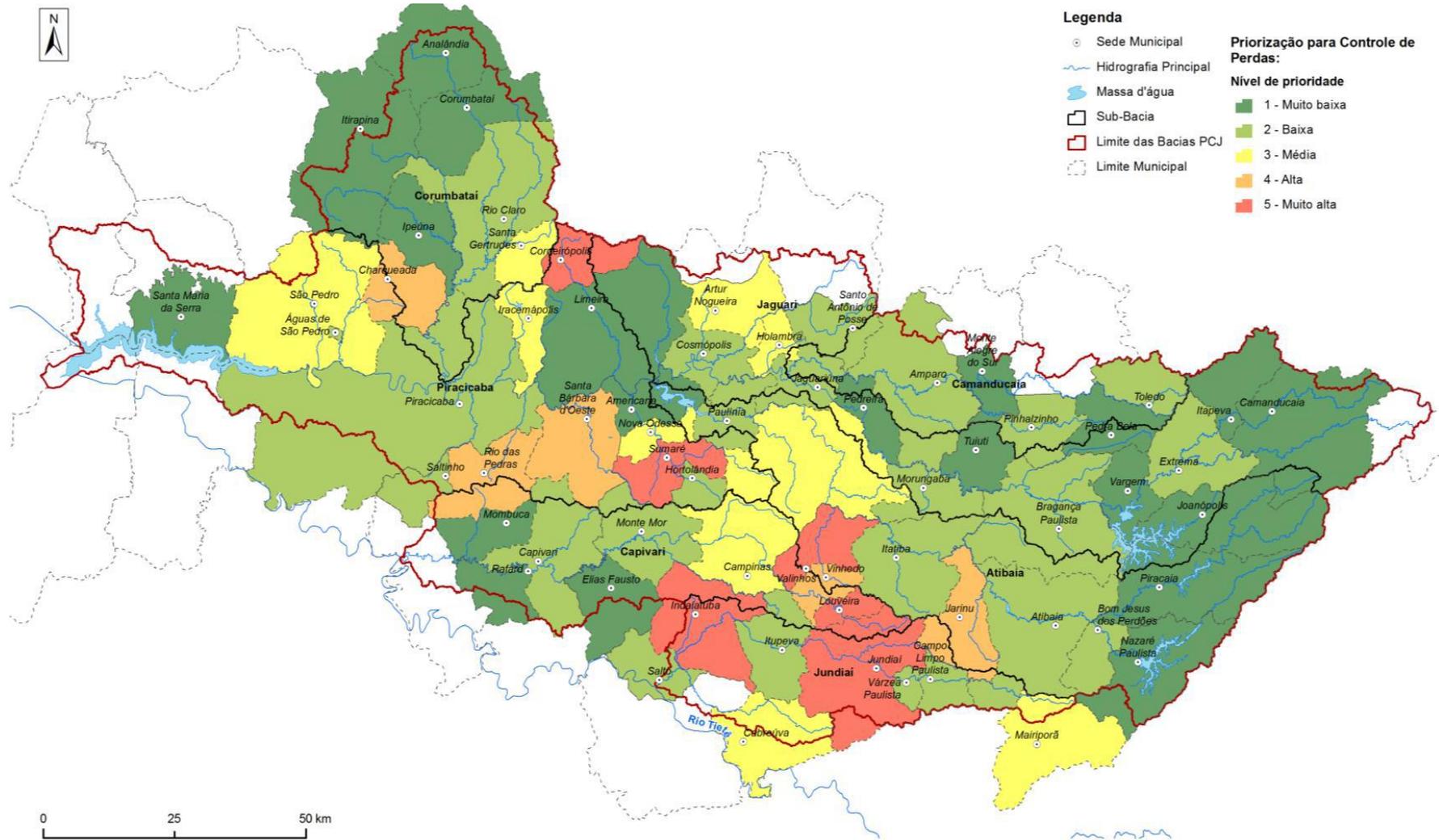
$$\frac{\text{Volume de Água (Produzido + Tratado Importado - de Serviço)} - \text{Volume de Água Consumido}}{\text{Quantidade de Ligações Ativas de Água}} \times \frac{1.000.000}{365}$$

A diferença para a expressão anterior está no denominador da fórmula, que, para o IN051 corresponde a “Quantidade de Ligações Ativas de Água (AG002)” e diz respeito a quantidade de ligações ativas de água ligadas à rede pública, providas ou não de hidrômetro,

que estava em pleno funcionamento no último dia do ano de referência. O cálculo dessa variável pelo SNIS é feito considerando-se a média aritmética das ligações ativas do ano anterior e do ano de referência (ITB; GO ASSOCIADOS, 2020).

A coleta da série histórica de dados dos indicadores de perdas acima apresentados foi feita para as operadoras de água inseridas no recorte territorial para todo o período em estudo, através do banco de dados do SNIS, considerando para as operadoras que não dispõem destes dados em toda a série, o intervalo a partir do primeiro ano disponível.

Figura 10: Resultados da priorização para controle de perdas no abastecimento.



Fonte: PROFILL-RHAMA (2020).

4.2 2ª ETAPA: LEVANTAMENTO DOS INVESTIMENTOS EM CONTROLE DE PERDAS NAS BACIAS PCJ E ANÁLISE DO PLANEJAMENTO DE COMBATE ÀS PERDAS EM COMITÊS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Com o intuito de analisar o programa de controle de perdas presente no planejamento das Bacias PCJ, fez-se nesta etapa a coleta dos dados de investimentos financiados com aprovação dos Comitês PCJ no âmbito do combate às perdas nos sistemas de abastecimento de água, permitindo conhecer os municípios que tiveram projetos aprovados e executados nesse quesito, bem como dados que ilustrem a dimensão das ações para lidar com este problema.

Para complementar a análise mencionada no parágrafo anterior, executou-se também um estudo sobre o planejamento voltado ao combate às perdas dos demais comitês de bacias hidrográficas que possuem agência de bacia e situam-se parcialmente ou integralmente no estado de São Paulo, região onde estão inseridos os Comitês PCJ.

4.2.1 Módulo III: Coleta dos dados de investimentos em perdas no Comitê PCJ e avaliação do cenário de planejamento dos demais comitês paulistas

Nesse módulo foram levantados todos os investimentos em empreendimentos de combate às perdas de sistemas de abastecimento de água com financiamento oriundo dos recursos referentes a arrecadação dos instrumentos de Cobrança Federal e Cobrança Mineira da região das Bacias PCJ e do FEHIDRO (composto por recursos da Cobrança Paulista e pela compensação financeira e royalties recebidos pelo Estado de São Paulo, em decorrência dos aproveitamentos hidroenergéticos).

O acesso dessas informações ocorreu junto à Coordenação de Projetos da Agência das Bacias PCJ, que disponibilizou a coleta dos dados de todos os projetos financiados com recursos das fontes acima mencionadas, a partir dos quais, através da análise da descrição do empreendimento investido e do seu objetivo, fez-se o levantamento daqueles voltados à problemática das perdas de água, no período temporal compreendido pelo presente estudo.

Para a obtenção dos dados referentes aos programas de controle de perdas de água presentes nos planejamentos dos demais comitês, utilizou-se o endereço eletrônico do sistema de informações de gestão de recursos hídricos do estado de São Paulo, onde se encontram relatórios, planilhas e outras informações, incluindo os planos de recursos hídricos das unidades de gestão definidas pela política estadual de recursos hídricos.

Definiu-se como critério para o uso destas informações que as mesmas estivessem disponibilizadas para o público, e que seriam considerados os documentos de planos de recursos hídricos mais atuais disponibilizados. As informações referentes aos investimentos já realizados foram complementadas acessando as bases de dados de projetos executados dos endereços eletrônicos dos comitês e respectivas agências de bacias hidrográficas.

4.3 3ª ETAPA: CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS INVESTIMENTOS EM PRÁTICAS DE COMBATE ÀS PERDAS NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Entendendo a avaliação do desempenho das operadoras dos sistemas de abastecimento de água como a etapa inicial para a redução das perdas e melhoria da eficiência destes serviços, como colocado por Kanakoudis et al. (2013), para analisar a relevância dos investimentos efetuados no combate às perdas de água sobre a evolução dos indicadores na região, se propôs nesta etapa a execução das técnicas de matriz de interação e de *benchmarking* para avaliação de desempenho ou *benchmarking* métrico.

Ao executar a avaliação e classificação das práticas referentes aos investimentos levantados, utilizou-se uma metodologia de matriz de interação, como desenvolvido pelo trabalho de Cunha, Santos e Gonzalez (2021), para analisar o impacto das ações investidas sobre as diferentes dimensões englobadas no contexto do serviços de abastecimento de água.

Fez-se também nesta etapa a aplicação da técnica de *benchmarking* que, de acordo com Cabrera Jr. et al. (2014), baseia-se em avaliar o desempenho em um determinado aspecto através da comparação de indicadores para as instituições definidas, no caso, os indicadores de perdas das operadoras em estudo. Os processos inerentes a essa etapa são descritos a seguir, para cada módulo.

4.3.1 Módulo IV: Classificação dos investimentos de acordo com as práticas de controle de perdas e uso da matriz de interação para estudo dos impactos resultantes

O primeiro passo executado nesta etapa consistiu na compilação dos dados levantados no Módulo II e no Módulo III, de acordo com a ordem cronológica dos valores dos indicadores de perdas escolhidos e dos investimentos realizados em cada operadora (município). As informações foram organizadas segundo o ano de contrato e período de execução, a população

dos municípios atendidos pelas operadoras referente a época de realização dos investimentos e a presença de investimentos compartilhados entre municípios.

A classificação dos investimentos foi feita de acordo com a sua descrição, em grupos de processos de controle de perdas que englobam as práticas encontradas na literatura. Seguiu-se para tal, a metodologia apresentada por Santi, Cetrulo e Malheiros (2021), que ao levantar a diversidade de ações em combate às perdas presentes na literatura, classificaram ao todo 54 práticas encontradas em oito grupos de processos, chamados aqui de classes e apresentados no Quadro 13 a seguir:

Quadro 13: Práticas de controle de perdas organizadas em processos.

PRÁTICAS DE CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA	
CLASSE 01 Gerenciamento de pressão	P1. Utilização de medidores de pressão e acompanhamento de pressões na rede. P2. Centro de tele controle para monitorar pressões na rede. P3. Usando válvulas redutoras de pressão. P4. Redução da pressão da água à noite. P5. Pressão média da rede conforme NBR 12218/1994 (pressão dinâmica de 100 kPa (10 mH ₂ O) e pressão estática de 500 kPa (50 mH ₂ O)). P6. Tanques automatizados.
CLASSE 02 Gestão de infraestrutura	P7. Substituição de tubos e conexões antigas. P8. Macromedição. P9. Geoprocessamento no cadastro de redes e adutoras. P10. Plano anual de manutenção da rede (Limpeza / Reabilitação). P11. Controle de qualidade de materiais e equipamentos utilizados na manutenção da rede. P12. Estabelecimento de procedimentos operacionais padrão. P13. Calibração periódica de equipamentos de rede (medidores, válvulas). P14. Treinamento para equipe de manutenção e operação (Certificação).
CLASSE 03 Controle de corrosão em tubulações	P15. Revestimento interno de tubos. P16. Revestimento externo de tubos. P17. Priorização do uso de tubulação não metálica.
CLASSE 04 Controle de vazamentos	P18. Uso de dispositivos de escuta no solo para detectar vazamentos invisíveis. P19. Definir a melhor frequência para encontrar vazamentos. P20. Equipe em tempo integral para consertar os vazamentos. P21. Uso de modelos computacionais / de simulação matemática para detecção de vazamentos. P22. Uso do método de consumo zero para detectar vazamentos não visíveis. P23. Uso do método de consumo mínimo durante a noite para detectar vazamentos invisíveis. P24. Organização do sistema em zonas de medição (setorização, MCD). P25. Equipe exclusiva para 'caça a vazamentos'. P26. Teste de estanqueidade com hidrômetros. P27. Canal de comunicação para o usuário alertar sobre vazamentos nas ruas (visível).
CLASSE 05 Controle de erros de medição	P28. Troca corretiva de hidrômetros. P29. Troca preventiva otimizada de hidrômetros. P30. Supervisão de hidrômetros para verificar erros de medição. P31. Uso de hidrômetros mais precisos. P32. Utilização de hidrômetros com telemetria de radiofrequência.

	P33. Treinamento adequado da equipe de leitura de hidrômetros.
CLASSE 06 Controle de fraudes e ligações clandestinas	P34. Conscientização do público sobre o problema de fraude e conexões clandestinas. P35. Inspeção regular de conexões suspeitas e inativas. P36. Reparação de hidrômetros inclinados. P37. Uso de tecnologia para detectar conexões clandestinas. P38. Monitorar o consumo mensal dos usuários para detectar fraudes. P39. Atuação em áreas de pobreza para controle de fraudes. P40. Relatórios de fraude pela comunidade. P41. Atualização anual de cadastro de usuários.
CLASSE 07 Planejamento estratégico	P42. Estabelecer um plano / programa de combate às perdas de água. P43. Definição de uma meta de redução de perdas. P44. Departamento / seção específica da organização com foco no controle de perdas. P45. Diagnóstico da situação de perdas na cidade. P46. Uso de indicadores para avaliar o desempenho do controle de perdas. P47. Desenvolvimento de estudos para priorizar as áreas mais críticas para o controle de perdas. P48. Análise de custo benefício para ações de controle de perdas. P49. Reunião periódica para analisar os resultados das ações de controle e planejar as consecutivas.
CLASSE 08 Investimento em inovação	P50. Investindo em tecnologias de controle de perdas. P51. Implementação de metodologias de melhoria contínua. P52. Investir em cursos de capacitação de pessoal voltados para o controle de perdas. P53. Utilização de SIG no atendimento ao controle de perdas. P54. Investir no desenvolvimento de manuais de gestão de perdas.

Fonte: Adaptado de Santi, Cetrulo e Malheiros (2021).

Analisando a descrição e objetivo de cada investimento e comparando com as definições das práticas do estudo em questão, classificaram-se os investimentos dentro de cada prática e classe que englobam as ações em controle de perdas. Deste modo, pretendeu-se conhecer a distribuição dos investimentos também de acordo com a tipologia das ações para a redução da água perdida.

Entendendo a importância de avaliar as ações empreendidas no combate às perdas de um ponto de vista amplo, abrangendo as diferentes dimensões de sustentabilidade, foi empregada a técnica de matriz de interação com o intuito de verificar a forma como as práticas atreladas aos investimentos realizados impactam, ou tendem a impactar o abastecimento de água na região em estudo.

Para tal, o estudo baseou-se na metodologia utilizada por Cunha, Santos e Gonzalez (2021), que estruturaram um modelo de matriz de interação que confronta as ações de planejamento e gestão das perdas adotadas por uma operadora estudada com os subsistemas do sistema de abastecimento e os aspectos do serviço público beneficiados. A aplicação dessa ferramenta permite identificar quais partes do sistema são mais impactadas pelas ações e em qual dimensão de impacto estas se enquadram. O Quadro 14 apresenta a estrutura adotada da matriz, enquanto O Quadro 15 mostra os pesos dados na avaliação.

Quadro 14: Estrutura da matriz de interação.

Ações de planejamento na gestão das perdas	Abastecimento Público ¹ (Dimensão Econômica)					Público/ Sociedade ² (Dimensão Ética)			Transparência Dimensão Ambiental		Resultados Pontuação total da ação	Parciais		
	Captação	ETA	Ligações de água	Tubulação (rede)	Reservatórios	Tarifa	Consumo	Reconhecimento	IPD	IPF		Pontuação na dimensão econômica	Pontuação na dimensão ética	Pontuação na dimensão ambiental
Ação 1 (A1)	A1 ¹	A1 ¹	A1 ¹	A1 ¹	A1 ¹	A1 ²	A1 ²	A1 ²	A1 ³	A1 ³	$\Sigma A1^{1,2,3}$	$\Sigma A1^1$	$\Sigma A1^2$	$\Sigma A1^3$
Ação 2 (A2)														
Ação 3 (A3)														
Ação 4 (A4)														
Ação 5 (A5)														
Ação 6 (A6)														
Ação 7 (A7)														
Troca/manutenção de redes/ramais				5										
Ação 8 (A9)														
Ação 9 (A10)														
Ação 10 (A11)														
Pontuação total											Σ em todas dimensões	Σ na dimensão econômica	Σ na dimensão ética	Σ na dimensão ambiental

Fonte: Adaptado de Cunha, Santos e Gonzalez (2021).

Quadro 15: Escala de avaliação da matriz de interação.

Interferência	Avaliação
Baixa	1
Média	3
Alta	5

Fonte: Adaptado de Cunha, Santos e Gonzalez (2021).

Embora a ferramenta de matriz de interação não esteja entre as técnicas mais robustas de avaliação de impacto, como já mencionado na revisão bibliográfica do presente trabalho, a sua alta capacidade de identificação das relações entre ações e fatores impactados aliada a natureza investigativa da presente pesquisa a qualificam como uma ferramenta bastante útil para o alcance dos objetivos deste trabalho. Além disso, a execução combinada do *benchmarking* fornece o complemento necessário para uma avaliação de desempenho.

4.3.2 Módulo V: Análise da evolução temporal dos indicadores de perdas e investimentos realizados nos SAA e execução do *benchmarking* para avaliação do desempenho.

Para realizar a análise e comparação sobre os níveis de perdas entre as operadoras da pesquisa, fez-se o uso da vertente da técnica de *benchmarking* chamada de *benchmarking* para avaliar o desempenho (CABRERA JR. et al., 2014), que consistiu na identificação dos municípios cujas operadoras apresentam os melhores e os piores níveis de controle de perdas e

também dos percentuais de evolução (melhora ou piora) destes dados, tomando como medida os indicadores selecionados.

Em posse dos dados de investimentos e dos seus indicadores de desempenho, foi analisada a relação entre estas variáveis, considerando tanto os valores absolutos quanto os investimentos *per capita*, calculados a partir da população dos municípios de cada operadora.

Posteriormente, avaliou-se a variação do comportamento dos indicadores de perdas de acordo com o porte do município e a natureza jurídica da operadora a fim de verificar se há influência destes fatores sobre os níveis de desempenho e evolução na redução das perdas dos sistemas de abastecimento de água da região em estudo.

Com isso, tem-se a intenção de tornar os dados deste trabalho úteis para o planejamento dos agentes envolvidos no setor, agindo no cenário prático através de sugestões de contribuições para o documento Manual Orientativo de Seleção e Indicação de Investimentos da Fundação Agência das Bacias PCJ.

5 RESULTADOS

5.1 PLANEJAMENTO E ATUAÇÃO DOS COMITÊS PCJ EM CONTROLE DE PERDAS EM SAA

5.1.1 Combate às perdas dos Comitês PCJ no contexto dos CBH em São Paulo

A partir dos dados levantados junto à Fundação Agência das Bacias PCJ, calculou-se que os empreendimentos em combate às perdas com financiamento oriundo dos recursos referentes a arrecadação dos instrumentos de Cobrança Federal e Cobrança Mineira da região das Bacias PCJ e do FEHIDRO, ou seja, os investimentos geridos pelos Comitês PCJ, somam para o período em análise um montante de R\$181.031.388,76 investidos, considerando repasses e contrapartidas, e levando em conta somente os empreendimentos que já foram concluídos.

A soma investida tomando em consideração todos os investimentos em combate às perdas contratados (concluídos, em execução e não iniciados) é de R\$265.571.157,08, onde R\$62.768.698,99 foram direcionados a empreendimentos que ainda estão em execução, e R\$21.771.069,33 referem-se aqueles até então não iniciados.

Tomando conhecimento desses valores, jugou-se importante entender se tais somas representam um cenário de liderança dos Comitês PCJ em combate às perdas no contexto dos comitês de bacias que possuem agência de bacia, inseridos no estado de São Paulo. A utilização do valor *per capita* para análise dos investimentos se fez para obter uma comparação mais justa, considerando a relevância do porte dos municípios sobre a demanda de investimentos. Na Tabela 4 seguir apresentam-se os valores investidos em combate às perdas com recursos geridos por cada CBH atuante no cenário paulista que possui agência de bacia informada pelo SIGRH.

Tabela 4: Investimentos em combate às perdas por CBH.

Comitê	Abrangência dos dados analisados	Investimentos em controle de perdas informados e geridos pelo CBH	População (2016)	Investimentos <i>per capita</i> (R\$/hab)	Municípios com percentual de perdas > 25% (%)
Comitês PCJ	1999 - 2018	R\$ 181.031.388,76	5.500.784	32,91	52,86%
CEIVAP	2013 - 2018	-	6.775.552	-	-
CBH-SMT	2000 - 2020	R\$ 11.513.402,60	2.131.015	5,40	60,61%
CBH-AT	1999 - 2018	R\$ 257.500,00	21.282.430	0,01	94,44%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A população abrangida por cada bacia hidrográfica não necessariamente corresponde a soma populacional dos municípios que a compõe, já que estes podem situar-se em mais de uma bacia. Por isso, escolheu-se o ano de 2016 para mensurar o peso da população na análise dos investimentos devido a informação de população para tal ano ser comum aos planos analisados. Quanto a informação sobre a situação das perdas de SAA dos municípios, utilizou-se os dados dos relatórios de situação de recursos hídricos mais recentes de cada comitê.

Ao analisar a Tabela 4 observa-se que os investimentos dos Comitês PCJ, de fontes geridas pelo próprio CBH apresentam uma soma bastante expressiva, inclusive para valores de investimentos *per capita*, na comparação com os outros comitês de bacias hidrográficas analisados. O valor corresponde a seis vezes o investido pelo CBH-SMT, comitê que tem o segundo maior quantitativo aplicado em combate às perdas dos SAA. Nota-se para o CBH-AT um valor praticamente irrelevante de investimento por habitante, devendo ser levado em conta também que este abrange a Região Metropolitana de São Paulo, centro mais populoso do país. Para o CEIVAP não foram informados valores aplicados em empreendimentos em perdas.

Antes de prosseguir a discussão, é importante destacar que a amostra de investimentos levantada e analisada refere-se aqueles que, devido sua fonte de aplicação, são geridos pelos próprios comitês de bacias. Ou seja, as colocações apresentadas não representam uma análise global das ações em controle de perdas de SAA dessas respectivas regiões mencionadas.

O alto valor de investimento para a problemática em questão informado pelos Comitês PCJ confirma o que é apontado no estudo de Santi, Cetrulo e Malheiros (2021), que destaca a presença de programas de controle de perdas em SAA na região incentivados pelos Comitês PCJ e evidenciam o empenho do comitê para melhoria das Bacias PCJ quanto a esta problemática que tem estreita relação com a disponibilidade hídrica, aspecto crítico da região.

Com relação ao CEIVAP, a ausência em seu banco de dados de investimentos em controle de perdas de SAA geridos pelo próprio CBH corrobora o apontamento feito no estudo de Alvarenga e Almeida (2017), que destaca uma grande destinação de recursos do comitê para as áreas de qualidade da água, esgotamento sanitário e gestão de resíduos sólidos, em detrimento de investimentos em abastecimento de água e menos ainda em controle de perdas.

No comparativo entre os Comitês PCJ e o CBH-SMT, observou-se que, para um intervalo temporal de análise semelhante, apesar do segundo ter tido um montante investido significativo em relação aos demais analisados ainda não se equipara ao primeiro. O estudo de Santos (2018) sobre a totalidade dos investimentos FEHIDRO no CBH-SMT indica uma

explicação para essa diferença, já que aponta que as ações ligadas ao controle de perdas em SAA tiveram bem menos projetos financiados que as temáticas de sistemas de coleta e tratamento de esgoto e resíduos sólidos, por exemplo.

Ao analisar conjuntamente na Tabela 4 a coluna de investimentos e a coluna com a porcentagem de municípios com percentual de perdas acima de 25%, valor mencionado nos próprios planos de bacias como limite para que se considere um desempenho bom no quesito, nota-se que quanto menor o valor *per capita* investido pelo comitê, menos municípios atendem a esse limite, um comportamento lógico, já que essa é a finalidade dos investimentos.

Entretanto, além de se tratar de uma amostra pequena de comitês de bacias, é preciso levar em conta também outros aspectos de relevância que serão abordados mais à frente neste capítulo, como a presença de investimentos financiados por outras fontes, a natureza jurídica das operadoras de água e o contexto urbano em que se situam.

Considerando a importância do entendimento sobre a priorização e direcionamento dos investimentos dos comitês de bacias às diferentes áreas inerentes aos recursos hídricos e saneamento, na Tabela 5 são mostrados dados referentes a participação das medidas para controle das perdas em SAA no total de valores previstos a serem investidos, no planejamento dos CBH em estudo. Considerou-se também os investimentos para SAA e sistemas de esgotamento sanitário (SES).

Tabela 5: Participação do controle de perdas de SAA nos investimentos previstos por CBH.

Comitê (Ano do plano de bacia)	Investimentos com recursos geridos pelo CBH previstos nos planos de bacias mais recentes (R\$)			Controle de perdas / SAA e SES (%)	Participação do controle de perdas no total de investimentos (%)
	Direcionados ao controle de perdas em SAA	Direcionados a demais ações em SAA e SES	Total para todas as áreas de aplicação do plano		
Comitês PCJ (2020)	300.000,00	127.640.766,91	715.772.161,43	0,24%	0,04%
CEIVAP (2021)	2.000.000,00	360.699.092,26	656.023.911,75	0,55%	0,30%
CBH- SMT (2018)	6.007.835,28	171.444.034,13	392.746.321,28	3,50%	1,53%
CBH-AT (2016)	8.719.528,68	76.111.553,78	116.001.013,66	11,46%	7,52%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os dados da Tabela 5 mostram que os percentuais das agendas de combate às perdas não possuem participações elevadas na totalidade dos investimentos com recursos próprios previstos pelos comitês analisados, com exceção do CBH-AT, que apresenta um percentual expressivo, considerando a multiplicidade de agendas englobadas nos planos de ações para bacias hidrográficas.

Esses valores obtidos indicam que a atenção e direcionamento dos planejamentos atuais de ações dos comitês de bacias ainda não tem sua preocupação principal na eficiência dos sistemas de saneamento, especialmente o de abastecimento de água, já que somente uma reduzida parcela do total das ações planejadas está sendo direcionada para esse fim.

Esse indicativo segue a linha do que é exposto no trabalho de Mesquita (2018), que observa que as ações planejadas e executadas pela gestão das águas no Brasil historicamente preteriram o âmbito do saneamento, focando em outros setores ligados a água, cenário que segundo Carneiro et al. (2018), somente agora vem se alterando, com os comitês de bacias e demais gestores de recursos hídricos mostrando maiores preocupações especialmente com o abastecimento de água e esgotamento sanitário, e o funcionamento harmônico entre o gerenciamento de saneamento e recursos hídricos.

É preciso levar em conta, além dos direcionamentos de investimentos nos recursos hídricos fora do aspecto do saneamento, a divisão do planejamento dentro das áreas e subáreas que o compõem, ou seja, a participação do abastecimento de água no direcionamento de ações em saneamento e a forma como o controle de perdas é inserido nas ações planejadas do abastecimento de água.

Analisando novamente a Tabela 5, nota-se que mesmo quando analisada a participação da previsão de investimentos para controle de perdas somente considerando as ações em SAA e SES os percentuais são ainda pequenos, lembrando que estão sendo considerados os valores previstos de aplicação de recursos próprios dos CBH.

Essa priorização de outros tipos de ações nesses sistemas, em detrimento das ações de combate às perdas no cenário brasileiro são discutidas por Tardelli Filho (2016) que destaca que, devido serem menos impactantes do ponto de vista propagandista, os investimentos em manutenções e gestão de sistemas são preteridos por gestores políticos. Esse fator, aliado a situação mais avançada de cobertura dos sistemas de água em comparação a coleta e tratamento de esgotos no Brasil, alavanca maiores empreendimentos em SES, deixando a gestão dos SAA

menos favorecidas, o que segundo Sobrinho e Borja (2016), contribui para manutenção de patamares de perdas elevados.

Chama atenção também o percentual muito pequeno de participação das ações de perdas no planejamento mais recente dos Comitês PCJ, já que, como já mencionado no capítulo de revisão bibliográfica e também levantado e exposto no início deste capítulo, esse comitê realizou uma grande soma de investimentos para combate a essa problemática nos últimos anos. Entretanto, dois fatores devem ser considerados primeiramente para buscar entender esse dado e serão abordados nos parágrafos seguintes.

O primeiro deles refere-se ao Plano de Bacias Hidrográficas PCJ 2010-2020, imediatamente anterior ao mais recente e que apresenta uma distribuição consideravelmente diferente em relação a previsão de investimentos para o combate às perdas em SAA. Nele é apresentado no programa de investimentos do plano de ação o valor de R\$ 957.578.723,00 previstos para ações de controle de perdas, de um total de R\$ 2.753.837.302,94. Vê-se então que a participação da temática de perdas atinge 34,77% de toda a previsão de valores do plano.

É importante entender que os planos de ação dos planos de bacias hidrográficas, apesar de guiarem a atuação dos comitês quanto a alocação dos recursos que o mesmo gere, constituindo o principal instrumento de direcionamento de seus investimentos, são ainda assim previsões que podem sofrer alterações, seja propriamente na execução das ações escolhidas ou mesmo através de redefinições pensadas e aprovadas pelos comitês.

Além disso, as definições apresentadas nesses instrumentos normalmente apontam o ano de alocação dos recursos, o que não necessariamente significa que sua totalidade será aplicada nesse mesmo ano. O próprio plano de ação mencionado no parágrafo anterior aborda também a previsão de investimentos em combate às perdas até o ano de 2035, considerando a necessidade da continuidade das ações para a manutenção de bons níveis de perdas.

O outro fator relevante para a análise em questão é a participação dos investimentos de outras fontes no planejamento e atuação dos CBH, incluindo o combate às perdas de SAA. Nesse sentido, a Tabela 6 mostra a proporção dos valores previstos para investimentos de fontes externas nos planos de ações dos comitês referentes a agenda estudada no presente trabalho.

Observa-se que o percentual de participação dos recursos geridos pelos comitês de bacias nas ações abrangidas pelos seus respectivos planejamentos no controle de perdas de SAA é bem menor em relação aos oriundos de outras fontes de financiamento. O CBH-SMT é aquele

que apresenta maior participação de recursos próprios e ainda assim não atinge 20% do investimento total previsto. Já os Comitês PCJ detêm a menor participação, o que mostra que o planejamento feito delega para os outros atores ligados aos sistemas de abastecimento de água a responsabilidade principal de direcionar recursos para o controle de perdas.

Com relação ao CBH-AT, a predominância de ações com previsão de financiamento de outras fontes vista no plano de ação do seu plano de bacias se mostra de acordo com as informações apresentadas no Relatório de Situação mais recente da FABHAT (2022), que destaca que aproximadamente R\$ 768 milhões foram investidos em 2021 em medidas de combate às perdas no abastecimento de água.

Tabela 6: Participação do controle de perdas de SAA nos investimentos previstos por CBH.

Comitê (Ano do plano de bacia)	Investimentos em combate às perdas em SAA previstos nos planos de bacias mais recentes (R\$)		Recursos próprios do CBH / Recursos de outras fontes (%)
	Financiamento com recursos geridos pelo CBH	Financiamento com recursos de outras fontes	
Comitês PCJ (2020)	300.000,00	42.690.161,22	0,70%
CEIVAP (2021)	2.000.000,00	-	-
CBH-SMT (2018)	6.007.835,28	28.283.000,00	17,52%
CBH-AT (2016)	8.719.528,68	597.795.000,00	1,44%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Observando a interação entre recursos externos e internos na organização do planejamento e conseqüentemente da atuação dos comitês não somente no âmbito das perdas mas na totalidade de suas ações, é necessário destacar que a apresentação dessas informações pelos comitês deveria ser feita de forma mais eficiente. Os bancos de dados virtuais disponibilizados pelos comitês não incluem informações sobre a presença de ações executadas por outras fontes, o que dificulta o acesso a esses dados e inviabiliza estudos e conseqüentemente proposições de soluções para os problemas da bacia, incluindo as perdas.

Dito isso, viu-se que os Comitês PCJ apresentaram o maior investimento em empreendimentos concluídos na temática de controle de perdas de SAA no período analisado, em comparação aos demais CBH considerados no presente estudo, tanto considerando o valor puro de investimento quanto o valor *per capita*. O alto valor investido está alinhado com a alta previsão de investimentos presente no Plano de Bacias PCJ 2010 e mostra que o comitê atuou de forma relevante na busca por melhorar a eficiência dos sistemas de abastecimento de água

da região, apresentando também a maior proporção de municípios com desempenho considerado satisfatório dentre as bacias analisadas.

