

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Estudos de indicadores de eficiência hídrica, energética e de sustentabilidade aplicados a sistemas de distribuição de água real do Sul de Minas Gerais

Halison Junior Alves

ITAJUBÁ
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Halison Junior Alves

Estudos de indicadores de eficiência hídrica, energética e de sustentabilidade aplicados a sistemas de distribuição de água real do Sul de Minas Gerais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Itajubá, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH

Orientador: Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva

ITAJUBÁ
2018

Dedico este trabalho a toda a minha família que sempre me apoia em todos os desafios mesmo diante das dificuldades.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de toda minha inspiração e motivação ao longo de toda a trajetória na busca pelo título de mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Ao professor e orientador Dr. Fernando das Graças Braga da Silva, pela paciência, preocupação, por acreditar em meu potencial desde o início da pesquisa e pela disposição nas orientações de forma clara e objetiva sempre incentivando a busca por novos desafios

A toda minha família, em especial minha mãe, que me apoia em todas as dificuldades e está comigo nos momentos tristes e nas vitórias conquistadas até aqui, agradeço a minha namorada, amiga e companheira pela paciência e pelos conselhos em momentos difíceis ao longo de toda a trajetória até aqui.

Ao projeto Redecope Finep – MCT (Ref. 0983/10) – Ministério da Ciência e Tecnologia intitulado “Desenvolvimento de tecnologias eficientes para a gestão hidro energética em sistemas de abastecimento de água” e Programa Pesquisador Mineiro da Fapemig pelo PPM – 00755-16.

À CAPES pela bolsa de estudo concedida durante todo o período de mestrado.

À UNIFEI por proporcionar possibilidades de ampliar o conhecimento e tornar um profissional mais qualificado, em especial, aos integrantes do NUMMARH – Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos, por fornecerem dados que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa e pela disposição em tirar dúvidas a respeito dos dados coletados.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, pela atenção e empenho que contribuíram para minha formação acadêmica.

A todos meus colegas de mestrado, pelo companheirismo e apoio ao longo desta caminhada.

RESUMO

Os sistemas de abastecimento de água necessitam de estudos e investimentos para à busca de melhoria na eficiência, em especial no uso dos recursos hídricos e energéticos. Neste contexto, o estudo tem como objetivo avaliar o desempenho de um sistema de distribuição de água real situado no sul de Minas Gerais, por meio de indicadores de eficiência hídrica, energética e proposta de indicadores de sustentabilidade. Na literatura a medição de desempenho para sistemas de abastecimento utiliza indicadores operacionais, de infraestrutura e financeiros, direcionados à produtividade, caracterizando-se uma lacuna referente à avaliação de eficiência dos sistemas. Realizou-se uma pesquisa bibliográfica com diversos indicadores com potencial de aplicabilidade em sistemas reais com uma seleção de indicadores em linhas gerais relacionados a eficiência hídrica, energética e perdas de água propostos pelas principais associações mundiais de saneamento. Estes foram aplicados para o sistema de distribuição de água objeto de análise, que conformou a área de estudo e forneceram subsídios necessários para a adequação e proposição de indicadores relacionados a sustentabilidade. Deste modo, foram propostos indicadores de compensação hídrica (ICHR) e energética (ICER) utilizando conceitos de técnicas de sustentabilidade e economia de água e energia. Os resultados mostraram que o sistema analisado apresentou relativamente baixos índices de perdas e de consumo *per capita*, embora esta ainda bem representativos. Em termos de indicadores de sustentabilidade demonstrou-se potencialidade de auxílio na análise e comparação dos sistemas, entretanto, poderão ser melhor avaliados em futuros estudos.

Palavras-chave: Sistemas de distribuição de água, Indicadores de desempenho, Eficiência hídrica e energética, Indicadores de sustentabilidade

ABSTRACT

Water supply systems need studies and investments to improve its efficiency, especially in what concerns the usage of water and energy resources. In this context, the objective of this study is to evaluate the performance of a real water distribution system situated in the southern region of Minas Gerais, through indicators of water and energy efficiency and the proposal of sustainability indicators. In the literature, performance measurement for water supply systems uses operational, infrastructure and financial indicators targeted at productivity, characterizing a gap regarding the evaluation of system efficiency. A literature research was carried with several indicators with potential applicability in real systems, selecting indicators related to water and energy efficiency and water losses, proposed by the main sanitation associations in the world. These indicators were applied to the real water distribution system of the study and they provided the necessary inputs for the adequacy and proposition of indicators related to sustainability. Thereby, indicators of water (ICHR) and energy compensation (ICER) were proposed using the concepts of sustainability, water, and energy saving techniques. Results showed that the analyzed system presented relatively low rates of losses and per capita consumption, although this is still very representative. The analysis illustrated that it is possible to understand and extract knowledge for the systems with studies based on indicators. In terms of sustainability indicators, it showed potentiality of aid in the analysis and comparison of systems, however, they may be better evaluated in future studies.

Keywords: Water distribution systems, Performance indicators, Water and energy efficiency, Sustainability indicators

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de vazamentos e ações de combate a perdas reais	20
Figura 2 - Formas de caracterização de perdas.....	21
Figura 3 - Representação espacial do índice de perdas na distribuição (Indicador IN049), distribuídos por faixas percentuais, segundo estado	22
Figura 4 - Volume de controle de uma rede de água dentro dos termos de balanço energético	26
Figura 5 - Sistema de indicadores de desempenho da IWA.....	28
Figura 6 - Etapas da metodologia	53
Figura 7 - Esquema de abastecimento do setor de estudo.....	75
Figura 8 - Indicadores de perdas (m ³ /ramal/ano).....	76
Figura 9 - Indicadores de perdas (m ³ /km/dia)	77
Figura 10 - Consumo médio per capita de água	78
Figura 11 - Cenário de perdas de água das operadoras de água	79
Figura 12 - Evolução histórica do indicador de perdas na distribuição	80
Figura 13 – Índice de perdas na distribuição (%)	80
Figura 14 - Demanda de potência elétrica.....	82
Figura 15 - Consumo diário do setor em estudo.....	82
Figura 16 - Indicadores ICHR captação de água de chuva	95
Figura 17 - Indicadores ICHR dispositivos hidráulicos.....	95
Figura 18 - Brasil e regiões, consumo médio residencial por unidade consumidora (kWh/mês)	101
Figura 19 - Consumo médio residencial, valores em kWh/mês e variação (%) em relação igual ao mês do ano anterior	101
Figura 20 - Indicadores ICER captação de energia solar	107
Figura 21 - Indicadores ICER equipamentos economizadores	108
Figura 22 - Influência da compensação hídrica com os indicadores de perdas.....	109
Figura 23 - Influência do indicador ICHR nos indicadores de consumo e faturamento de água	110
Figura 24 - Influência do indicador ICER nos indicadores de consumo de energia	110
Figura 25 - Influência do indicador ICER no indicador IRE	111
Figura 26 - Tarifas CEMIG	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características das perdas (reais e aparentes)	20
Quadro 2 - Balanço hídrico sugerido pela IWA	24
Quadro 3 - Balanço energético para rede de distribuição de água	27
Quadro 4 - Indicadores de desempenho técnico-operacionais – ARSAE/MG	31
Quadro 5 - Indicadores de desempenho hídrico e energético - ADASA	32
Quadro 6 - Indicadores de desempenho hídrico para sistemas de abastecimento - SNIS	34
Quadro 7 - Indicadores de desempenho operacional de água – AWWA.....	36
Quadro 8 - Indicadores de desempenho operacionais - ADERASA	37
Quadro 9 - Indicadores de qualidade do serviço de abastecimento de água - ERSAR	39
Quadro 10 - Indicadores de desempenho – IBNET.....	41
Quadro 11 - Indicadores de desempenho hídrico - IWA	43
Quadro 12 - Indicadores de desempenho energético - IWA	43
Quadro 13 - Indicadores de desempenho – OFWAT	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicador IN049 dos prestadores de serviços participantes dos SNIS	22
Tabela 2 - Balanço hídrico do setor em estudo	55
Tabela 3 - Valores de referência para água não faturada	78
Tabela 4- Consumo de energia em R3, na captação, na ETA e proporcional ao setor	83
Tabela 5 - Volume bombeado e altura manométrica no período de referência.....	84
Tabela 6 - Comparação de dados de consumo de energia elétrica do setor de estudo	85
Tabela 7 - Eficiência energética de sistemas de abastecimento	86
Tabela 8 - Áreas residenciais correspondentes ao padrão social.....	88
Tabela 9 - ICHR – captação de água de chuva para cada padrão social.....	89
Tabela 10 - Consumo médio diário per capta por ponto de utilização	91
Tabela 11 - Comparação entre equipamentos convencionais e equipamentos economizadores	91
Tabela 12 - Aproveitamento de energia solar e faixas de economia	97
Tabela 13 - Consumo residencial correspondente ao padrão social	97
Tabela 14 - Consumo de eletrodomésticos	98
Tabela 15 - Consumo de eletrodomésticos	104
Tabela 16 – Tabela tarifária de aplicação COPASA	111
Tabela 17 - Influencia do indicador ICHR no consumo de agua	112
Tabela 18 - Influencia do indicador ICER no consumo de energia.....	113

LISTA DE SIGLAS

ABAR – Associação Brasileira de Agências de Regulação

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

ADERASA – Asociación de Entes Reguladores de Agua y Saneamiento de Las Americas

ARSAE – Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário

AWWA – American Water Works Association

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

DGA – Direção Geral do Ambiente

EPANET – Environmental Protection Agency Software (simulador hidráulico)

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos

Fapemig – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais

Fi46 – Água não faturada em termos de volume

FINEP – Fundo de Financiamento de Estudos de Projetos e Programas

FUNASA – Fundação Nacional da Saúde

GFA – Garantia de fornecimento de água

IAI10 – Quantidade de vazamentos na rede de água

IBNET – The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities

ICER – Indicador de compensação energética residencia

ICER – Indicador de Compensação Energética Residencial

ICERces – Indicador de compensação energética residencial – economia por meio de captação de energia solar

ICERee – Indicador de compensação energética residencial – economia de energia por meio de equipamentos economizadores

ICHR – Indicador de Compensação Hídrica Residencial

ICHR – Indicador de compensação hídrica residencial

ICHRcac – Indicador de compensação hídrica residencial – economia por captação de água de chuva

ICHRcac – Indicador de compensação hídrica residencial – economia por dispositivos hidráulicos

IN013 – Índice de perdas no faturamento

IN022 – Consumo médio per capita de água

IN028 – Índice de faturamento de água

IN049 – Índice de perdas na distribuição

IN051 – Índice de perdas por ligação

IN052 – Índice de consumo de água

IN053 – Consumo médio de água por economia

IN058 – Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água

IRAR – Instituto Regulador de Águas e Resíduos

IRE – Ineficiência dos recursos energéticos

IWA – International Water Association

NBR – Normas Técnicas Brasileiras

NUMMARH – Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos

OFWAT - Office of Water Services

ONU – Organização das Nações Unidas

Op23 – Perdas de água por ramal

Op24 – Perdas de água por comprimento de conduto

Op26 – Perdas aparentes por volume de água na entrada do sistema

Op27 – Perdas reais por ramal

Op28 – Perdas reais por comprimento de conduto

Op29 – Índice infra estrutural de fugas

Op39 – Água não medida

PAH – Perdas aparentes por habitante

Ph4 – Utilização da capacidade de bombeamento

Ph5 – Consumo de energia normalizado

Ph6 – Consumo de energia reativa

PLANASA – Plano Nacional de Saneamento

REDECOPE – Rede Corporativa de Pesquisas

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SNIS – Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento

WR1 – Ineficiência na utilização dos recursos hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo Geral.....	18
2.2	Objetivos específicos	18
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
3.1	Perdas no sistema de abastecimento de água.....	19
3.2	Balanço hídrico e balanço energético em sistemas de abastecimento de água... 23	
3.2.1	<i>Balanço hídrico</i>	23
3.2.2	<i>Balanço Energético.....</i>	26
3.3	Indicadores de desempenho.....	27
3.3.1	<i>Informações e dados necessários para o cálculo de indicadores</i>	29
3.3.2	<i>Sistemas de indicadores nacionais</i>	29
3.3.2.1	<i>Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR).....</i>	30
3.3.2.2	<i>Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS)</i>	33
3.3.3	<i>Sistemas de indicadores internacionais.....</i>	35
3.3.3.1	<i>American Water Works Association (AWWA)</i>	35
3.3.3.2	<i>Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de Las Américas (ADERASA)</i>	37
3.3.3.3	<i>Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos de Portugal (ERSAR).....</i>	38
3.3.3.4	<i>International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (IBNET)</i>	40
3.3.3.5	<i>International Water Association (IWA).....</i>	42
3.3.3.6	<i>Office Water Services (OFWAT)</i>	44
3.4	Indicadores de sustentabilidade	45
3.5	Aplicação de indicadores de desempenho para sistemas de abastecimento de água 47	
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	53
4.1	Indicadores de desempenho hídrico	56
4.1.1	<i>WRI – Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%).....</i>	56

4.1.2	<i>Op23 – Perdas de água por ramal (m³/ramal/ano)</i>	57
4.1.3	<i>Op24 – Perdas de água por comprimento de conduto (m³/Km/dia)</i>	57
4.1.4	<i>Op26 – Perdas aparentes por volume de água na entrada do sistema (%)</i>	58
4.1.5	<i>Op27 – Perdas reais por ramal (l/ramal/dia)</i>	58
4.1.6	<i>Op28 – Perdas reais por comprimento de conduto (l/km/dia)</i>	59
4.1.7	<i>Op29 – Índice infra estrutural de fugas (-)</i>	59
4.1.8	<i>Op39 – Água não medida (%)</i>	60
4.1.9	<i>Fi46 – Água não faturada em termos de volume (%)</i>	60
4.1.10	<i>IAI10 – Quantidade de vazamentos na rede de água (n^o/Km/ano)</i>	60
4.1.11	<i>IN013 – Índice de perdas no faturamento (%)</i>	61
4.1.12	<i>IN022 – Consumo médio per capita de água (l/hab./dia)</i>	61
4.1.13	<i>IN028 – Índice de faturamento de água (%)</i>	62
4.1.14	<i>IN049 – Índice de perdas na distribuição (%)</i>	62
4.1.15	<i>IN051 – Índice de perdas por ligação (l/dia/lig.)</i>	63
4.1.16	<i>IN052 – Índice de consumo de água (%)</i>	64
4.1.17	<i>IN053 – Consumo médio de água por economia (m³/mês/econ.)</i>	64
4.1.18	<i>GFA – Garantia de fornecimento de água (dias)</i>	64
4.1.19	<i>PAH – Perdas aparentes por habitante (l/hab./dia)</i>	65
4.2	Indicadores de desempenho energético	65
4.2.1	<i>Ph4 – Utilização da capacidade de bombeamento (%)</i>	66
4.2.2	<i>Ph5 – Consumo de energia normalizado (kWh/m³/100m)</i>	66
4.2.3	<i>Ph6 – Consumo de energia reativa (%)</i>	66
4.2.4	<i>IN058 – Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (kWh/m³)</i>	67
4.2.5	<i>IRE – Ineficiência dos recursos energéticos (%)</i>	67
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
5.1	Cálculo de indicadores de desempenho hídrico	69
5.1.1	<i>WR1 – Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%)</i>	69