Foi notado também uma expressiva redução no montante de investimentos previstos no plano de bacias anterior em comparação ao mais recente que, aliada a informação obtida de que a proporção de participação dos recursos de outras fontes nesses investimentos previstos é muito elevada instigam o questionamento sobre como será a atuação futura dos Comitês PCJ nessa problemática.

Em contrapartida, a análise temporal da evolução dos investimentos e dos níveis de perdas no abastecimento mostra-se de grande valia para buscar entender a efetividade de tais investimentos, bem como o estudo dessas ações por municípios das bacias.

5.1.2 Evolução temporal dos investimentos e indicadores de perdas em SAA

Analisando a evolução temporal da região com relação aos índices de perdas, as Bacias PCJ apresentaram um quadro de estabilidade no Índice de Perdas na Distribuição – IN049, que em 1999 tinha um valor médio para os municípios da bacia de 34,13%, e em 2018 apresenta valor de 33,55%. Para o Índice de Perdas por Ligação – IN051 o comportamento do indicador permitiu observar que o valor médio para a bacia foi reduzido para 246,33 l/ligação/dia, em comparação aos 429,40 l/ligação/dia de 1999.

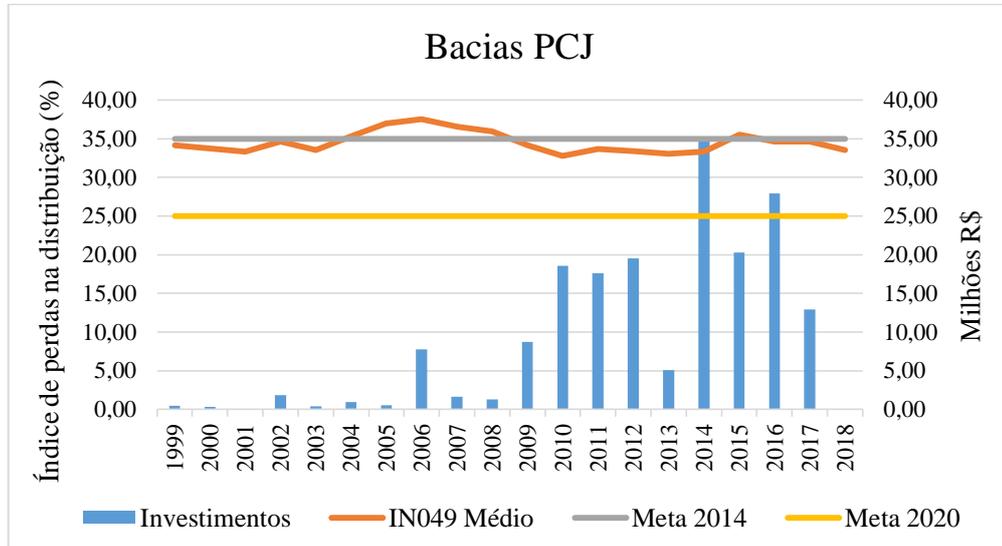
Ressalta-se que a média mencionada é ponderada, levando em conta o porte dos municípios para que se possa obter um valor mais adequado à realidade. É necessário, também, mencionar o número de operadoras que informou os dados para o SNIS, que em 1999 foi apenas de 11 municípios, em comparação ao dado de 2018, onde todos os 70 municípios do estudo apresentaram a informação.

Observou-se que apesar da estabilidade nos percentuais de perdas médios da região, de acordo com o SNIS, alguns municípios das Bacias PCJ apresentam ainda percentuais de perdas na distribuição superiores a 50%, casos de Analândia (50,55%), Itu (50,83%), Pedreira (52,25%), Piracicaba (56,76%), Rio das Pedras (53,82%), Santa Bárbara do Oeste (57,69%), Santo Antônio de Posse (57,03%), São Pedro (50,79%) e Tuiuti (57,4%) (SNIS, 2019).

Os gráficos apresentados a seguir na Figura 11 e Figura 12 mostram o comportamento temporal dos indicadores médios ponderados IN049 e IN051 respectivamente, bem como os valores dos investimentos realizados para cada ano do período de estudo e as metas consideradas nos planos de bacias hidrográficas da região.

Nota-se que a média de perdas na distribuição para a região em estudo alcançou o percentual equivalente ao da meta proposta pelo Plano Global de Redução de Perdas presente no Plano das Bacias PCJ 2010-2020 para 2014, que era de reduzir o IN049 das operadoras dos municípios para 35%. Porém, até o ano de 2018 o indicador médio ainda se mantém nesse patamar, acima dos 25% previstos pelo mesmo plano como meta para o ano de 2020.

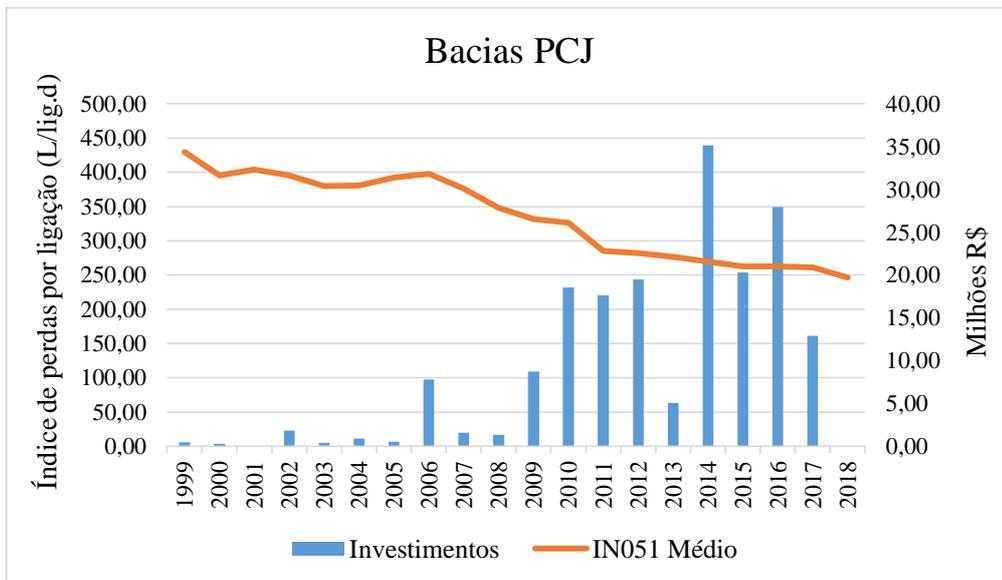
Figura 11: Evolução temporal do IN049 médio ponderado e dos investimentos em combate às perdas.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Fez-se análise semelhante para o indicador de perdas por ligação, sendo os resultados obtidos apresentados no gráfico da Figura 12, a seguir:

Figura 12: Evolução temporal do IN051 médio ponderado e dos investimentos em combate às perdas.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Para o IN051, que não é mencionado nas metas dos Planos de Bacias de 2010-2020, nem 2020-2035, notou-se um comportamento decrescente do indicador para praticamente todo o período analisado, confirmado com a redução dos níveis deste indicador mencionada no início desta seção do presente estudo.

A diferença de comportamento observada entre o IN049 e o IN051 reforça a importância de utilizar diferentes indicadores para produzir informação sobre um determinado fator, como apontam Santi, Cetrulo e Malheiros (2018). A causa da divergência dos indicadores em questão levanta diferentes hipóteses, dentre as quais destaca-se a ideia de possíveis melhorias no cadastro de ligações dos municípios, fator que tem influência direta no IN051, mas não no IN049.

Analisando a evolução da presença dos investimentos e o comportamento dos indicadores de perdas de SAA, não é possível observar uma correlação clara para as duas variáveis. Nota-se que a maioria dos investimentos foi apontada na segunda metade do intervalo de tempo estudado, período coincidente com a vigência do Plano de Bacias onde a previsão de investimentos para perdas foi a maior, como discutido na seção anterior.

Entretanto, tanto para o IN049, onde observa-se uma estabilidade na faixa de valores do indicador médio, quanto para o IN051, onde se nota uma curva de redução do índice, vê-se que o comportamento das curvas temporais dos indicadores nos gráficos é semelhante, seja na primeira metade, com ausência de maiores investimentos, seja na segunda, quando se observa a maior incidência de empreendimentos financiados.

Diante disso, mostra-se mais uma vez importante conhecer informações sobre a existência de investimentos para a problemática das perdas de SAA provindos de outros financiadores, permitindo assim avaliar a relação dos investimentos totais nesse aspecto com os indicadores que mostram o seu desempenho.

No entanto, a própria identificação desta necessidade a partir da análise feita na presente seção, aliada ao estudo sobre o planejamento e a previsão dos investimentos e suas fontes de financiamento feito na seção anterior já expõem a relevante observação de que ainda que os Comitês PCJ venham executando um programa robusto no combate às perdas no abastecimento de água o engajamento e atuação harmônica das operadoras nos municípios é essencial para o alcance de resultados satisfatórios.

Também nesse sentido, nota-se que apesar do valor médio dos indicadores fornecer uma visão geral sobre a situação das Bacias PCJ, a análise individual de cada operadora é imprescindível para a visualização das disparidades existentes e a tentativa de identificar e entender as causas destas disparidades. Assim, nas seções a seguir são apresentados os gráficos de distribuição dos investimentos discutidos anteriormente e de evolução temporal dos indicadores e das ações investidas para as operadoras dos municípios selecionados para a problemática abordada no presente trabalho.

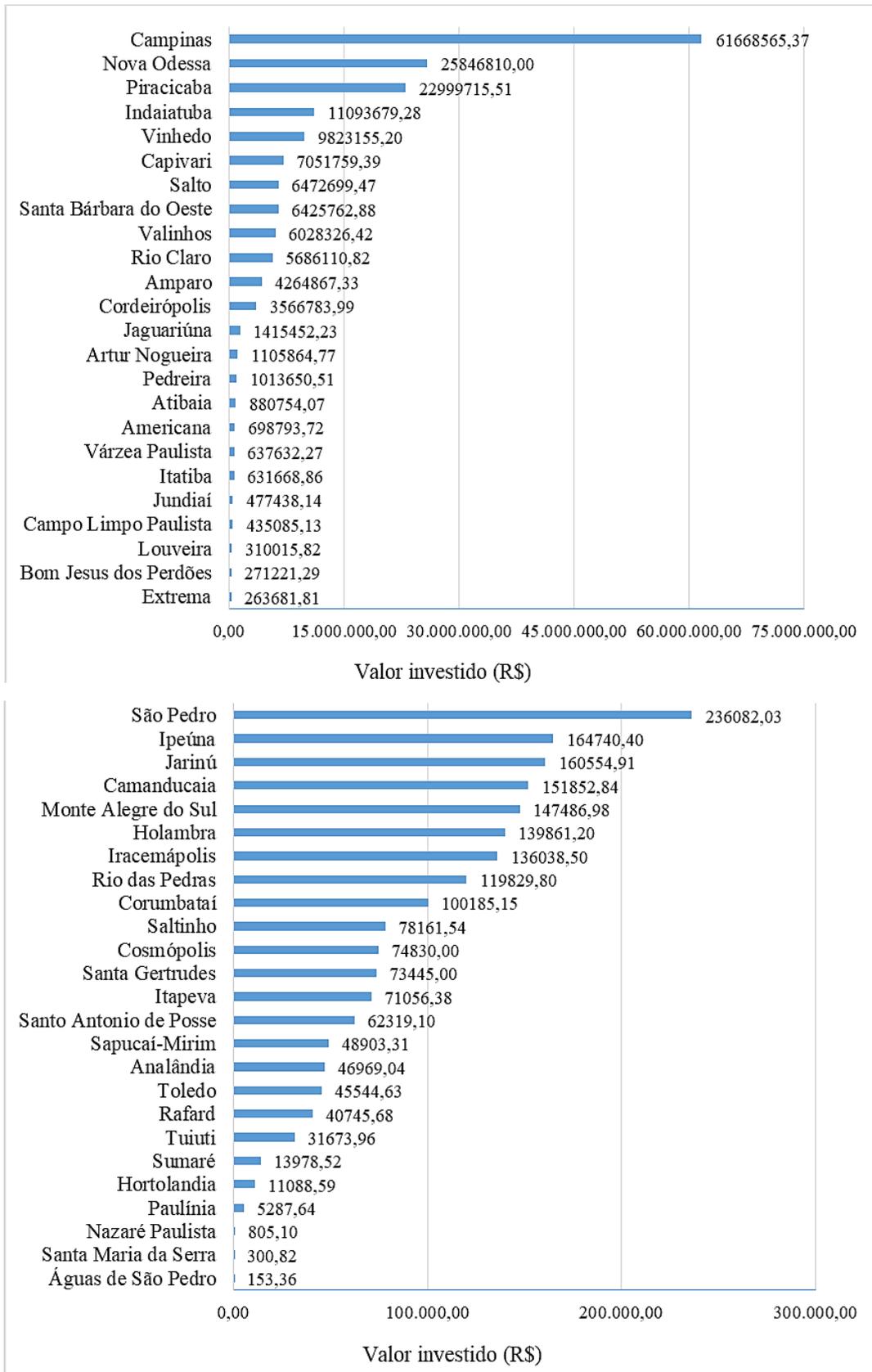
5.1.3 Distribuição dos investimentos em controle de perdas nas Bacias PCJ

De modo a visualizar a distribuição dos valores investidos dentro das Bacias PCJ, fez-se a classificação dos municípios de acordo com os investimentos recebidos para as ações que já foram executadas completamente, ou seja, considerando apenas os empreendimentos concluídos. Optou-se por trabalhar somente com os valores para as ações que já tiveram a conclusão apresentada devido a inviabilidade de analisar no presente estudo o quão implicam no combate às perdas os empreendimentos de diversos tipos, em diferentes estágios de execução. O gráfico da Figura 13 apresenta essa classificação.

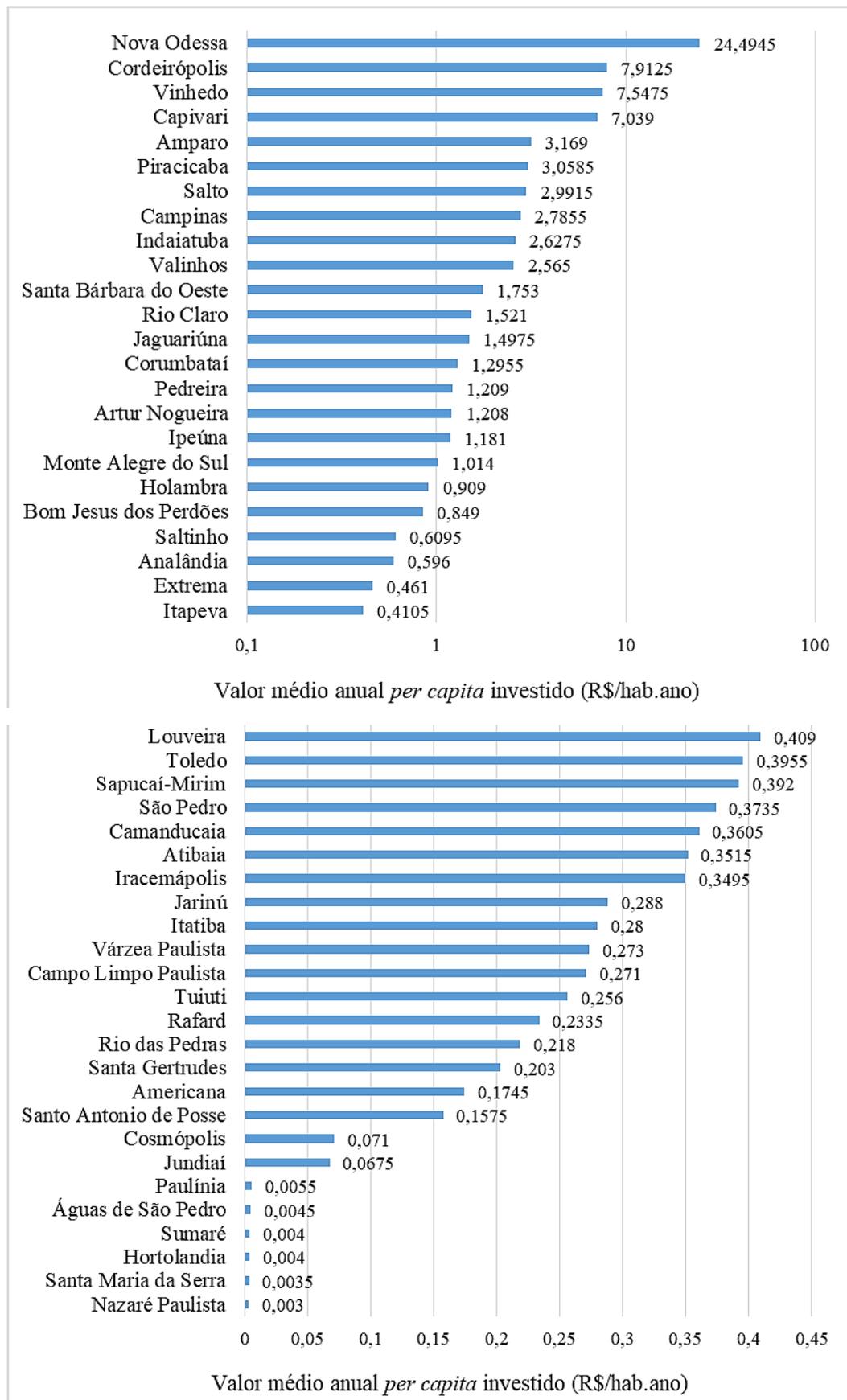
Dentre os dados conseguidos sobre os valores em discussão, haviam investimentos financiados pelo PCJ direcionados individualmente às operadoras de cada município, mas foram levantados também projetos cujos beneficiários eram mais de uma operadora, correspondendo a ações conjuntas entre tais. Para mensurar a distribuição destes valores de investimentos compartilhados entre operadoras de mais de um município e os seus respectivos setores de combate às perdas de água foi considerado que o montante recebido das ações compartilhadas possui um valor proporcional ao seu porte, ou seja, ao tamanho de sua população.

Em termos de valores absolutos, Campinas, única metrópole presente na região das Bacias PCJ e conseqüentemente o município de maior porte foi o que apresentou o maior investimento para o período analisado, ultrapassando R\$ 60 milhões. Em seguida ficaram Nova Odessa com aproximadamente R\$ 25,9 milhões investidos e Piracicaba com cerca de R\$ 23 milhões. Por outro lado, houveram municípios que não tiveram nenhum investimento oriundo dos recursos dos Comitês PCJ para combate às perdas e, portanto, não são apresentados no gráfico em discussão.

Figura 13: Valor absoluto investido pelo PCJ em perdas de 1999 a 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 14: Valor médio *per capita* anual investido pelo PCJ em perdas, de 1999 a 2018.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Diante do conhecimento da existência de municípios de variados portes dentro da região em estudo, como visto no Quadro 12 e já apresentado no item 4.1.1 do presente documento, foi executada também a classificação dos municípios de acordo com o valor médio *per capita* anual investido em combate às perdas, como apresentado no gráfico da Figura 14. Para a obter essa classificação, foi considerada a população dos municípios referente ao ano de contrato do empreendimento financiado. Fez-se então, a média do investimento *per capita* por ano para todo o período do estudo.

Nova Odessa, município de médio porte, apresentou um valor de investimento médio *per capita* anual de aproximadamente R\$24,50 reais por habitante, o maior observado para a amostra estudada e muito superior aos demais. Cordeirópolis e Vinhedo, os municípios seguintes com maior valor de investimento *per capita* apresentaram números de cerca de R\$7,91 e R\$7,55, respectivamente, evidenciando esta distância. A evolução temporal de investimentos e dos indicadores para esse município é apresentada na Figura 15.

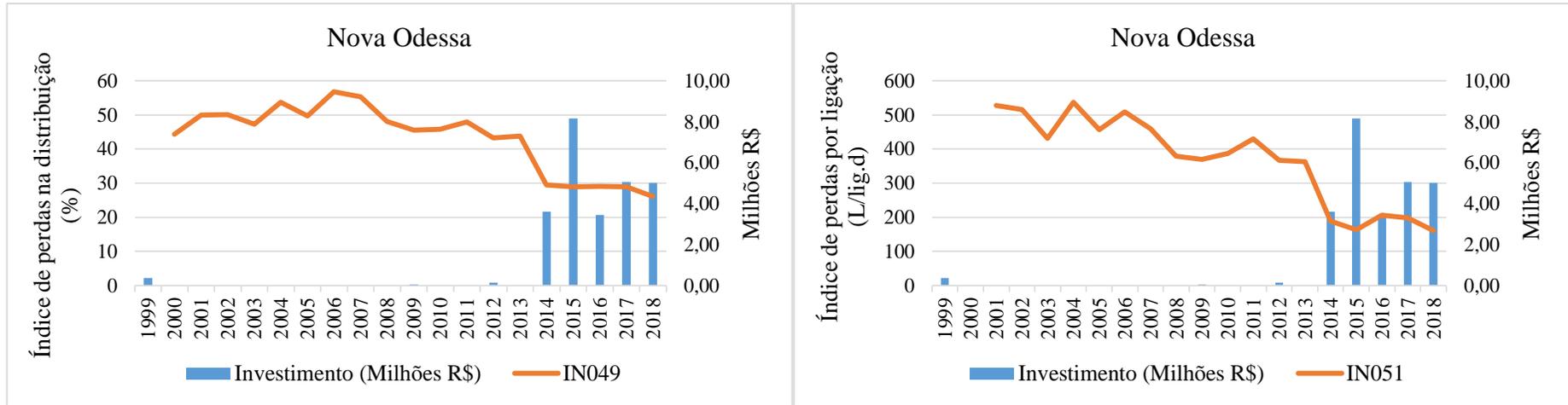
Em conversa com uma representante da operadora de serviços de água desse município, foi relatado que o elevado número de investimentos financiados pelo PCJ em controle de perdas se deveu a definição desta problemática como prioridade pela gestão da empresa, havendo uma diretoria responsável exclusivamente sobre o tema.

Campinas, município mais populoso e que apresentou o maior valor investido em números absolutos, teve uma média anual de investimento *per capita* de R\$2,78, ficando abaixo de municípios de médio porte, como Amparo e Salto com valores de R\$3,17 e R\$2,99, respectivamente. Vê-se também a sua evolução temporal para esses parâmetros na Figura 16.

A partir da análise temporal executada foi possível perceber diferentes comportamentos dos indicadores de perdas, bem como a diversidade sobre a presença e quantidade dos investimentos em seu combate. Destaca-se também, o caso de Piracicaba, com um dos maiores valores *per capita* anual investidos, como observado na Figura 14, mas que apresenta elevados índices de perdas de água, entre os piores da bacia, e por outro lado, observa-se a situação de Limeira, que sem nenhum investimento financiado pelos recursos do PCJ apresenta um bom desempenho no quesito, atendendo à meta de perdas do Plano de Bacias para 2020. Na Figura 17 e Figura 18 vê-se a evolução temporal para Limeira e Piracicaba, respectivamente.

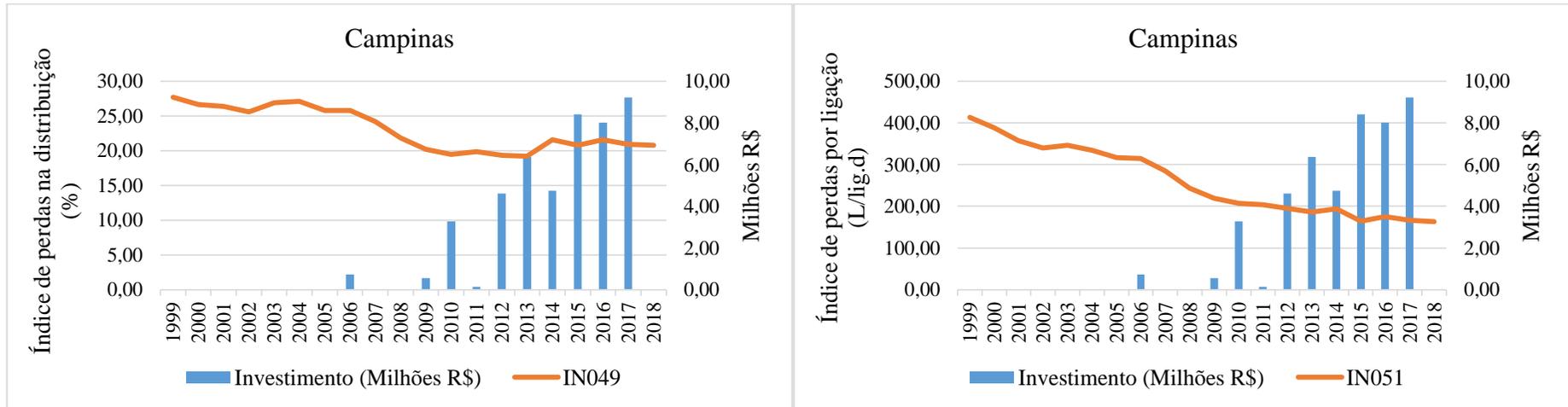
Por meio de conversa com representantes da operadora de água do município de Limeira fez-se a apresentação da pesquisa e discussão dos indicadores e da atuação da operadora. Porém, não foi possível coletar dados referentes aos investimentos das ações no controle de perdas.

Figura 15: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Nova Odessa.



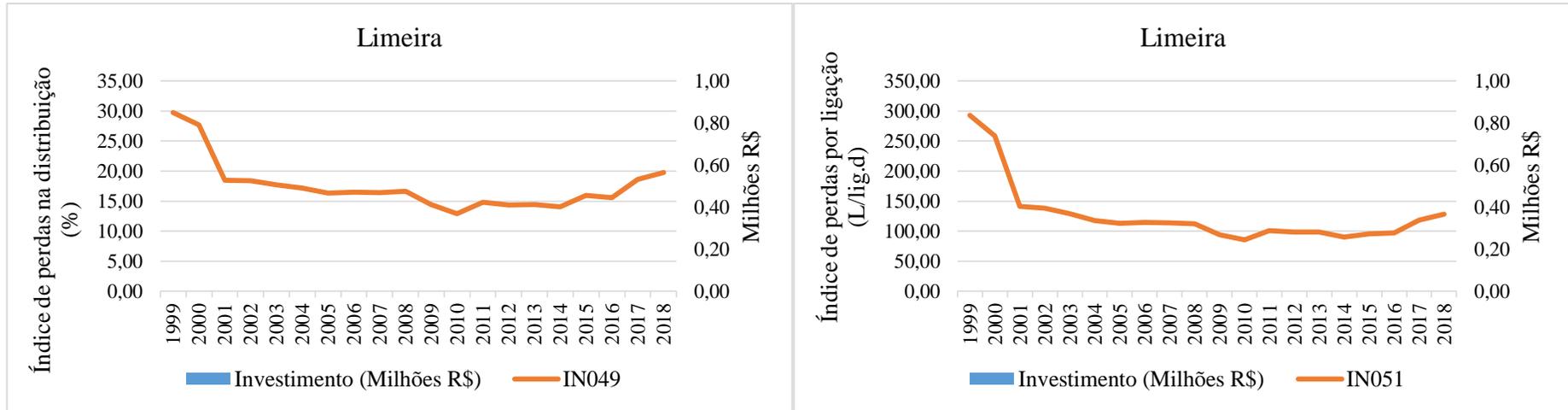
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 16: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Campinas.



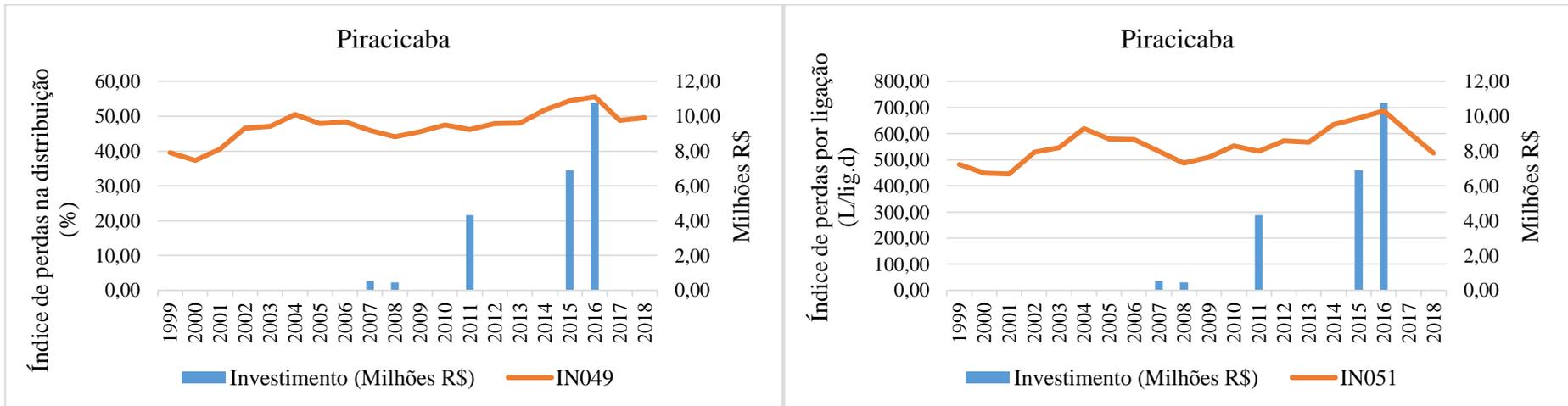
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 17: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Limeira.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 18: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Piracicaba.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

A disparidade observada para os níveis de desempenho em combate às perdas, juntamente à presença de um programa de investimento há mais de 20 anos na região instiga o interesse em aprofundar a análise sobre a eficiência das operadoras e entender os fatores intervenientes a efetividade da execução das práticas de controle.

No Apêndice I do presente trabalho são apresentados os gráficos de evolução temporal dos indicadores IN049 e IN051 e dos investimentos com recursos dos Comitês PCJ aplicados para todos os municípios abrangidos no presente estudo.

5.2 BENCHMARKING DOS INVESTIMENTOS PCJ EM CONTROLE DE PERDAS DE SAA

5.2.1 Efetividade dos investimentos por natureza jurídica da operadora

Como analisando a evolução temporal das operadoras em termos de seu desempenho em controle de perdas de SAA não foi possível extrair uma correlação evidente com a presença de investimentos nesse quesito, devido aos fatores já discutidos anteriormente, tanto para a análise geral dos Comitês PCJ, quanto por município, buscou-se estudar se essa relação é observada classificando os municípios de acordo com a natureza jurídica das suas operadoras de água, seguindo o levantamento apresentado na seção de caracterização da área de estudo.

Ao todo, 14 operadoras da região em estudo têm sua natureza jurídica do tipo administração pública direta. Nota-se observando os gráficos da Figura 21 que não há também um padrão de distribuição que mostre uma relação dos investimentos dos Comitês PCJ com os indicadores de desempenho em perdas dos sistemas de abastecimento.

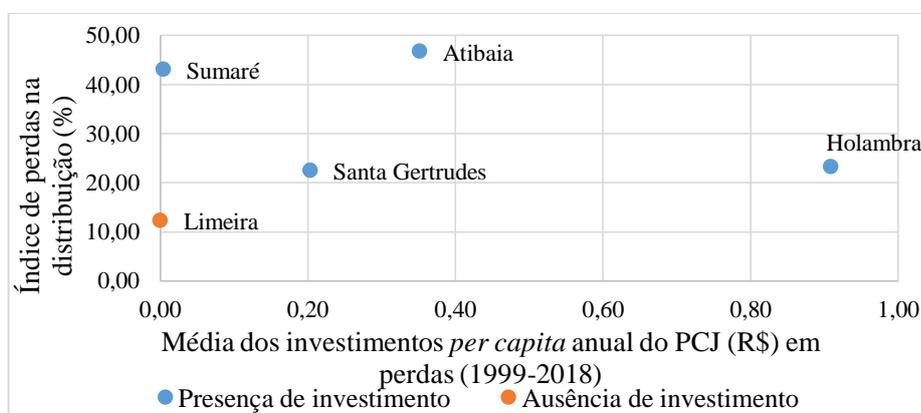
Nota-se por exemplo, que a operadora de água do município de Jaguariúna recebeu um investimento *per capita* de aproximadamente R\$ 1,50, e ainda assim possui índices de perdas, tanto na distribuição quanto por ligação, muito superiores a Santa Maria da Serra, que teve investimento praticamente nulo.

Para o grupo de operadoras de água de natureza jurídica do tipo autarquia, que abrange as prestadoras dos serviços de abastecimento de 18 municípios, notou-se uma faixa de valores mais ampla, variando de R\$ 0,00 a R\$ 7,92 per capita investidos. Através da Figura 22 observa-se que as operadoras que receberam o maior investimento, especialmente Cordeirópolis e Capivari, apresentam os melhores valores para o IN049. Vinhedo, que também recebeu um dos maiores investimentos tem um IN049 maior, mas ainda assim abaixo de quase todos os outros municípios cujas operadoras receberam menos investimentos, o que se repete para o IN051.

Para o grupo de municípios com operadoras do tipo empresa pública ou privada, bem como para os de sociedade de economia mista, viu-se novamente a ausência de correlação entre os quantitativos de investimentos em controle de perdas financiados pelo PCJ e os indicadores de desempenho IN049 e IN051, como é mostrado da Figura 19, Figura 20 e Figura 23. É importante observar que as faixas de valores de investimento *per capita* para os dois últimos grupos mencionados também são pouco amplas e situam-se em intervalos de R\$ 0,00 a R\$ 0,61, excetuando-se o município de Campinas (com R\$ 2,78) e Nova Odessa (com R\$ 24,50).

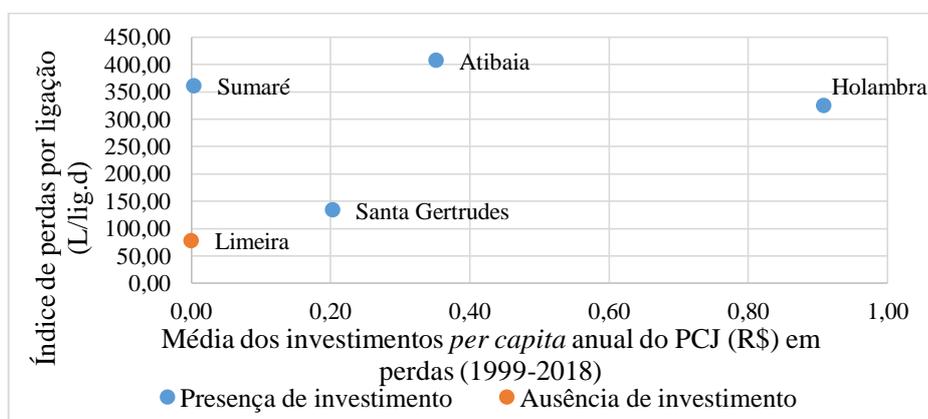
Assim, vê-se na amplitude da faixa de valores investidos um possível fator de interferência para o desempenho, pensando num valor base de investimento a partir do qual se consiga enxergar melhorias nos indicadores de perdas. Entretanto, os resultados para todos os grupos reforçam a indicação de que o conhecimento dos investimentos em sua totalidade é necessário para uma avaliação mais robusta.

Figura 19: Relação do IN049 (2019) com os investimentos das operadoras do tipo empresas públicas ou privadas



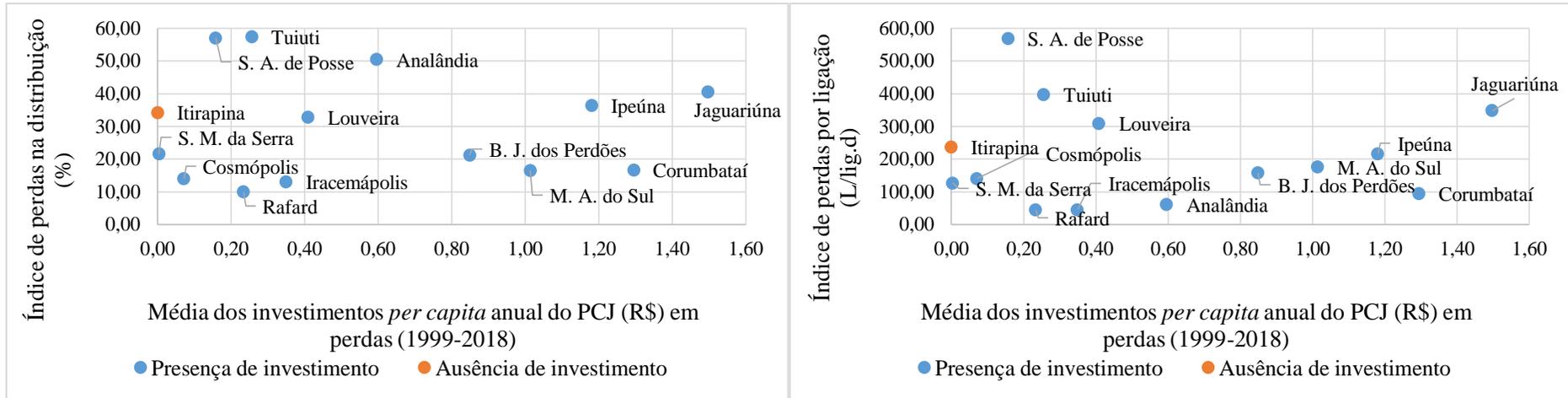
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 20: Relação do IN051 (2019) com os investimentos das operadoras do tipo empresas públicas ou privadas



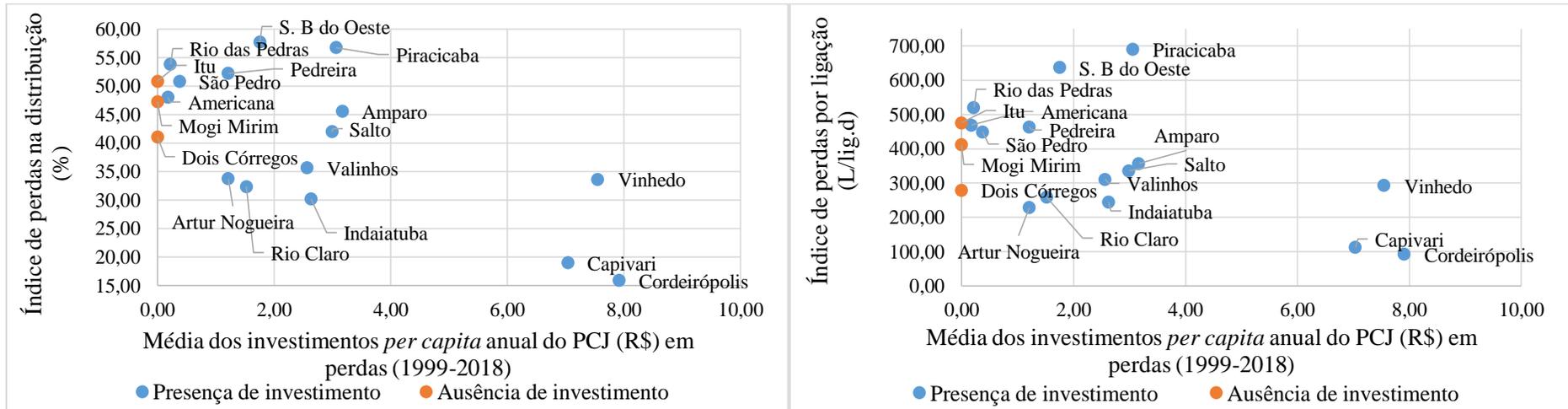
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 21: Relação do IN049 e IN051 (2019) com os investimentos das operadoras do tipo administração pública direta.



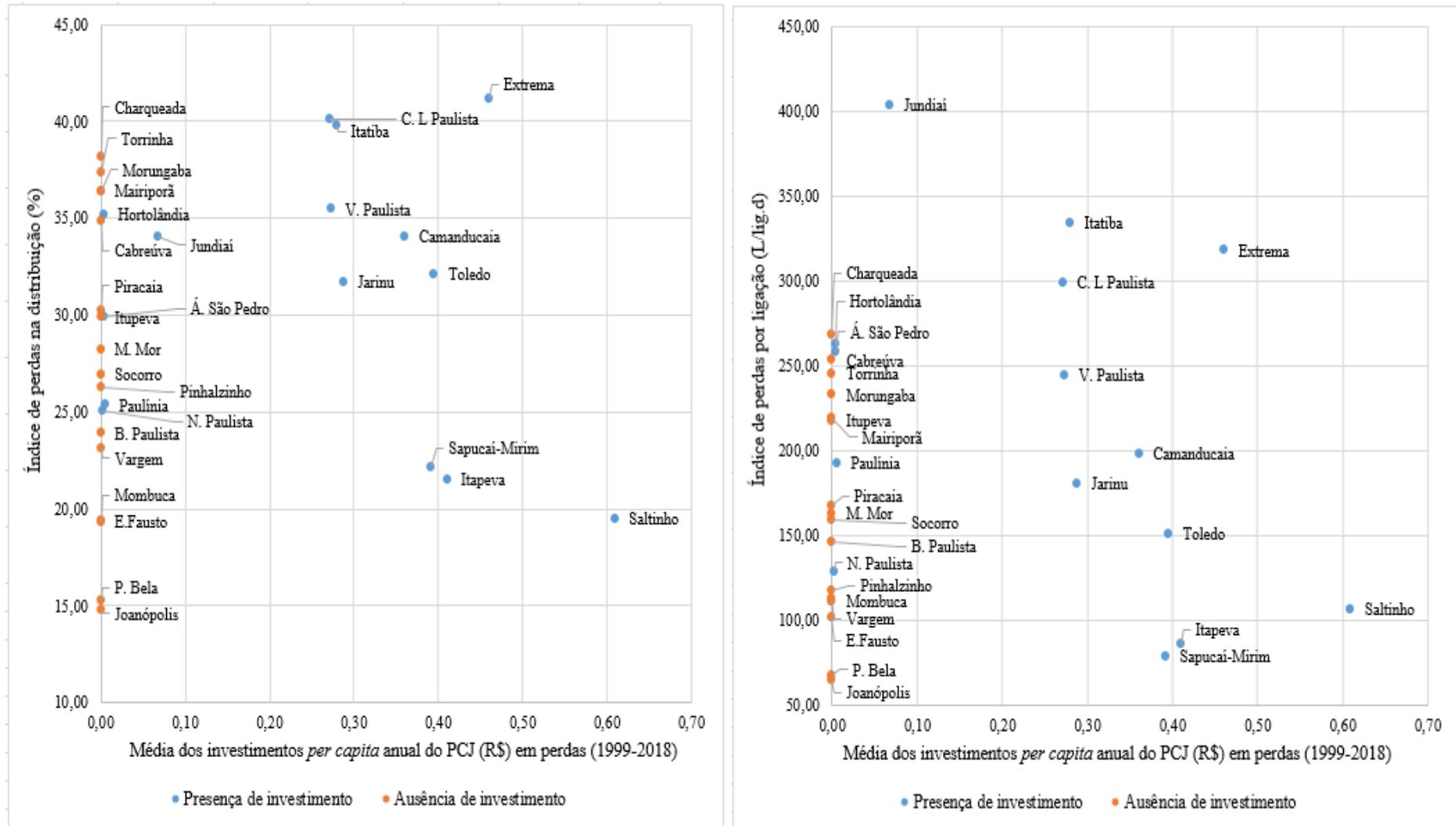
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 22: Relação do IN049 e IN051 (2019) com os investimentos das operadoras do tipo autarquias.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 23: Relação do IN049 e IN051 (2019) com os investimentos das operadoras do tipo sociedade de economia mista.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Na Figura 23, para se ter uma melhor visualização nos gráficos foram retirados os municípios de Campinas e Nova Odessa, devido se encontrarem em faixas de investimento per capita bem acima dos demais, especialmente Nova Odessa.

A forma como os indicadores de perdas se apresentaram com relação ao quantitativo de investimentos feitos pelos Comitês PCJ tornou inviável a execução do *benchmarking* métrico para associar os melhores níveis de desempenho aos investimentos realizados.

5.2.2 Práticas abrangidas pelos investimentos

A partir do estudo sobre as informações de todos os investimentos realizados no recorte temporal da presente pesquisa, fez-se a associação das classes e práticas de controle de perdas apresentadas na metodologia do trabalho com a descrição dos investimentos financiados pelo PCJ, identificando o direcionamento das ações em termos da classificação mencionada.

Antes de discutir a presença de tais práticas nos empreendimentos financiados pelo PCJ, é preciso levar em conta também o caráter de cada tipo de ação no combate às perdas de SAA para que não se interprete a ausência de investimentos financiados pelo comitê como uma evidência da ausência da prática. Em outras palavras, entenda-se que no âmbito do controle de perdas há práticas que não demandam elevados investimentos, apesar de sua importância.

Assim, será aqui primeiramente feita uma abordagem apresentando a distribuição dessas práticas presentes nos investimentos do PCJ que foram levantados, de acordo com as operadoras que foram contempladas por tais investimentos, fornecendo assim o quantitativo das práticas presentes em mais municípios.

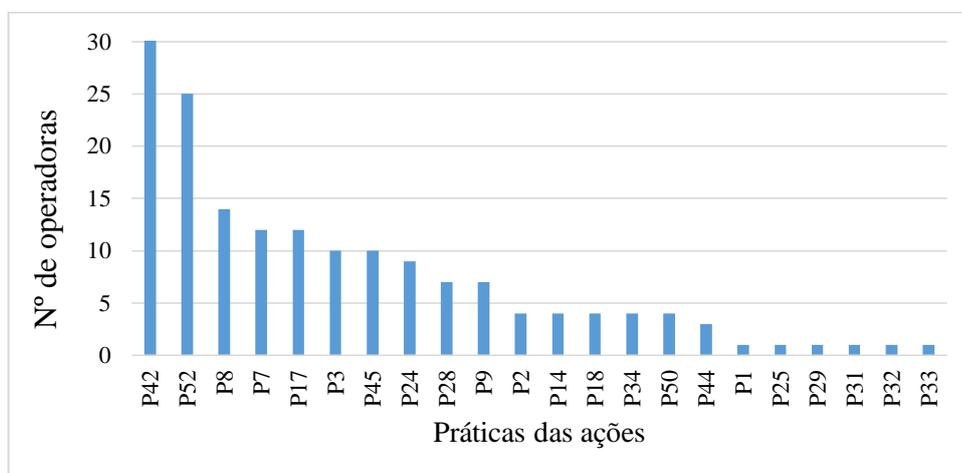
A síntese das práticas de combate às perdas em SAA aplicadas através dos investimentos dos Comitês PCJ mostrada na Figura 24 mostra que a prática P42, referente a execução de planos de combate às perdas foi a que abrangeu mais operadoras por meio dos empreendimentos executados. Esse dado mostra uma interessante conduta dos Comitês PCJ em financiar empreendimentos que assumem o papel primordial para execução dos programas de perdas, que é a formulação do seu planejamento, que por sua vez, tem nos planos diretores o seu principal instrumento norteador.

Com relação a participação de práticas por investimentos, as práticas P17, referente a priorização de utilização de tubulações não metálicas, e a P7, referente a substituição de tubulações foram as mais presentes. Ambas estão intimamente relacionadas, já que essa

priorização de materiais de melhor eficiência nos sistemas de abastecimento é posta em prática principalmente por meio das substituições de tubos antigos do sistema.

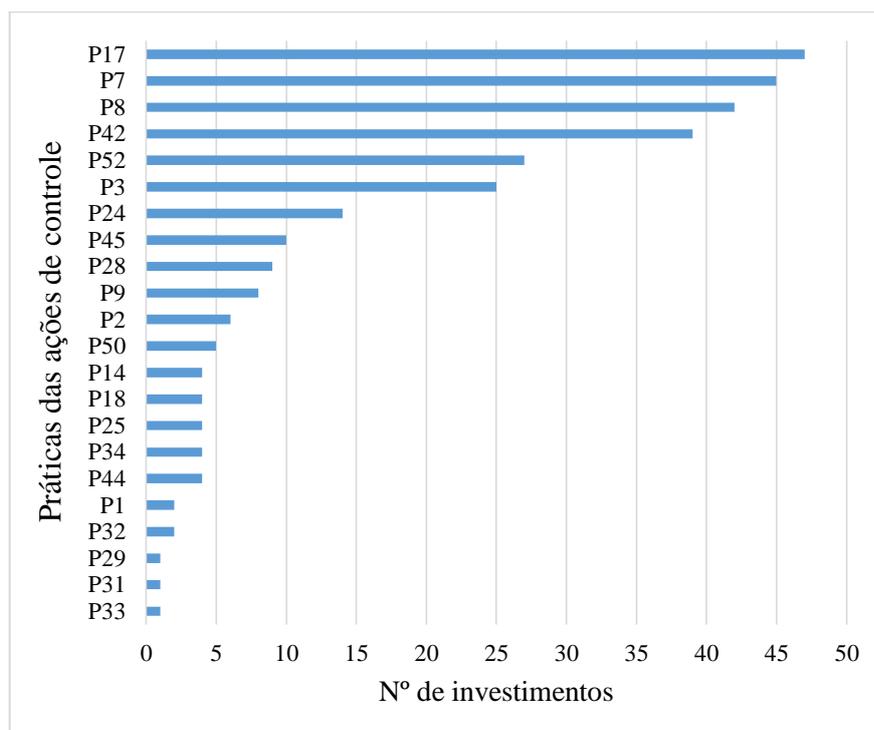
Ressalta-se, no entanto, que essas substituições não ocorrem somente para materiais metálicos, mas sim para todos aqueles que apresentem problemas, ou iminência de falhas. A Figura 25 mostra a distribuição mencionada no parágrafo anterior.

Figura 24: Proporção da presença de investimentos PCJ em ações de controle de perdas.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 25: Práticas abrangidas nos investimentos PCJ em controle de perdas.

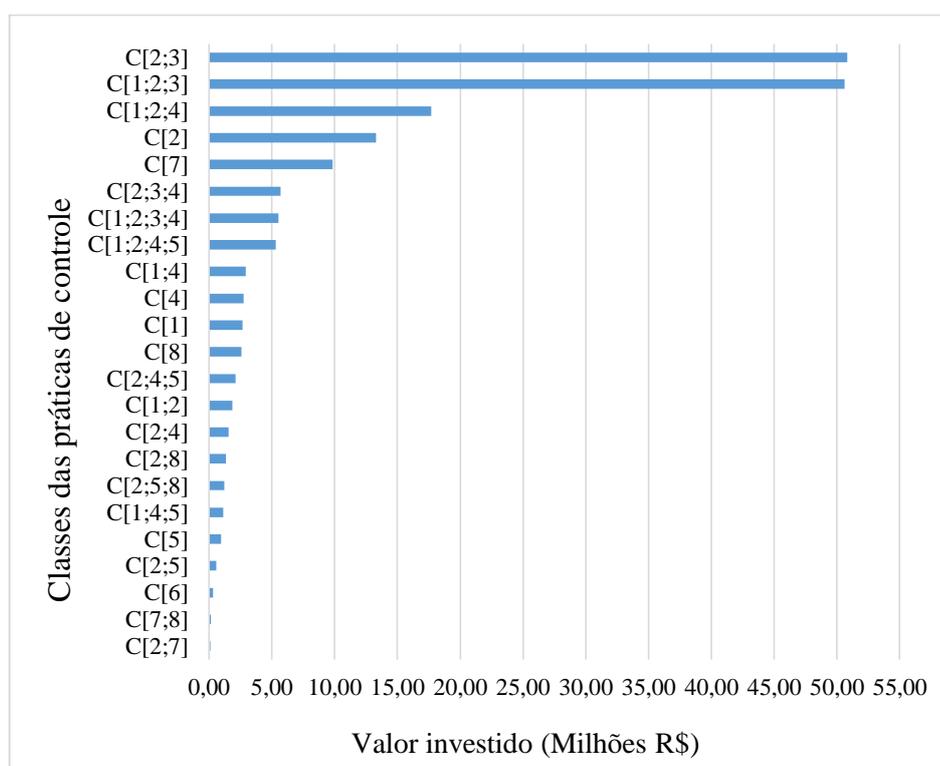


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Quanto às classes que abrangem as práticas mencionadas nos parágrafos anteriores, não foi possível fazer uma classificação de forma individualizada para analisá-las, devido ao caráter das descrições apresentadas para os investimentos, que normalmente remontam de forma igualitária mais de uma das definições das classes.

Ainda assim, é possível distinguir aquelas que estão mais intimamente atreladas a fim de fornecer a distribuição dessas classes por investimentos. A classificação das classes de práticas abrangidas nos Investimentos PCJ é apresentada na Figura 26.

Figura 26: Investimentos PCJ por classes de práticas em controle de perdas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

As Classes 1, 2 e 3 foram as que abrangeram os maiores valores investidos, demonstrando o caráter de preocupação dos Comitês PCJ com as ações de gerenciamento de pressão, gestão de infraestrutura e controle de corrosão das tubulações. Entretanto, como já mencionado neste capítulo, é necessário considerar também que o montante exigido de investimento em determinadas ações é quase obrigatoriamente maior que outras, não devido necessariamente a preocupação maior com tais, mas simplesmente pela característica de exigência de recursos financeiros dessa ação.

5.3 ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DAS AÇÕES PCJ EM CONTROLE DE PERDAS

Para avaliar o alinhamento dos investimentos dos comitês PCJ em controle de perdas dentro do conceito de gestão sustentável, a matriz de interação apresentada a seguir relaciona todas as práticas levantadas e apresentadas no item anterior, com pesos referentes a seu impacto no viés ambiental, social e econômico, de acordo também com cada etapa do SAA abrangida.

Quadro 16: Matriz de interação das práticas de controle de perdas inseridas nos investimentos em controle de perdas do PCJ com a gestão sustentável.

Categoria	Prática de controle de perdas inserida nos investimentos PCJ	Infraestrutura de abastecimento (Dimensão econômica)					Público / consumidores (Dimensão social)			Uso racional (Dimensão ambiental)		Resultado Parcial			
		Captação	ETA	Ligações de água	Tubulação	Reservatórios	Tarifa	Consumo	Reconhecimento	Perdas na distribuição	Perdas no faturamento	Pontuação total da ação	Pontuação na dimensão econômica	Pontuação na dimensão social	Pontuação na dimensão ambiental
Gestão	P14 - Treinamento para a equipe de manutenção e operação (certificação)	5	5	5	5	5	1	1	1	5	3	36	25	3	8
	P25 - Equipe exclusiva para 'caça a vazamentos'.	1	1	5	5	1	1	1	5	5	3	28	13	7	8
	P33 - Treinamento adequado da equipe de leitura dos hidrômetros	1	1	1	1	1	5	5	5	1	5	26	5	15	6
	P42 - Estabelecer um plano / programa de combate às perdas de água	3	3	5	5	3	3	3	1	5	5	36	19	7	10
	P44 - Departamento / seção específica da organização com foco no controle de perdas	3	3	5	5	3	1	3	1	5	3	32	19	5	8
	P45 - Diagnóstico da situação de perdas na cidade	3	3	5	5	5	1	3	1	5	5	36	21	5	10
	Pontuação total por categoria											194	102	42	50
Técnica	P1 - Utilização de medidores de pressão e acompanhamento de pressões na rede	1	1	5	5	3	1	1	1	3	3	24	15	3	6

	P2 - Centro de tele controle para acessar as pressões na rede em tempo real	1	1	3	5	5	1	1	1	5	3	26	15	3	8
	P3 - Utilização de válvulas redutoras de pressão	1	1	3	5	3	1	3	1	5	3	26	13	5	8
	P7 - Substituição de tubos e conexões antigas	3	3	5	5	3	1	1	3	5	5	34	19	5	10
	P8 - Macromedição	5	5	3	3	5	1	1	1	3	1	28	21	3	4
	P9 - Geoprocessamento no cadastro de redes e adutoras	3	3	5	5	3	1	1	1	1	1	24	19	3	2
	P17- Priorização do uso de tubulações não metálicas	1	1	5	5	3	1	1	3	3	1	24	15	5	4
	P18 - Uso de dispositivos de escuta no solo para detectar vazamentos invisíveis.	1	1	5	5	1	1	1	1	5	3	24	13	3	8
	P24 - Organização do sistema em zonas de medição (setorização, MCD).	1	1	5	3	1	3	3	1	3	5	26	11	7	8
	P28 - Troca corretiva de hidrômetros	1	1	1	1	1	5	5	5	1	5	26	5	15	6
	P29 - Troca preventiva e otimizada de hidrômetros	1	1	5	1	1	5	5	5	3	5	32	9	15	8
	P31 - Uso de hidrômetros mais precisos	1	1	5	1	1	5	5	5	3	5	32	9	15	8
	P32 - Utilização de hidrômetros com telemetria através de rádio frequência	1	1	5	1	1	5	5	5	3	5	32	9	15	8
	P50 - Investimento em tecnologias de controle de perdas	5	5	5	5	5	3	3	3	5	5	44	25	9	10
	Pontuação total por categoria											402	198	106	98
Comunicação social	P34 - Conscientização da população sobre o problema das fraudes e ligações clandestinas	1	1	5	1	1	5	5	5	1	5	30	9	15	6
	P52 - Investir em cursos de capacitação de pessoal voltados para o controle de perdas	1	1	1	1	1	3	5	5	3	3	24	5	13	6
	Pontuação total por categoria											54	14	28	12
Somatório da pontuação das ações por componente		44	44	90	78	56	52	62	60	78	84				

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

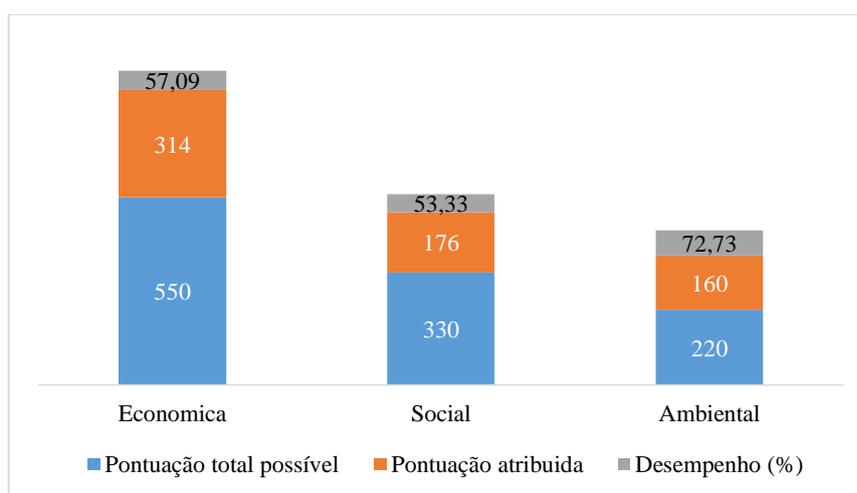
Aplicando os dados obtidos na matriz, nota-se que do total de 22 práticas levantadas no estudo, seis se caracterizam como práticas da categoria gestão, 14 na categoria técnica e duas na categoria de comunicação social. Essa disparidade na quantidade de ações de cada categoria também foi vista no trabalho de Cunha, Santos e Gonzalez (2021) e se deve entre outros fatores, a complexidade de cada especificidade abordada por tais categorias, o que, como apontado por

Silva e Porto (2003), interferem qualitativamente e quantitativamente na aplicação de práticas para solucionar tais problemas.

Assim, como já discutido nas seções anteriores do presente trabalho, a análise em questão precisa atender-se ao desempenho conjunto das ações de combate às perdas para buscar entender como esse conjunto impacta cada dimensão de sustentabilidade, bem como cada categoria de práticas pode ser melhorada para beneficiar tal conjunto.

É interessante, portanto, observar dentro de cada dimensão o quanto ela se aproximou de atingir a melhor avaliação de acordo com a ferramenta usada. A Figura 27 apresenta o gráfico de desempenho de cada dimensão de sustentabilidade analisada.

Figura 27: Potencial de influência das práticas em combate às perdas sobre as dimensões de sustentabilidade.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Lembrando que cada dimensão tem sua pontuação máxima possível de acordo com a quantidade de componentes atribuídos, vê-se que, possuindo o menor limite de pontuação, a dimensão ambiental obteve o melhor desempenho, alcançando 72,73% do que podia ser atribuído para as ações em prática avaliadas. As dimensões econômica e social obtiveram respectivamente 57,09 e 53,33% de desempenho. Ao interpretar os dados desempenho é necessário observar que a dimensão econômica possui um número de componentes maior, equivalente a soma das outras duas dimensões.

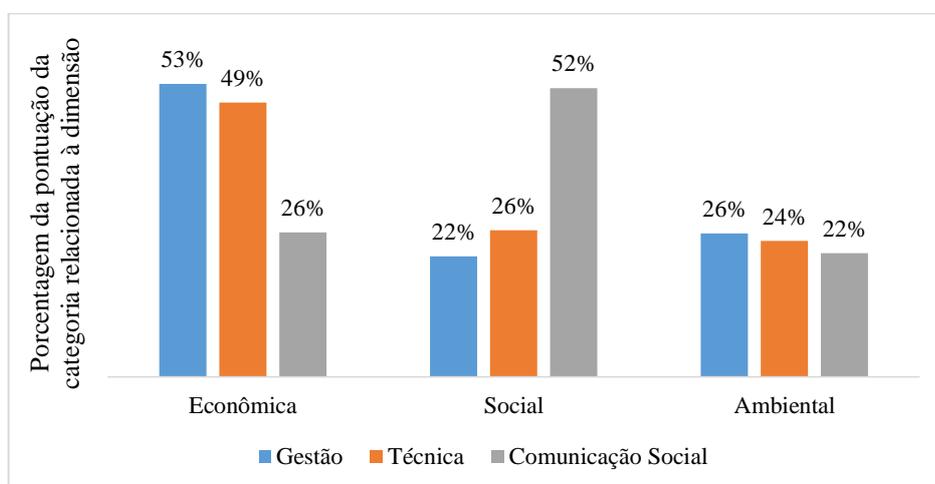
Apesar do desempenho nas diferentes dimensões de sustentabilidade analisadas não estar equilibrado, especialmente com relação a dimensão ambiental, observa-se que, com exceção da prática P50, cuja descrição é bastante geral e portanto abrange bem todos os

componentes, nenhuma prática obteve pontuação menor que 24 e superior a 36 considerando o somatório total das notas de cada componente.

Além disso, como também observado por Cunha, Santos e Gonzalez (2021), a avaliação das práticas deve tomar em conta tanto o seu conjunto, como também a interdependência das dimensões de sustentabilidade, podendo assim uma prática avaliada como fraca em dada dimensão, ser extremamente positiva para outra, como é o caso da prática P33 que, mesmo com desempenho baixo, de 20%, na dimensão econômica, apresenta 100% de desempenho na avaliação da dimensão social.

Nesse sentido, o gráfico da Figura 28 apresenta a relação de influência das práticas organizadas por categorias sobre cada dimensão de sustentabilidade.

Figura 28: Relação do desempenho das categorias de práticas com as dimensões de sustentabilidade.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Vê-se que o comportamento das categorias Gestão e Técnica são similares, tendo maior influência na dimensão econômica, 53 e 49% de participação, respectivamente, e comportamento semelhante nas demais dimensões. A categoria Comunicação Social, por sua vez, teve sua participação concentrada na dimensão social (52%), apresentando somente 26% da pontuação atrelada a dimensão econômica.

Para a dimensão ambiental, cujo desempenho foi o melhor observado na análise geral entre as três dimensões, o comportamento de cada categoria foi similar, estando todas na faixa próxima aos 25% de participação. Este comportamento é semelhante ao encontrado por Cunha, Santos e Gonzalez (2021), o que pode indicar uma linha de atuação coincidente na tomada de ações e práticas de combate às perdas de SAA. Entretanto, mais estudos em diferentes âmbitos espaciais e institucionais são necessários para averiguar essa indicação.

Logo, através da análise da matriz de interação, considerando a importância de que as ações presentes nos investimentos dos Comitês PCJ ocorram de forma harmônica e equilibrada nas três dimensões da sustentabilidade, verifica-se que é preciso fortalecer principalmente a participação da dimensão social. Os resultados obtidos são semelhantes aos de Cunha, Santos e Gonzalez (2021), entretanto, tais autores fizeram sua avaliação em uma operadora, âmbito espacial diferente de um comitê de bacia.

6 CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos na pesquisa e os relacionando com as informações levantadas ao longo de todo o trabalho, tanto na revisão bibliográfica sobre o tema quanto na caracterização da área de estudo e definição dos aspectos metodológicos, conclui-se que a atuação dos Comitês PCJ no combate às perdas dos sistemas de abastecimento de água se destaca no âmbito dos comitês de bacias hidrográficas no cenário paulista, tanto em relação ao seu planejamento quanto a execução de empreendimentos para enfrentar essa problemática.

Na comparação com os demais comitês de bacias analisados, percebeu-se que para as últimas duas décadas os Comitês PCJ investiram com seus recursos valores muito superiores aos apresentados pelos demais, evidenciando sua atenção e inclusão do controle de perdas de forma relevante no planejamento das ações de saneamento, mostrando uma gestão harmônica entre essa pasta e a gestão de recursos hídricos da região.

Verificou-se também que ainda que a atenção dos comitês de bacias ao problema das perdas em SAA seja presente, é imprescindível a atuação conjunta das empresas operadoras de água para melhoria da eficiência do setor.