5.1.2	<i>Op23 – Perdas de água por ramal (m³/ramal/ano)</i>	69
5.1.3	<i>Op24 – Perdas de água por comprimento de conduto (m³/Km/dia)</i>	70
5.1.4	<i>Op26 – Perdas aparentes por volume de água na entrada do sistema (%)</i>	70
5.1.5	<i>Op27 – Perdas reais por ramal (l/ramal/dia)</i>	70
5.1.6	<i>Op28 – Perdas reais por comprimento de conduto (l/Km/dia)</i>	70
5.1.7	<i>Op29 – Índice infra estrutural de fugas (-)</i>	71
5.1.8	<i>Op39 – Água não medida (%)</i>	71
5.1.9	<i>Fi46 – Água não faturada em termos de volume (%)</i>	71
5.1.10	<i>IAI10 – Quantidade de vazamentos na rede de água (n^o/Km/ano)</i>	72
5.1.11	<i>IN013 – Índice de perdas no faturamento (%)</i>	72
5.1.12	<i>IN022 – Consumo médio per capita de água (l/hab./dia)</i>	72
5.1.13	<i>IN028 – Índice de faturamento de água (%)</i>	73
5.1.14	<i>IN049 – Índice de perdas na distribuição (%)</i>	73
5.1.15	<i>IN051 – Índice de perdas por ligação (l/dia/lig.)</i>	73
5.1.16	<i>IN052 – Índice de consumo de água (%)</i>	74
5.1.17	<i>IN053 – Consumo médio de água por economia (m³/mês/econ.)</i>	74
5.1.18	<i>GFA – Garantia de fornecimento de água (dias)</i>	74
5.1.19	<i>PAH – Perdas aparentes por habitante (l/hab./dia)</i>	76
5.2	Discussão a avaliação dos resultados dos indicadores de desempenho hídrico	. 76
5.3	Cálculo de indicadores de desempenho energético	81
5.3.1	<i>Ph4 – Utilização da capacidade de bombeamento (%)</i>	83
5.3.2	<i>Ph5 – Consumo de energia normalizado (kWh/m³/100m)</i>	83
5.3.3	<i>Ph6 – Consumo de energia reativa (%)</i>	84
5.3.4	<i>IN058 – Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (kWh/m³)</i>	85
5.3.5	<i>IRE – Ineficiência dos recursos energéticos (%)</i>	85
5.4	Discussão dos resultados dos indicadores de desempenho energético	86

5.5	Proposta de indicadores de sustentabilidade	87
5.5.1	<i>ICHR – Indicador de compensação hídrica residencial (%).....</i>	<i>87</i>
5.5.1.1	<i>ICHRcac – Indicador de compensação hídrica residencial – economia por captação de água de chuva (%).....</i>	<i>87</i>
5.5.1.2	<i>ICHRcac – Indicador de compensação hídrica residencial – economia por dispositivos hidráulicos (%).....</i>	<i>90</i>
5.5.2	<i>ICER – Indicador de compensação energética residencial (%).....</i>	<i>96</i>
5.5.2.1	<i>ICERces – Indicador de compensação energética residencial – economia por meio de captação de energia solar (%).....</i>	<i>96</i>
5.5.2.2	<i>ICERee – Indicador de compensação energética residencial – economia de energia por meio de equipamentos economizadores (%).....</i>	<i>103</i>
5.6	Relação de indicadores clássicos com indicadores de sustentabilidade propostos	109
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	114
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a ONU (2016) cerca de 1 bilhão de pessoas necessitam de um abastecimento de água eficiente, um problema causado pela crescente demanda pelos recursos hídricos para o atendimento das atividades agrícolas, além de uso ineficiente e degradação da água.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997) assegura o uso prioritário dos recursos hídricos ao consumo humano e a dessedentação de animais, além da gestão ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, usuários e comunidade.

O crescimento populacional desordenado e sem qualquer tipo de planejamento aliado a crise hídrica dos últimos anos são dois fatores que aumentam significativamente a demanda pelos recursos hídricos e energéticos, devido ao alto consumo de energia necessário para bombear o volume dos reservatórios para os usuários da rede o que compromete os sistemas de abastecimento de muitas cidades no país.

O gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água no país tem apresentado uma certa urgência na busca pela eficiência na gestão, fato que se deve aos altos índices de desperdício, problemas com infraestrutura da rede e falhas de manutenção. Desta forma, a gestão dos recursos hídricos e energéticos para o fornecimento de água para o consumo humano torna-se um dos grandes desafios para a sociedade.

Na tentativa de melhorar o gerenciamento, uma alternativa seria a avaliação de desempenho dos sistemas de distribuição de água por meio de indicadores como ferramenta de suporte à tomada de decisão no que diz respeito a questão hídrica, energética e de sustentabilidade, além de auxiliar os gestores e tomadores de decisão na busca por uma maior eficiência hídrica e energética que irá proporcionar a sustentabilidade dos sistemas.

Na literatura os trabalhos sobre medição de desempenho são focados em indicadores operacionais, de infraestrutura e financeiros, direcionados à medição da produtividade, desta forma, verificou-se uma lacuna referente à formalização de métodos e ferramentas para medir a eficiência hídrica, energética e sustentável de sistemas de abastecimento de água.

Em termos hídricos, a eficiência está associada a produtividade, podendo gerar erros quando utilizados como forma de comparação com outros sistemas. A questão energética é

abordada de forma superficial, ou seja, há uma necessidade de um indicador demonstrar um sistema que consome menos energia elétrica para produzir e fornecer o mesmo volume de água tratada, sendo considerado o mais eficiente em termos energéticos. Em termos de desenvolvimento sustentável há um espaço ainda mais amplo para o estabelecimento de indicadores para medir o desempenho dos sistemas em matéria de sustentabilidade que garante melhoria da qualidade do ambiente e da sociedade.

Neste contexto, pretendeu-se utilizar indicadores de desempenho hídrico e energético como forma de avaliar um sistema de distribuição de água real e, a partir dos resultados, uma proposição inicial de indicadores de sustentabilidade no sentido de demonstrar a capacidade que os sistemas têm em recuperar a água e energia perdidas ou gastas em excesso com a utilização de técnicas de sustentabilidade e economia de água e energia.

Este trabalho está associado ao projeto REDECOPE – FINEP que envolve as universidades UNIFEI, UFMG, UFMS, UFMT, UFPA e UFRGS.

2 OBJETIVOS

Apresentam-se os objetivos geral e específico da pesquisa.

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de um sistema real de distribuição de água por meio de estudos de indicadores de eficiência hídrica, energética e uma proposição de indicadores de sustentabilidade.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar indicadores de desempenho relacionados a sistemas de abastecimento de água existentes na literatura.
- Avaliar o desempenho hídrico e energético de um sistema real de distribuição de água no sul de Minas Gerais.
- Adaptar e aplicar indicadores de sustentabilidade para um sistema real de distribuição de água no sul de Minas Gerais.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, apresentam-se os conceitos de maior relevância que irão fornecer subsídios teóricos para o desenvolvimento do trabalho.

3.1 Perdas no sistema de abastecimento de água

As perdas de água estão diretamente ligadas à ineficiência da gestão dos serviços de abastecimento de água. Combatê-las torna-se algo primordial para melhorar a eficiência da gestão dos recursos hídricos (ALEGRE et al., 2005).

O conceito de perdas de acordo com a Associação Internacional da Água (*International Water Association – IWA*) é “toda perda real ou aparente de água ou todo o consumo não autorizado que determina um aumento do custo de funcionamento ou que impeça a realização plena da receita operacional” (FUNASA, 2014).

De acordo com a ABES (2013) e BRASIL (2017) as perdas em um sistema de abastecimento estão divididas em duas categorias:

- Perdas reais ou físicas: relacionada ao volume total de água disponibilizado no sistema de distribuição que não é utilizado pelos usuários e é perdido ao longo da fase de distribuição pode ser caracterizada por vazamentos em adutoras, redes, ramais, e os vazamentos que ocorrem em toda a tubulação da rede de distribuição.
- Perdas comerciais ou aparentes: relacionada ao volume consumido, porém, não faturado pela empresa responsável em fornecer água para os usuários do sistema pode ser decorrente de erros de medição ou ligações clandestinas.

Gomes (2009) ressalta a importância de considerar as perdas reais de água ou fugas que podem ocorrer no sistema, principalmente ao quantificar o volume e vazão necessários para alimentar o sistema, pois as perdas irão contribuir significativamente no aumento de demanda bruta do sistema.

Ao avaliar a questão econômica, segundo a ABES (2013), as perdas reais afetam diretamente os custos de produção e distribuição de água, já as perdas aparentes, influenciam os custos de vendas de água no varejo, destacando-se no Brasil, os consumos não faturados e não medidos que são comuns nas favelas de algumas metrópoles brasileiras e o custo geralmente é de responsabilidade das companhias de saneamento. Para os autores, uma

intervenção de regularização seria fundamental para a solução de tais problemas, porém, dependem de uma gestão integrada entre o poder político e as operadoras.

Na Quadro 1 apresentam-se algumas características das perdas reais e aparentes

Quadro 1 - Características das perdas (reais e aparentes)

ITENS	PERDAS REAIS	PERDAS APARENTES
Tipo de ocorrência mais comum	Vazamento	Erro de medição
Custos associados aos volumes perdidos	Custo de produção	Tarifa
Efeitos no meio ambiente	Desperdício do recurso hídrico Ampliação de mananciais	-
Efeitos na saúde pública	Riscos de contaminação	-
Empresarial	Perda do produto	Perda da receita
Consumidor	Imagem negativa	-
Efeitos no consumidor	Repasse para tarifa Desincentivo ao uso racional	Repasse para tarifa Incitamento a roubos e fraudes

Fonte: (ABES, 2013)

Na Figura 3 estão representados alguns vazamentos que ocorrem em uma rede de água.

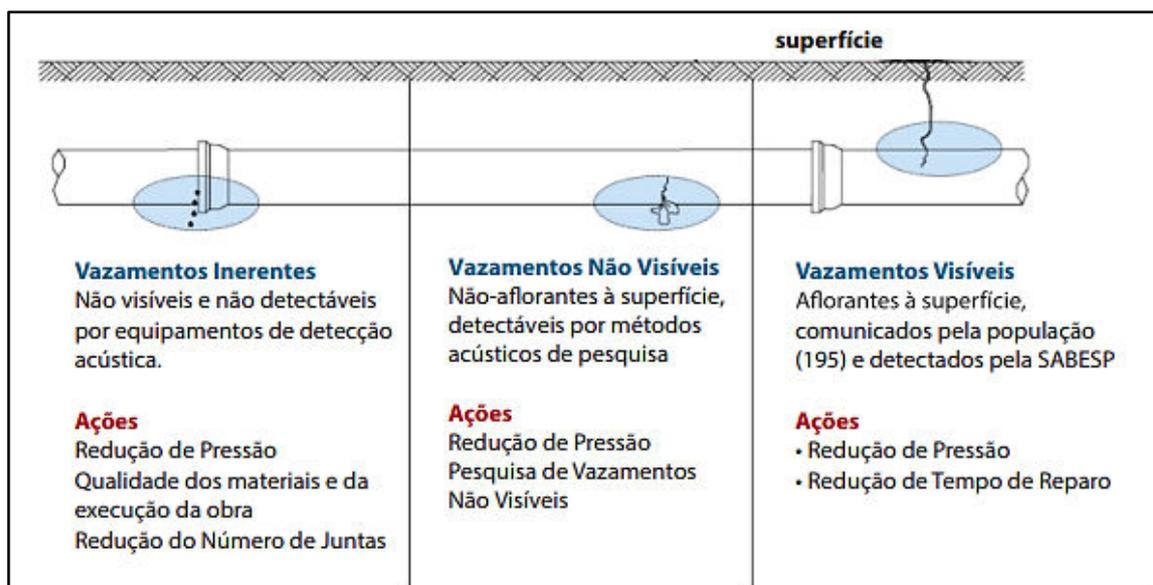


Figura 1 - Tipos de vazamentos e ações de combate a perdas reais

(Fonte: FUNASA, 2014)

De acordo com a FUNASA (2014), as perdas podem ser medidas com a utilização de indicadores de desempenho de apoio gerencial estabelecidos pelas empresas responsáveis pelo saneamento os resultados são expressos em porcentagem (%), litros/ligação/dia ou outra unidade de medida conveniente os indicadores podem medir as perdas reais separadas das perdas aparentes ou englobando ambas.

Quando se trata de desempenho operacional, há duas formas de caracterização das perdas de água em um sistema de abastecimento de água relacionando o controle de produto e controle de processo, na primeira somam-se as perdas físicas e reais, na segunda forma, é feita a soma dos volumes disponibilizados de volumes utilizados (FUNASA, 2014).

As duas formas são demonstradas na Figura 4.

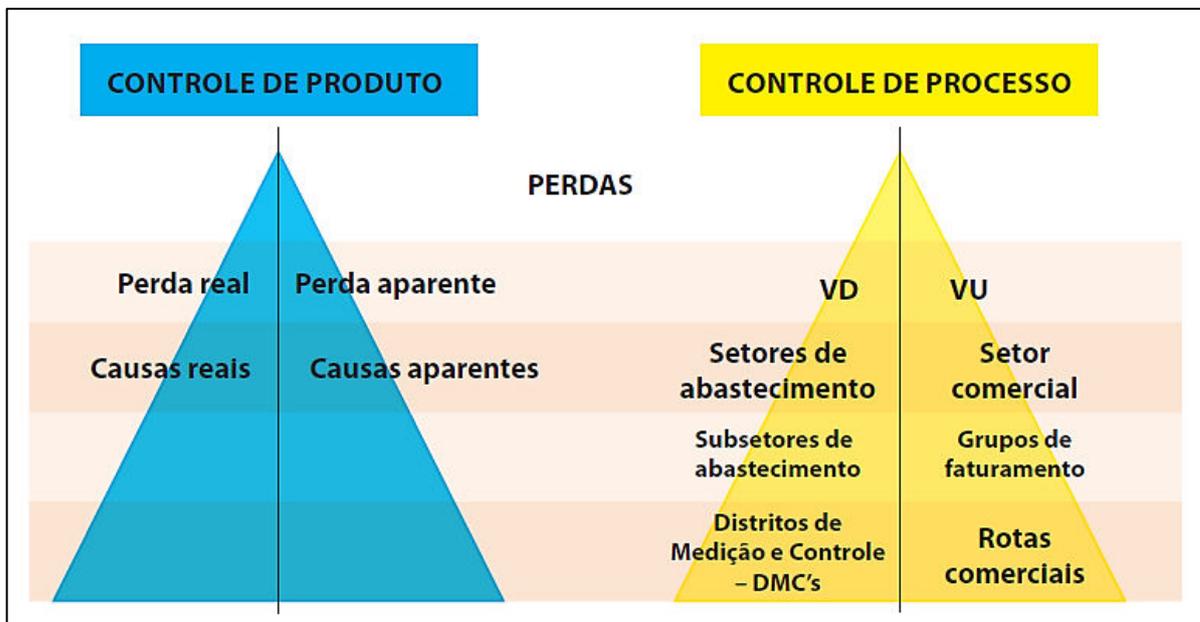


Figura 2 - Formas de caracterização de perdas

(Fonte: FUNASA, 2014)

As perdas caracterizam-se como ineficiências técnicas em sistemas de abastecimento e, devido à crise hídrica e escassez de água em algumas regiões no país, altos custos de energia elétrica além da relação com a saúde financeira de entidades e prestadores de serviços, pode-se até dizer que são comuns em sistemas de abastecimento, mas, quando os valores são elevados, estes caracterizam um alto desperdício de recursos naturais, operacionais e de receita (BRASIL, 2017).

Na Tabela 1 pode-se observar os valores do indicador IN049 – índice de perdas na distribuição para o conjunto de prestadores de serviços participantes do SNIS no ano de 2015.