Quanto a visualização da efetividade dos investimentos dos Comitês PCJ na melhoria do desempenho das operadoras nos indicadores de perdas, apesar de não se ter conseguido verificar a influência de investimentos externos para então obter uma conclusão clara sobre o impacto da presença das ações do comitê, viu-se que no cenário geral da região os índices de perdas mantiveram ou melhoraram seus níveis. Assim, considerando a análise de evolução temporal executada sobre o comportamento destes indicadores, conclui-se que os investimentos não permitiram que esses níveis piorassem.

Identificou-se através da pesquisa a diversidade da gama de ações englobadas pelos investimentos dos Comitês PCJ analisados, mostrando atenção primordial a inclusão de planos diretores de combate às perdas de SAA nos municípios das Bacias PCJ.

Com relação ao alcance das dimensões de sustentabilidade, o programa de investimentos atinge todas as partes que integram os SAA, bem como as categorias avaliadas, entretanto, deve guiar suas ações de forma a contemplar melhor a dimensão social para garantir uma gestão ainda mais sustentável.

Por fim, a pesquisa atingiu seus objetivos de conhecer e entender a atuação dos Comitês PCJ na melhoria do saneamento no controle de perdas dos sistemas de abastecimento de água

dos municípios que o compõem, apontando também outros pontos que merecem a atenção científica para estudo e proposição de melhorias no âmbito dos recursos hídricos e saneamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABES, A. B. DE E. S. E A. Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária - ABES**, p. 99, 2015.
- ABOELNGA, H. et al. Component analysis for optimal leakage management in Madaba, Jordan. **Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA**, v. 67, n. 4, p. 384–396, 2018.
- ABU-MAHFOUZ, A. M. et al. Real-time Dynamic Hydraulic Model for Potable Water Loss Reduction. **Procedia Engineering**, v. 154, p. 99–106, 2016.
- AGAPIOU, A. et al. Water leakage detection using remote sensing, field spectroscopy and GIS in semiarid areas of Cyprus. **Urban Water Journal**, v. 13, n. 3, p. 221–231, 2016.
- AL-WASHALI, T.; SHARMA, S.; KENNEDY, M. Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. **Water Resources Management**, v. 30, n. 14, p. 4985–5001, 2016.
- ALEGRE, H. **Instrumentos de apoio à gestão técnica de sistemas de distribuição de água, Vol. I da série “Teses e Programas de Investigação LNEC”**,. Vol 1 ed. Lisboa: LNEC, 1994.
- ALEGRE, H. et al. **Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição**. Lisboa: LNEC, 2005.
- ALEGRE, H. et al. **Performance Indicators for Water Supply Services**. Third ed. London: International Water Association - IWA, 2016.
- ALVARENGA, A. R. DE; ALMEIDA, L. P. DE. **Análise Dos Investimentos Em Saneamento Na Bacia Do Rio**. Juiz de Fora, MG: 2017
- AMEYAW, E. E.; CHAN, A. P. C. Identifying public-private partnership (PPP) risks in managing water supply projects in Ghana. **Journal of Facilities Management**, v. 11, n. 2, p. 152–182, 2013.
- AMEYAW, E. E.; CHAN, A. P. C. Evaluation and ranking of risk factors in public-private partnership water supply projects in developing countries using fuzzy synthetic evaluation approach. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 12, p. 5102–5116, 2015.
- ANA, A. N. DE Á.-. **Sistema Cantareira**. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/sistema-cantareira/sistema-cantareira-saiba-mais>>. Acesso em: 20 mar. 2021.
- ARAUJO, L. S.; RAMOS, H.; COELHO, S. T. Pressure Control for Leakage Minimisation in Water Distribution Systems Management. **Water Resources Management**, v. 20, p. 133–149, 2006.
- ARREGUI, F. . et al. Reducing Apparent Losses Caused By Meters Inaccuracies. **Water Practice and Technology**, v. 1, n. 4, 2006.
- ARREGUI, F. J. et al. Calculation proposal for the economic level of apparent losses (ELAL) in a water supply system. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 12, 2018.
- BANK, W. Reduce Non-Revenue Water. **Public Private Infrastructure Advisory Facility**, n.

June, p. 1–28, 2016.

BERG, S. V. Conflict resolution: Benchmarking water utility performance. **Public Administration and Development**, v. 27, n. 1, p. 1–11, 2007.

BEZERRA, S. DE T. M.; PERTEL, M.; MACÊDO, J. E. S. DE. Avaliação de desempenho dos sistemas de abastecimento de água do Agreste brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 3, p. 249–258, 2019.

BHAGAT, S. K. et al. Evaluating physical and fiscal water leakage in water distribution system. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 10, p. 1–14, 2019.

BIASUTTI, S.; COELHO, E. R. C. Normatização de indicadores de perdas de água: a experiência das agências reguladoras no Brasil. **Revista DAE**, v. 67, n. 215, p. 17–24, 2019.

BREA-SOLIS, H.; PERELMAN, S.; SAAL, D. Regulatory incentives to water losses reduction: the case of England and Wales. **Journal of Productivity Analysis**, v. 47, n. 3, p. 259–276, 2017.

CABRERA, E. et al. Practical application of metric benchmarking in water supply systems. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 2, n. 4, p. 173–180, 2002.

CABRERA JR., E. et al. **Benchmarking para servicios de agua**. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de Valencia, 2014.

CAMBRAINHA, G. M. G.; FONTANA, M. E. Análise da aplicação de investimentos em perdas de água no nordeste brasileiro. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 983–994, 2015.

CARNEIRO, M. C. M. DE O. et al. A gestão do saneamento no Brasil e sua relação com a gestão de recursos hídricos. **INOVAE**, v. 6, n. Jan-Dez, p. 100–116, 2018.

CASSIVI, A. et al. Access to drinking water : time matters. **Journal of Water and Health**, v. 16, n. 4, p. 661–666, 2018.

CAVALCANTI, B. S.; MARQUES, G. G. Recursos hídricos e gestão de conflitos A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul a partir Recursos hídricos y gestión de conflictos El caso de la cuenca del río Paraíba do Sul a partir. **Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão**, v. 15, n. 1, 2016.

CBH-AT, C. DE B. H. DO A. T. **Empreendimentos Concluídos - FEHIDRO**. Disponível em: <<https://comiteat.sp.gov.br/fehidro/empreendimentos-concluidos/compensacao-financeira/>>. Acesso em: 3 jan. 2023.

CEIVAP. **Comitê de Integração das Bacias Hidrográficas do Paraíba do Sul. Relatórios do PAP Online**. Disponível em: <<http://sigaceivap.org.br/siga-ceivap/projetos>>. Acesso em: 23 dez. 2022.

CLARKE, M.; BODEN, P.; MCDONALD, A. DEBTOR: Debt evaluation, bench-marking and tracking - a water debt management tool to address UK water debt. **Water and Environment Journal**, v. 26, n. 3, p. 292–300, 2012.

COBRAPE. **Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010-2020: Relatório Final**. Piracicaba: 2010

COBRAPE. **Plano das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020: Relatório Síntese**. São Paulo: 2011a

COBRAPE. **Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010-2020: Relatório Síntese**. 2011b

COBRAPE; JHS. **Volume III - Plano de Ação. Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê**. 2019

COPLAENGE. **Plano de Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2000-2003: Relatório Final**. 2000

COSTA, A. L. DA; MERTENS, F. Governança , Redes E Capital Social No Plenário Do Conselho Nacional De Recursos Hídricos Do Brasil 1. **Ambiente & sociedade**, v. 18, n. 3, p. 153–170, 2015.

CREACO, E.; WALSKI, T. Economic Analysis of Pressure Control for Leakage and Pipe Burst Reduction. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 143, n. 12, p. 04017074, 2017.

CREMONEZ, F. E. et al. Avaliação De Impacto Ambiental: Metodologias Aplicadas No Brasil. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 3821–3830, 2014.

CRIMINISI, A. et al. Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply. **Water Science and Technology**, v. 60, n. 9, p. 2373–2382, 2009.

CUNHA, B. S. DA; DOS SANTOS, S. M.; GONZALEZ, B. C. Gestão das perdas de água em sistemas de abastecimento. **Revista DAE**, v. 69, n. 230, p. 67–86, 2021.

CUNHA, C. M. T. DA et al. Análise das perdas nos sistemas de abastecimento de água da Região Metropolitana do Recife. **Revista GEAMA**, v. 4, n. 4, p. 9–13, 2018.

D'INVERNO, G.; CAROSI, L.; ROMANO, G. Environmental sustainability and service quality beyond economic and financial indicators: A performance evaluation of Italian water utilities. **Socio-Economic Planning Sciences**, n. April, p. 100852, 2020.

DEMAJOROVIC, J.; CARUSO, C.; JACOBI, P. R. Cobrança do uso da água e comportamento dos usuários industriais na bacia hidrográfica do Piracicaba, Capivari e Jundiá. **Revista de Administracao Publica**, v. 49, n. 5, p. 1193–1214, 2015.

DJUKIC, M. et al. Cost-benefit analysis of an infrastructure project and a cost-reflective tariff: A case study for investment in wastewater treatment plant in Serbia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 1419–1425, 2016.

DUTRA, R. H. DE A.; OLIVEIRA, A. L. DE. Utilização de válvulas redutoras de pressão no controle de perdas em redes de abastecimento de água. **Revista DAE**, v. 65, n. 208, p. 122–134, 2017.

EZBAKHE, F.; GINÉ-GARRIGA, R.; PÉREZ-FOGUET, A. Science of the Total Environment Leaving no one behind : Evaluating access to water , sanitation and hygiene for vulnerable and marginalized groups. **Science of the Total Environment**, v. 683, n. 15, p. 537–546, 2019.

FABH-SMT, F. A. DA B. H. DO R. S. E M. T. **Relatório III - Plano de ação. Plano de Bacia Hidrográfica 2016-2027**. Sorocaba: 2018

FABH-SMT, F. A. DA B. H. DO R. S. E M. T. **Relatório de Situação das Bacias Hidrográficas do Rio Sorocaba e Médio Tietê**. Sorocaba: 2022a

FABH-SMT, F. A. DA B. H. DO R. S. E M. T. **Banco de Projetos FEHIDRO**. Disponível em: <[https://www.agenciasmt.com.br/userfiles/files/Banco de projetos/Banco_de_projetos_fehidro.pdf](https://www.agenciasmt.com.br/userfiles/files/Banco_de_projetos/Banco_de_projetos_fehidro.pdf)>. Acesso em: 23 dez. 2022b.

FABHAT, F. A. DE B. H. DO A. T. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 2022**. 2022

FARAH, E.; SHAHROUR, I. Leakage Detection Using Smart Water System: Combination of Water Balance and Automated Minimum Night Flow. **Water Resources Management**, v. 31, n. 15, p. 4821–4833, 2017.

FINUCCI, M. Metodologias utilizadas na avaliação do impacto ambiental para a liberação comercial do plantio de transgênicos - uma contribuição ao estado da arte no Brasil Metodologias utilizadas na avaliação do imp. p. 230, 2010.

FRITZ, R. T.; GIMENES, J. DE C.; PINA FILHO, A. C. DE. Um Estudo Da Automação Para Redução De Perdas Na Rede De Distribuição De Água. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 56408–56416, 2020.

FULLER, J. A. et al. Science of the Total Environment Tracking progress towards global drinking water and sanitation targets : A within and among country analysis. **Science of the Total Environment**, v. 541, p. 857–864, 2016.

FUNASA. **Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água**. Brasília: Ministério da Saúde. Departamento de Engenharia de Saúde Pública, 2014.

GERHART, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Método de pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, J. S. B.; DIAS, N. W. Análise dos investimentos fehidro realizados via o comitê das bacias hidrográficas do rio paraíba do sul nas bacias priorizadas do estado de são Paulo. **Revista Brasileira de Gestao e Desenvolvimento Regional**, v. 6, n. 1, p. 97–117, 2010.

GIUDICIANNI, C. et al. Overview of Energy Management and Leakage Control Systems for Smart Water Grids and Digital Water. **Modelling**, v. 1, n. 2, p. 134–155, 2020.

GOEDE, M. DE et al. Drivers for performance improvement originating from the Dutch drinking water benchmark. **Water Policy**, v. 18, n. 5, p. 1247–1266, 2016.

GONÇALVES, I.; ALVES, D.; ROBALO, G. Social tariffs for water and waste services in mainland Portugal: an impact analysi. **Water Supply**, v. 14, n. 4, p. 513–521, 2014.

GONZÁLEZ-GÓMEZ, F.; GARCÍA-RUBIO, M. A.; GUARDIOLA, J. Why Is Non-revenue Water So High in So Many Cities? **International Journal of Water Resources Development**, v. 27, n. 2, p. 345–360, 2011.

GUDE, V. G. Desalination and water reuse to address global water scarcity. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 591–609, 2017.

GÜNGÖR-DEMIRCI, G. et al. Determinants of non-revenue water for a water utility in California. **Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA**, v. 67, n. 3, p. 270–278, 2018.

GÜNGÖR, M.; YARAR, U.; FIRAT, M. Reduction of water losses by rehabilitation of water distribution network. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, n. 10, 2017.

- GUPTA, A.; KULAT, K. D. A Selective Literature Review on Leak Management Techniques for Water Distribution System. **Water Resources Management**, v. 32, n. 10, p. 3247–3269, 2018.
- HENRIQUES, A. A. et al. Performance benchmarking using composite indicators to support regulation of the Portuguese wastewater sector. **Utilities Policy**, v. 66, n. June, p. 101082, 2020.
- HERRERA, V. Reconciling global aspirations and local realities: Challenges facing the Sustainable Development Goals for water and sanitation. **World Development**, v. 118, p. 106–117, 2019.
- HUTTON, G.; HALLER, L.; BARTRAM, J. Global cost-benefit analysis of water supply and sanitation interventions. **Journal of Water and Health**, v. 5, n. 4, p. 481–501, 2007.
- IBGE, I. B. DE G. E. E.-. **IBGE Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.
- ISLAM, M. S.; BABEL, M. S. Economic Analysis of Leakage in the Bangkok Water Distribution System. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 139, n. 2, p. 209–216, 2013.
- ITB, I. T. B.-; GO ASSOCIADOS, W. **No Title**. Disponível em: <http://tratabrasil.org.br/images/estudos/Relatório_Final_-_Estudo_de_Perdas_2020_-_JUNHO_2020.pdf>.
- JACOBI, P. R.; BUCKERIDGE, M.; RIBEIRO, W. C. Governança da água na Região Metropolitana de São Paulo - desafios à luz das mudanças climáticas. **Estudos Avancados**, v. 35, n. 102, p. 209–226, 2021.
- JIN, H.; PIRATLA, K. R. A resilience-based prioritization scheme for water main rehabilitation. **Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA**, v. 65, n. 4, p. 307–321, 2016.
- KADU, M. S.; DIGHADE, R. R. Infrastructure leakage index and challenges in water loss management in developing countries. **World Environmental and Water Resources Congress 2015: Floods, Droughts, and Ecosystems - Proceedings of the 2015 World Environmental and Water Resources Congress**, p. 1322–1331, 2015.
- KANAKOUDIS, V. et al. Developing appropriate performance indicators for urban distribution systems evaluation at Mediterranean countries. **Water Utility Journal**, p. 31–40, 2011.
- KANAKOUDIS, V. et al. A new set of water losses-related performance indicators focused on areas facing water scarcity conditions. **Desalination and Water Treatment**, v. 51, n. 13–15, p. 2994–3010, 2013.
- KILIÇ, R. The strategic development for water loss prevention. **Applied Water Science**, v. 11, n. 2, p. 1–11, 2021.
- KINGDON, B.; LIEMBERGER, R.; MARIN, P. **The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries How the Private Sector Can Help: A Look at Performance-Based Service Contracting**. Washington: The World Bank, 2003.
- KUSTERKO, S. et al. Water loss management: A constructivist approach. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 615–626, 2018.

- LEIGLAND, J.; TREMOLET, S.; IKEDA, J. Achieving Universal Access to Water and Sanitation by 2030. **Achieving Universal Access to Water and Sanitation by 2030**, n. August, 2016.
- LENZI, C. et al. From energy balance to energy efficiency indicators including water losses. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 13, n. 4, p. 889–895, 2013.
- LIEMBERGER, R.; WYATT, A. Quantifying the global non-revenue water problem. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 19, n. 3, p. 831–837, 2019.
- LUSHABA, D. A. Benchmarking and performance indicators in Portugal : A case study of a water supply company Benchmarking and performance indicators in Portugal : A case study of a water supply company. 2021.
- MALM, A. et al. Cost-Benefit Analysis and Uncertainty Analysis of Water Loss Reduction Measures: Case Study of the Gothenburg Drinking Water Distribution System. **Water Resources Management**, v. 29, n. 15, p. 5451–5468, 2015.
- MARQUES, L. O. DO A. **Plataforma digital de benchmarking para controle de perdas em sistemas de abastecimento de água**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2021.
- MARQUES, L. O. DO A. et al. Benchmarking enquanto ferramenta de diminuição das perdas físicas em sistemas de abastecimento de água. **Ambiente & Sociedade**, v. 24, 2021.
- MARQUES, R. C.; SIMÕES, P.; PIRES, J. S. Performance benchmarking in utility regulation: The worldwide experience. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 20, n. 1, p. 125–132, 2011.
- MARQUES, R.; GOMES, R.; MONTEIRO, A. J. Benchmarking the Water Losses in Portugal. **Leakage 2005 Specialized Conference Proceedings**, n. 55, p. 1–13, 2005.
- MARTEN, R. How states exerted power to create the Millennium Development Goals and how this shaped the global health agenda: Lessons for the sustainable development goals and the future of global health. **Global Public Health**, v. 14, n. 4, p. 584–599, 2019.
- MBUVI, D.; DE WITTE, K.; PERELMAN, S. Urban water sector performance in Africa: A step-wise bias-corrected efficiency and effectiveness analysis. **Utilities Policy**, v. 22, p. 31–40, 2012.
- MCDONALD, D. A. The weight of water: Benchmarking for public water services. **Environment and Planning A**, v. 48, n. 11, p. 2181–2200, 2016.
- MELATO, B. S. Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de são paulo. p. 133, 2010.
- MESQUITA, L. F. G. River basin committees and integrated management in the brazilian national water resources policy. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 45, p. 56–80, 2018.
- MIRANDA, E. C. DE. **Avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água - Indicadores de perdas e metodologias para análise de confiabilidade**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2002.
- MOLINOS-SENANTE, M. et al. Benchmarking the efficiency of the Chilean water and sewerage companies: a double-bootstrap approach. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 9, p. 8432–8440, 2018.

- MOLINOS-SENANTE, M.; MOCHOLÍ-ARCE, M.; SALA-GARRIDO, R. Science of the Total Environment Estimating the environmental and resource costs of leakage in water distribution systems : A shadow price approach. **Science of the Total Environment**, The, v. 568, p. 180–188, 2016a.
- MOLINOS-SENANTE, M.; MOCHOLÍ-ARCE, M.; SALA-GARRIDO, R. Estimating the environmental and resource costs of leakage in water distribution systems: A shadow price approach. **Science of the Total Environment**, v. 568, p. 180–188, 2016b.
- MOLINOS-SENANTE, M.; VILLEGAS, A.; MAZIOTIS, A. Are water tariffs sufficient incentives to reduce water leakages? An empirical approach for Chile. **Utilities Policy**, v. 61, n. September, p. 100971, 2019.
- MOLINOS-SENANTE, M.; VILLEGAS, A.; MAZIOTIS, A. Measuring the marginal costs of reducing water leakage: the case of water and sewerage utilities in Chile. **Environmental Science and Pollution Research**, 2021.
- MOMM, S. et al. Permanência e transição no planejamento e a crise hídrica na região metropolitana de São Paulo. **Eure**, v. 47, n. 140, p. 199–219, 2021.
- MORAIS, D. C.; CAVALCANTE, C. A. V.; DE ALMEIDA, A. T. Prioritization of areas of loss control in water distribution networks. **Pesquisa Operacional**, v. 30, n. 1, p. 15–32, 2010.
- MOURA, E. M. DE et al. Abordagem sobre perdas de água em sistemas de abastecimento: breve explanação sobre os tipos e principais causas. **Seminário Hispano- Brasileiro sobre Sistema de Abastecimento uR**, p. 1–15, 2004.
- MUTIKANGA, H. et al. Using performance indicators as a water loss management tool in developing countries. **Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA**, v. 59, n. 8, p. 471–481, 2010.
- MUTIKANGA, H. E. **Water Loss Management: Tools and Methods for Developing Countries**. [s.l.] Civil Engineering and Geosciences, 2012.
- MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Assessment of apparent losses in urban water systems. **Water and Environment Journal**, v. 25, n. 3, p. 327–335, 2011.
- MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 139, n. 2, p. 166–174, 2013.
- NDUNGURU, M. G.; HOKO, Z. Assessment of water loss in Harare, Zimbabwe. **Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development**, v. 6, n. 4, p. 519–533, 2016.
- NIHUES, J. Q. **Implantação dos controles de manutenção presentes na Metodologia MASP-P da SANEPAR, nas cidades do sistema de Foz do Iguaçu**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2014.
- NUNES, N.; GUANDIQUE, M. E. G. O processo de planejamento e gestão de recursos hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Sorocaba e Médio Tietê e sua integração com o planejamento regional e municipal. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 19, n. 19, p. 1–19, 2022.
- OCIEPA, E.; MROWIEC, M.; DESKA, I. Analysis of water losses and assessment of

initiatives aimed at their reduction in selected water supply systems. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 5, p. 1–18, 2019.

OLIVEIRA, G. et al. Desafios para Disponibilidade Hídrica e Avanço da Eficiência do Saneamento. p. 113, 2018.

PARRA, S.; KRAUSE, S. Pressure management by combining pressure reducing valves and pumps as turbines for water loss reduction and energy recovery. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 12, n. 1, p. 89–97, 2017.

PAZ, M. G. A. DA; JACOBI, P. R. Integração das Políticas Públicas de Saneamento e Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 4, p. 3011–3029, 2020.

PCJ, C. DAS B. **Minuta do Plano de Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 1994/1995**. Disponível em:

<http://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=183:plano-de-bacias-pcj-1994-1995&catid=148:plano-das-bacias&Itemid=332>. Acesso em: 14 mar. 2021.

PCJ, F. A. DAS B. **Relatório de Situação das Bacias PCJ 2018**. Piracicaba: 2018

PCJ, F. A. DAS B. **Gestão das Águas PCJ**. Piracicaba: 2019

PERTEL, M.; DE AZEVEDO, J. P. S.; VOLSCHAN JUNIOR, I. Uso de indicadores de perdas para seleção de um benchmarking entre as companhias estaduais de serviço de distribuição de água no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 159–168, 2016.

PIECHNICKI, A. S. et al. PIECHININCH.pdf. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 3, n. 2, p. 90–99, 2011.

PIETRUCHA-URBANIK, K.; TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK, B. Approaches to failure risk analysis of the water distribution network with regard to the safety of consumers. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 11, 2018.

PILLOT, J. et al. Up to what point is loss reduction environmentally friendly?: The LCA of loss reduction scenarios in drinking water networks. **Water Research**, v. 104, p. 231–241, 2016.

PINTO, F. S. et al. The quality of service: An overall performance assessment for water utilities. **Omega (United Kingdom)**, v. 69, p. 115–125, 2017.

PNCDA, P. N. DE C. AO D. DE Á.-. **Documento técnico de apoio nº A2 Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água**. Brasília: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental., , 2003.

PROFILL-RHAMA. **Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020-2035: Relatório Final**. Porto Alegre: 2020

PROFILL. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**. Porto Alegre: 2021

RENAUD, E. et al. Introducing pressure and number of connections into water loss indicators for French drinking water supply networks. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 14, n. 6, p. 1105–1111, 2014.

- RICHARDS, G. L.; JOHNSON, M. C.; BARFUSS, S. L. Apparent losses caused by water meter inaccuracies at ultralow flows. **Journal - American Water Works Associat**, v. 102, n. 5, p. 123–132, 2010.
- RÍOS, J. C. et al. Methodology for the identification of apparent losses in water distribution networks. **Procedia Engineering**, v. 70, p. 238–247, 2014.
- RODRIGUES, R. L.; SAIANI, C. C. S.; VERÍSSIMO, M. P. Impactos Ambientais e Investimentos em Abastecimento de Água no Brasil. **Revibec - Revista Iberoamericana De Economía Ecológica**, v. 35, n. 2, p. 37–54, 2022.
- SAMIR, N. et al. Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. **Alexandria Engineering Journal**, v. 56, n. 4, p. 601–612, 2017.
- SANTI, A. D. **Benchmarking aplicado ao controle das perdas de água no contexto das bacias hidrográficas Piracicaba, Capivari e Jundiá**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2018.
- SANTI, A. D.; CETRULO, T. B.; MALHEIROS, T. F. Indicadores De Perdas De Água Em Sistemas De Saneamento: Disponibilidade E Confiabilidade De Dados Em Nível De Bacia Hidrográfica. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 386, 2018.
- SANTI, A. D. DE; CETRULO, T. B.; MALHEIROS, T. F. Water loss control practices in developing countries: a case study of a Brazilian region. **Water Supply**, p. 848–858, 2021.
- SANTOS, D. D. et al. Avaliação da metodologia para controle de perdas de água em rede de distribuição no Recife-PE 1. **Revista DAE**, p. 56–71, 2014.
- SANTOS, B. R. G. DOS. **Análise dos critérios adotados e dos empreendimentos financiados com recursos do FEHIDRO na Bacia do Sorocaba e Médio Tietê**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2018.
- SÃO PAULO. **Lei Estadual 9.034/94 de 27 de dezembro de 1994**Diário OficialSão PauloDiário Oficial, , 1994.
- SEADE, F. S.-. **Portal de Estatísticas do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<https://www.seade.gov.br/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.
- SEPPÄLÄ, O. T. Performance Benchmarking in Nordic Water Utilities. **Procedia Economics and Finance**, v. 21, n. 15, p. 399–406, 2015.
- SILVA, C. M.; DE PÁDUA, V. L.; BORGES, J. M. Contribuição Ao Estudo De Medidas Para Redução Da Perda Aparente De Água Em Áreas Urbanas. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 3, p. 253–274, 2016.
- SILVA, M. J. F.; SALVADO, A. F. Análise custo-benefício - Metodologia para apoio à decisão em intervenções de Arquitetura, Engenharia e Construção. **Lnec**, p. 44, 2015.
- SILVA, R. T.; PORTO, M. F. DO A. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos Avançados**, v. 17, n. 47, p. 129–145, 2003.
- SJÖSTRAND, K. et al. Cost-Benefit Analysis for Supporting Intermunicipal Decisions on Drinking Water Supply. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 145, n. 12, p. 04019060, 2019.
- SNIS, S. N. DE I. SOBRE S.-. Diagnóstico dos serviços de água e esgoto. 2019a.

SNIS, S. N. DE I. SOBRE S.-. **No Title**. 2019b

SOBRINHO, R. A.; BORJA, P. C. Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: Um estudo dos fatores intervenientes na RMS. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 783–795, 2016.

SOUSA, V. et al. Benchmarking operational efficiency in waste collection: Discussion of current approaches and possible alternatives. **Waste Management and Research**, v. 37, n. 8, p. 803–814, 2019.

TARDELLI FILHO, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. **Revista DAE**, v. 64, n. 201, p. 6–20, 2016.

THORNTON, J.; STHURM, R.; KUNKEL, G. **Water loss control manual**. 2. ed. New York: Mc Graw Hill, 2008.

TONETO JÚNIOR, R.; SAIANI, C. C. S.; RODRIGUES, R. L. **Perdas de água: entraves ao avanço do saneamento básico e riscos de agravamento à escassez hídrica no Brasil**. Ribeirão Preto, Brasil: FUNDACE, 2013.

TROJAN, F.; MORAIS, D. C. Maintenance management decision model for reduction of losses in water distribution networks. **Water Resources Management**, v. 29, n. 10, p. 3459–3479, 2015.

TRUSLOVE, J. P. et al. Understanding the Functionality and Burden on Decentralised Rural Water Supply : Influence of Millennium Development Goal 7c Coverage Targets. v. 11, n. 3, p. 1–18, 2019.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

UN - UNITED NATIONS. **The Millennium Development Goals Report**. Disponível em: <[https://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG 2015 rev \(July 1\).pdf](https://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%2015%20rev%20(July%201).pdf)>. Acesso em: 11 mar. 2021a.

UN - UNITED NATIONS. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 11 mar. 2021b.

UNESCO, U. N. E. S. AND C. O. **The United Nations World Water Development Report 2020. Water and Climate Change** Paris, France., 2020.

VALDETARO, E. B. et al. Conjugação Dos Métodos Da Matriz De Interação E Do Check-List Na Avaliação Quali-Quantitativa De Impactos Ambientais De Um Programa De Fomento Florestal. **Revista Árvore**, v. 39, n. 4, p. 611–622, 2015.

VAN DEN BERG, C. Drivers of non-revenue water: A cross-national analysis. **Utilities Policy**, v. 36, p. 71–78, 2015.

VAN DIJK, M. P.; BLOKLAND, M. W. Introduction and reflection on benchmarking for the delivery of water and sanitation services to the urban poor. **International Journal of Water**, v. 10, n. 2/3, p. 109, 2016.

VENKATESH, G. Cost-benefit analysis – leakage reduction by rehabilitating old water pipelines: Case study of Oslo (Norway). **Urban Water Journal**, v. 9, n. 4, p. 277–286, 2012.

VILANOVA, M. R. N.; FILHO, P. M.; BALESTIERI, J. A. P. Performance measurement and indicators for water supply management: Review and international cases. **Renewable and**

Sustainable Energy Reviews, v. 43, p. 1–12, 2014.

WALSKI, T. et al. Modeling leakage reduction through pressure control. **Journal / American Water Works Association**, v. 98, n. 4, 2006.

WERNER, B.; COLLINS, R. **Towards efficient use of water resources in Europe (EEA Report No 1/2012)**. Copenhagen: European Environment Agency, 2012.

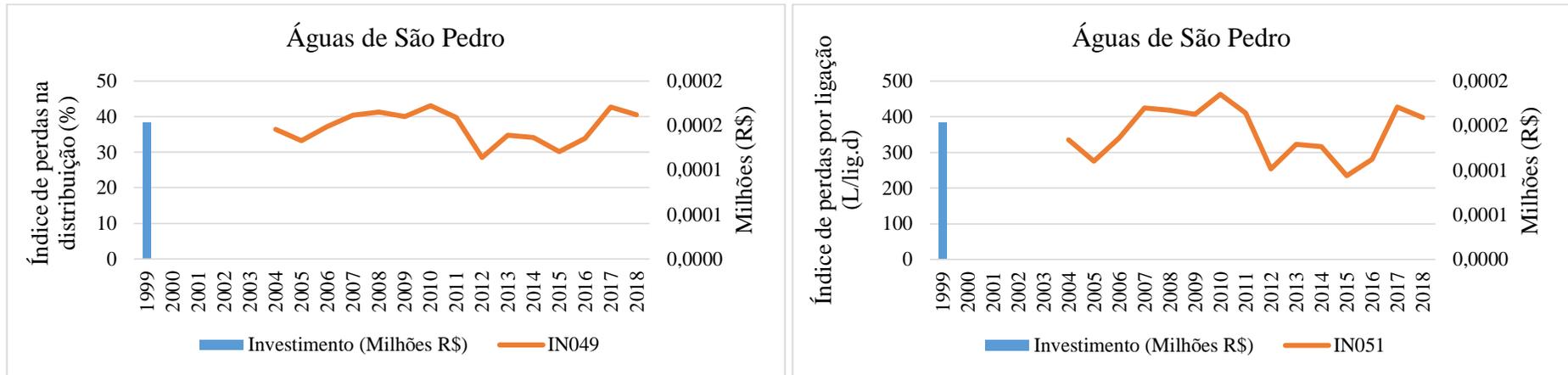
XIN, K. et al. Apparent losses analysis in district metered areas of water distribution systems. **Water Resources Management**, v. 28, n. 3, p. 683–696, 2014.

XU, Q. et al. Review on water leakage control in distribution networks and the associated environmental benefits. **Journal of Environmental Sciences (China)**, v. 26, n. 5, p. 955–961, 2014.

ZYOUD, S. H. et al. A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. **Expert Systems with Applications**, v. 61, p. 86–105, 2016.

APÊNDICE I – EVOLUÇÃO TEMPORAL DO IN049, IN051 E DOS INVESTIMENTOS EM COMBATE ÀS PERDAS

Figura 29: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Águas de São Pedro.



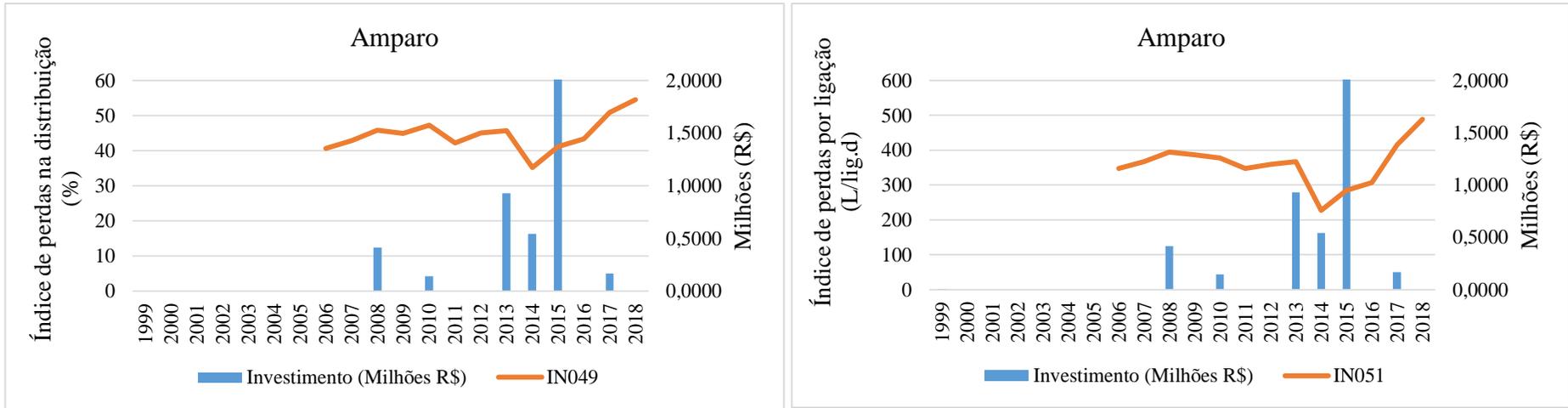
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 30: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Americana.



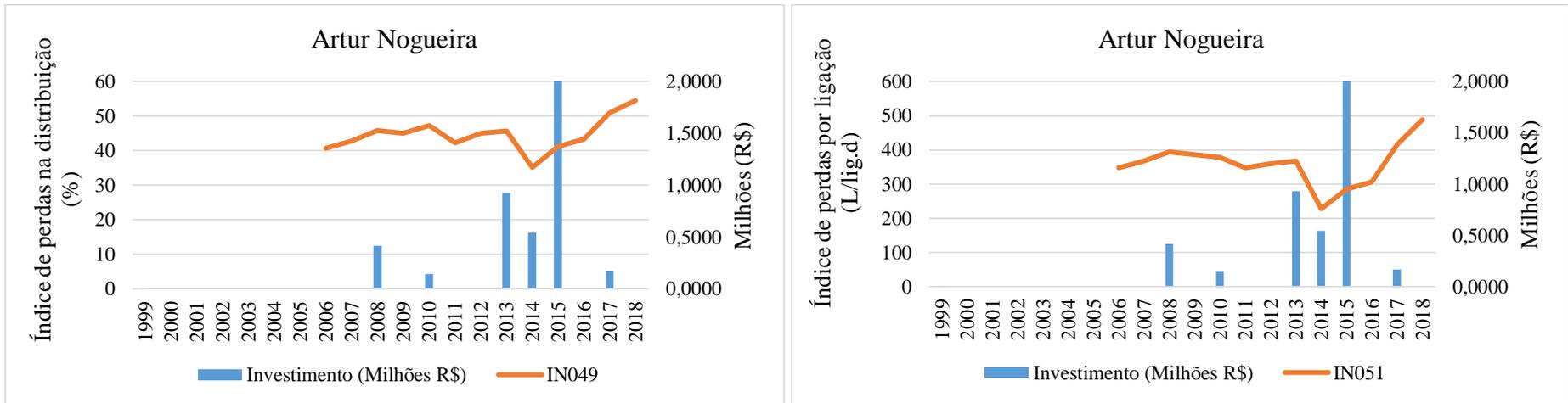
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 31: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Amparo.



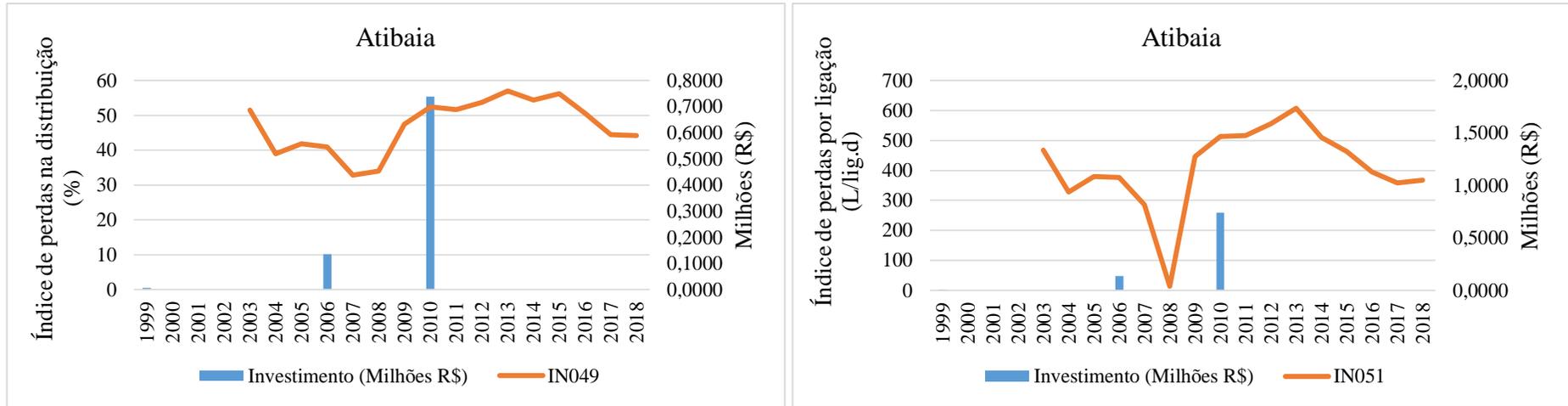
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 32: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Artur Nogueira.



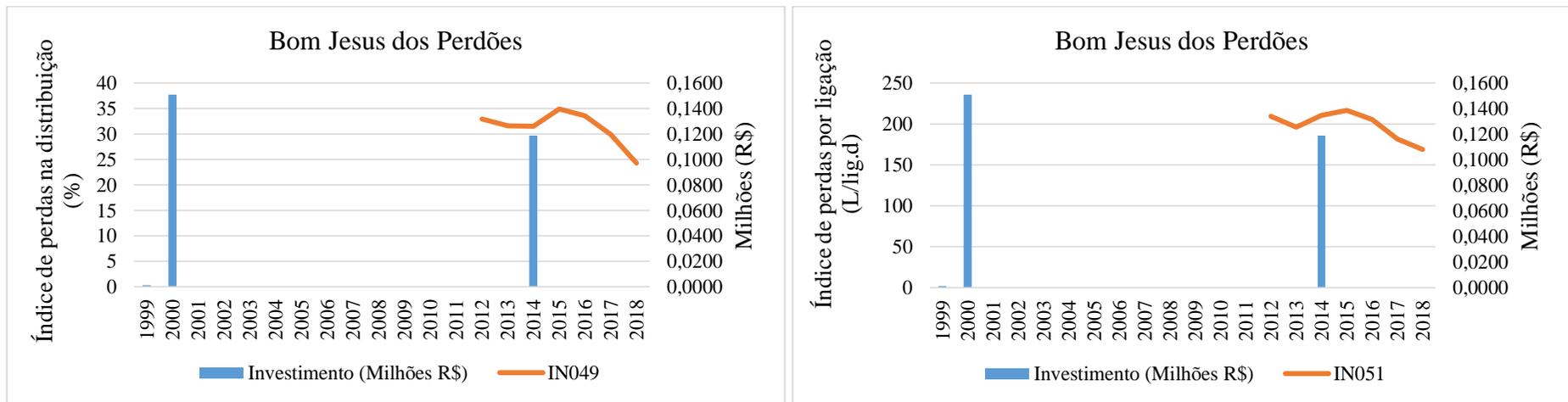
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 33: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Atibaia.



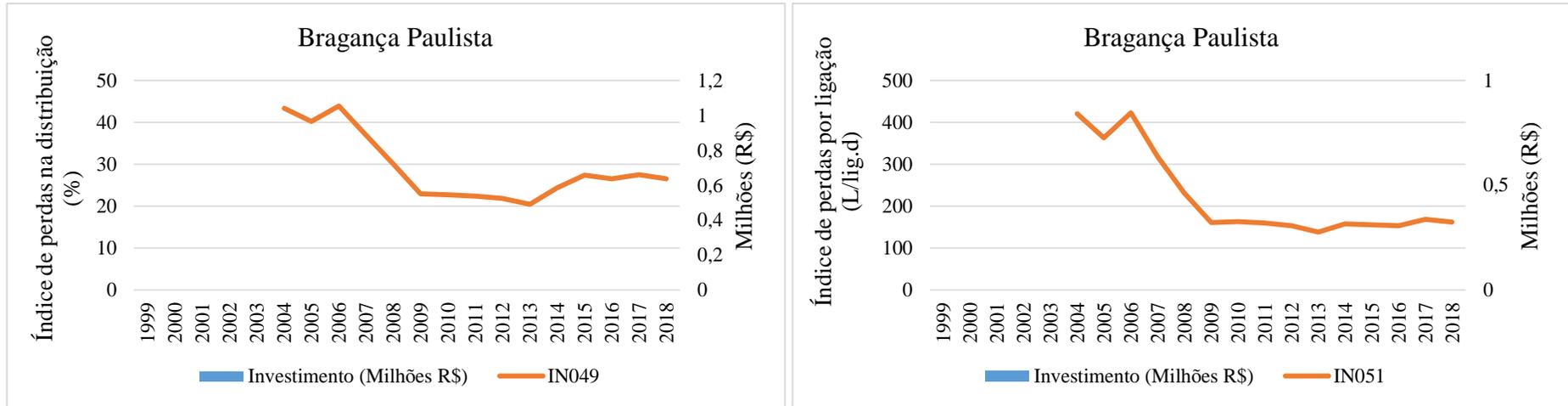
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 34: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Bom Jesus dos Perdões.



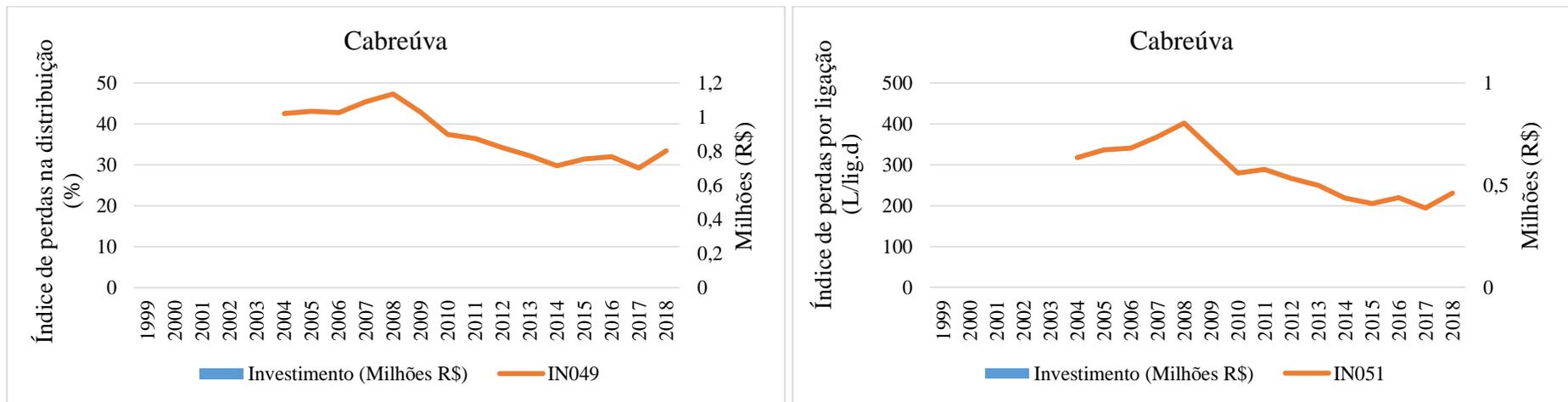
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 35: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Bragança Paulista.



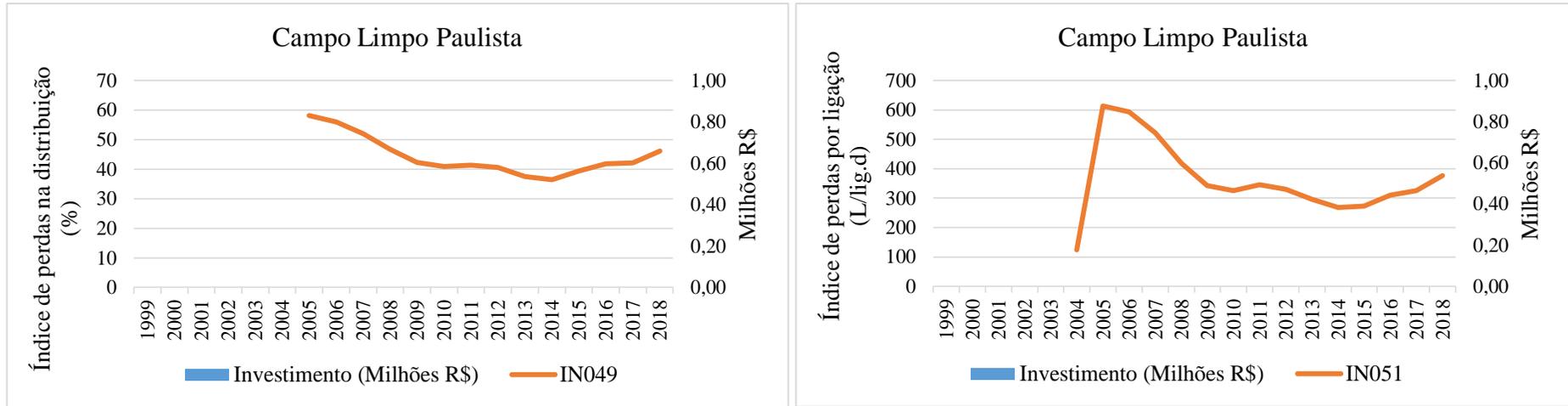
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 36: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Cabreúva.



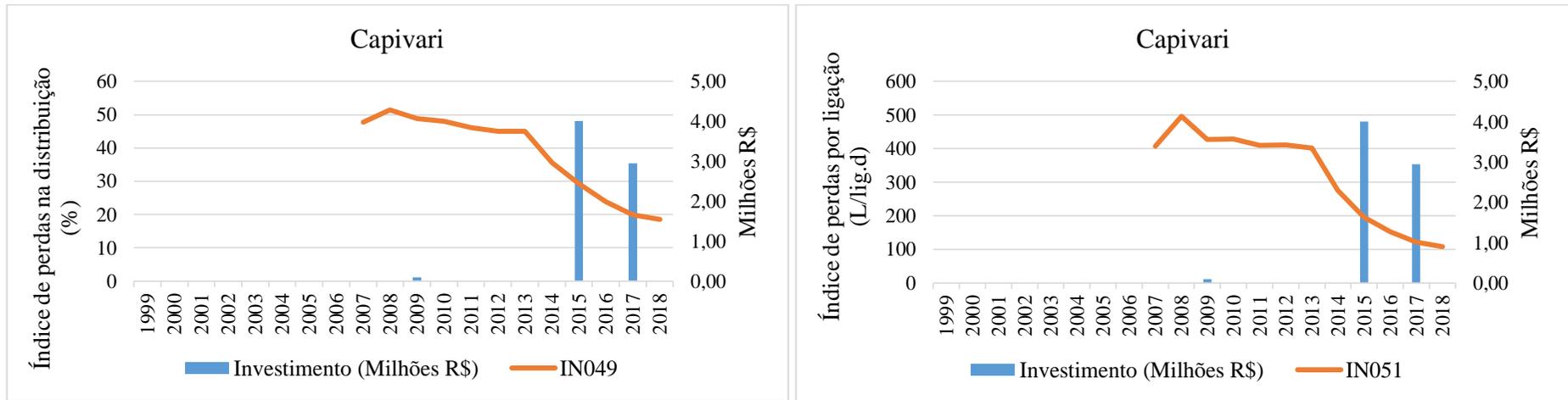
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 37: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Campo Limpo Paulista.



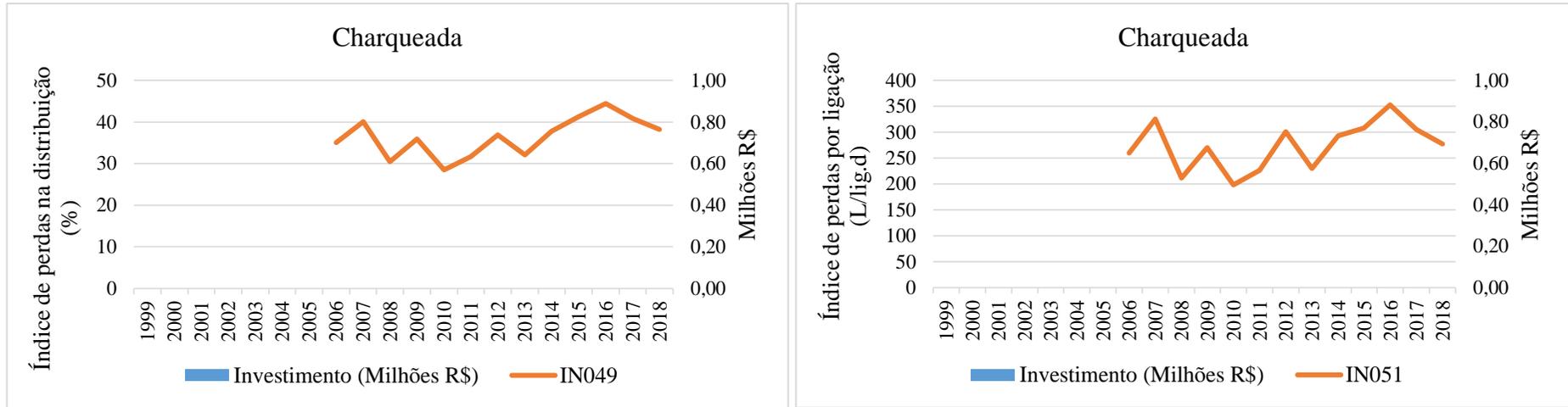
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 38: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Capivari.



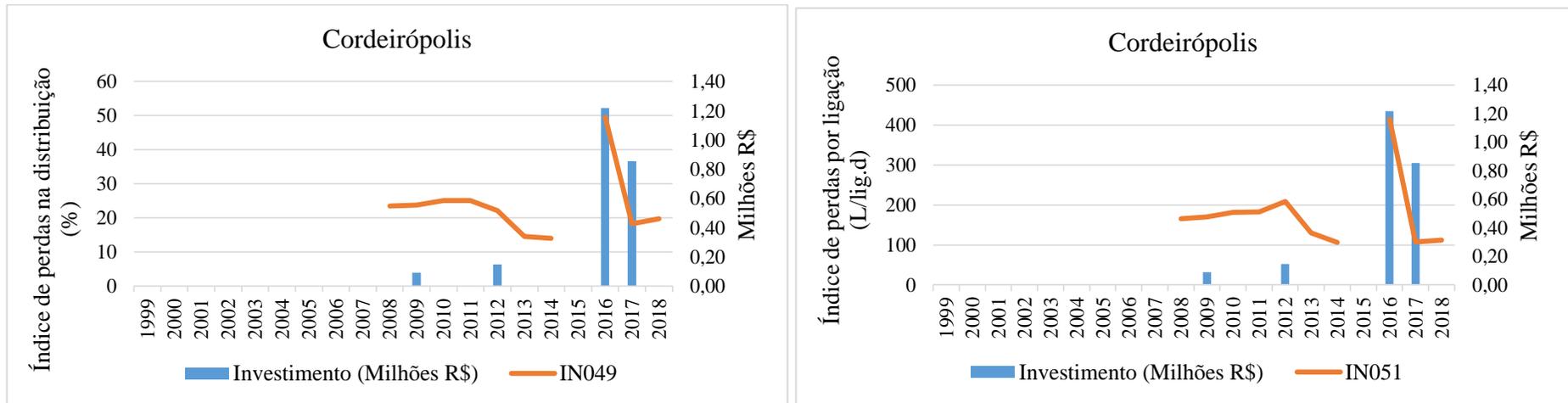
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 39: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Charqueada.



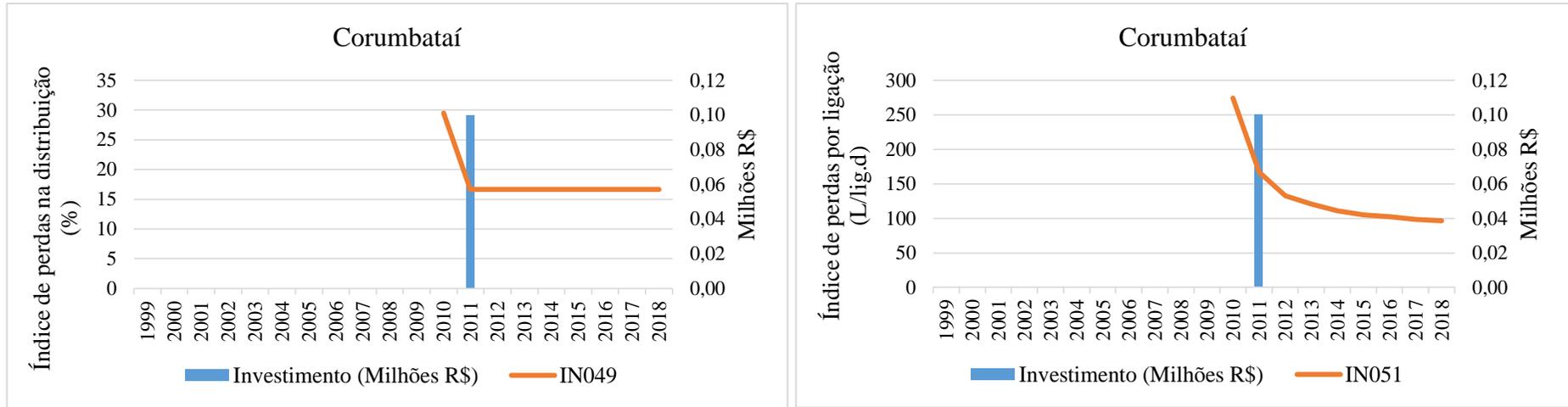
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 40: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Cordeirópolis.



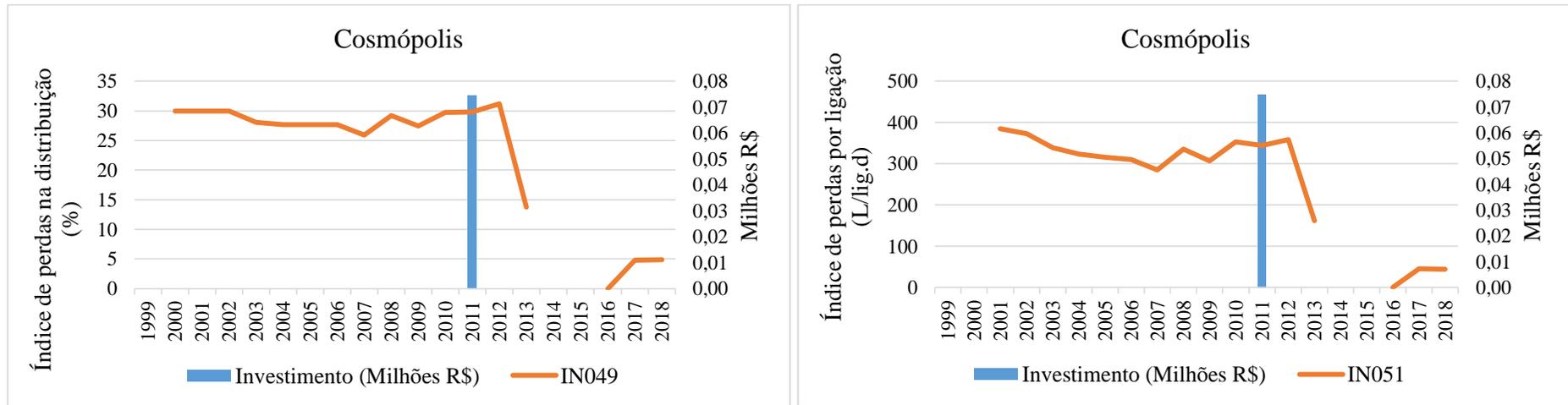
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 41: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Corumbataí.



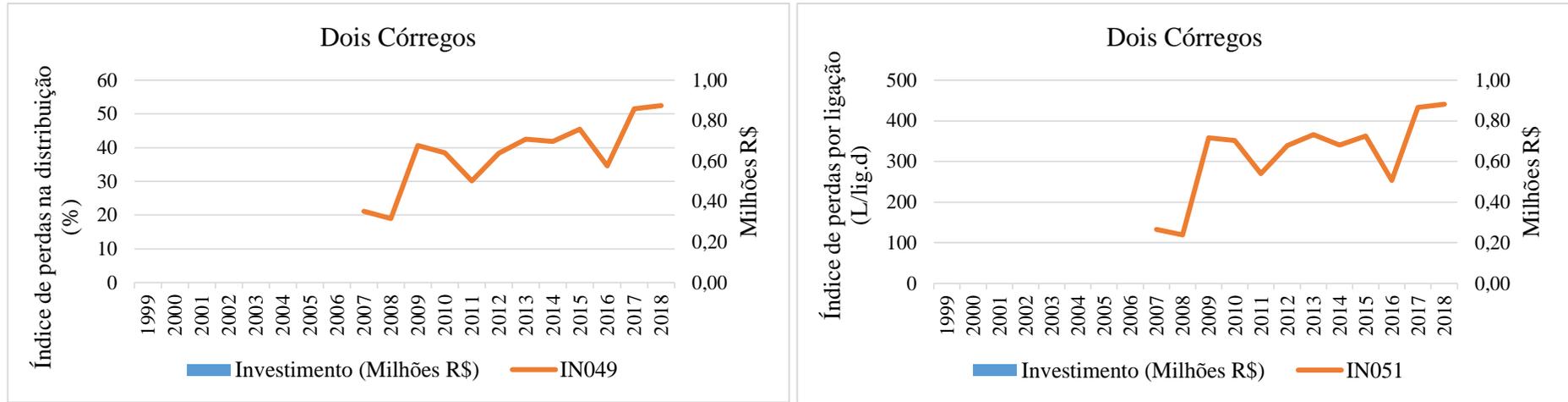
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 42: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Cosmópolis.



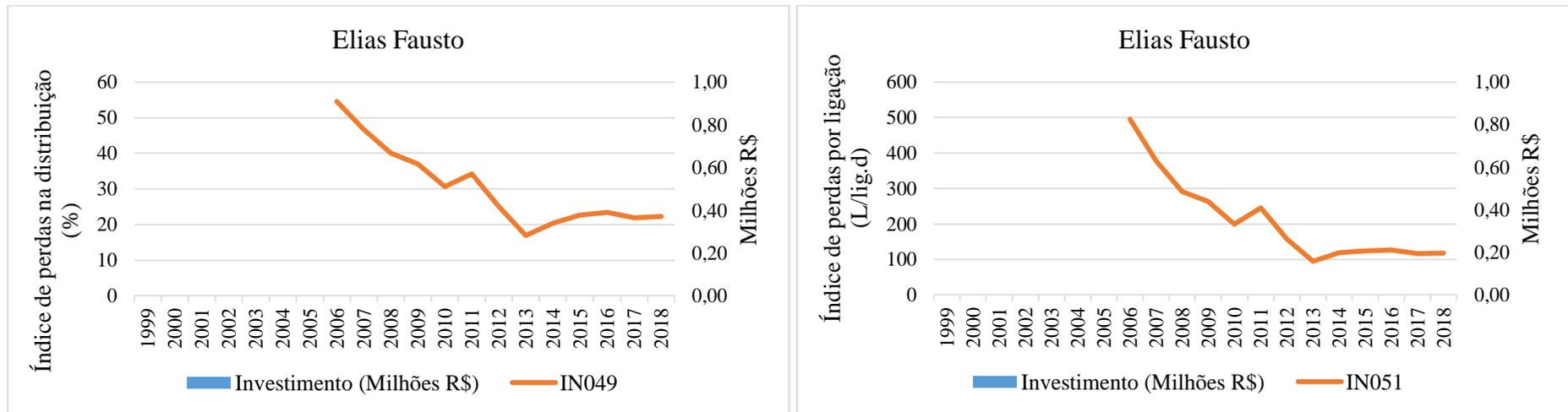
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 43: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Dois Córregos.



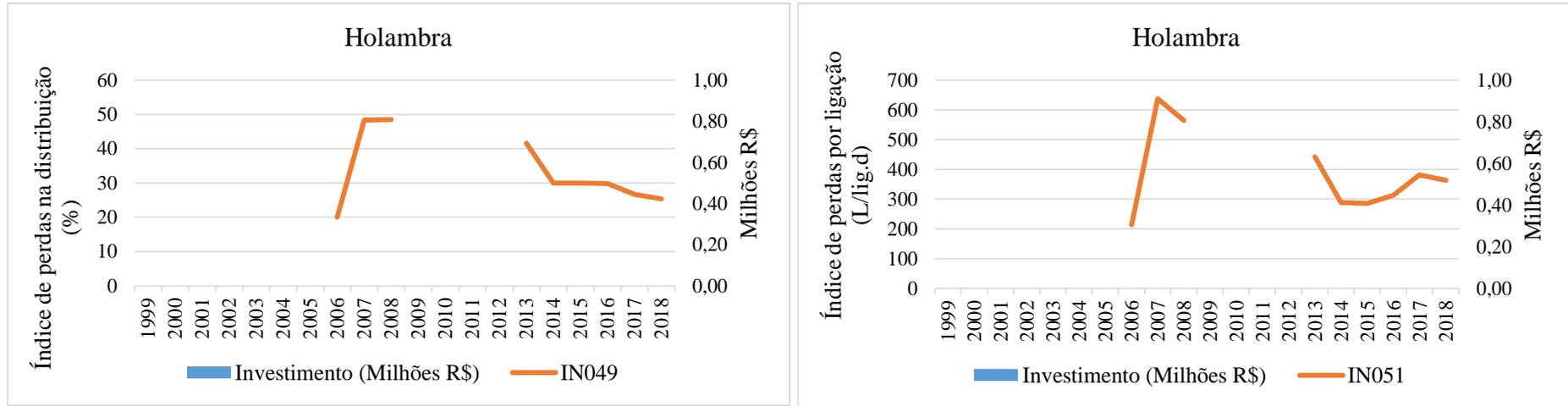
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 44: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Elias Fausto.



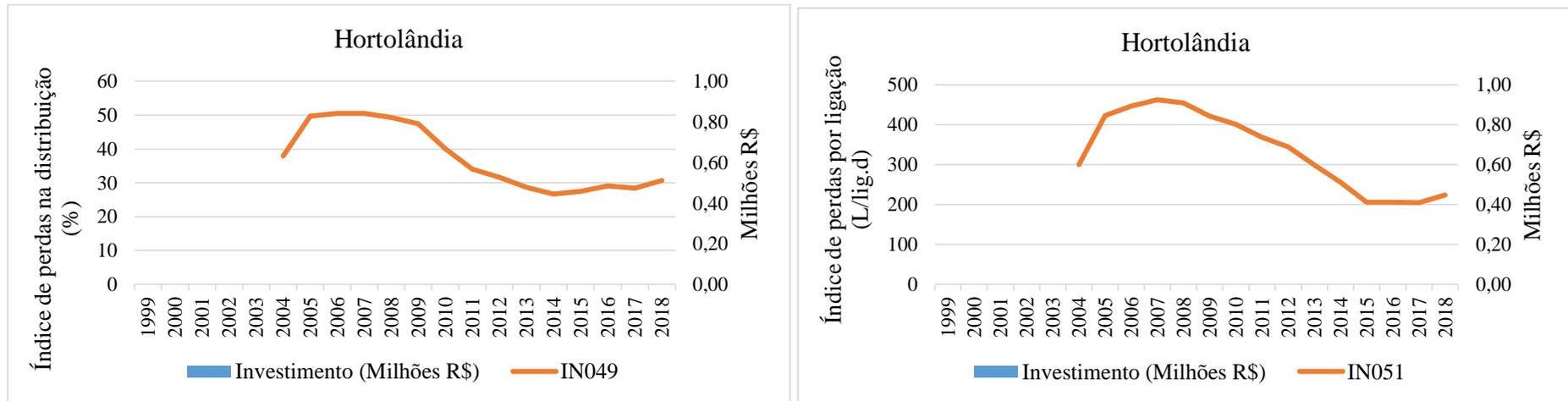
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 45: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Holambra.