Tabela 1 - Indicador IN049 dos prestadores de serviços participantes dos SNIS

ESTADO/REGIÃO	IN049 (%)
Espírito Santo	34,6
Minas Gerais	33,6
Rio de Janeiro	31,2
São Paulo	33,5
Sudeste	32,9
Brasil	36,7

Fonte: (BRASIL, 2017)

O mapa da Figura 5 apresenta o índice de perdas na distribuição por regiões.

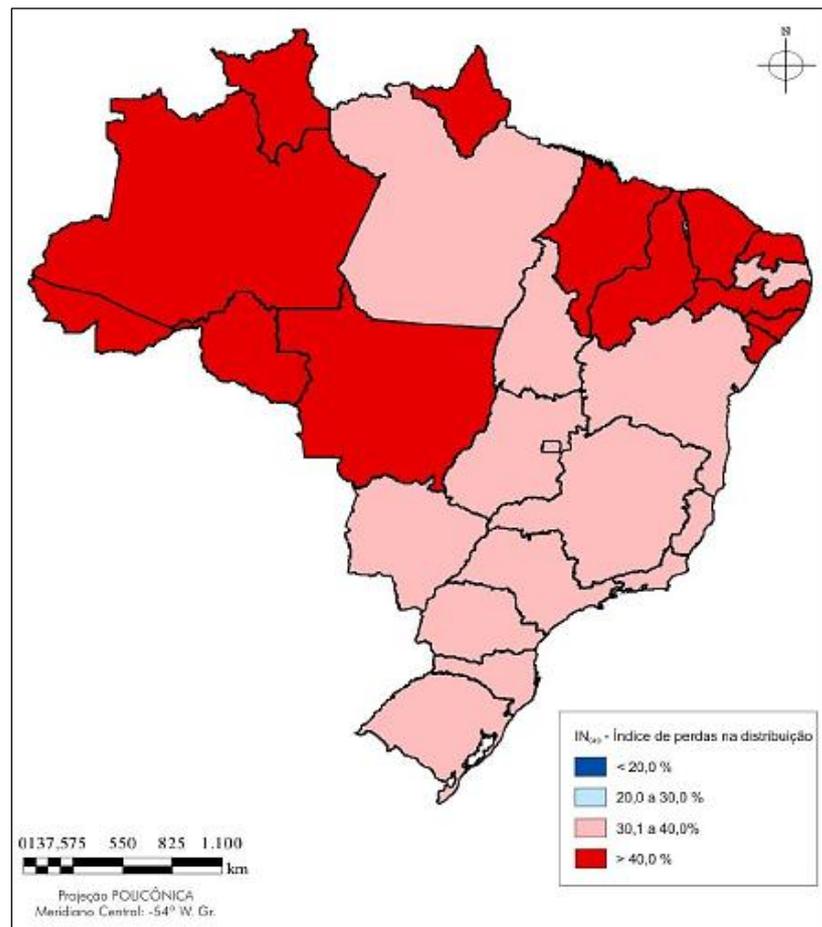


Figura 3 - Representação espacial do índice de perdas na distribuição (Indicador IN049), distribuídos por faixas percentuais, segundo estado

Fonte: (BRASIL, 2017)

3.2 Balanço hídrico e balanço energético em sistemas de abastecimento de água

O balanço hídrico esquematiza os processos pelos quais a água passa pelo sistema desde a entrada avaliando-se as perdas que ocorrem ao longo da distribuição. Da mesma forma, o balanço energético permite representar toda a energia do sistema, mostrando a possibilidade de um equilíbrio de energia a ser mantido, além de avaliar o uso final da energia e as perdas associadas (ALEGRE et al., 2005; CABRERA et al., 2010).

3.2.1 *Balanço hídrico*

O balanço hídrico consiste em identificar as perdas mais significativas em um sistema de abastecimento, ou seja, avaliar a quantidade de água que está sendo utilizada, faturada e perdida no sistema. Segundo Alegre et al. (2004) um balanço hídrico efetuado de forma correta é essencial para a avaliação de perdas de água em um sistema, considerando todas as entradas e saídas de água do sistema.

O cálculo de balanço hídrico necessita de estimativas de volume de água e deve ser calculado preferencialmente para um período de 12 meses, para representar uma média anual de todos os componentes analisados e diminuir as chances de possíveis erros nos intervalos de leitura dos medidores (ALEGRE et al, 2004).

A International Water Association – IWA criou uma metodologia de padronização para aplicação dos recursos em sistemas de abastecimento de água por meio de uma matriz, pela qual é possível monitorar toda a água desde a entrada do sistema até o atendimento dos consumidores, ponto final da rede de distribuição (FUNASA, 2014).

Fortes (2016) e Andrade (2016) aplicaram a metodologia sugerida pela IWA em duas cidades do sul de Minas Gerais e a partir da aplicação, foi possível determinar os usos da água no setor analisado desde o momento em que a água entra no sistema, passando por toda a fase de distribuição até chegar ao usuário.

Alegre et al. (2005) afirmam que o balanço hídrico é fundamental para o cálculo de indicadores de desempenho, principalmente os indicadores relacionados às perdas, além de demonstrar os processos pelos quais a água poderá passar em um sistema desde o início.

A metodologia sugerida pelos autores, encontra-se no Quadro 2.

Quadro 2 - Balanço hídrico sugerido pela IWA

A	B	C	D	E
Água de entrada no sistema [m ³ /ano]	Consumo autorizado [m ³ /ano]	Consumo autorizado faturado [m ³ /ano]	Consumo faturado medido (incluindo água exportada) [m ³ /ano]	Água faturada [m ³ /ano]
			Consumo faturado não medido [m ³ /ano]	
		Consumo autorizado não faturado [m ³ /ano]	Consumo não faturado medido [m ³ /ano]	Água não faturada (perdas comerciais) [m ³ /ano]
			Consumo não faturado não medido [m ³ /ano]	
	Perdas de água [m ³ /ano]	Perdas aparentes [m ³ /ano]	Usos não autorizados [m ³ /ano]	
			Erros de medição [m ³ /ano]	
		Perdas reais [m ³ /ano]	Perdas nos sistemas de adução e/ou distribuição [m ³ /ano]	
			Perdas e extravasamento nos reservatórios [m ³ /ano]	
Perdas nos ramais (montante do ponto de medição) [m ³ /ano]				

Fonte: (ALEGRE et al., 2004)

As definições dos termos adotados pela IWA para o método de balanço hídrico segundo Alegre et al. (2004) e Amorin (2016) são apresentadas a seguir:

1. Água de entrada no sistema: refere-se ao volume disponível na entrada do sistema de distribuição, seja por fonte natural ou por meio de bombas.
2. Consumo autorizado: caracteriza o volume medido ou não medido que é fornecido aos usuários cadastrados pela companhia de abastecimento, também estão inclusos os volumes disponíveis para combate a incêndio e outros usos da companhia.

3. Consumo autorizado faturado: especificamente o volume medido que chega ao consumidor cadastrado pela companhia de abastecimento.
4. Consumo autorizado não faturado: caracteriza os volumes utilizados para fins da companhia e que não geram receita.
5. Consumo faturado medido: refere-se ao volume que é realmente registrado pelos hidrômetros em cada usuário da rede de distribuição, o cálculo da conta de cada usuário é baseado neste consumo medido multiplicado pelas tarifas estabelecidas pela companhia responsável.
6. Consumo faturado não medido: referem-se aos volumes estimados pela companhia, onde há o consumo, porém, não há hidrômetro, neste caso, o valor cobrado é estipulado pela companhia e função do mínimo consumido pelo usuário.
7. Consumo não faturado medido: caracteriza o volume que a companhia dispensa o faturamento, como por exemplo, os usos internos da própria companhia, não geram receita, mas são contabilizados.
8. Consumo não faturado não medido: os faturamentos destes volumes também são dispensados pela companhia e, neste caso, não há necessidade de ser contabilizado. Referem-se aos volumes destinados a combate a incêndio, lavagem de ruas, regas de espaços verdes municipais, etc.
9. Água faturada: compreendem os consumos faturado medido e faturado não medido, ou seja, apenas os consumos que geram receita para a companhia.
10. Perdas de água: são caracterizadas pela diferença entre a água de entrada do sistema e o consumo autorizado, estão divididas em perdas reais e aparentes.
11. Perdas aparentes: referem-se as imprecisões por erros de medição, usos não autorizados além de furtos na rede de distribuição.
12. Perdas reais: estão relacionadas as perdas físicas na rede referentes a vazamentos, quebra de tubulação e extravasamentos que houver durante a fase de distribuição até o hidrômetro dos usuários.
13. Usos não autorizados: especificamente caracterizado pelos furtos na rede e ligações clandestinas.
14. Erros de medição: referem-se as imprecisões de medição dos hidrômetros, neste caso, por falta de manutenção ou até mesmo substituição de equipamentos danificados.
15. Perdas no sistema de adução e/ou distribuição: são caracterizados pelos volumes perdidos durante a fase de distribuição por vazamentos e falhas na tubulação.

16. Perdas e extravasamento nos reservatórios: referem-se ao excesso de volume dos reservatórios que é perdido e não chega ao contador dos usuários.
17. Perdas nos ramais (montante do ponto de medição): caracteriza os volumes perdidos entre os ramais e os medidores dos usuários, possivelmente por instalação inadequada ou falha nos equipamentos.
18. Água não faturada: compreendem as perdas reais e aparentes, além dos consumos não faturado medido e não faturado não medido.

3.2.2 *Balanço Energético*

Um modelo de balanço energético de uma rede de distribuição de água foi apresentado em um estudo realizado por Cabrera et al. (2010). No estudo os autores utilizam a equação da energia na forma integral para representar toda a energia do sistema e, desta forma, contabilizar o quanto de energia é utilizada e perdida no sistema, desde a entrada, até o atendimento aos usuários incluindo as perdas ao longo da distribuição.

O volume de controle sugerido pelos autores encontra-se na Figura 6.

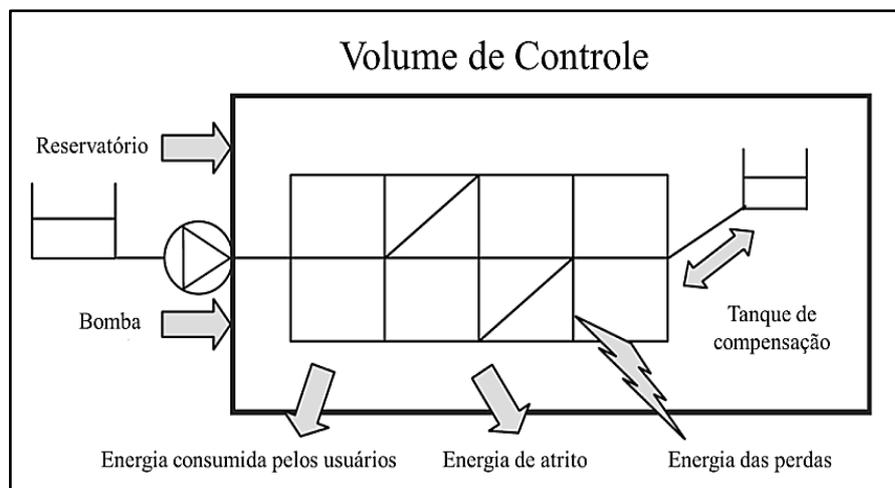


Figura 4 - Volume de controle de uma rede de água dentro dos termos de balanço energético

Fonte: (CABRERA et al., 2010)

De acordo com Cabrera et al. (2010), as vantagens da utilização de um balanço energético é a visualização exata, por meio de um volume de controle, da trajetória da energia inserida em um sistema, além de poder visualizar as perdas que ocorrem no sistema como, perdas por energia de atrito e perdas de energia decorrentes de vazamentos, que ocorrem na fase de distribuição. Os autores ressaltam que o critério mais importante foi a avaliação dos

usos finais da energia inserida no sistema e as perdas de energia associada aos vazamentos, tais perdas estão relacionadas às perdas reais e à energia dissipada pelo atrito.

Andrade (2016) realizou um estudo de balanço energético em municípios do sul de Minas Gerais, em que se baseou na metodologia sugerida por Cabrera et al. (2010) com adaptações. Houve uma simplificação do processo a fim de atender à realidade dos municípios a serem estudados.

Parte da metodologia adaptada e utilizada no estudo por Andrade (2016) é apresentada na Quadro 3.

Quadro 3 - Balanço energético para rede de distribuição de água

E_{ent} (energia de entrada)	E_{nat} (energia natural)	E_{usu} (energia entregue aos usuários)	E_{said} (energia de saída)
	E_{bomb} (energia das bombas)	E_{perd} (energia relativa às perdas)	
			E_{atr} (energia perdida devido a atritos)

Fonte: (ANDRADE, 2016)

O estudo de Andrade (2016) utilizou como dado de entrada para ao balanço energético o consumo de energia elétrica do setor analisado, além disso, foram calculadas perdas de carga por trecho e obtido então a perda de energia devido ao atrito com um valor em torno de 2,8% da energia de entrada, valor considerado baixo quando comparado com outros estudos na área, mas de acordo com a autora, em redes reais há uma certa dificuldade em obter parâmetros de comparação, considerando o fato de que cada sistema possui especificidades características.

3.3 Indicadores de desempenho

Segundo Alegre et al. (2004), o termo indicador de desempenho, de modo geral, é utilizado como uma medida quantitativa de um aspecto particular do desempenho de uma entidade gestora, auxiliando como instrumento de apoio à monitorização de eficiência e eficácia. Ainda segundo os autores, a eficiência mede os recursos disponíveis utilizados para aperfeiçoar a produção de um serviço. A eficácia analisa se os objetivos traçados para a gestão foram realmente cumpridos.

Alegre et al. (2004) afirmam que os indicadores estão diretamente relacionados ao perfil da entidade gestora, do sistema e da região, os quais são descritos a seguir:

- O perfil da entidade gestora reflete uma imagem da estrutura da organização.
- O perfil do sistema caracteriza os volumes de água, as características físicas e os usuários.
- O perfil da região compreende o contexto demográfico, econômico, geográfico e ambiental.

A Figura 7 relaciona os indicadores de desempenho e as variáveis.

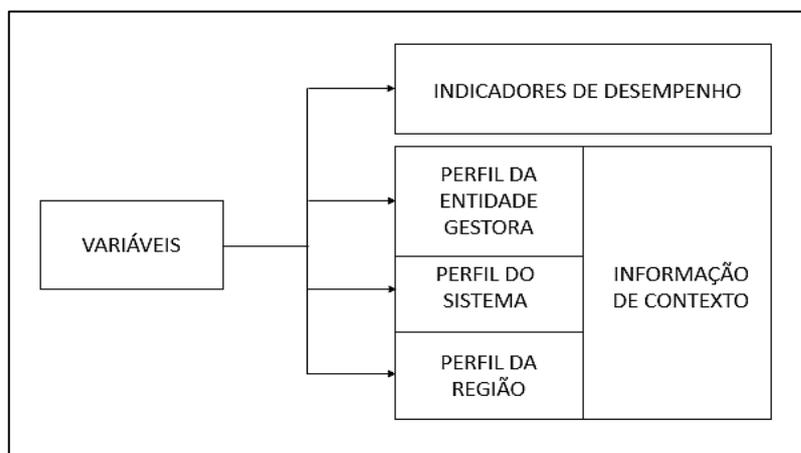


Figura 5 - Sistema de indicadores de desempenho da IWA

Fonte: (ALEGRE et al., 2004)

Em um estudo realizado, Parmenter (2007) classificou os indicadores em três tipos de medida de desempenho:

- Indicadores-chave de resultado (*key results indicators – KRIs*) – informam quais as medidas que foram tomadas em relação a uma perspectiva;
- Indicadores de desempenho (*performance indicators – PIs*) – Informam as medidas que devem ser tomadas;
- Indicadores-chave de desempenho (*key performance indicators – KPIs*) – informam as medidas necessárias para aumentar o desempenho de forma significativa.

Para Vilanova, Magalhães Filho e Balestieri (2015), o abastecimento de água está intrinsecamente ligado as questões ambientais, sociais e econômicas. Neste contexto, os indicadores de desempenho são essenciais para garantir uma correta e confiável distribuição de água aos usuários a custos acessíveis. Contudo, em países em desenvolvimento, a

implementação de sistemas de medição de desempenho ainda encontra barreiras de natureza política.

3.3.1 Informações e dados necessários para o cálculo de indicadores

Segundo Magalhães Junior, Netto e Nascimento (2003) os indicadores são expressos em unidades de medidas e requerem padrões de referência para que sua aplicação seja de fácil interpretação e possa reduzir uma certa quantidade de dados a uma forma mais simples.

Boaventura (2013) propõe que as informações necessárias para o cálculo de indicadores sejam coletadas e armazenadas em um banco de dados confiável e de fácil utilização, pois tal ferramenta deve ser utilizada para compilação e organização da informação necessária para a implementação de um sistema de indicadores.

A utilização de indicadores de desempenho pode trazer inúmeros benefícios para toda e qualquer organização que os utilize porém, é necessário obter informações e dados confiáveis para a aplicação dos indicadores. No uso de indicadores em sistemas de abastecimento de água, a confiabilidade dos dados garantirá resultados seguros e capazes de demonstrar a real situação do sistema (HERNANDEZ; ORMSBEE, 2016)

Soares (2016) ao realizar um estudo de indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água evidencia a necessidade de um trabalho de campo minucioso, além da ajuda de profissionais da área para o fornecimento de informações e coleta de dados:

- Cotas topográficas utilizando equipamentos de medição adequados.
- Dados de vazão utilizando medidores ultrassônicos.
- Dados de pressão com o auxílio de medidores de pressão.
- Dados de energia das bombas elevatórias utilizando equipamentos de medição de energia.

3.3.2 Sistemas de indicadores nacionais

A seguir serão apresentados alguns sistemas de indicadores de desempenho nacionais que são utilizados para avaliar a prestação de serviços de saneamento básico.

3.3.2.1 Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR)

A Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR) foi fundada em 8 de abril de 1999 uma entidade privada sem fins lucrativos. Tem como objetivo promover a mútua colaboração entre as agências associadas e os poderes públicos, buscando o aprimoramento da regulação e o avanço da atividade regulatória no Brasil (ABAR, 2017).

A ABAR classifica os indicadores de desempenho em três grandes dimensões, operacionais, de qualidade e econômico-financeiros e esta classificação tem caráter informativo com a função de nortear as agências associadas na formulação de indicadores, mas cada agência tem total liberdade para determinar os próprios indicadores e metodologias e desta forma, a ABAR pode se destacar como um espaço de organização e de articulação entre as agências que têm a função de construir um sistema de avaliação por meio de indicadores de desempenho da atividade regulatória no Brasil (CARVALHO, 2013; VON SPERLING; VON SPERLING, 2013).

A associação tem realizado congressos e encontros em níveis nacional e internacional, promovendo estudos referentes à atividade regulatória e capacitação das agências reguladoras. Atualmente a ABAR é constituída por 51 agências associadas (7 federais, 27 estaduais e 17 municipais) todas as agências são empenhadas em contribuir para o avanço da regulação no país, proporcionando à atividade regulatória um lugar de destaque e ao mesmo tempo consolidado no Brasil (ABAR, 2017).

Das agências associadas, destacam-se a agência do estado de Minas Gerais e do Distrito Federal devido a aplicação na pesquisa de alguns dos indicadores propostos pelas agências.

- a) ARSAE - Agência Reguladora de Serviço de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais

Fundada no ano de 2009 com o objetivo de regular e fiscalizar a prestação de serviço em compromisso com a sociedade e meio ambiente. Por meio de resolução normativa, a agência definiu indicadores técnico-operacionais para o monitoramento e avaliação de desempenho dos prestadores de serviço de abastecimento de água e esgotamento sanitário (ARSAE, 2010).

De acordo com a ARSAE (2010) cada indicador especificado corresponde a uma fórmula de cálculo, uma especificação dos dados a serem levantados e uma unidade em que devem ser expressos. O uso destes indicadores deve garantir:

- A avaliação objetiva e sistemática da prestação dos serviços, visando subsidiar estratégias para estimular a modernização da infraestrutura, de modo a buscar a melhoria dos padrões de qualidade.
- Reduzir a diferença entre o nível de informação detido pelos prestadores, pelos usuários dos serviços e pela ARSAE/MG.
- Subsidiar o acompanhamento e a verificação do cumprimento dos contratos, incluindo o atendimento de metas operacionais e de qualidade, e suas implicações na evolução do desempenho econômico e financeiro da prestação dos serviços.
- Aumentar a eficiência e a eficácia das atividades de regulação e fiscalização exercidas pela ARSAE/MG.
- Permitir a adoção de meios informatizados para fiscalizar a prestação dos serviços, sem onerar em demasia os usuários.

Os indicadores propostos pela ARSAE/MG são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Indicadores de desempenho técnico-operacionais – ARSAE/MG

INDICADORES DE DESEMPENHO – ARSAE/MG

CÓDIGO	Indicador	Unidade
ARSAE-01	Cobertura do abastecimento de água	%
ARSAE-02	Nível de hidrometração	%
ARSAE-03	Capacidade de armazenamento de reservatório	Dias
ARSAE-04	Pressão no abastecimento	%
ARSAE-09	Prevenção de vazamentos	(n./Km)
ARSAE-10	Perdas totais	%
ARSAE-11	Perdas por extensão de rede	(m ³ /Km.dia)

Fonte: (ARSAE, 2010)

- b) ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

Criada em 2004 a ADASA tem como missão executar as atividades relacionadas com a regulação e fiscalização técnica dos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário junto às concessionárias desses serviços e, por meio de um manual de avaliação de desempenho da prestação de serviços, a associação desenvolveu um conjunto de indicadores para avaliar a prestação de serviços de saneamento no Distrito Federal (ADASA, 2017).

No Quadro 5 são apresentados os indicadores utilizados pela ADASA para avaliação de desempenho hídrico e energético de sistemas de abastecimento de água.

Quadro 5 - Indicadores de desempenho hídrico e energético - ADASA

INDICADORES DE DESEMPENHO - ADASA		
PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS		
CÓDIGO	Indicador	Unidade
IAP01	Índice de cobertura urbana de água	%
IAP02	Índice de atendimento urbano de água	%
IAP06	Índice de reclamações dos serviços de água	(n./1000 unidades/ano)
SUSTENTABILIDADE INFRAESTRUTURAL		
IAI07	Capacidade de reserva do sistema de água	dias
IAI09	Índice de substituição da rede de água	%
IAI10	Quantidade de vazamentos na rede de água	(n./100 Km/ano)
SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL		
IAA11	Utilização eficiente de energia	(KWh/m ³ /100 m.c.a)
IAA12	Índice de perdas na distribuição	%

Fonte: (ADASA, 2017)

De acordo com a ADASA (2017), os indicadores de desempenho são classificados em 5 grupos:

- Prestação dos serviços: são indicadores que avaliam as condições da prestação de serviços de abastecimento de água e avaliam, também, o nível de atendimento dos interesses dos usuários. Considera, ainda, aspectos relativos ao acesso aos serviços, tanto físico quanto econômico, qualidade da água e reclamações realizadas.
- Sustentabilidade estrutural: avalia a sustentabilidade técnica da prestação de serviços na sua resiliência, robustez e desempenho com foco em conceitos fundamentais como a capacidade de reserva e tratamento de água, nível de substituição da rede e as disfunções do sistema.
- Sustentabilidade ambiental: são indicadores que permitem medir o nível de proteção do meio ambiente e dos recursos utilizados, como por exemplo, a utilização eficiente de energia em unidades características e conformidade no manejo de águas.

- Governança: avalia as relações entre o Prestador e os usuários e as condutas, incluindo a transparência do Prestador, o envolvimento dos usuários no planejamento para se obter um resultado satisfatório para todos os interessados.
- Gestão econômico-financeira: indicadores destinados a avaliar a sustentabilidade e a situação econômico-financeira da prestação de serviços dos seus recursos humanos, a evasão da receita, o desempenho financeiro, liquidez e retorno.

3.3.2.2 Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS)

De acordo com Carvalho (2013), no período em que entrou em vigência o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANASA), foi elaborado um sistema de avaliação de desempenho dos serviços prestados em saneamento básico com auxílio de indicadores de eficiência gerencial e operacional das companhias estaduais.

Cada operadora tinha a função de emitir anualmente relatórios de desempenho, que eram encaminhados à coordenação do Plano e este, por sua vez, era responsável por informar sobre a conformidade de cada prestador de serviço com base nas metas de eficiência assumidas. Anos mais tarde, os indicadores consolidados em cada relatório evoluíram para o SNIS (CARVALHO, 2013).

O SNIS apoia-se num banco de dados com informações atualizadas de carácter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro, de balanço contábil e de qualidade no que diz respeito à prestação de serviços de água e esgoto, além de informações sobre os serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos. Todo o banco de dados é atualizado anualmente desde o ano referência de 1995 e administrado em esfera federal pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2017).

Principais objetivos do SNIS (BRASIL, 2017):

- Planejamento e execução de políticas públicas de saneamento.
- Orientação da aplicação de recursos.
- Conhecimento e avaliação do setor saneamento.
- Avaliação de desempenho dos prestadores de serviços.
- Melhoria da gestão, elevando os níveis de eficiência e eficácia.
- Orientação de atividades regulatórias.

- *Benchmarking* e guia de referência para medição de desempenho.

De acordo com Brasil (2017), os indicadores são calculados com base em informações primárias e a adequada definição de indicadores têm uma importância estratégica para a análise de desempenho do setor de saneamento a ser estudado, no caso de indicadores operacionais de água, aspectos relevantes da oferta, demanda dos serviços de abastecimento de água devem ser levadas em consideração.

Os prestadores de serviços de água e esgoto são convidados a fornecer informações sobre seus sistemas, que após analisadas, dão origem a uma série de indicadores de natureza operacional, econômica, financeira, administrativa, de balanço e qualidade (BRASIL, 2017).

Os indicadores utilizados pelo SNIS para avaliar o desempenho hídrico dos sistemas de abastecimento de água são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 - Indicadores de desempenho hídrico para sistemas de abastecimento - SNIS

INDICADORES DE DESEMPENHO HÍDRICO - SNIS

INDICADORES OPERACIONAIS - ÁGUA		
CÓDIGO	Indicador	Unidade
IN001	Densidade de economia de água por ligação	Econ./lig.
IN009	Índice de hidromedtação	%
IN010	Índice de micromedtação relativo ao volume	%
IN011	Índice de macromedtação	%
IN013	Índice de perdas no faturamento	%
IN017	Consumo de água faturado por economia	m ³ /mês/econ.
IN022	Consumo médio per capta de água	l/hab./dia
IN028	Índice de faturamento de água	%
IN049	Índice de perdas na distribuição	%
IN050	Índice bruto de perdas lineares	m ³ /dia/Km
IN051	Índice de perdas por ligação	l/dia/lig.
IN052	Índice de consumo de água	%
IN053	Consumo médio de água por economia	m ³ /mês/econ.

Fonte: (BRASIL, 2017)

Para avaliar o desempenho energético, o SNIS utiliza o indicador IN058 – índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água, que é definido como o consumo total de energia elétrica, dividido pela soma do volume de água produzido e importado. O IN058 é um indicador específico de energia elétrica que serve para projeções de

custos operacionais e permite acessar a referências que tem como base as informações que são repassadas para o SNIS, lembrando que as informações devem ser usadas com cautela pois, cada sistema demonstra uma realidade que podem ocasionar variações na interpretação dos resultados (BRASIL, 2017).

3.3.3 Sistemas de indicadores internacionais

A seguir serão apresentados alguns sistemas de indicadores de desempenho internacionais que são utilizados para avaliar a prestação de serviços de saneamento básico.

3.3.3.1 American Water Works Association (AWWA)

A American Water Works Association (AWWA) representa um programa voluntário de benchmarking entre os prestadores de serviço de água e esgotamento sanitário dos EUA em que os dados e informações são coletados e enviados de forma voluntária pelos prestadores de serviços (VON SPERLING, 2010).

A AWWA criou em 2016 um relatório de avaliação por meio de indicadores de desempenho para utilitários de água e resíduos e os indicadores são classificados em cinco categorias: operações comerciais, atendimento ao cliente, operação de água e operações de águas residuais.

Segundo Alegre (2006), a AWWA promoveu estudos de investigação aplicada que representam contribuições relevantes para o desenvolvimento dos indicadores de desempenho: “Distribution System Performance Evaluation” (1995) “Performance Benchmarking for Water Utilities” (1996). No primeiro são propostos três critérios de desempenho:

- Adequabilidade: reflete o fornecimento de uma quantidade e qualidade aceitável de água com pressão adequada e a conformidade global com as necessidades dos consumidores;
- Confiabilidade: reflete a capacidade do sistema de distribuição para fornecer uma quantidade e uma qualidade de água aceitáveis com uma pressão adequada e com um número mínimo de interrupções e é avaliada pelo número mínimo de interrupções, de violação da qualidade da água com duração significativa e de válvulas;

- Eficiência: reflete a boa ou má utilização dos recursos, em particular da água e da energia, e as medidas utilizadas são as perdas de água e a eficiência dos bombeamentos.

A lista contendo os indicadores de desempenho da AWWA é apresentada no Quadro 7.

Quadro 7 - Indicadores de desempenho operacional de água – AWWA

INDICADORES DE DESEMPENHO - AWWA		
OPERAÇÕES DE ÁGUA		
CÓDIGO	Indicador	Unidade
AWWA 01	Conformidade regulatória de água	%
AWWA 02	Água produzida	(MGD/empregado)
ABASTECIMENTO DE ÁGUA		
AWWA 03	Demanda atual de água	%
AWWA 04	Abastecimento de água disponível	(anos)
INTEGRIDADE DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA		
AWWA 05	Vazamentos	(vaz./100 milhas de tub.)
AWWA 06	Rompimentos	(romp./100 milhas de tub.)
MANUTENÇÃO DE ÁGUA		
AWWA 07	Manutenção planejada	%
AWWA 08	Manutenção corretiva para produção	(hr/MG)
AWWA 09	Manutenção planejada para produção	(hr/MG)
AWWA 10	Manutenção corretiva para o comprimento do sistema de distribuição	(hr/100 milhas de tub.)
AWWA 11	Manutenção planejada para o comprimento do sistema de distribuição	(hr/100 milhas de tub.)
ENERGIA		
AWWA 12	Consumo de energia	(kBTU/ano/MG)

Fonte: (AWWA, 2016)

3.3.3.2 *Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de Las Américas (ADERASA)*

A Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de Las Américas (ADERASA) foi criada no ano de 2001 na cidade colombiana de Cartagena de Índias por iniciativa de oito países do continente americano (Argentina, Bolívia, Colômbia, Costa Rica, Chile, Nicarágua, Panamá e Peru) e a principal finalidade foi a integração e cooperação entre os países membros para a regulação do setor de saneamento (VON SPERLING, 2010).