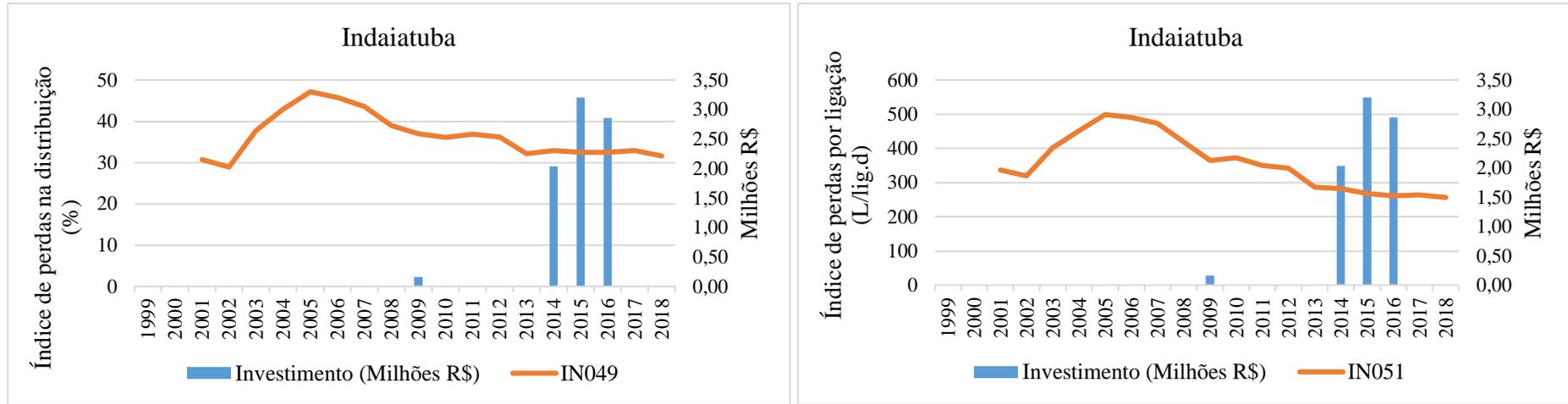
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 46: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Hortolândia.



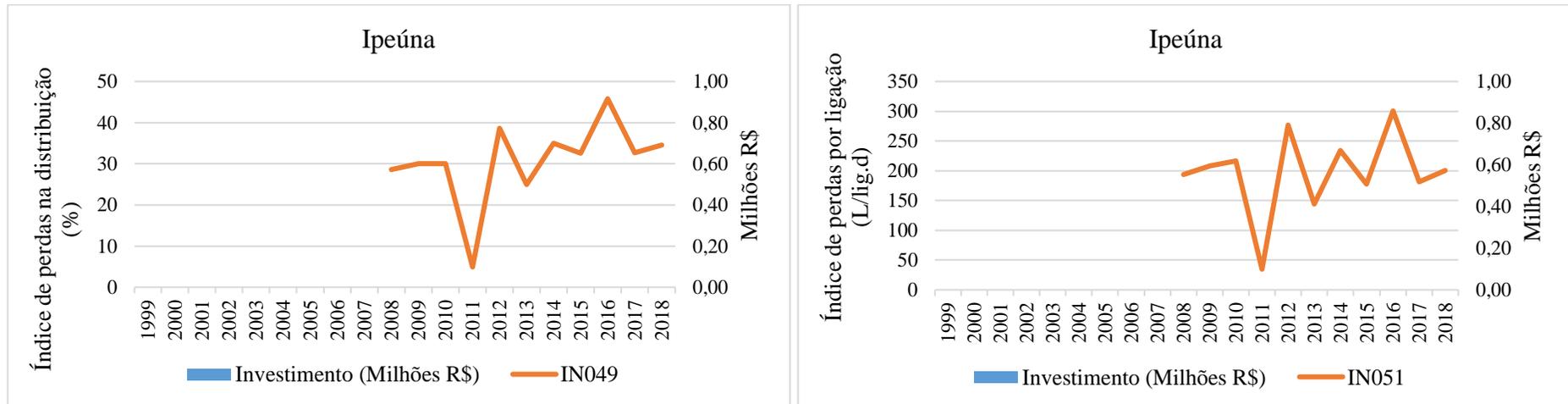
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 47: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Indaiatuba.



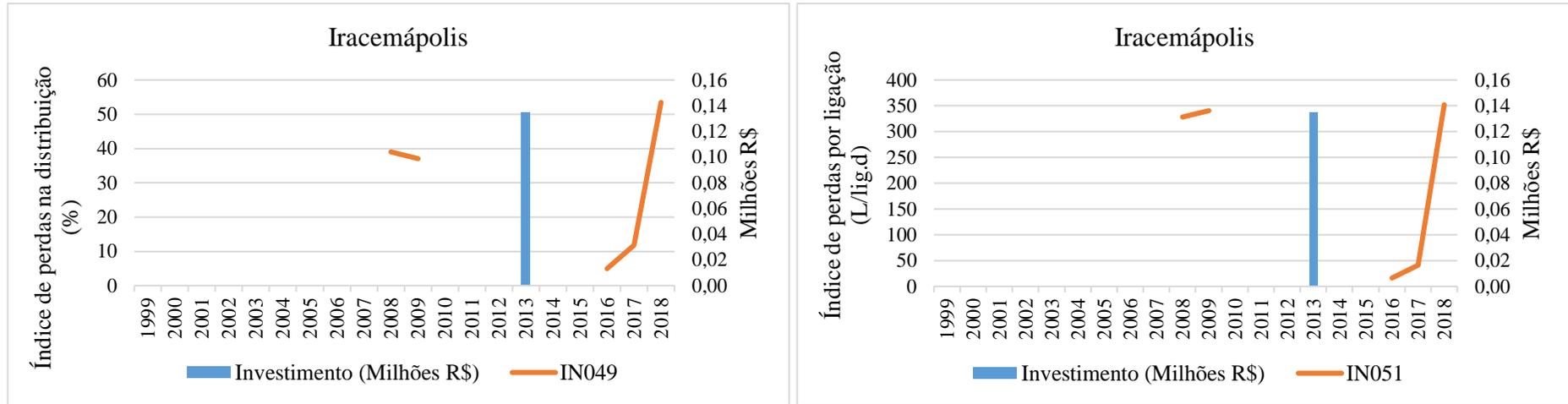
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 48: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Ipeúna.



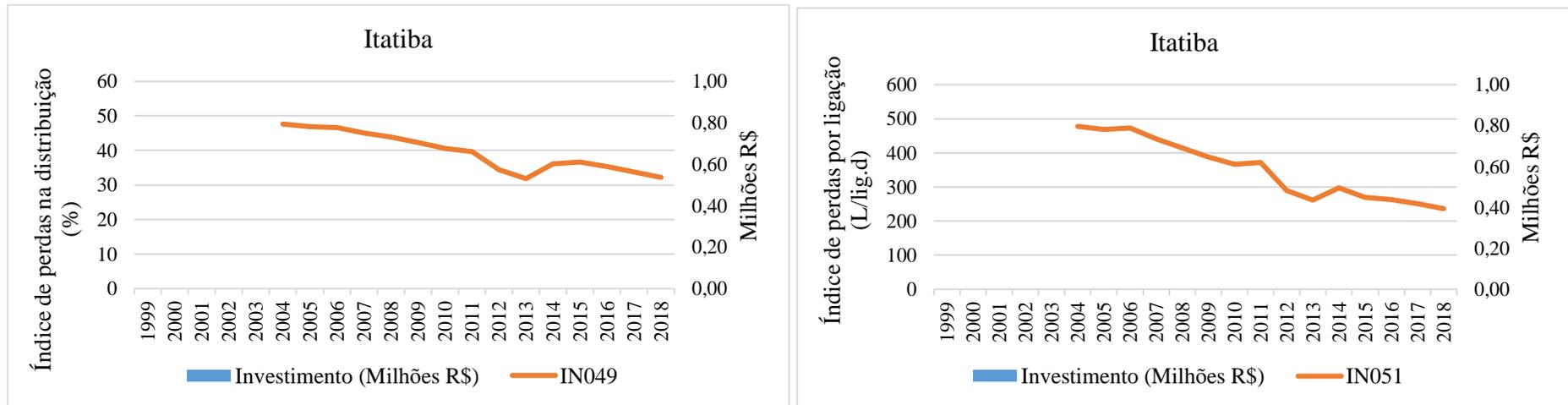
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 49: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Iracemápolis.



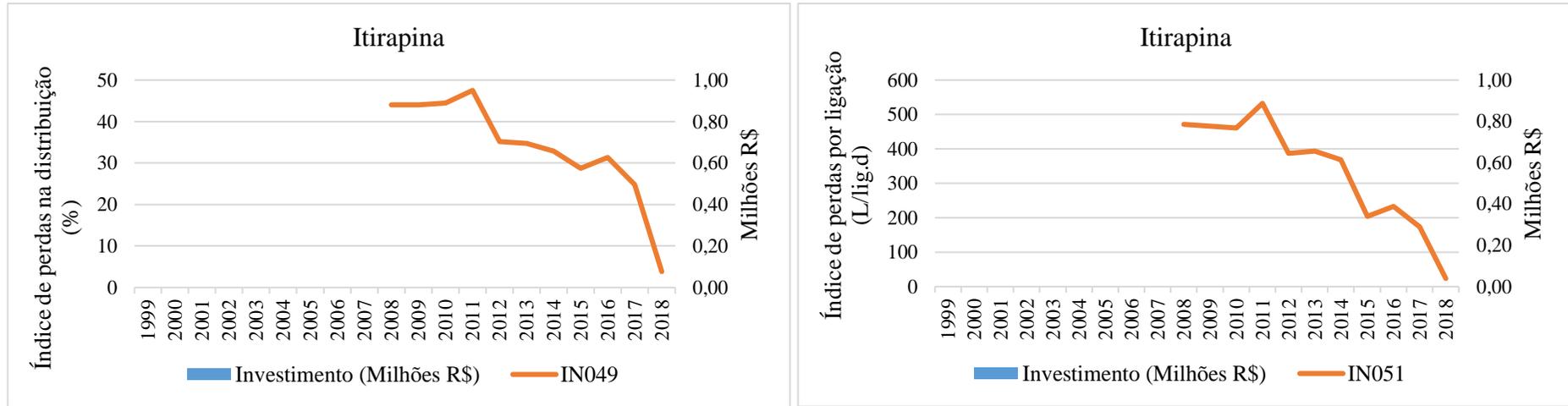
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 50: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Itatiba.



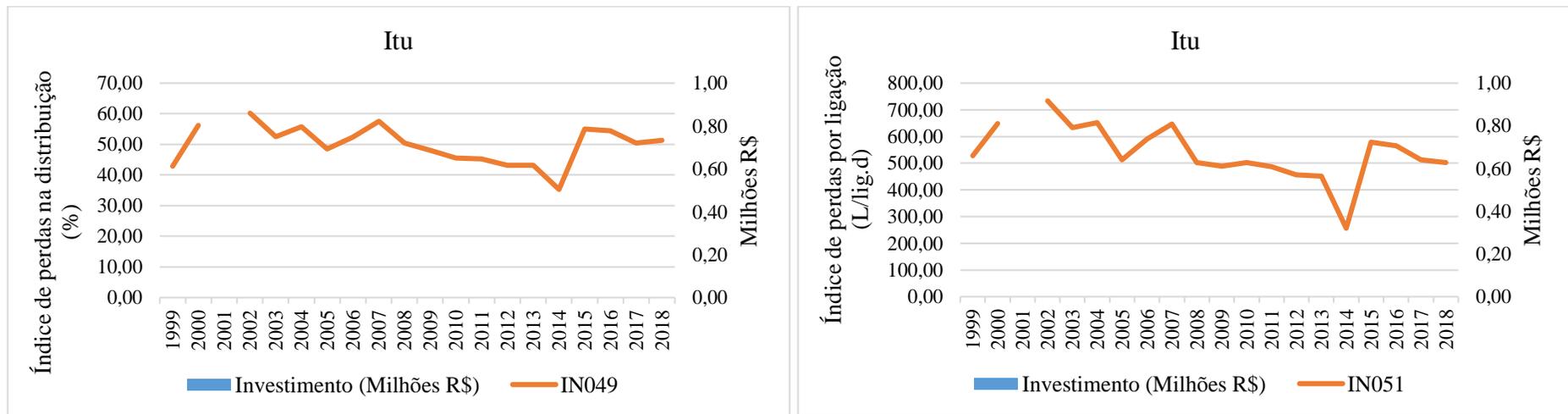
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 51: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Itirapina.



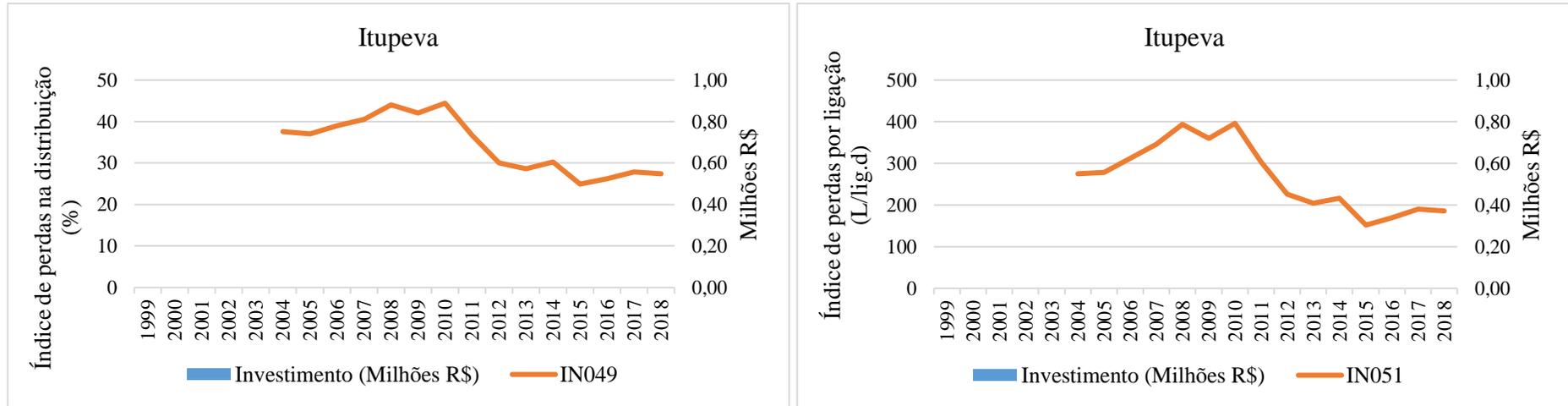
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 52: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Itu.



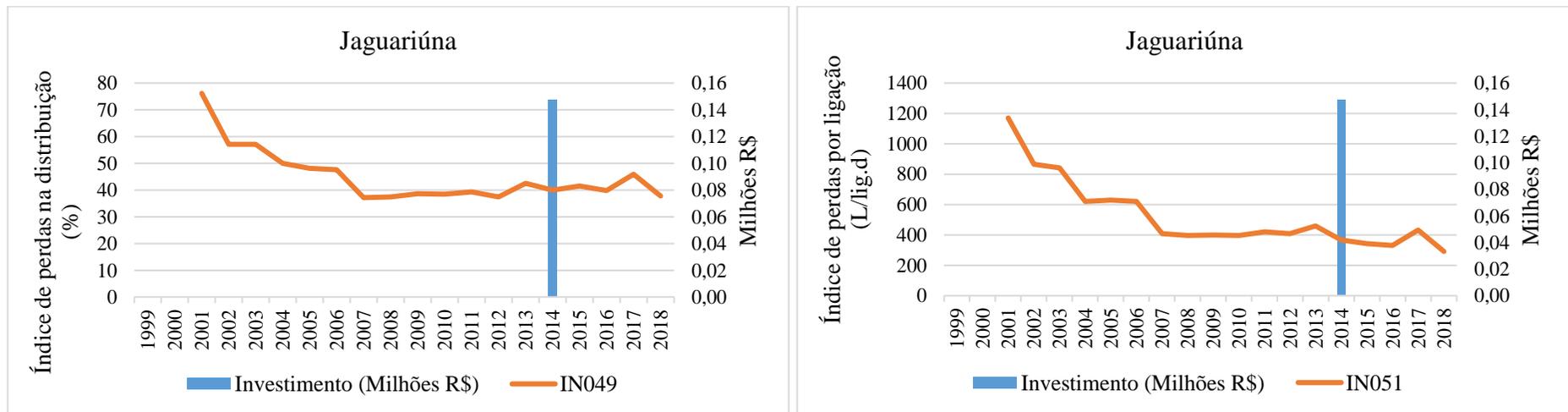
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 53: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Itupeva.



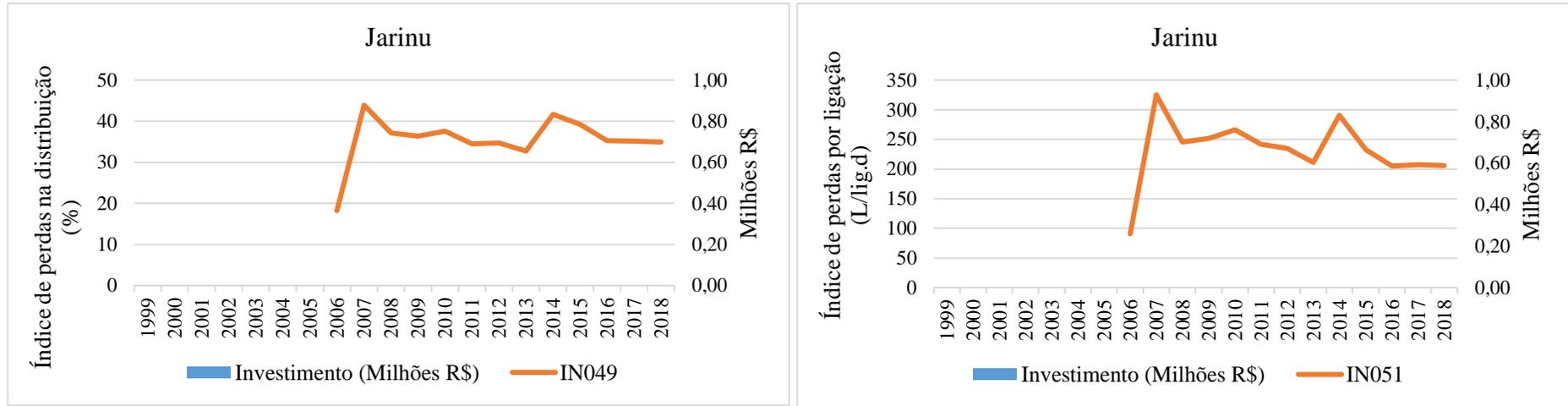
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 54: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Jaguariúna.



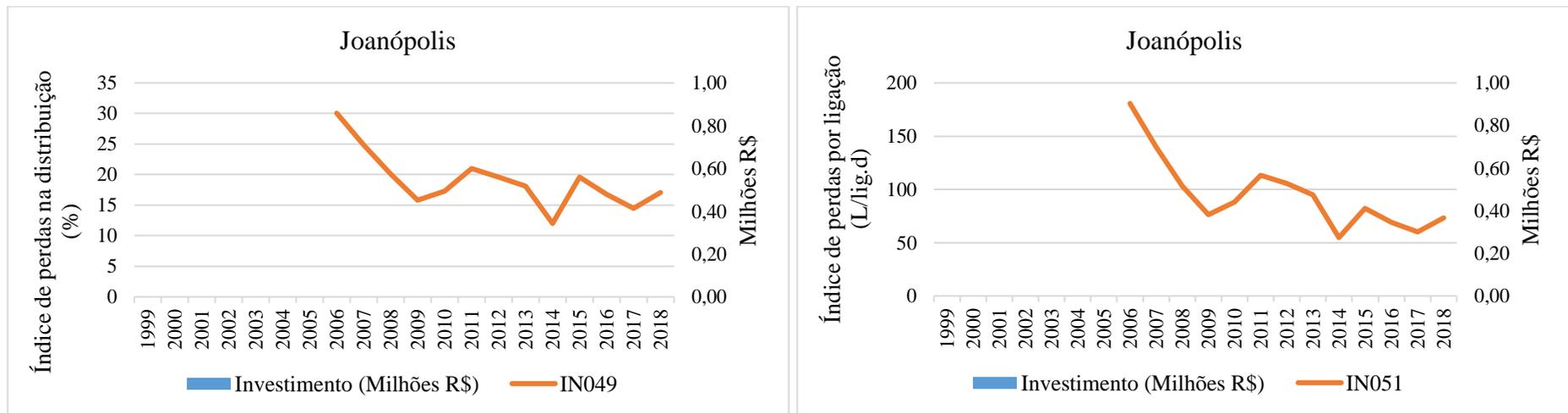
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 55: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Jarinu.



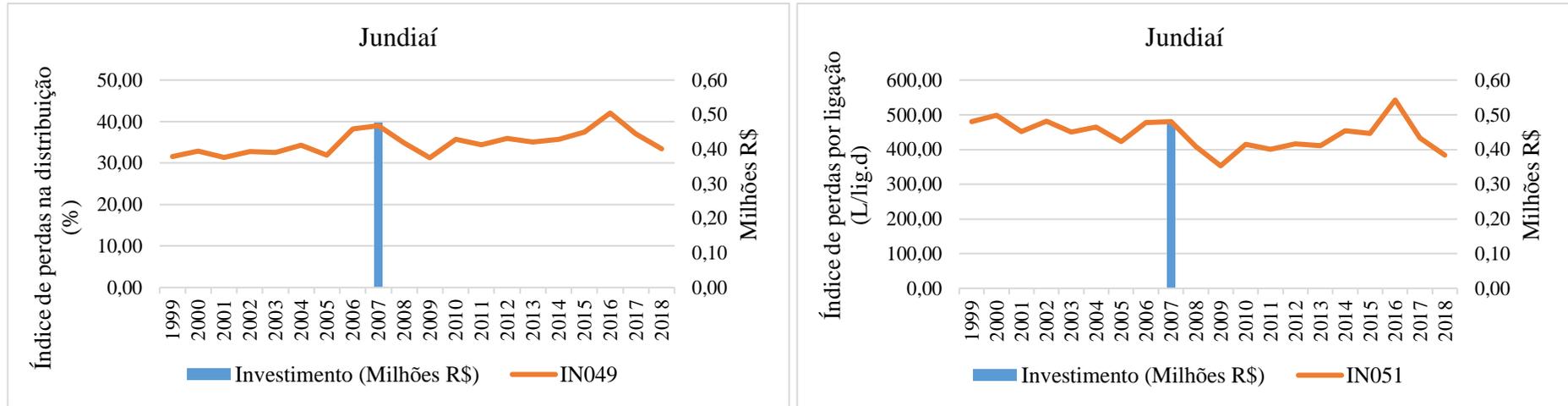
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 56: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Joanópolis.



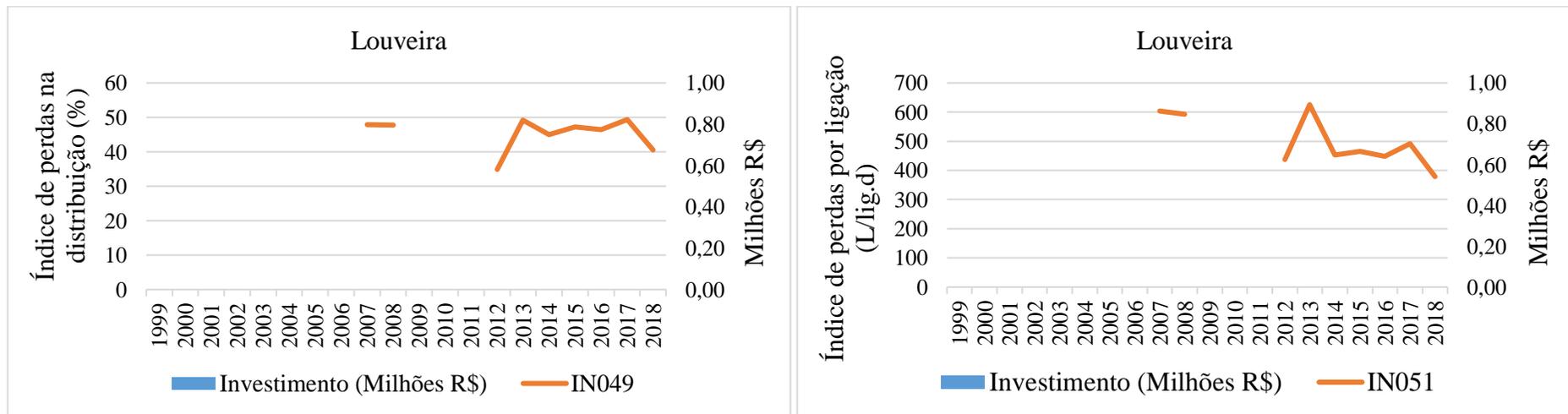
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 57: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Jundiá.



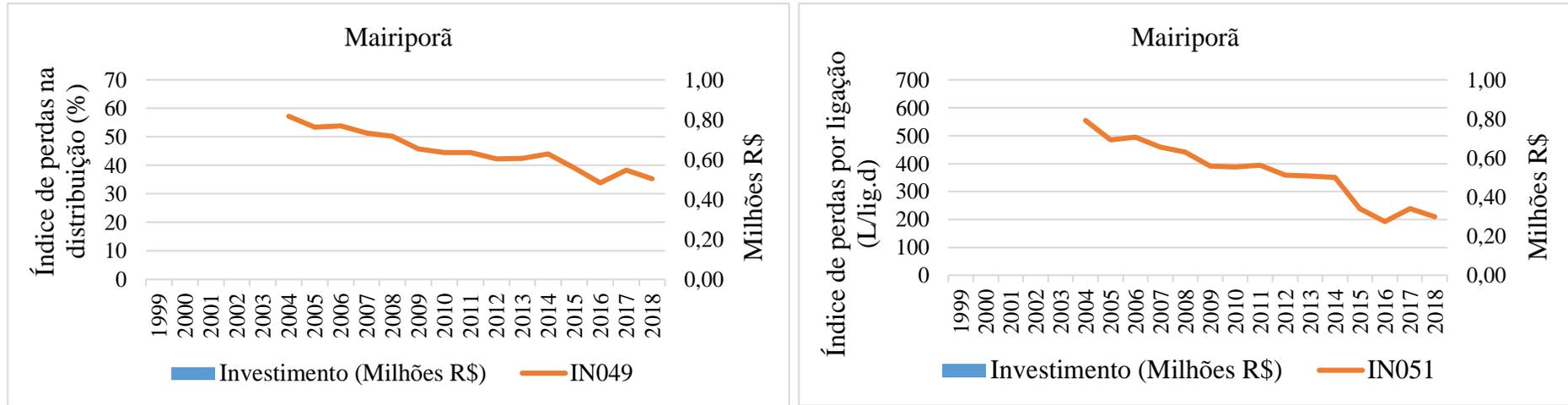
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 58: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Louveira.



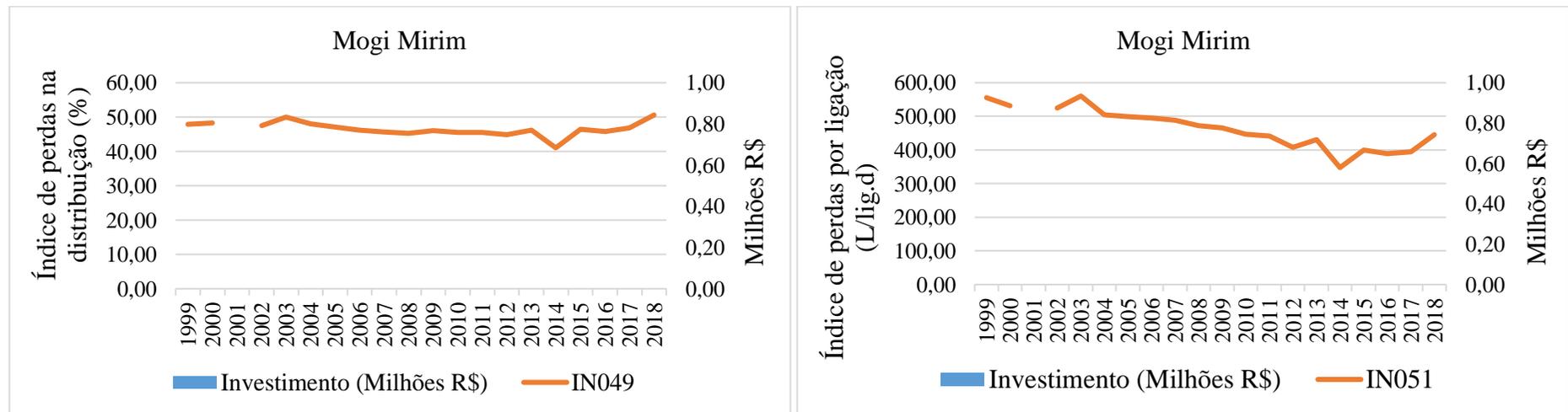
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 59: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Mairiporã.



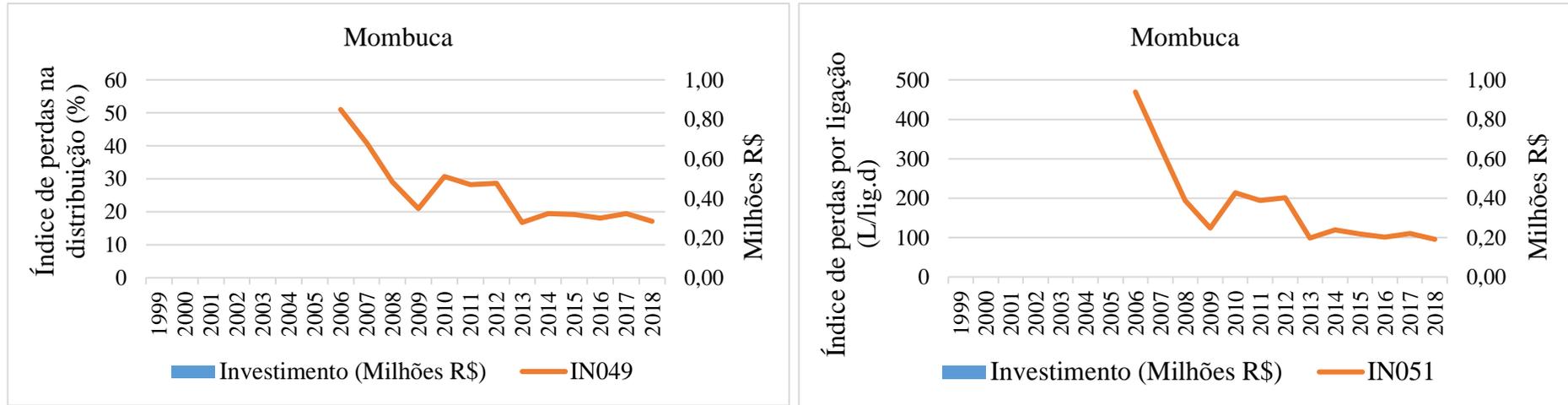
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 60: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Mogi Mirim.



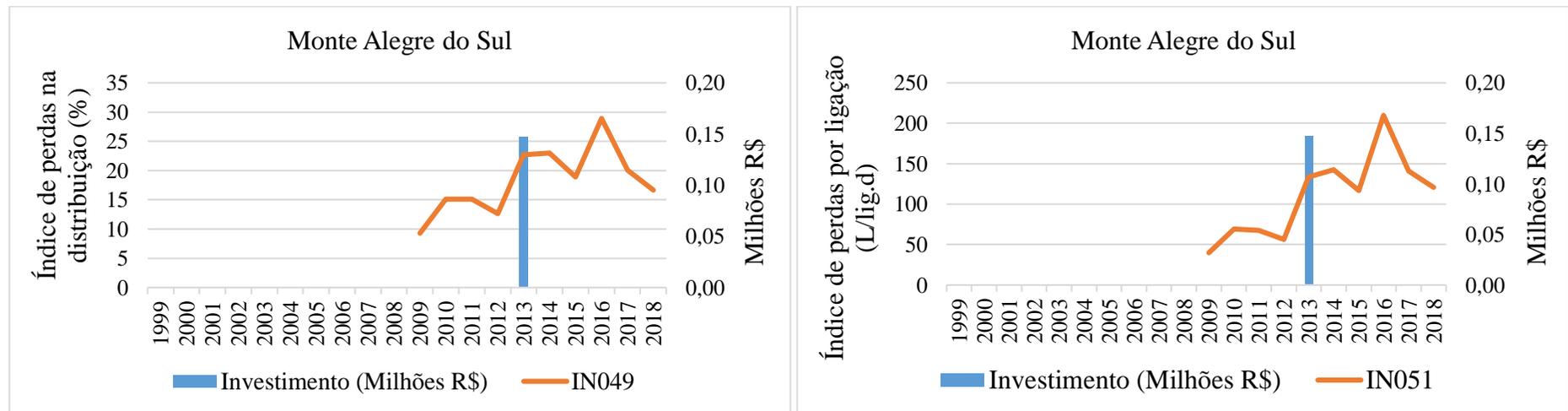
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 61: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Mombuca.