O sistema de indicadores da ADERASA possui três princípios básicos (VON SPERLING, 2010):

- Fortalecimento institucional da associação e seus associados através da concentração e ordenamento de um sistema de indicadores, conformando uma base de dados própria, comparável e de fácil acesso;
- Procurar a compatibilidade internacional do sistema de indicadores, promovendo a sua aplicação no setor de regulação;
- Alimentar a consistência regulatória nos países das Américas mediante o intercâmbio periódico da informação, permitindo o acesso às boas práticas dos serviços do setor de saneamento.

Os indicadores utilizados pela ADERASA para avaliação de desempenho são reunidos no Quadro 8.

Quadro 8 - Indicadores de desempenho operacionais - ADERASA

INDICADORES DE DESEMPENHO - ADERASA		
INDICADORES OPERACIONAIS		
CÓDIGO	Indicador	Unidade
IOA08	Consumo por habitante	(litros/hab./dia)
IOA09	Perdas na rede em % de água tratada	%
IOA10	Perdas na rede por conexão	(m ³ /conexão)
IO011	Densidade de rupturas na rede	(n ^o ./Km)
IOA12	Densidade de rupturas em conexões	(n ^o ./1000 conexões)
IOA13	Consumo residencial por habitante	(litros/hab./dia)
IOA14	Perdas na rede por Km de rede por dia	(m ³ /Km)

Fonte: (ADERASA, 2007)

O sistema de indicadores de gestão, tem demonstrado ser uma ferramenta de extrema importância para auxiliar gestores a resolver problemas operacionais e a projetar novas metas eficientes, além de estabelecer políticas de serviço público e fornecer informações aos usuários sobre os serviços prestados, um direito de todo consumidor. Após serem aplicados, os indicadores têm a função de comparar a gestão dos operadores estabelecendo um ponto de referência entre eles (ADERASA, 2007).

A ADERASA publicou em 2007 um manual de benchmarking contendo informações pertinentes para a avaliação de desempenho usando um sistema de indicadores de gestão (IG). De acordo com a instituição, o sistema de indicadores deve se basear em objetivos previamente definidos e no caso particular, a ADERASA propõe alcançar três objetivos (ADERASA, 2007):

- Buscar o fortalecimento institucional da ADERASA e seus associados, por meio da concentração e ordenamento de um sistema de indicadores, formando uma base de dados própria, de fácil interpretação e acessível a todos os associados.
- Procurar a compatibilidade internacional do sistema de indicadores, promovendo a aplicabilidade regulamentar, em função da diversidade e do dinamismo das situações que possam ocorrer.
- Alimentar a consistência regulatória, por meio do intercâmbio regular de informações organizadas e classificadas, permitindo o acesso às melhores práticas.

3.3.3.3 Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos de Portugal (ERSAR)

Segundo Boaventura (2013), a Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos de Portugal (ERSAR), anterior Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), teve início no ano de 2004 com a avaliação anual da qualidade de serviço das entidades concessionárias gestoras de serviços de água e resíduos, tal avaliação baseia-se num conjunto de indicadores denominado “Sistema de avaliação da qualidade dos serviços de água e resíduos prestados aos utilizadores – 1º Geração do sistema de indicadores de qualidade de serviço”.

De acordo com Boaventura (2013), o resultado da avaliação anual é apresentado no Relatório Anual do Setor de Águas e Resíduos em Portugal é utilizado para demonstrar os resultados das avaliações anuais e comparar o desempenho das entidades gestoras com o objetivo de transmitir uma visão global do setor de forma confiável e com base nos termos:

- Caracterização econômica e financeira do setor.
- Avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores.
- Avaliação da qualidade da água entregue para o consumo humano.

De acordo com Rodrigues (2012), o sistema desenvolvido pela ERSAR possui objetivo fundamental de avaliar a qualidade do serviço prestado aos utilizadores assentando no uso de indicadores de qualidade do serviço, traduzindo, de modo sintético, os aspectos mais importantes da quantificação da qualidade do serviço.

Os indicadores podem ser utilizados tanto para julgar o desempenho de resultados e para prever o desempenho futuro, a ênfase na identificação e utilização de indicadores de forma preditiva é relativamente nova, tendo o interesse na prevenção da ocorrência de problemas ao invés de corrigi-los (RODRIGUES, 2012).

No Quadro 9 apresentam-se os indicadores de qualidade do serviço de abastecimento.

Quadro 9 - Indicadores de qualidade do serviço de abastecimento de água - ERSAR

INDICADORES DE DESEMPENHO – ERSAR

QUALIDADE DOS SERVIÇOS PRESTADOS AOS UTILIZADORES		
CÓDIGO	Indicador	Unidade
AA03	Ocorrência de falhas no abastecimento	(nº./100 ramais . ano)
AA04	Água segura	%
SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA		
AA08	Água não faturada	%
AA09	Reabilitação de condutos	(%/ano)
AA10	Ocorrência de avarias em condutos	(nº./100 Km . ano)
EFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO DE RECURSOS AMBIENTAIS		
AA12	Perdas reais de água	(m ³ /Km . dia)
AA13	Eficiência energética de instalações elevatórias	(KWh/m ³ . 100 m)

Fonte: (ERSAR, 2017)

Para Rodrigues (2012) a entidade gestora desenvolveu um sistema de avaliação da qualidade dos serviços de abastecimento de água, o qual se apresenta como uma peça fundamental no modelo de regulação que foi implantado em 2004, nomeadamente no que

respeita à componente da regulação da qualidade de serviço prestado pelas entidades gestoras, de forma a tornar possível a sua avaliação quantificada.

A entidade tem como missão, regular e supervisionar os setores de abastecimento público de água às populações, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos sólidos urbanos, além de assegurar as condições de igualdade e transparência no acesso e no exercício da atividade de serviços de água e resíduos (ERSAR, 2017).

3.3.3.4 International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (IBNET)

A International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (IBNET) é uma associação internacional com a finalidade de reunir bases de dados com informações de serviços prestados em sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário de diversos países, promovida pelo Banco Mundial, com o apoio financeiro do Department for International Development (DFID) do Reino Unido (VON SPERLING, 2010).

O principal objetivo da IBNET, segundo von Sperling (2010), é facilitar o acesso à informação comparativa, proporcionando melhores práticas entre os prestadores de serviço de abastecimento de água e esgotamento sanitário de todo o mundo, além de garantir aos usuários o acesso à qualidade dos serviços e preços acessíveis.

A IBNET fornece um conjunto de indicadores financeiros, técnicos e de processos para a avaliação do desempenho no fornecimento de serviços de água e esgoto. Este conjunto de indicadores fornecem uma base de comparação entre os serviços. Os participantes da IBNET incluem companhias de abastecimento de água de diversas partes do mundo. A rede mantém um banco de dados de desempenho, além de definir normas e fornecer ferramentas para *benchmarking* no setor de abastecimento de água (IBNET, 2017).

A IBNET baseia-se em práticas de benchmarking entre os serviços de água e esgotos por meio das seguintes atividades (VON SPERLING, 2010):

- Fornece orientação sobre indicadores, definições e métodos de coleta de dados;
- Fornece orientação na criação de rotinas nacionais ou regionais de troca de informações;
- Permite a comparação de prestadores de serviços entre si;
- Facilita o acesso aos dados de abastecimento de água e esgotamento sanitário no domínio público;

No Quadro 10 apresentam-se os indicadores de desempenho propostos pela IBNET nas categorias cobertura de água, consumo e produção de água, água não faturada, práticas de medição, desempenho da rede e qualidade de serviço.

Quadro 10 - Indicadores de desempenho – IBNET

INDICADORES DE DESEMPENHO – IBNET		
COBERTURA DE ÁGUA		
CÓDIGO	Indicador	Unidade
IBNET 1.1	Cobertura de água	%
CONSUMO E PRODUÇÃO DE ÁGUA		
IBNET 3.1	Produção de água	(l/pessoa/dia)
IBNET 3.2	Produção de água	(m ³ /conexão/mês)
IBNET 4.1	Consumo total de água	(l/pessoa/dia)
IBNET 4.2	Consumo total de água	(m ³ /conexão/mês)
IBNET 4.7	Consumo residencial	(l/pessoa/dia)
ÁGUA NÃO FATURADA		
IBNET 6.1	Água não faturada	%
IBNET 6.2	Água não faturada	(m ³ /Km/dia)
IBNET 6.3	Água não faturada	(m ³ /conexão/mês)
PRÁTICAS DE MEDIÇÃO		
IBNET 7.1	Nível de medição	%
IBNET 7.2	Porcentagem medida que é vendida	%
DESEMPENHO DA REDE		
IBNET 9.1	Rompimento de tubulação	(romp./Km/ano)
QUALIDADE DO SERVIÇO		
IBNET 15.1	Continuidade do serviço	(horas/dia)
IBNET 15.2	Cientes com descontinuidade no abastecimento	%

Fonte: (IBNET, 2017)

3.3.3.5 *International Water Association (IWA)*

A International water association (IWA) publicou o manual “*Performance Indicators for Water Supply Services*” no ano de 2004 em sua primeira edição, com os autores Alegre et al. (2004) tornando-se a principal referência de medição de desempenho de sistemas de abastecimento de água.

De acordo com Boaventura (2013) o manual publicado pela IWA apresenta uma avaliação detalhada com definições exatas de cada indicador e provou-se a capacidade de utilização em diversas situações de qualquer tipo de organização, além de detalhar o processo de implementação dos mesmos. Estes indicadores de desempenho para sistemas de abastecimento de água são uma referência para aqueles que se dedicam a análise do desempenho do setor, incluindo entidades gestoras, reguladoras e entidades financeiras que determinam as políticas para o setor.

A aplicação de indicadores de desempenho pode ser útil em diversas entidades e resultar em inúmeras vantagens como facilitar uma resposta por parte dos gestores, monitorar os efeitos de cada decisão tomada pelos gestores, além de destacar pontos fracos e fortes de setores como o de recursos humanos (ALEGRE et al., 2004).

Segundo Alegre et al. (2004), os indicadores podem fornecer informações para auxiliar na administração nacional e regional de entidades, como por exemplo, uma comparação do desempenho de entidades gestoras para identificar medidas corretivas e formulação de políticas voltadas para o setor de abastecimento.

O sistema de avaliação é constituído por um conjunto de indicadores com base em seis categorias de desempenho: de recursos hídricos, de recursos humanos, infra estruturais, operacionais e de qualidade de serviço. Para o setor de distribuição, os indicadores operacionais são os mais indicados segundo Alegre et al. (2004) pois garantem respostas de termos específicos e de grande importância tanto para entidades gestoras quanto aos usuários.

No Quadro 11 são apresentados os indicadores utilizados para análise de desempenho hídrico.

Quadro 11 - Indicadores de desempenho hídrico - IWA

INDICADORES DE DESEMPENHO – IWA		
CÓDIGO	Indicador	Unidade
WR1	Ineficiência na utilização dos recursos hídricos	%
WR2	Disponibilidade de recursos hídricos	%
WR3	Disponibilidade de recursos hídricos próprios	%
WR4	Água reutilizada no abastecimento	%
INDICADORES INFRA ESTRUTURAIS		
PH8	Densidade de válvulas	(nº./Km)
PH14	Grau de automação	%
PH15	Grau de controle remoto	%
INDICADORES OPERACIONAIS		
OP23	Perdas de água por ramal	(m ³ /ramal/ano)
OP24	Perdas de água por comprimento de conduto	(m ³ /Km/dia)
OP26	Perdas aparentes por volume de água no sistema	%
OP27	Perdas reais por ramal	(l/ramal/dia)
OP28	Perdas reais por comprimento de conduto	(l/Km/dia)
OP29	Índice infra estrutural de fugas	(-)
OP39	Água não medida	%
INDICADORES ECONÔMICO-FINANCEIROS		
FI46	Água não faturada em termos de volume	%
FI47	Água não faturada em termos de custos	%

Fonte: (IWA, 2004)

Os indicadores utilizados pela IWA para avaliação do desempenho energético são apresentados no Quadro 12.

Quadro 12 - Indicadores de desempenho energético - IWA

INDICADORES DE DESEMPENHO – IWA		
INDICADORES INFRA ESTRUTURAIS		
PH4	Utilização da capacidade de bombeamento	%
PH5	Consumo de energia normalizado	(KWh/m ³ /100 m)
PH6	Consumo de energia reativa	%
PH7	Recuperação de energia	%

Fonte: (IWA, 2004)

3.3.3.6 Office Water Services (OFWAT)

Criada em 1989, a Office of Water Services (OFWAT) é um órgão regulador econômico dos serviços de água e esgoto sanitário da Inglaterra e País de Gales, fundada durante o processo de privatização dos serviços, com autonomia política mas deve prestar contas ao parlamento (VON SPERLING, 2010).

Os indicadores de desempenho propostos pela OFWAT são apresentados no Quadro 13.

Quadro 13 - Indicadores de desempenho – OFWAT

INDICADORES DE DESEMPENHO – OFWAT		
SATISFAÇÃO DO CLIENTE		
CÓDIGO	Indicador	Unidade
OFWAT-01	Mecanismo de incentivo ao serviço	Classificatória
OFWAT-03	Interrupções no abastecimento de água	(h/total de propriedades)
CONFIABILIDADE E DISPONIBILIDADE		
OFWAT-05	Facilidade da manutenção na rede de água	Classificatória
OFWAT-08	Vazamentos	(l/dia)
OFWAT-09	Índice de segurança no fornecimento	Classificatória
IMPACTO AMBIENTAL		
OFWAT-10	Emissão de gases do efeito estufa (GEE)	(equivalente de CO2)
FINANÇAS		
OFWAT-15	Retorno de capital investido	%
OFWAT-16	Classificação de crédito	(-)
OFWAT-18	Cobertura de juros	(-)

Fonte: (ADAPTADO DE BOAVENTURA, 2013)

Segundo Boaventura (2013), para ultrapassar a falta de competitividade do setor a OFWAT tem vindo a utilizar um sistema de benchmarking entre as entidades gestoras de forma a incentivar eficiências que se repercutem no preço final da água. Em março de 2012, a OFWAT publicou um guia para aplicação de indicadores de desempenho “Key performance indicators – guidance”.

A OFWAT espera que as várias entidades gestoras por ela reguladas publiquem o seu desempenho sob a forma dos indicadores de desempenho-chave indicados no guia. O propósito da publicação de tais indicadores é demonstrar aos clientes finais e outras partes interessadas o desempenho da entidade gestora em quatro áreas (BOAVENTURA, 2013):

- Satisfação do cliente;
- Confiabilidade e disponibilidade;
- Impacto ambiental;
- Finanças.

Todas as entidades gestoras da Inglaterra e País de Gales encaminham à OFWAT o seu desempenho na prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Expressas na forma de indicadores de desempenho relativo às dimensões de distribuição de água, esgotamento sanitário, serviço ao consumidor e impactos ambientais (VON SPERLING, 2010).

3.4 Indicadores de sustentabilidade

Os indicadores de sustentabilidade são instrumentos utilizados para monitorar e promover o desenvolvimento sustentável, capturando tendências que auxiliem os gestores a criar políticas e estratégias de desenvolvimento considerando todas as dimensões sócias, ambientais e econômicas, promovendo desta forma, uma sociedade sustentável (KEMERICH; RITTER; BORBA, 2014).

A Agência Portuguesa do Ambiente, publicou no ano de 2000 uma proposta para um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável elaborada na DGA (direção geral do ambiente) com o objetivo principal de propor uma estrutura metodológica, baseado na política do ambiente em Portugal para avaliação da sustentabilidade por meio de um conjunto de indicadores para aplicação nacional. (GOMES; MARCELINO; ESPADA, 2000).