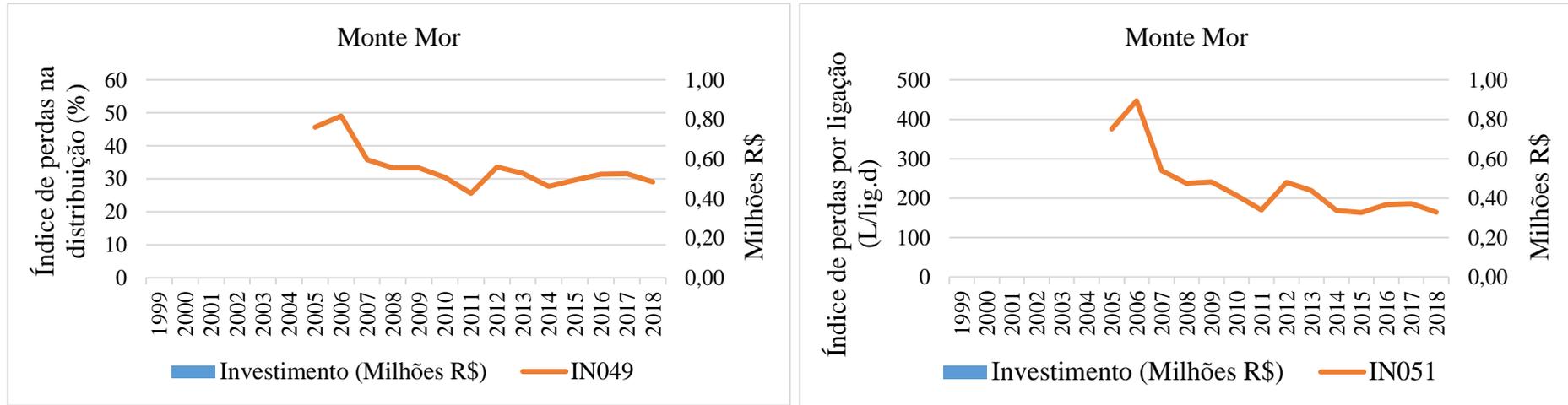
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 62: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Monte Alegre do Sul.



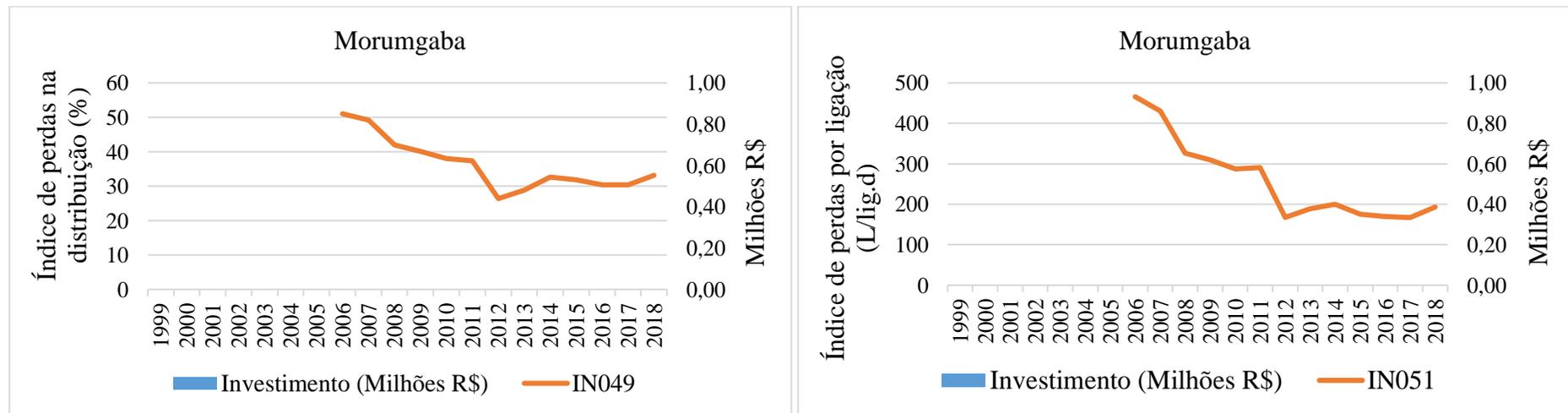
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 63: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Monte Mor.



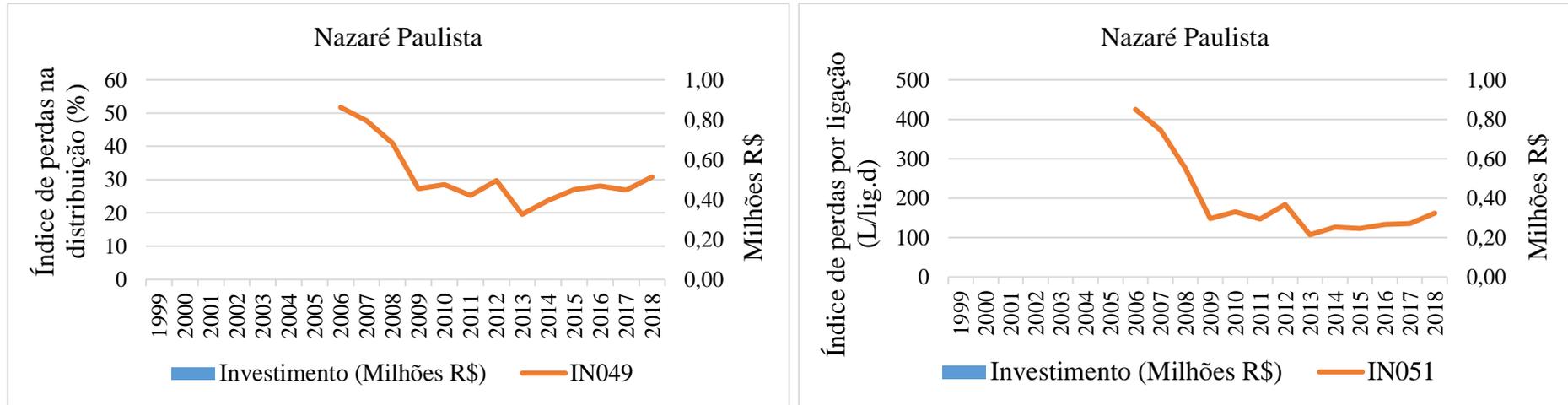
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 64: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Morumgaba.



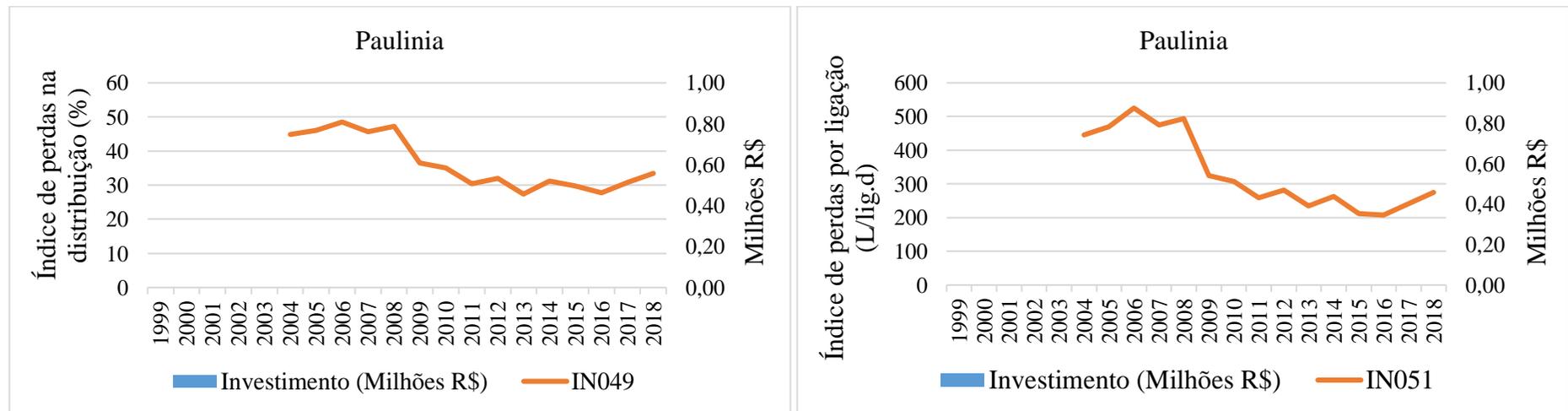
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 65: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Nazaré Paulista.



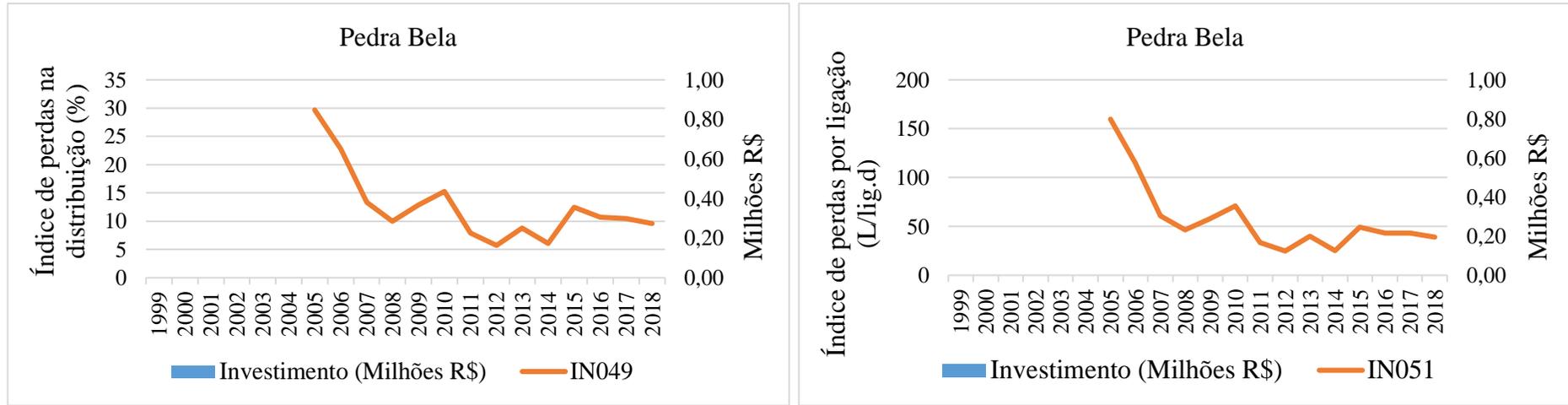
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 66: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Paulínia.



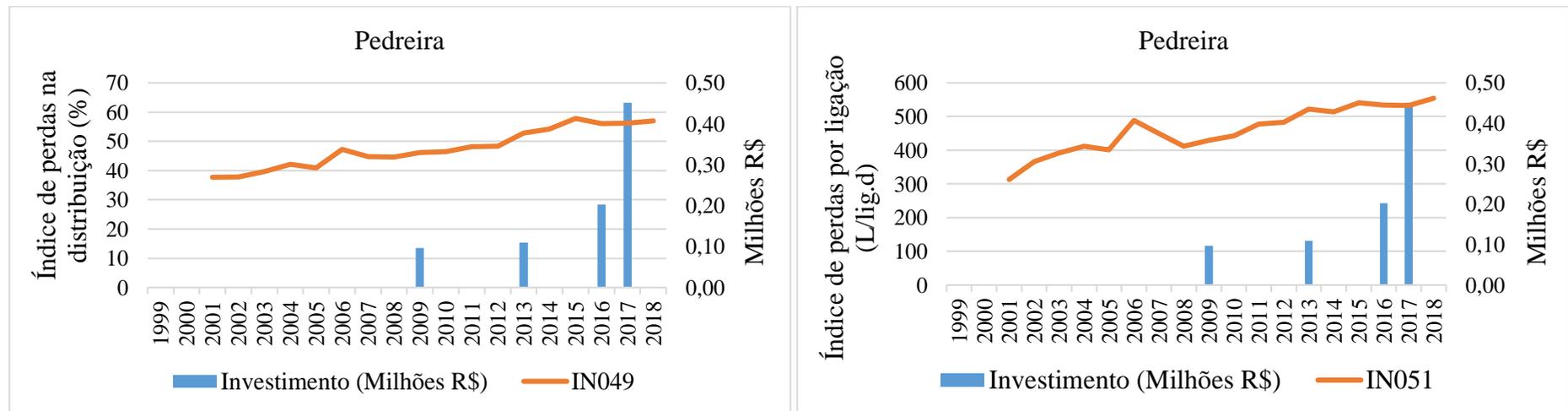
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 67: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Pedra Bela.



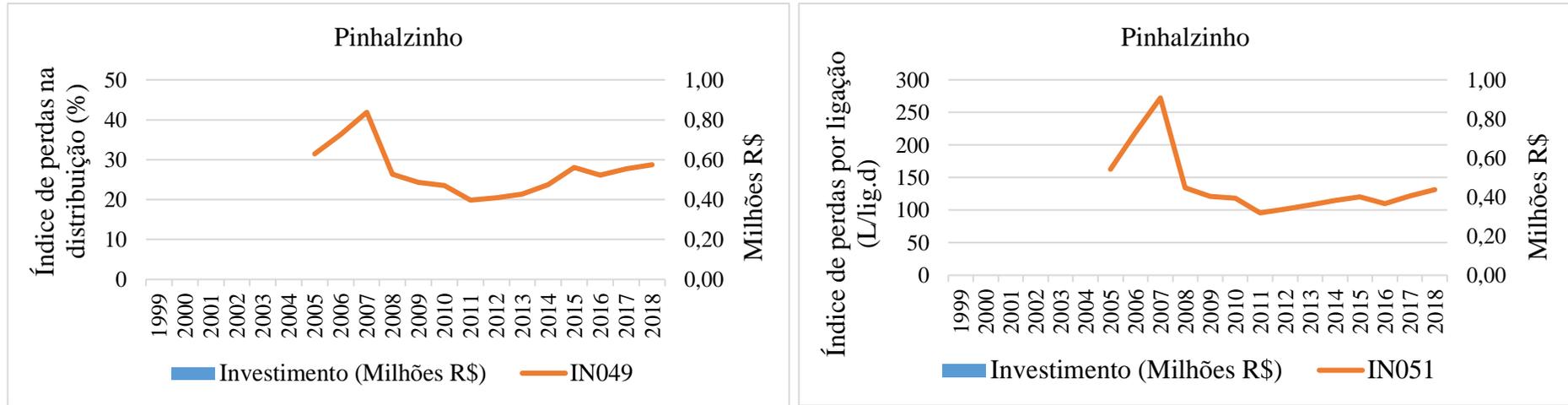
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 68: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Pedreira.



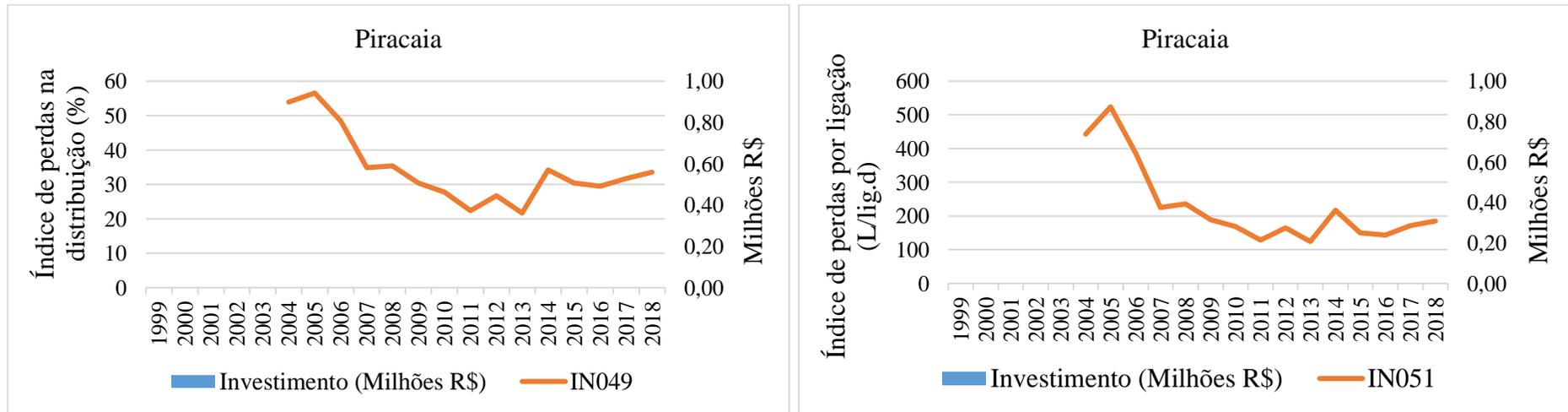
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 69: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Pinhalzinho.



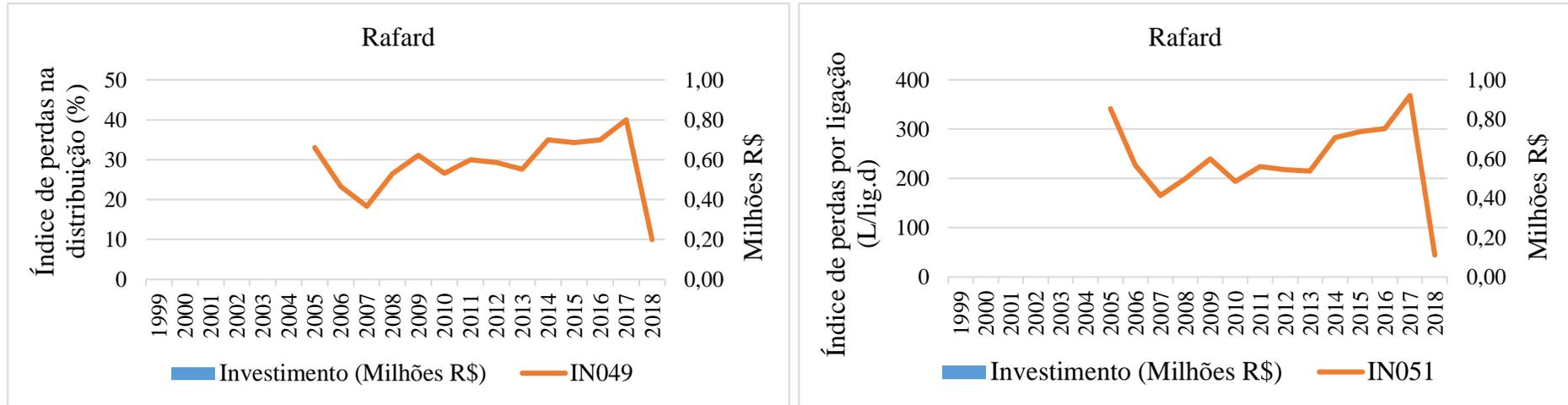
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 70: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Piracaia.



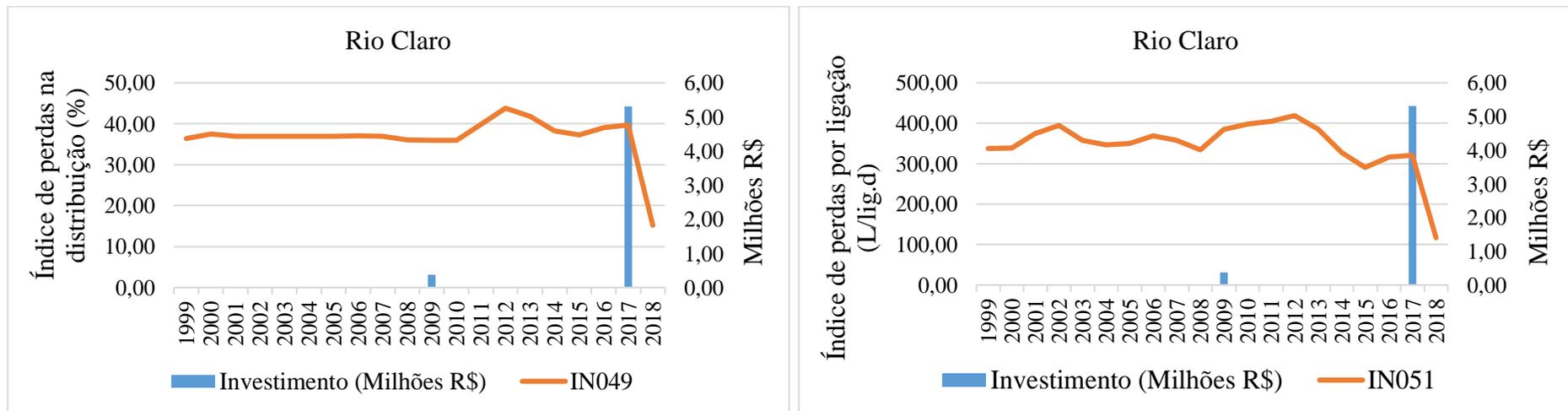
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 71: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Rafard.



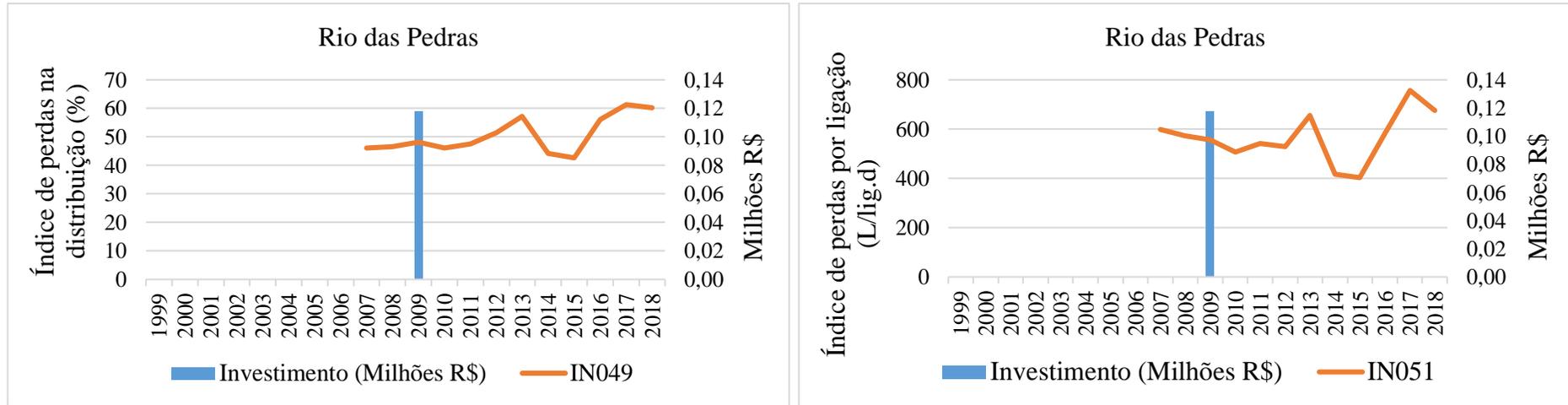
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 72: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Rio Claro.



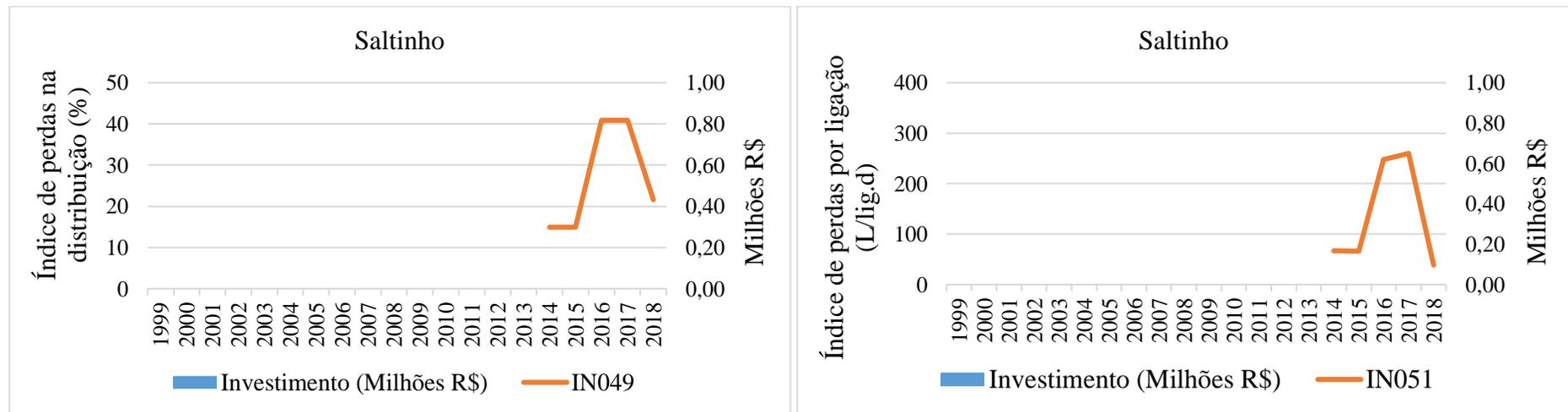
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 73: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Rio das Pedras.



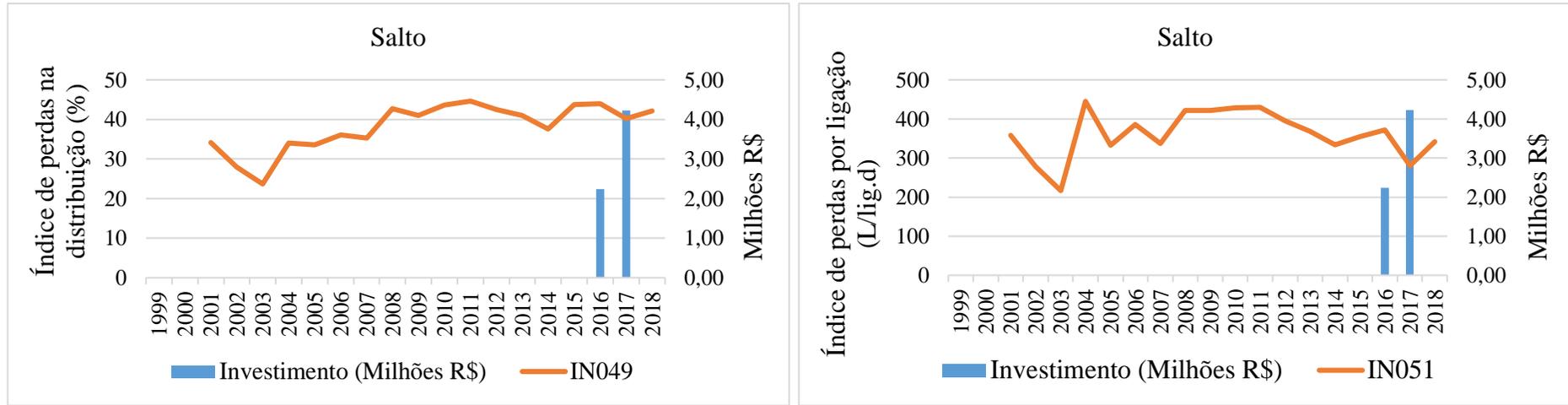
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 74: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Saltinho.



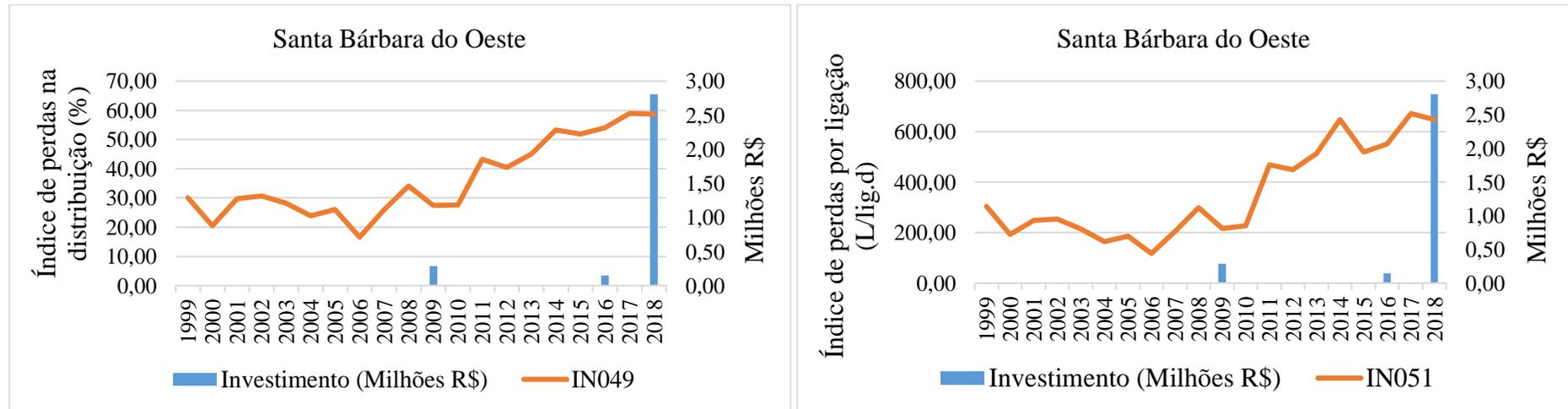
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 75: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Salto.



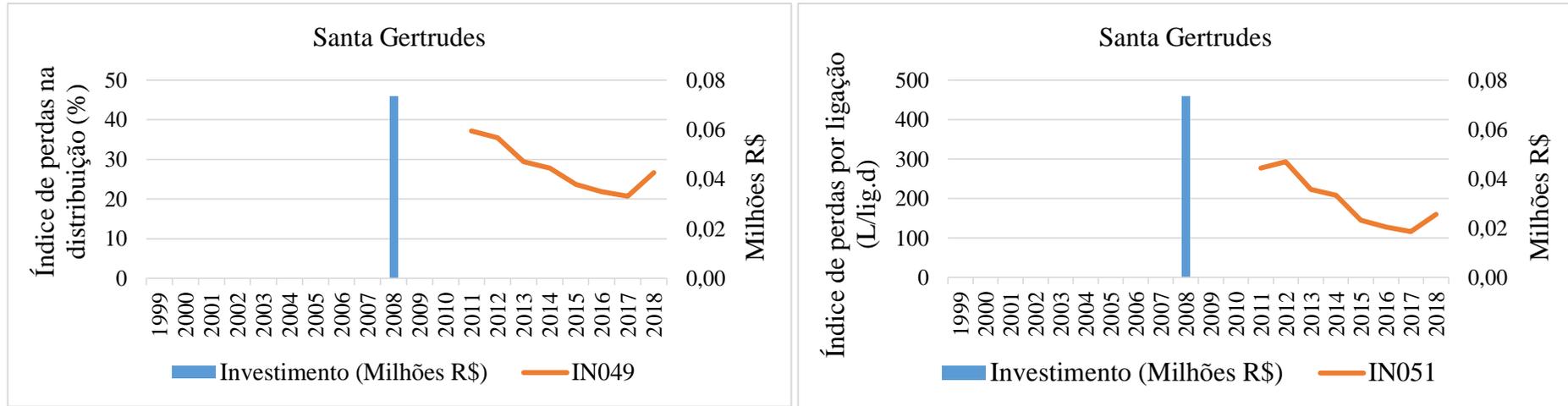
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 76: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Santa Bárbara do Oeste.