De acordo com os autores, os indicadores sustentáveis são imprescindíveis para auxiliar as tomadas de decisão nas mais variadas áreas, seja para a finalidade de gestão a nível local, regional ou nacional. Os indicadores podem consistir em um vasto campo de aplicações como por exemplo:

- Atribuição de recursos – suporte de decisões, alocação de recursos naturais e determinação de prioridades.
- Cumprimento de normas legais – aplicação a áreas específicas para sintetizar a informação sobre o nível de cumprimento das normas.
- Análise de tendências – aplicação a séries de dados para detectar tendências no tempo e no espaço;
- Informação ao público – sobre os aspectos sustentáveis.
- Investigação científica – servindo de alerta para a necessidade de investigação científica detalhada.

A utilização dos indicadores de sustentabilidade foi intensificada a partir da conferência da ONU sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento por meio do documento denominado Agenda 21 onde foi criada a comissão de desenvolvimento sustentável responsável em monitorar o progresso do desenvolvimento sustentável no país (BOTELHO et al., 2015)

Botelho et al. (2015) ressaltam a crescente utilização e importância de indicadores de sustentabilidade devido à pressão exercida por diferentes partes da gestão socioambiental das empresas, desta forma, propõem a identificação dos principais desafios enfrentados pelas empresas na utilização dos indicadores para a gestão. Concluem que os principais entraves encontrados foram a mensuração de resultados sociais e ambientais, a dificuldade de diálogo entre os indicadores e o planejamento estratégico das organizações.

Santiago e Dias (2014) apresentaram uma matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão dos resíduos sólidos urbanos uma das partes integrantes do saneamento básico. No estudo os indicadores foram organizados e avaliados por especialistas por meio de pesquisa de opinião utilizando o método Delphi, a matriz de indicadores foi dividida em diferentes dimensões de sustentabilidade: política, tecnológica, econômico-financeira, ambiental/ecológica, conhecimento e inclusão social.

De acordo com Santiago e Dias (2014) o método demonstrou ser uma importante ferramenta de pesquisa de opinião entre especialistas e a matriz pode ser utilizada como instrumento de avaliação e planejamento da gestão dos resíduos sólidos, permitindo uma visão estruturada nas diversas variáveis ambientais, sociais, culturais, econômicas, ecológicas e de saúde pública.

Teixeira Júnior (2016) realizou um estudo para identificar o nível de sustentabilidade hídrica e ambiental em um município do Mato Grosso por meio de indicadores relacionados à qualidade e disponibilidade da água e da realidade socioeconômica no município.

A análise de desempenho dos indicadores utilizados no estudo demonstrou que as diversas dimensões analisadas se encontraram acima do nível médio ou intermediário de sustentabilidade, a maioria foi classificada como bom ou potencialmente sustentável (TEIXEIRA JÚNIOR, 2016).

3.5 Aplicação de indicadores de desempenho para sistemas de abastecimento de água

Os sistemas de abastecimento de água na Índia sofrem inúmeros problemas de operação, manutenção, baixa pressão do sistema e má qualidade da água resultando em problemas financeiros e de saúde. Devido a estes problemas, Gupta, Kumar e Sarangi (2012) desenvolveram um estudo para avaliar a eficiência do sistema de abastecimento de água urbana aplicando o método DEA (data envelopment analysis) como uma ferramenta analítica para medir a eficiência técnica relativa a prestação dos serviços de água na Índia.

Em termos mais precisos, pode se dizer que o método DEA é um método não paramétrico de construção de uma fronteira de eficiência, relativamente a qual pode se estimar a eficiência de cada unidade e determinar as unidades referenciais para os casos de insuficiência. Este processo gera medidas de eficiência técnica para cada unidade na amostra comparando valores observados (o ponto de dados particular) para valores ótimos de saídas e entradas.

No estudo as medidas de eficiência técnica nos dizem o quanto mais de uma utilidade de água pode produzir, quando disponibilizada uma determinada quantidade de recursos. O estudo realizado por Gupta, Kumar e Sanrangi (2012) demonstrou através do método DEA que as operadoras estão operando abaixo do nível ótimo de operação.

Cabrera et al. (2010), ao realizarem uma auditoria energética em uma rede de distribuição de água, evidenciam a necessidade de aplicação de indicadores de desempenho, permitindo avaliar o sistema de abastecimento e identificar os pontos de melhorias, tornando-o mais eficiente. Os autores propõem cinco indicadores de eficiência energética para a caracterização dos sistemas de abastecimento de água, além de enfatizar que os indicadores não

podem ser alterados por decisões de gestão, e muito menos utilizados para medir o quão bem o sistema é gerenciado.

A seguir, os indicadores de eficiência energética propostos por Cabrera et al. (2010):

- Indicador I_1 (excesso de energia fornecido) – relação entre a energia real que entra no sistema e a energia útil necessária para os usuários;
- Indicador I_2 (eficiência de energia da rede) – é uma medida da eficiência do uso da energia injetada no sistema (que fração da energia total de entrada é útil).
- Indicador I_3 (energia dissipada pelo atrito) – representa a capacidade hidráulica da rede. Um valor mais elevado indica baixa eficiência.
- Indicador I_4 (perda de energia) – mede a perda de energia devido ao escapamento, que resulta da soma de perda de energia através da água vazada e a energia adicional necessária para superar o atrito com a taxa de aumento do fluxo necessária para superar o escapamento.
- Indicador I_5 (conformidade com os padrões) – é a relação direta entre a energia entregue aos usuários e a energia útil necessária. É um indicador de nível de rede que mede a condição geral do sistema, mas pode deixar o desempenho do setor despercebido.

Os indicadores definidos acima auxiliam na avaliação e tomada de decisão das redes de distribuição de água, podendo comparar e melhorar a eficiência energética das diversas redes nas quais forem aplicados (CABRERA et al., 2010).

De acordo com Vilanova (2012) a pressão sobre os recursos naturais, a eficiência, conservação e uso racional da água e energia em um sistema de abastecimento de água não são fatos encarados como prioridade no Brasil, são tratados de forma momentânea proporcionando diversos problemas de gestão dos recursos hídricos e energéticos.

Vilanova (2012) desenvolveu um conjunto de indicadores de eficiência hidráulica e energética para sistemas de abastecimento de água, cujo o intuito foi o de comparar a situação atual de um sistema de com uma condição ótima que o mesmo sistema deveria apresentar ou alcançar, para o autor, a condição ótima se refere ao sistema que proporciona o menor consumo de água e energia.

A metodologia utilizada pelo autor consistiu em realizar uma modelagem matemática de demanda/consumo de energia elétrica definindo variáveis que influenciam o desempenho hidráulico e energético do sistema.

Para Vilanova (2012) o setor de abastecimento de água necessita de ferramentas para a medição de eficiência hidráulica e energética. Para isto, o autor propõe quatro indicadores: operação otimizada de bombeamento, recuperação de energia hidráulica, carga hidráulica e eficiência hídrica. A aplicação de indicadores em sistemas reais pôde determinar a diferença entre o nível de utilização atual de água e energia elétrica dos sistemas.

Em um estudo de indicadores de desempenho aplicados em serviços de saneamento, von Sperling e von Sperling (2013) propuseram um conjunto de indicadores voltados para quatro setores do saneamento: agências reguladoras, prestadoras de serviços, administração pública e usuários.

Os autores selecionaram inúmeros indicadores disponíveis na literatura e voltados para água, esgoto e misto. Utilizaram a metodologia Delphi para definição da importância, praticidade e relevância dos indicadores de desempenho e por meio de questionários, especialistas do setor de saneamento classificaram os indicadores mais relevantes para o uso em saneamento.

Na pesquisa realizada von Sperling e von Sperling (2013) iniciaram o estudo levantando 699 indicadores, sendo 483 voltados a serviços de água e esgoto. Após a aplicação da metodologia Delphi, 174 indicadores foram submetidos aos especialistas, chegando a um total de 46 indicadores considerados principais para o estudo.

Os autores destacaram a importância de se trabalhar com quantidades menores de indicadores para se obter resultados satisfatórios de maneira mais fácil. A importância e praticidade dos indicadores dependem, exclusivamente, da finalidade de utilização. Ao final, concluem que os indicadores propostos, compõem um sistema único de informações podendo ser utilizados em diversos setores do saneamento.

Muranho et al. (2013) utilizaram índices de desempenho técnico para avaliar o desempenho operacional de sistemas de abastecimento de água em Portugal, resultando em ferramentas de avaliação integradas ao software WaterNetGen, uma extensão do software EPANET, utilizado para construir redes de distribuição de água, dimensionar tubos, processar

indicadores de desempenho e realizar simulações impulsionadas pela demanda de vazão e pressão no sistema.

Ainda segundo os autores, o estudo apresentou novas ferramentas de avaliação de desempenho baseadas em variáveis de folga e violação de restrições. Todos os dados foram incorporados ao software e as ferramentas foram exploradas por meio de um estudo de caso. Como resultado, foi possível identificar os elementos do modelo com mau desempenho, pontos específicos para expansão da rede, tubulação danificada e cálculo de demanda necessária.

A inclusão de ferramentas e dados no WaterNetGen pode ser uma excelente opção como forma de avaliação de desempenho de sistemas de abastecimento de água, beneficiando uma grande quantidade de usuários e propiciando novos campos de aplicação (MURANHO et al., 2013).

Em sistemas de abastecimento de água ocorrem falhas naturais ou artificiais na estrutura física das redes. Desse modo, Hernandez e Ormsbee (2016) propõem a utilização de indicadores de confiabilidade que garantem maior precisão ao se monitorar a rede. Ainda segundo os autores, a confiabilidade dos sistemas de distribuição pode ser avaliada através de quatro medidas:

- Topologia da rede.
- Hidráulica.
- Qualidade da água.
- Aumento de pressão na rede.

Di Nardo et al. (2016) aplicaram indicadores de confiabilidade em quatro redes existentes, comprovando a capacidade de medir as diferenças e semelhanças entre elas, além de avaliar a vulnerabilidade estrutural e capacidade de resistência a perturbação nas redes.

Em um estudo realizado para avaliar o desempenho de sistemas de abastecimento de água, Soares (2016) utilizou indicadores para caracterizar duas cidades distintas com diferentes faixas de pressão, vazão de entrada, perfil socioeconômico, número de ligações, população atendida e aspectos topográficos.

O autor utilizou vários indicadores sugeridos pela IWA, todos indicaram diferenças quando aplicados nas duas cidades com respostas significativas em relação aos sistemas de abastecimento avaliados, no entanto, o autor sugere a aplicação de outros indicadores em maior

quantidade e confiabilidade dos dados, para que as análises possam conduzir a resultados mais expressivos e próximos da realidade.

Melo et al. (2015) desenvolveram um estudo com o objetivo de avaliar os serviços de abastecimento de água de oito municípios do Rio Grande do Norte pelo fato do Brasil apresentar um déficit nos serviços de abastecimento de água e saneamento básico, o estudo propõe classificar os municípios hierarquicamente de acordo com critérios previamente estabelecidos. Para avaliar os sistemas de abastecimento de água, os autores utilizaram onze critérios que foram divididos em três categorias: operacional, financeiro e de qualidade, os critérios foram analisados pelo método TOPSIS.

O método TOPSIS consiste em identificar uma solução ideal e uma solução não ideal em seguida, é necessário construir uma matriz de decisão onde são determinados os pesos referentes a cada alternativa, os pesos são comparados com a solução ideal e não ideal onde é analisado o quão próxima ou distante cada alternativa está em relação as soluções ideal e não ideal, o último passo consiste na estimação do grau de proximidade de cada alternativa, ou seja, um ranking das alternativas onde a melhor alternativa é a que mais se aproxima da solução ideal e mais se distancia da solução não ideal (HELLER; VON SPERLING; HELLER, 2009; MELO et al., 2015).

Gheisi e Naser (2015) desenvolveram um estudo no Canadá para avaliar o desempenho de uma rede de distribuição de água sob falhas de tubulação por meio de diferentes aspectos, os autores utilizaram uma nova técnica de análise octante, que consiste em correlacionar os aspectos simultaneamente e foi aplicada para estudar a resposta de uma rede às falhas de tubulação.

Foram criados três indicadores para servir de base para a análise: adequação da entrega de água, que reflete o nível de concordância entre oferta e demanda; equidade da entrega de água, que analisa se a água disponível na rede é distribuída de forma justa e eficiência da entrega de água, relacionando os vazamentos que ocorrem na rede devido a deterioração do sistema (GHEISI; NASER, 2015).

Os indicadores propostos por Gheisi e Naser (2015) foram aplicados em uma rede hipotética com um conjunto de 22 layouts com diferentes alternativas de distribuição de água. Na metodologia foi utilizada a análise octante que consiste em dividir o sistema de coordenadas tridimensional em oito divisões, conceito semelhante ao de quadrante no sistema bidimensional, cada aspecto foi avaliado em função da média e do desvio das respostas de desempenho, foram

realizadas várias correlações entre os indicadores (equidade x adequação, eficiência x adequação e eficiência x equidade).

Os resultados mostraram uma correlação positiva entre adequação e equidade, o que indicou que os layouts com maior adequação e equidade na entrega tiveram menor eficiência devido as perdas por vazamentos, ou seja, os sistemas com alta capacidade de entregar água aos consumidores durante os períodos de falhas e também distribuir água de forma justa, sofrem com a baixa eficiência devido aos vazamentos (GHEISI; NASER; 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

No presente capítulo, é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa, baseada em uma sistemática de trabalho para o cálculo de indicadores de desempenho hídrico e energético clássicos da literatura e para a proposta de indicadores de sustentabilidade. O esquema é apresentado na figura 6.

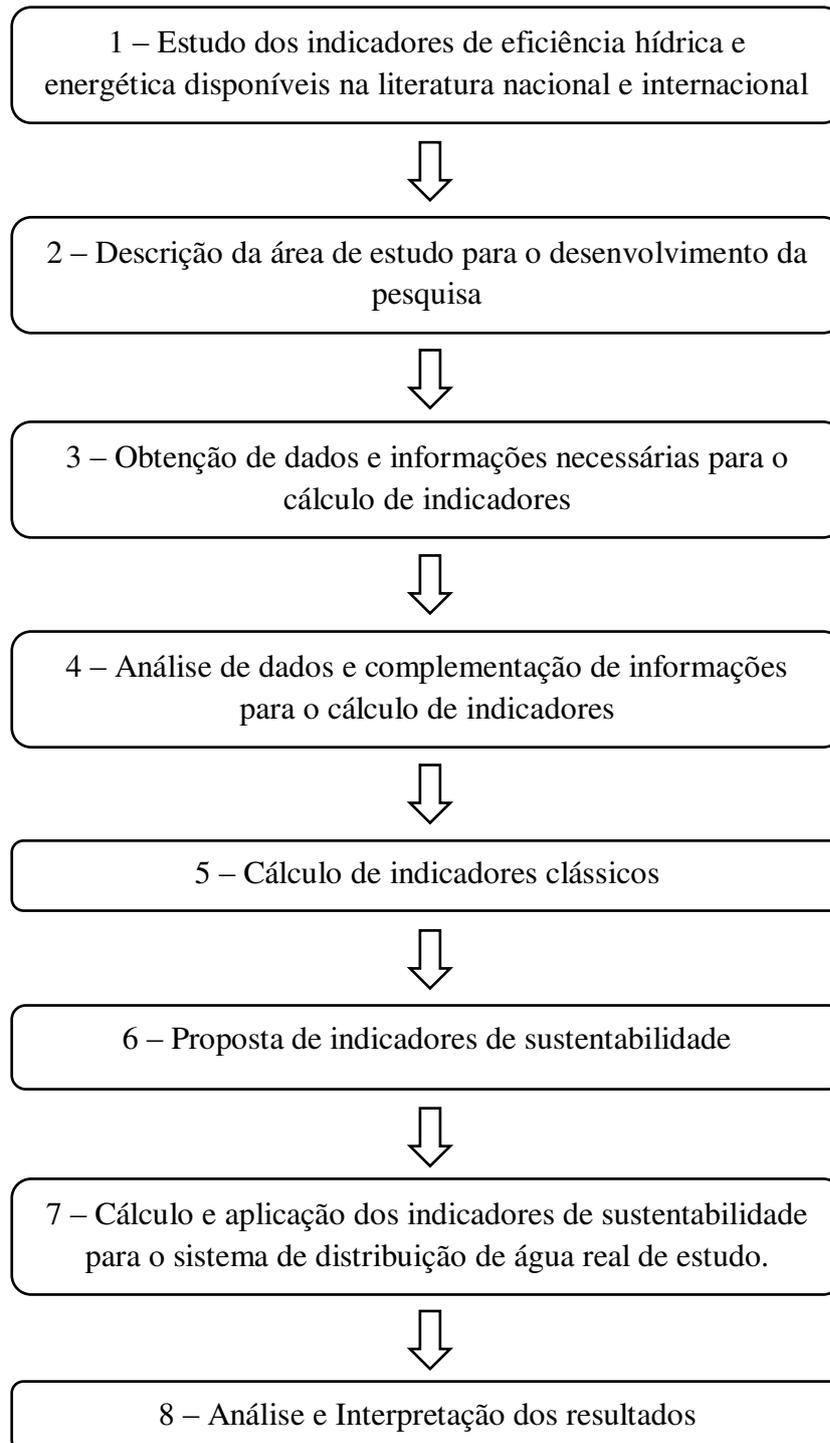


Figura 6 - Etapas da metodologia

Inicialmente realizou-se pesquisa bibliográfica sobre indicadores de eficiência hídrica e energética buscando-se os diversos tipos de indicadores existentes na literatura e que estão relacionados com sistemas de abastecimento de água. O estudo bibliográfico teve como objetivo principal destacar as diversas aplicações de indicadores nacionais e internacionais mais utilizados na atualidade em sistemas de abastecimento como, por exemplo, os clássicos sugeridos pela IWA e os mais utilizados no Brasil, os indicadores sugeridos pelo SNIS e pelas agências associadas da ABAR.