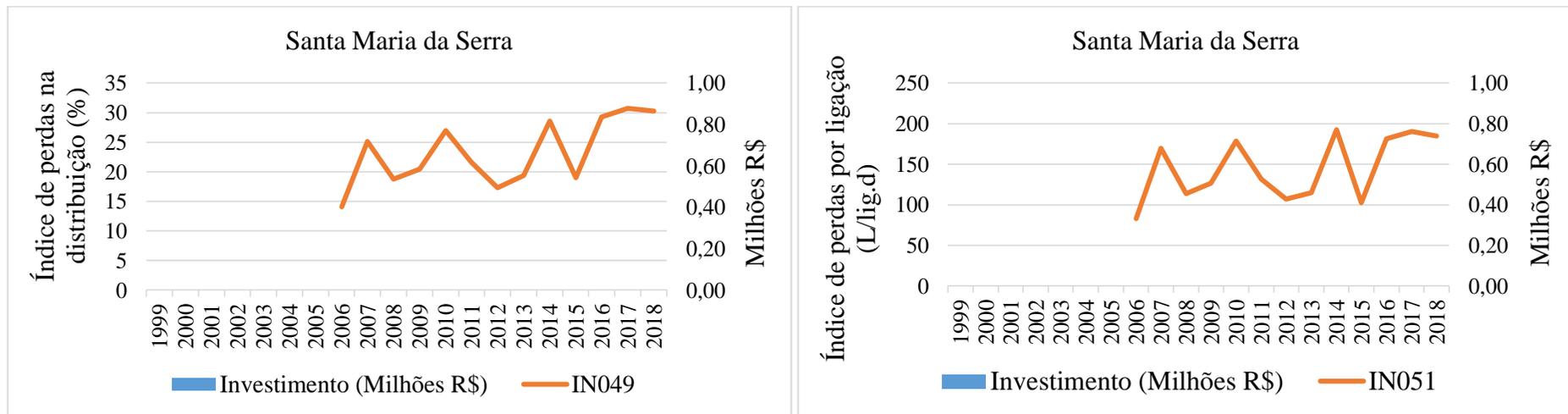
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 77: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Santa Gertrudes.



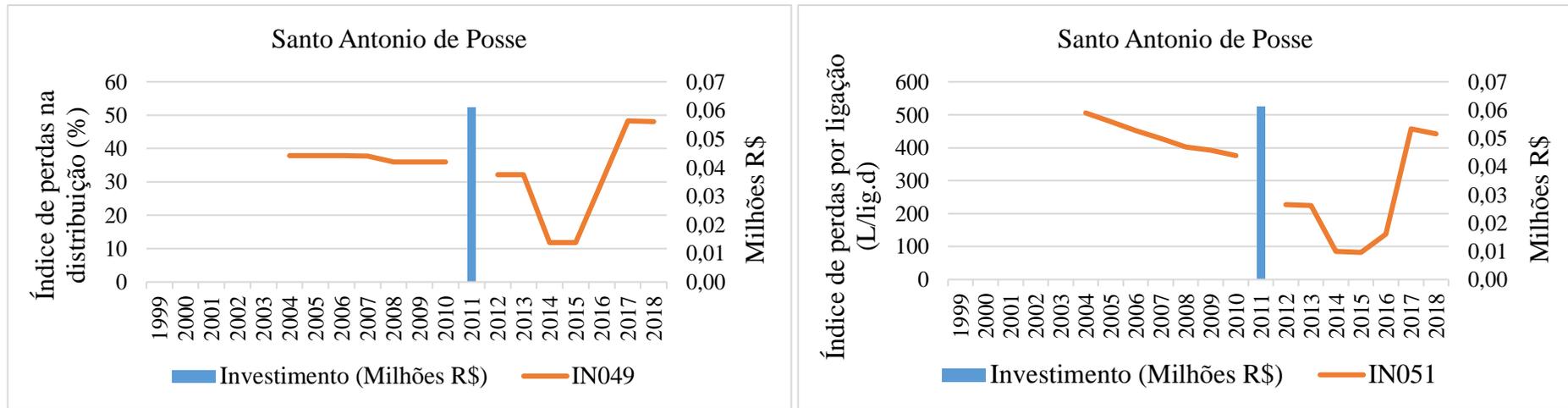
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 78: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Santa Maria da Serra.



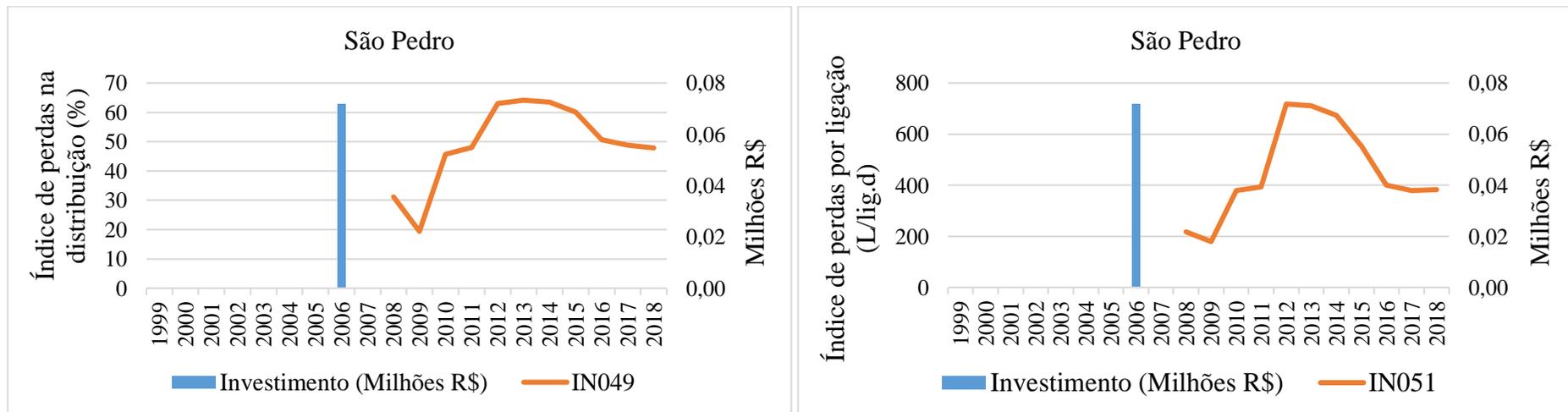
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 79: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Santo Antônio de Posse.



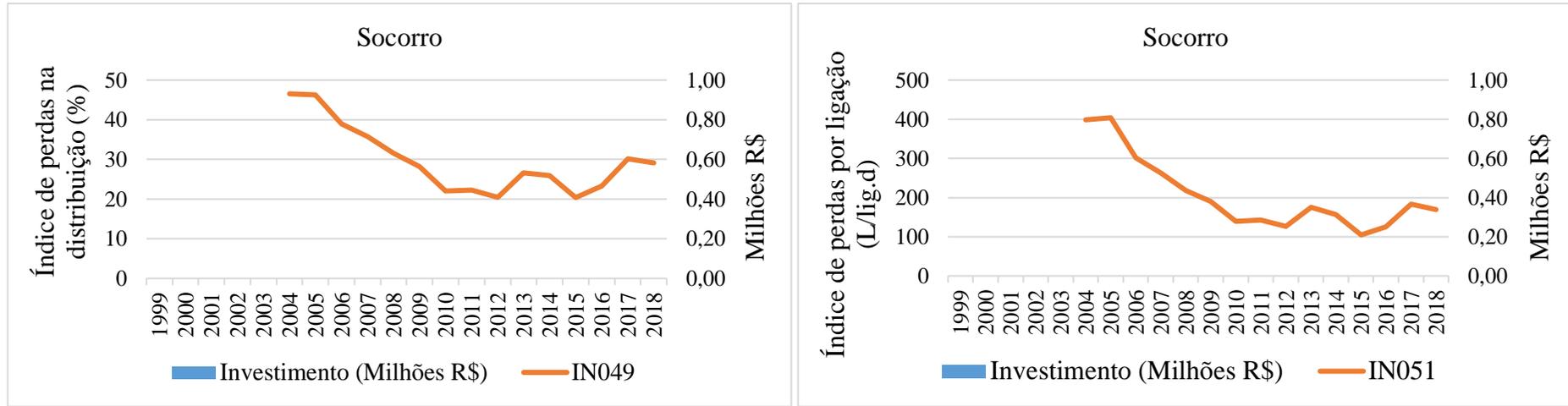
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 80: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para São Pedro.



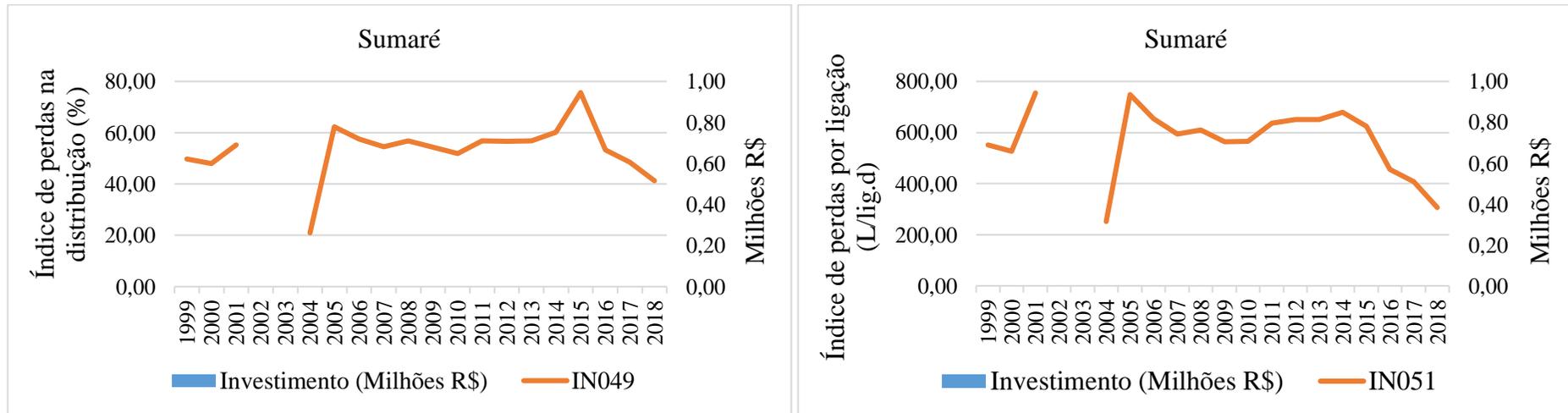
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 81: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Socorro.



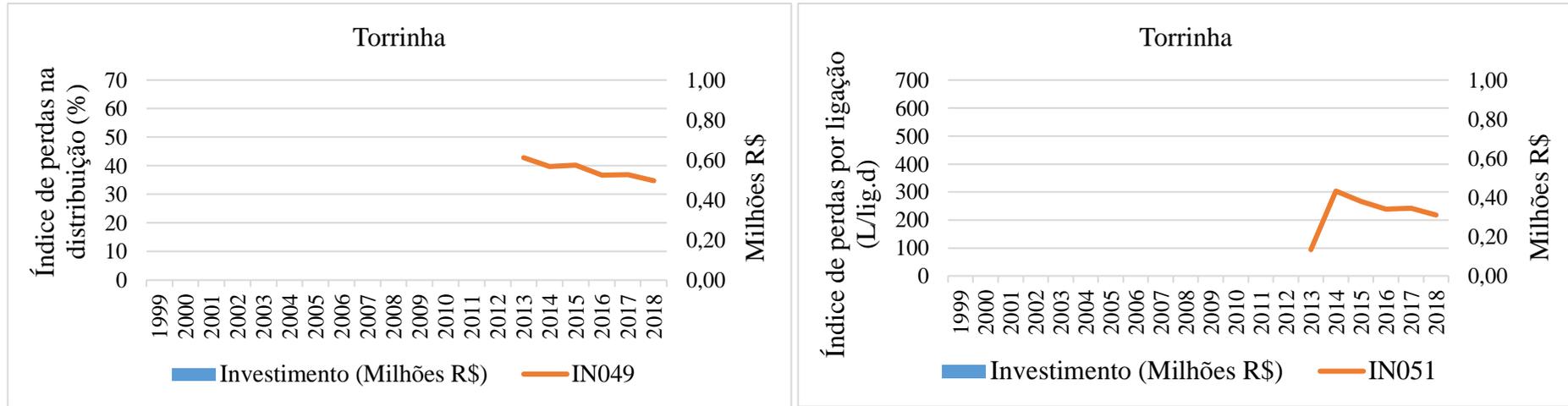
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 82: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Sumaré.



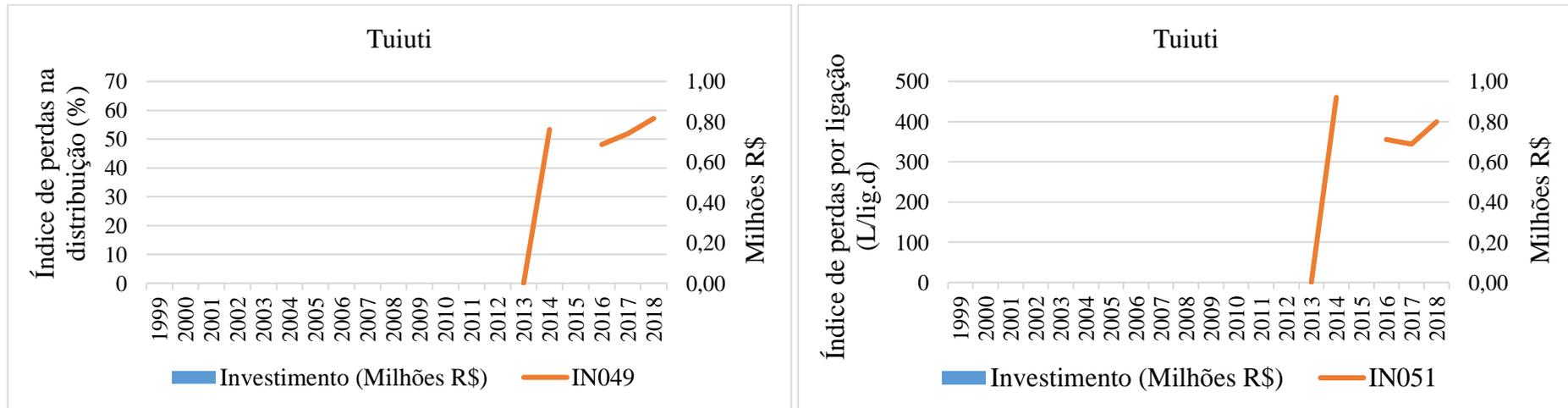
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 83: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Torrinha.



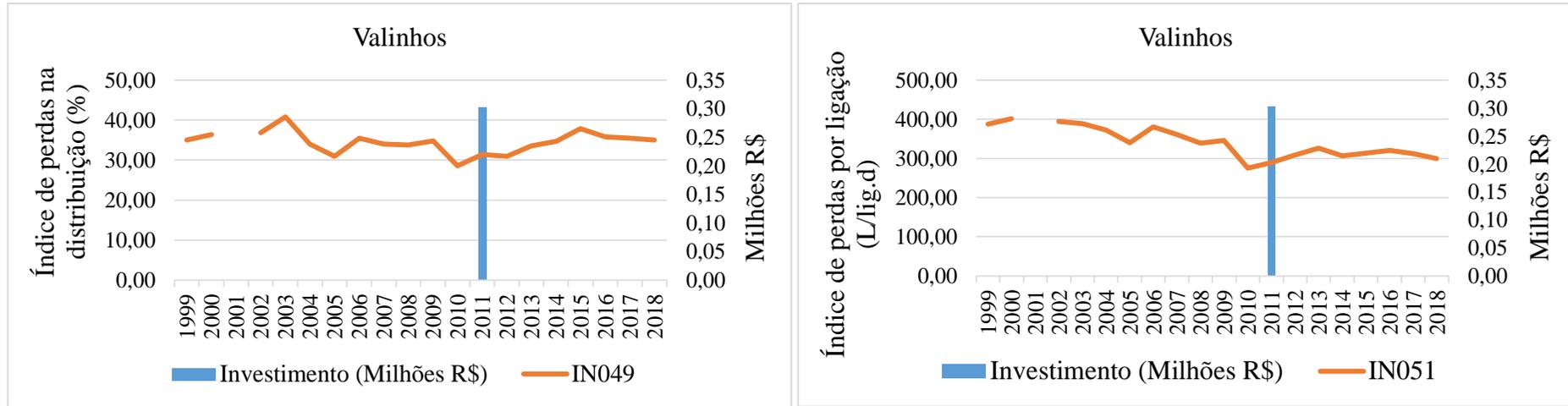
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 84: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Tuiuti.



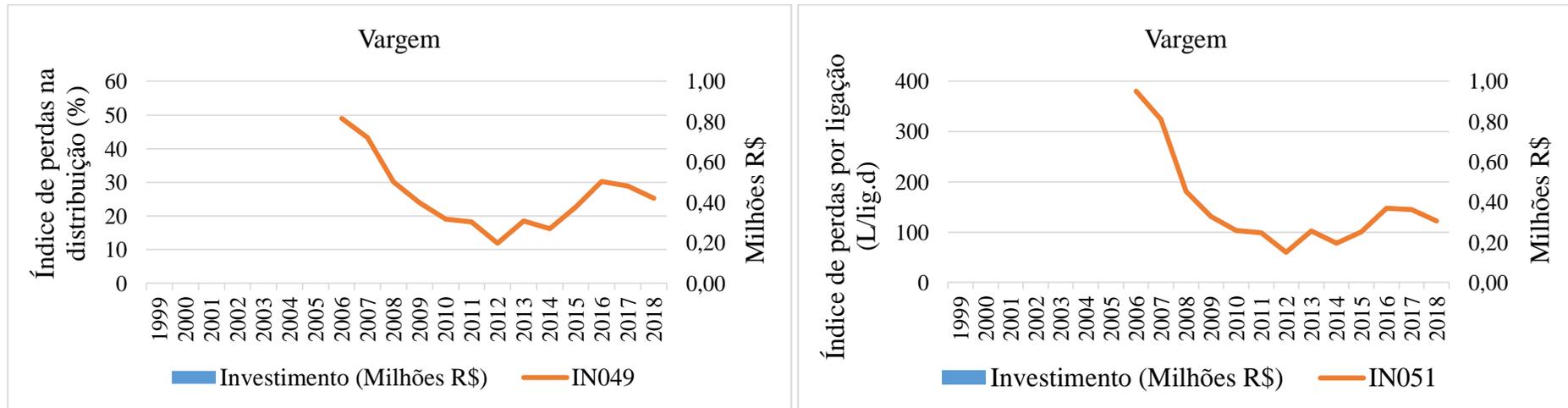
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 85: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Valinhos.



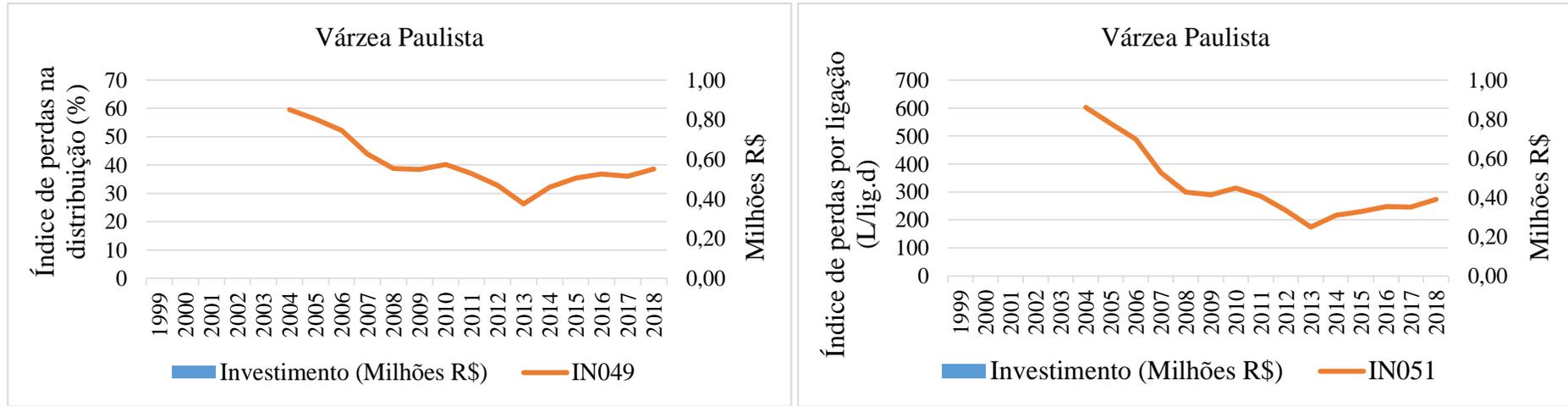
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 86: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Vargem.



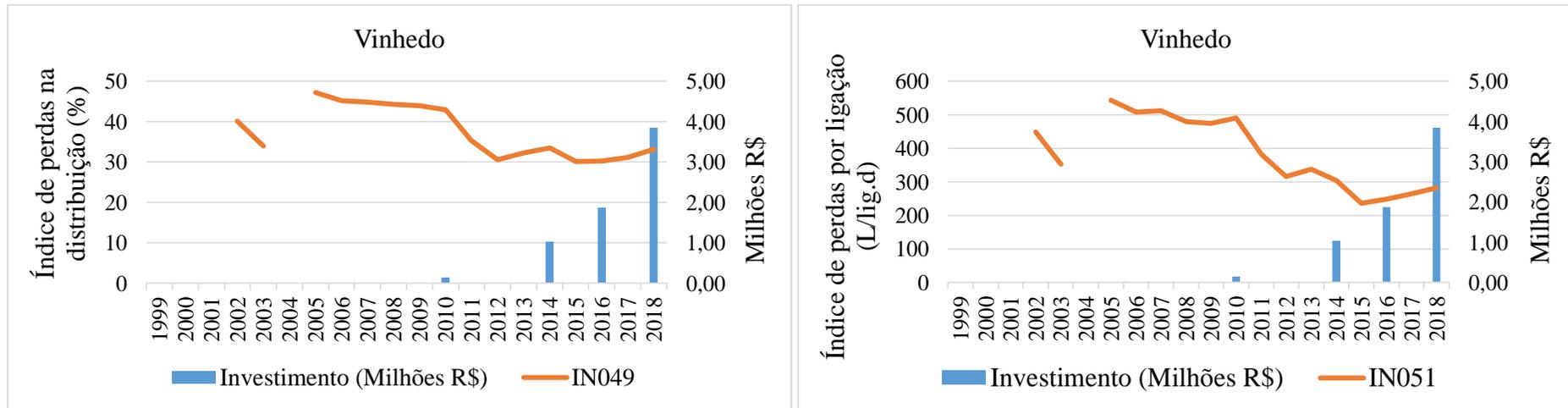
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 87: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Várzea Paulista.



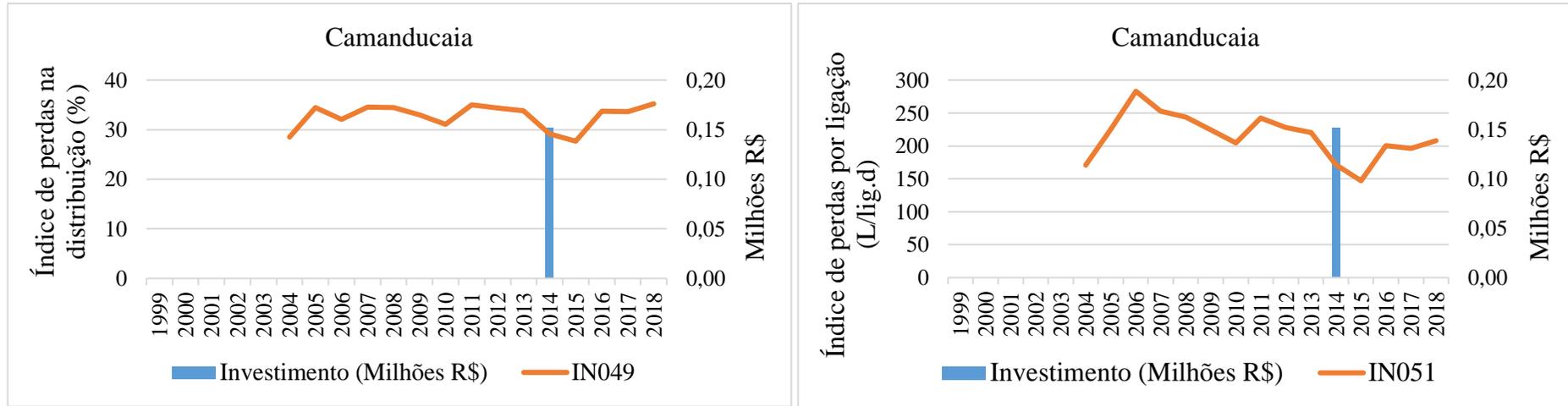
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 88: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Vinhedo.



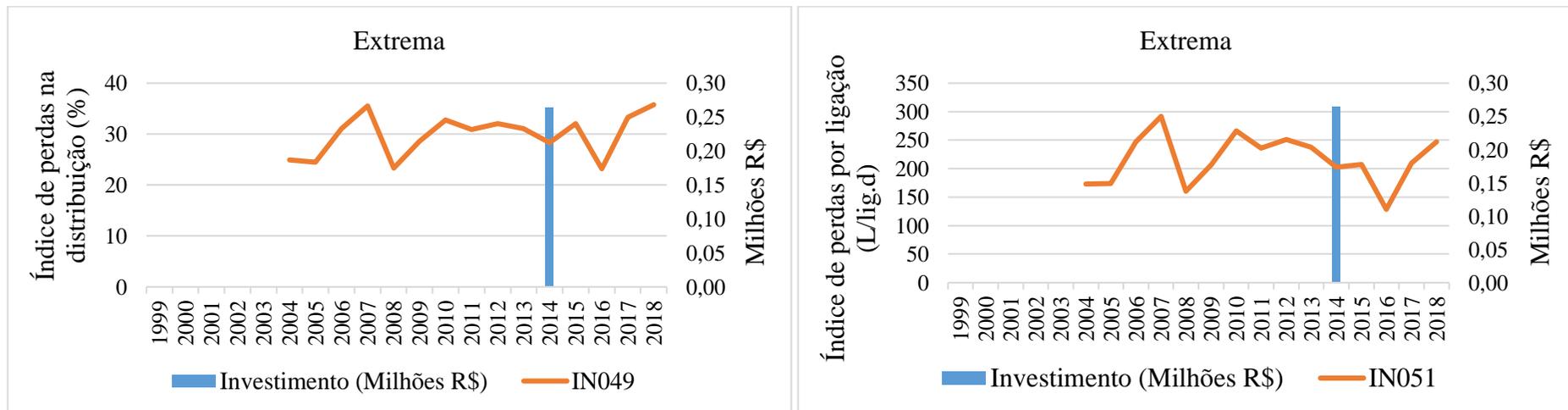
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 89: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Camanducaia.



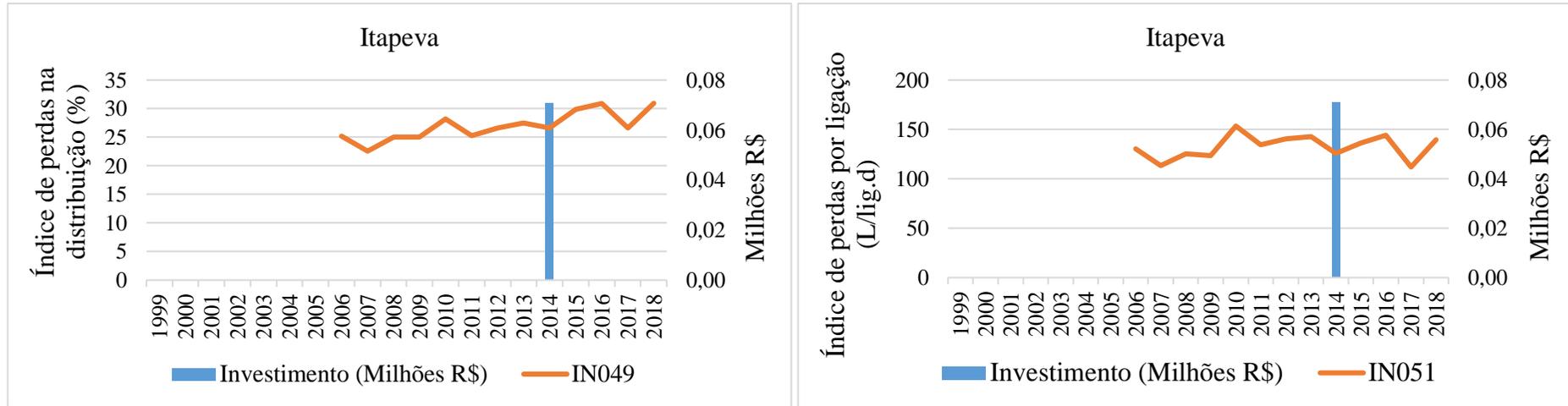
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 90: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Extrema.



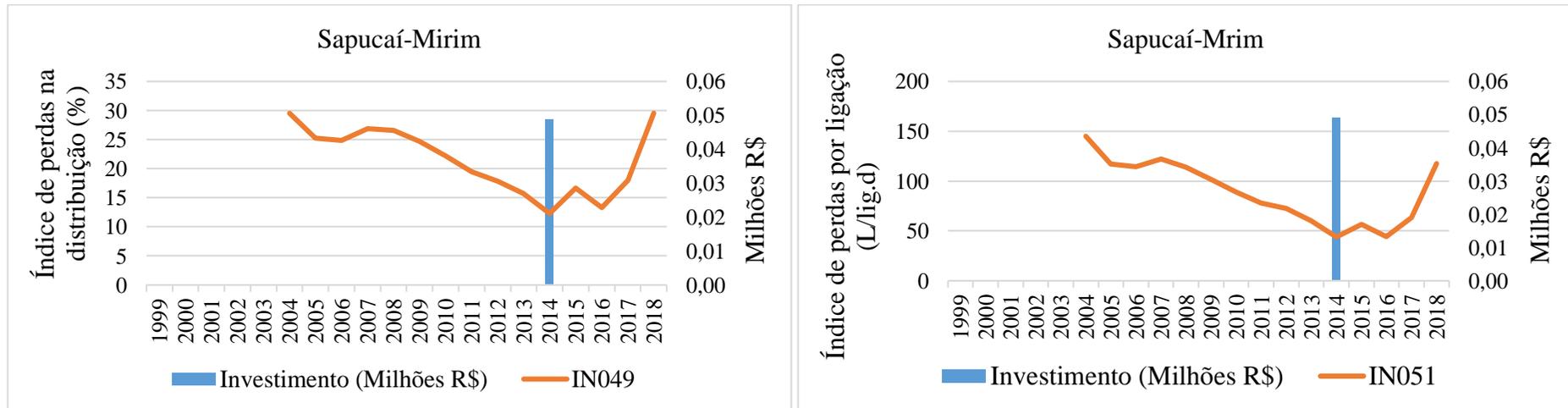
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 91: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Itapeva.



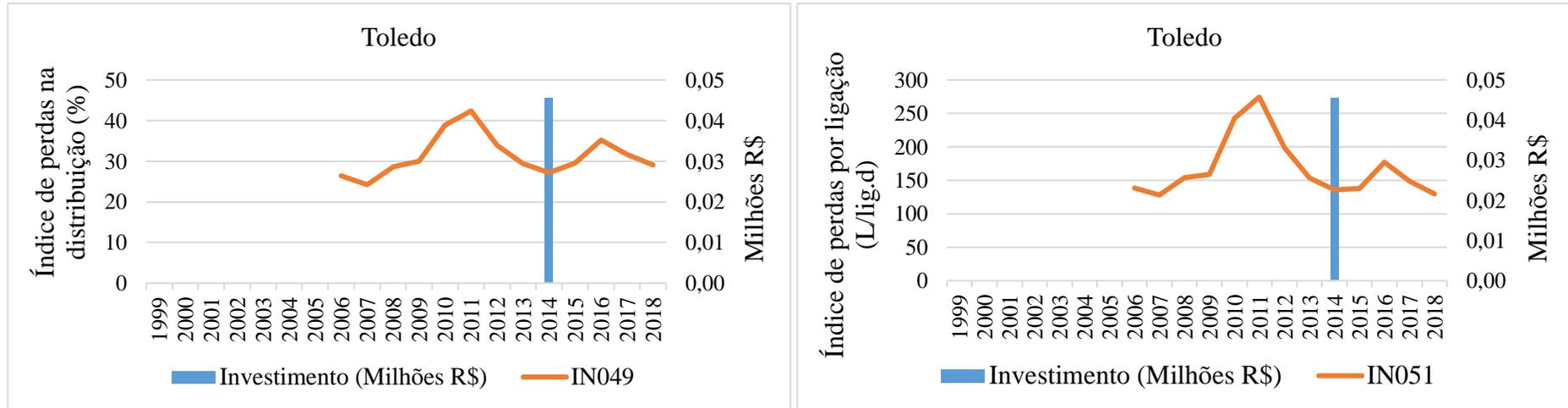
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 92: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Sapucaí-Mirim.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Figura 93: Evolução temporal do IN049, IN051 e dos investimentos em combate às perdas para Toledo.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).



EESC • USP