O município escolhido para o desenvolvimento da pesquisa está situado na região da Serra da Mantiqueira com altitude máxima de 2.050 m e mínima de 680 m, topografia montanhosa e clima tropical de altitude. É caracterizado pelo intenso desenvolvimento industrial, população em torno de 26.488 habitantes, densidade demográfica de 108,31 hab./Km² e área de 244,567 Km² (IBGE, 2018).

Utilizou-se de dados coletados em campo de um setor de distribuição de água gerenciado pelo SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto), o local escolhido trata-se de um sistema de abastecimento de água com características pertinentes para estudos hidráulicos com setores isolados. Juntamente com as visitas de campo foram necessárias pesquisas de informações junto aos responsáveis do SAAE do município.

A proposta de trabalho se integra ao projeto REDECOPE Finep – MCT (0983/10) e Fapemig PPM – Programa Pesquisador Mineiro (00755-16), cujo tema é “Desenvolvimento de tecnologias e procedimentos eficientes para a gestão hidro energética em sistemas de abastecimento de água”, desenvolvida pelo grupo de pesquisa NUMMARH (Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos) formado por uma equipe multidisciplinar composta por engenheiros civis, ambientais, hídricos e de controle e automação.

Durante o período de 08 a 14 de outubro de 2014 foram coletados diversos dados de pressão, vazão, consumo de água e energia, cotas topográficas, extensão da rede e diâmetro das tubulações. Os dados foram fundamentais para a realização de um balanço hídrico no setor de estudo por Andrade (2016), os resultados de balanço hídrico estão apresentados no Tabela 2.

Dentre os trabalhos realizados pelo grupo de pesquisa, foi realizado um estudo de indicadores de desempenho desenvolvido por Soares (2016), caracterizado por uma extensa campanha de campo.

Tabela 2 - Balanço hídrico do setor em estudo

A	B	C	D	E
1 - Água na entrada no sistema = 95.795,61 m ³ /ano (100%)	2 - Consumo autorizado = 68.570,43 m ³ /ano	4 - Consumo autorizado faturado = 68.570,43 m ³ /ano	8 - Consumo faturado medido (incluindo água exportada) = 68.570,43 m ³ /ano	17 - Água faturada = 68.570,43 m ³ /ano (71,58%)
			9 - Consumo faturado não medido = 0 m ³ /ano	
		5 - Consumo autorizado não faturado = 0 m ³ /ano	10 - Consumo não faturado medido = 0 m ³ /ano	18 - Água não faturada (perdas comerciais) = 27.225,18 m ³ /ano (28,42%)
			11 - Consumo não faturado não medido = 0 m ³ /ano	
	3 - Perdas de água = 27.225,18 m ³ /ano	6 - Perdas aparentes = 625,87 m ³ /ano	12 - Usos não autorizados = 81,36 m ³ /ano	
			13 - Erros de medição = 544,50 m ³ /ano	
		7 - Perdas reais = 26.599,31 m ³ /ano (27,77%)	14 - Perdas nos sistemas de adução e/ou distribuição = 19.602,13 m ³ /ano	
	15 - Perdas e extravasamento nos reservatórios = 1.715,19 m ³ /ano			
		16 - Perdas nos ramais (montante do ponto de medição) = 5.282,00 m ³ /ano		

Fonte: (ANDRADE, 2016)

Os dados coletados por Andrade (2016) e Soares (2016) foram essenciais para o desenvolvimento da pesquisa. Em seguida foram selecionados indicadores de eficiência hídrica e energética para o cálculo de indicadores clássicos considerados mais relevantes para a pesquisa e com base na disponibilidade das informações já coletadas.

Na etapa seguinte, criou-se uma proposição inicial de indicadores de sustentabilidade hídrica e energética para serem aplicados na rede real de estudo. Na literatura existem diversos trabalhos com aplicações de indicadores para avaliar o desempenho de redes de distribuição de água, mas na maioria deles é comum a utilização de dos clássicos IWA e SNIS, que são os indicadores mais utilizados principalmente no Brasil.

Após a definição dos indicadores de sustentabilidade e com base nas análises de dados e informações coletados pelos membros do grupo de pesquisa, os indicadores de sustentabilidade hídrica e energética foram calculados e aplicados na rede de distribuição de água real. Ressalta-se de forma primordial, que os indicadores possuem o objetivo de demonstrar a real situação em que o sistema testado se encontra, desde que as informações e os dados de entrada para o cálculo dos indicadores sejam confiáveis e não induzam erros de interpretação durante o processo de análise dos resultados.

A etapa final da pesquisa foi a análise e interpretação dos resultados após a aplicação dos indicadores clássicos e dos indicadores sustentáveis na rede real de estudo. Com base nesses resultados, enfatizou-se a possibilidade de os indicadores selecionados serem aplicados a diversos sistemas de abastecimento de água.

Os indicadores selecionados e propostos foram separados em três categorias (indicadores de desempenho hídrico, indicadores de desempenho energético e indicadores de sustentabilidade hídrica e energética).

4.1 Indicadores de desempenho hídrico

Após realizada a pesquisa bibliográfica e uma seleção com os diversos indicadores de desempenho disponíveis na literatura nacional e internacional, é apresentada uma lista com os principais indicadores de desempenho hídrico para o setor de estudo.

4.1.1 WR1 – Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%)

É um indicador ambiental, não apropriado para avaliar a eficiência da gestão técnica dos sistemas de distribuição. O cálculo do indicador é expresso pelas perdas reais durante o período de referência dividido pela água de entrada no sistema (ALEGRE et al., 2004). A fórmula do indicador é apresentada na Equação 1.

$$WR1 = \frac{A19}{A3} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

A3 – Água entrada no sistema (m³)

A19 – Perdas Reais (m³)

4.1.2 Op23 – Perdas de água por ramal (m³/ramal/ano)

Segundo Alegre et al. (2004), o indicador é expresso na mesma unidade de consumo autorizado utilizado no balanço hídrico, para o cálculo, utiliza-se as perdas de água durante o período de referência (neste caso, um ano) dividido pelo número de ramais existentes durante o ano de referência. A fórmula do indicador é apresentada na Equação 2.

$$Op23 = \frac{(A15 * 365)/H1}{C24} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

A15 – Perdas de água (m³)

C24 – Número de ramais (nº)

H1 – Duração no período de referência (dia)

4.1.3 Op24 – Perdas de água por comprimento de conduto (m³/Km/dia)

Semelhante ao indicador Op23, aplica-se a densidade de ramais menores que 20/Km de rede no caso de sistemas de produção e adução, segundo Alegre et al. (2004) o Op23 aplica-se a todas as demais situações, é expresso pelas perdas de água durante o ano de referência dividido pelo número de ramais existentes durante o período de referência. A fórmula do indicador é apresentada na Equação 3.

$$Op24 = \frac{A15/H1}{C8} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

A15 – Perdas de água (m³)

C8 – Comprimento de condutos (Km)

H1 – Duração no período de referência (dia)

4.1.4 *Op26 – Perdas aparentes por volume de água na entrada do sistema (%)*

Indicador aplicado a sistemas de produção e adução, aplica-se a densidade de ramais menores que 20/Km de rede, para o cálculo, utiliza-se as perdas aparentes dividido pela água de entrada no sistema durante o período analisado (ALEGRE et al., 2004). A fórmula do indicador é apresentada na Equação 4.

$$Op26 = \frac{A18}{A3} * 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

A3 – Água entrada no sistema (m³)

A18 – Perdas aparentes (m³)

4.1.5 *Op27 – Perdas reais por ramal (l/ramal/dia)*

Indicador aplicado a sistemas em pressão levando em consideração situações de fornecimento intermitente, sem restrições de uso. Calcula-se utilizando as perdas reais durante o período dividido pelo número de ramais multiplicado pelo número de horas em que o sistema está em pressão (ALEGRE et al., 2004). A fórmula do indicador é apresentada na Equação 5.

$$Op27 = \frac{A19 * 1000}{(C24 * H2)/24} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

A19 – Perdas reais (m³)

C24 – Número de ramais (nº)

H2 – Tempo de pressurização do sistema (horas)

4.1.6 Op28 – Perdas reais por comprimento de conduto (l/km/dia)

Semelhante ao indicador anterior, o Op28 aplica-se a densidade de ramais menores do que 20/Km de rede em sistemas de produção e adução, para o cálculo utiliza-se as perdas reais durante o período de referência dividido pelo comprimento de condutos multiplicado pelo número de horas em que o sistema está em pressão. (ALEGRE et al., 2004). A fórmula do indicador é apresentada na Equação 6.

$$Op28 = \frac{A19 * 1000}{(C8 * H2)/24} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

A19 – Perdas reais (m³)

C8 – Comprimento de condutos (Km)

H2 – Tempo de pressurização do sistema (horas)

4.1.7 Op29 – Índice infra estrutural de fugas (-)

Para Alegre et al. (2004) o indicador relaciona as perdas reais (Op27) com as perdas reais mínimas. O indicador Op29 sofre influência da densidade de ramais, da localização dos contadores e com a pressão de serviço nas perdas reais, para o cálculo utiliza-se as perdas reais (Op27) dividido pelas perdas reais mínimas de um sistema em pressão. A fórmula do indicador Op29 é apresentada na Equação 7.

$$Op29 = \frac{Op27 / (18 * C8 / C24 + 0,7 + 0,025 * C25)}{(D34/10)} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

Op27 = perdas reais por ramal (l/ramal/dia)

C8 – Comprimento de condutos (Km)

C24 – Número de ramais (n°)

C25 – Comprimento médio dos ramais (m)

D34 – Pressão média de operação (KPa)

4.1.8 *Op39 – Água não medida (%)*

Segundo Alegre et al. (2004), tal indicador relaciona a água que entra no sistema menos o consumo medido (inclui o consumo medido faturado e o consumo medido não faturado) dividido pela água de entrada no sistema. A fórmula do indicador é apresentada na Equação 8.

$$Op39 = \frac{(A3 - A8 - A11)}{A3} * 100 \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

A3 – Água entrada no sistema (m³)

A8 – Consumo faturado medido (m³)

A11 – Consumo não faturado medido (m³)

4.1.9 *Fi46 – Água não faturada em termos de volume (%)*

Corresponde ao volume de água não faturada em porcentagem (%) da água de entrada no sistema é calculado a partir da água não faturada dividido pela água entrada no sistema. (ALEGRE et al., 2004). A fórmula do indicador Fi46 é apresentada na Equação 9.

$$Fi46 = \frac{A21}{A3} * 100 \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

A3 – Água entrada no sistema (m³)

A21 – Água não faturada (m³)

4.1.10 *IAI10 – Quantidade de vazamentos na rede de água (nº/Km/ano)*

De acordo com a ADASA (2017) este indicador destina-se a avaliar a frequência de vazamentos na rede, também é um indicador universalmente utilizado para avaliar o desempenho a nível das infraestruturas por parte do prestador de serviços. Os vazamentos provocados por terceiros não devem ser contabilizados, já que não podem ser imputados ao prestador. É definido como o número de vazamentos nas redes por Km de tubulação e por ano, podendo ser contabilizados a partir dos registros de reparação ou ordens de serviços, admitindo

assim, que todos os vazamentos detectados sejam reparados e registrados. A fórmula do indicador IAI10 é apresentada na Equação 10.

$$IAI10 = \frac{DA04}{AG005} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

DA04 – Número de vazamentos no sistema de água (nº / ano)

AG005 – Extensão da rede de água (Km)

4.1.11 IN013 – Índice de perdas no faturamento (%)

Indicador utilizado para contabilizar as perdas em porcentagem por meio dos volumes produzido e faturado, volume de água tratada e importada e volume de serviço. As perdas aparentes também chamadas de não físicas ou comerciais estão relacionadas ao volume que foi efetivamente consumido pelo usuário, mas que, por algum motivo não foi medido ou contabilizado, desta forma, geram perdas no faturamento para o prestador de serviços. (SNIS, 2016). A fórmula do indicador IN013 é apresentada na Equação 11.

$$IN013 = \frac{(AG006 + AG018 - AG011 - AG024)}{(AG006 + AG018 - AG024)} * 100 \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

AG006 – Volume de água produzido (m³/ano)

AG011 – Volume de água faturado (m³/ano)

AG018 – Volume de água tratada importada (m³)

AG024 – Volume de serviço (m³)

4.1.12 IN022 – Consumo médio per capita de água (l/hab./dia)

O indicador de consumo médio per capita é definido segundo o SNIS (2016) como o volume de água consumido excluído o volume de água exportado, dividido pela média da população atendida com abastecimento de água. A fórmula do indicador IN022 é apresentada na Equação 12.

$$IN022 = \frac{(AG010 - AG019)}{AG001} * \frac{1.000.000}{365} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

AG001 – População total atendida com abastecimento de água (hab.)

AG010 – Volume de água consumido (m³/ano)

AG019 – Volume de água tratada exportada (m³/ano)

4.1.13 IN028 – Índice de faturamento de água (%)

Indicador destinado a contabilizar a água faturada no sistema, é calculado pelo volume de água produzido, dividido pela soma dos volumes de água faturada, volume de água tratada e importada e volume de serviço. (SNIS, 2016). A fórmula do indicador IN028 é apresentada na Equação 13.

$$IN028 = \frac{(AG011)}{(AG006 + AG018 - AG024)} * 100 \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

AG006 – Volume de água produzido (m³/ano)

AG011 – Volume de água faturado (m³/ano)

AG018 – Volume de água tratada importada (m³)

AG024 – Volume de serviço (m³)

4.1.14 IN049 – Índice de perdas na distribuição (%)

De acordo com o SNIS (2016), o indicador destina-se a avaliar as perdas correspondente à água que, apesar de ser captada, tratada, transportada, armazenada ou mesmo distribuída, excluindo a água exportada, não chega a ser vendida aos usuários e nem fornecida de forma gratuita. O indicador é calculado pela diferença entre o volume de água produzido e o volume de água consumido, dividido pelo volume de água produzido descontando o volume utilizado

para atividades operacionais e especiais e somado ao volume tratado e exportado. A fórmula do indicador IN049 é apresentada na Equação 14.

$$IN049 = \frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG024}{AG006 + AG018 - AG024} * 100 \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

AG006 – Volume de água produzido (m³/ano)

AG010 – Volume de água consumido (m³/ano)

AG018 – Volume de água tratada importada (m³)

AG024 – Volume de serviço (m³)

4.1.15 IN051 – Índice de perdas por ligação (l/dia/lig.)

Expresso em litros por ligação ao dia, o indicador IN051 utiliza os mesmos volumes utilizados no indicador anterior, além de contabilizar as ligações ativas de água na rede. Para o cálculo utiliza-se o volume de água produzido somado ao volume de água tratada e exportada subtraindo os volumes consumido e de serviço, o resultado desta soma é dividido pelo número de ligações ativas de água (SNIS, 2016). A fórmula do indicador IN051 é apresentada na Equação 15.

$$IN051 = \frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG024}{AG002} * \frac{1.000.000}{365} \quad \text{Equação 15}$$

Onde:

AG002 – Quantidade de ligações ativas de água (lig.)

AG006 – Volume de água produzido (m³/ano)

AG010 – Volume de água consumido (m³/ano)

AG018 – Volume de água tratada importada (m³)

AG024 – Volume de serviço (m³)

4.1.16 IN052 – Índice de consumo de água (%)

De acordo com o SNIS (2016), o indicador é utilizado para determinar a água que é consumida por meio dos volumes de água produzido, consumido, volume de água tratada e importada e volume de serviço. A fórmula do indicador IN052 é apresentada na Equação 16.

$$IN052 = \frac{(AG010)}{(AG006 + AG018 - AG024)} * 100 \quad \text{Equação 16}$$

Onde:

AG006 – Volume de água produzido (m³/ano)

AG010 – Volume de água consumido (m³/ano)

AG018 – Volume de água tratada importada (m³)

AG024 – Volume de serviço (m³)

4.1.17 IN053 – Consumo médio de água por economia (m³/mês/econ.)

Expresso em m³ por mês por economia, o indicador é calculado pelo volume de água consumido subtraído do volume de água tratada e exportada dividido pela quantidade de economias ativas de água na rede. A fórmula do indicador IN053 é apresentada na Equação 17.

$$IN053 = \frac{(AG010 - AG019)}{AG003} * \frac{1000}{12} \quad \text{Equação 17}$$

Onde:

AG003 – Quantidade de economias ativas de água (lig.)

AG010 – Volume de água consumido (m³/ano)

AG019 – Volume de água tratada exportada (m³/ano)

4.1.18 GFA – Garantia de fornecimento de água (dias)

O indicador foi adaptado dos indicadores Ph2 e Ph3 (IWA – ALEGRE et al., 2004) e Capacidade de armazenamento do reservatório (ARSAE-MG, 2015), ambos relacionados a capacidade de reserva de água dos sistemas de abastecimento (dias), porém, os indicadores não

levam em consideração as perdas que ocorrem no sistema, sejam elas reais ou aparentes. A fórmula de cálculo do indicador GFA é apresentada na equação 18.

$$GFA = \frac{C1}{(A3 - A15) * H1} \quad \text{Equação 18}$$

Onde:

A3 – Água entrada no sistema (m³)

A15 – Perdas de água (m³)

C1 – Capacidade de reserva de água (m³)

H1 – Duração no período de referência (dia)

4.1.19 PAH – Perdas aparentes por habitante (l/hab./dia)

Indicador destinado a avaliar as perdas aparentes por cada usuário na rede, expressa em litros por habitante por dia, calcula-se por meio das perdas aparentes dividido pelo número de habitantes que são servidos com água na rede ao longo do período de referência. A fórmula de cálculo do indicador PAH é apresentada na equação 19.

$$PAH = \frac{PAp.}{Pop.} * \frac{1.000}{365} \quad \text{Equação 19}$$

Onde:

Pop. – População (hab.)

PAp. – Perdas aparentes (m³)

4.2 Indicadores de desempenho energético

Nesta categoria é apresentada uma lista com os indicadores de desempenho energético selecionados a partir da literatura nacional e internacional aplicáveis ao setor de estudo.

4.2.1 *Ph4 – Utilização da capacidade de bombeamento (%)*

Indicador destinado a medir a capacidade de bombeamento remanescente no dia de maior consumo energético, no cálculo exclui-se a capacidade dos grupos eletrobomba de reserva que não possam ser utilizados em simultâneo com os restantes. O indicador utiliza o número de horas de funcionamento no dia de maior consumo energético dividido pela potência nominal do sistema de bombeamento durante o período de utilização (ALEGRE et al., 2004). A fórmula de cálculo do indicador Ph4 é apresentada na Equação 20.

$$Ph4 = \frac{D2}{C7 * 24} * 100 \quad \text{Equação 20}$$

Onde:

C7 – Capacidade máxima de bombeamento das estações elevatórias (KW)

D2 – Consumo máximo diário de energia para bombeamento (kWh)

4.2.2 *Ph5 – Consumo de energia normalizado (kWh/m³/100m)*

De acordo com Alegre et al. (2004), o indicador corresponde ao inverso da eficiência média de bombeamento do grupo, para o cálculo, considera-se a energia total consumida nas estações elevatórias durante o período de referência dividido pelo volume bombeado. A fórmula de cálculo do indicador Ph5 é apresentada na Equação 21.

$$Ph5 = \frac{D1}{D3} \quad \text{Equação 21}$$

Onde:

D1 – Consumo de energia para bombeamento (kWh)

D3 – Fator de uniformização (m³ x 100m)

4.2.3 *Ph6 – Consumo de energia reativa (%)*

Alegre et al. (2004) afirmam que a energia reativa é expressa em KVAr e o consumo de energia em kWh, porém as duas unidades são equivalentes e a razão entre elas é adimensional. O indicador é calculado a partir do consumo de energia reativa no bombeamento durante o

período de referência dividido pela energia total consumida nas estações elevatórias. A fórmula de cálculo do indicador Ph6 é apresentada na Equação 22.

$$Ph6 = \frac{D4}{D1 * 100} \quad \text{Equação 22}$$

Onde:

D1 – Consumo de energia para bombeamento (kWh)

D4 – Consumo de energia reativa (kVar)

4.2.4 IN058 – Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (kWh/m³)

Expresso em kWh por m³, o indicador utiliza o consumo total de energia elétrica consumido no setor de estudo dividido pelo volume total de água disponível para os usuários da rede para consumo incluindo o volume de água tratada e importada (SNIS, 2016). A fórmula de cálculo do indicador IN058 é apresentada na Equação 23.

$$IN058 = \frac{AG028}{(AG006 + AG018)} \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

AG006 – Volume de água produzido (m³/ano)

AG018 – Volume de água tratada importada (m³)

AG028 – Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água (kWh/ano)

4.2.5 IRE – Ineficiência dos recursos energéticos (%)

O indicador foi adaptado da metodologia proposta por Cabrera et al., (2010) utilizada para determinar o balanço energético do sistema de distribuição, para o cálculo utiliza-se a energia referente as perdas somadas a energia referente ao atrito dividido pela energia total disponível na entrada do setor de estudo. A fórmula de cálculo do indicador IRE é apresentada na Equação 24.

$$IRE = \frac{(E_{perdas} + E_{atr.})}{E_{entr.}} * 100$$

Equação 24

Onde:

$E_{entr.}$ – Energia de entrada (kWh)

$E_{perd.}$ – Energia relativas a perdas (kWh)

$E_{atr.}$ – Energia dissipada através do atrito (kWh)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados do balanço hídrico apresentados na Tabela 2 foram fundamentais para a obtenção de dados e informações necessárias para o cálculo dos indicadores clássicos de desempenho hídrico e energético, assim como também serviram de base para o cálculo dos indicadores de sustentabilidade propostos.

5.1 Cálculo de indicadores de desempenho hídrico

Nesta categoria são apresentados os resultados de todos os indicadores de desempenho hídrico selecionados.

5.1.1 WR1 – Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%)

$$A3 = 95.795,61 \text{ m}^3$$

$$A19 = 26.599,31$$

$$WR1 = \frac{26.599,31}{95.795,61} \times 100 = \mathbf{27,77\%}$$

5.1.2 Op23 – Perdas de água por ramal ($\text{m}^3/\text{ramal}/\text{ano}$)

$$A15 = 27.225,18 \text{ m}^3$$

C24 = O setor de estudo representa aproximadamente 3,6 % de toda a rede do município estudado, em torno de 487 ligações.

$$H1 = 1 \text{ ano} = 365 \text{ dias}$$

$$Op23 = \frac{(27.225,18 * 365)/365}{487} = \mathbf{55,9 \text{ m}^3 / \text{ramal} / \text{ano}}$$

5.1.3 *Op24 – Perdas de água por comprimento de conduto (m³/Km/dia)*

$$A15 = 27.225,18 \text{ m}^3$$

$$C8 = 8,698 \text{ Km}$$

$$H1 = 1 \text{ ano} = 365 \text{ dias}$$

$$Op24 = \frac{27.225,18/365}{8,698} = \mathbf{8,58 \text{ m}^3/\text{Km}/\text{dia}}$$

5.1.4 *Op26 – Perdas aparentes por volume de água na entrada do sistema (%)*

$$A3 = 95.795,61 \text{ m}^3$$

$$A18 = 625,87 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$Op26 = \frac{625,87}{95.795,61} * 100 = \mathbf{0,65 \%}$$

5.1.5 *Op27 – Perdas reais por ramal (l/ramal/dia)*

$$A19 = 26.599,31 \text{ m}^3$$

$$C24 = 487$$

$$H2 = 24 * 365 = 8760 \text{ h.}$$

$$Op27 = \frac{26.599,31 * 1000}{(487 * 8760)/24} = \mathbf{149,64 \text{ l}/\text{ramal}/\text{dia}}$$

5.1.6 *Op28 – Perdas reais por comprimento de conduto (l/Km/dia)*

$$A19 = 26.599,31 \text{ m}^3$$

$$C8 = 8,698 \text{ Km}$$

$$H2 = 24 * 365 = 8760 \text{ h.}$$

$$Op28 = \frac{26.599,31 * 1000}{(8,698 * 8760)/24} = \mathbf{8.378,34 \text{ l/Km/dia}}$$

5.1.7 *Op29 – Índice infra estrutural de fugas (-)*

$$Op27 = 149,64 \text{ l/ramal/dia}$$

$$C8 = 8,698 \text{ Km}$$

$$C24 = 487$$

$$C25 = 4 \text{ m (estimado)}$$

$$D34 = 31,3 \text{ mca} = 306,76 \text{ KPa}$$

$$Op29 = \frac{149,64 / (18 * 8,698 / 487 + 0,7 + 0,025 * 4)}{(306,76 / 10)} = \mathbf{4,35}$$

5.1.8 *Op39 – Água não medida (%)*

Onde:

$$A3 = 95.795,61 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$A8 = 68.570,43 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$A11 = 0$$

$$Op39 = \frac{(95.795,61 - 68.570,43 - 0)}{95.795,61} * 100 = \mathbf{28,42\%}$$

5.1.9 *Fi46 – Água não faturada em termos de volume (%)*

$$A3 = 95.795,61 \text{ m}^3$$

$$A21 = 27.225,18 \text{ m}^3$$

$$Fi46 = \frac{27.225,18}{95.795,61} * 100 = \mathbf{28,42\%}$$

5.1.10 IAI10 – Quantidade de vazamentos na rede de água (nº/Km/ano)

Durante a semana de monitoramento realizada em outubro de 2014 foi fornecido pelo SAAE apenas 1 registro de vazamento no setor de estudo, como não foram coletados dados de vazamentos referente ao mês ou ao ano de referência, usou-se apenas o valor registrado para se ter uma ideia do indicador proposto.

DA04 = 1 registro

AG005 = 8,968 Km

$$IAI10 = \frac{1}{8,968} = \mathbf{0,11 \text{ n}^\circ/\text{Km/ano}}$$

5.1.11 IN013 – Índice de perdas no faturamento (%)

AG006 = 95.795,61 m³

AG011 = 68.570,43 m³

AG018 = 0

AG024 = 0

$$IN013 = \frac{(95.795,61 + 0 - 68.570,43 - 0)}{(95.795,61 + 0 - 0)} * 100 = \mathbf{28,42\%}$$

5.1.12 IN022 – Consumo médio per capita de água (l/hab./dia)

A população estimada no setor de estudo foi de 2.189 habitantes referente ao período de monitoramento no mês de outubro de 2014.

AG001 = 2.189 hab.

AG010 = 68.570,43

AG019 = 0

$$IN022 = \frac{(68.570,43 - 0)}{2.189} * \frac{1.000}{365} = \mathbf{85,82 \text{ l/hab/dia}}$$

5.1.13 IN028 – Índice de faturamento de água (%)

$$AG006 = 95.795,61 \text{ m}^3$$

$$AG011 = 68.570,43 \text{ m}^3$$

$$AG018 = 0$$

$$AG024 = 0$$

$$IN028 = \frac{68.570,43}{(95.795,61 + 0 - 0)} * 100 = \mathbf{71,58\%}$$

5.1.14 IN049 – Índice de perdas na distribuição (%)

$$AG006 = 95.795,61 \text{ m}^3$$

$$AG010 = 68.570,43 \text{ m}^3$$

$$AG018 = 0$$

Durante a campanha de monitoramento realizada no setor de estudo não houveram registros de volumes disponibilizados para serviço ou atividades operacionais da companhia. Portanto considera-se valor zero para o volume de serviço (AG024 = 0).

$$IN049 = \frac{95.795,61 + 0 - 68.570,43 - 0}{95.795,61 + 0 - 0} * 100 = \mathbf{28,42\%}$$

5.1.15 IN051 – Índice de perdas por ligação (l/dia/lig.)

Onde:

$$AG002 = 487 \text{ ligações}$$

$$AG006 = 95.795,61 \text{ m}^3$$

$$AG010 = 68.570,43 \text{ m}^3$$

$$AG018 = 0$$

$$AG024 = 0$$

$$IN051 = \frac{95.795,61 - 68.570,43}{487} * \frac{1.000}{365} = \mathbf{153,16 \text{ l/dia/lig.}}$$

5.1.16 IN052 – Índice de consumo de água (%)

$$AG006 = 95.795,61 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$AG010 = 68.570,43 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$AG018 = 0$$

$$AG024 = 0$$

$$IN052 = \frac{68.570,43}{(95.795,61 + 0 - 0)} * 100 = \mathbf{71,58\%}$$

5.1.17 IN053 – Consumo médio de água por economia (m³/mês/econ.)

$$AG003 = 487 \text{ ligações}$$

$$AG010 = 68.570,43 \text{ m}^3$$

$$AG019 = 0$$

$$IN053 = \frac{68.570,43 - 0}{487} * \frac{1000}{12} = \mathbf{11,73 \text{ m}^3/\text{mês}/\text{econ.}}$$

5.1.18 GFA – Garantia de fornecimento de água (dias)

O setor escolhido para estudo é abastecido por dois reservatórios denominados pelo SAAE de R3 e R4 e foi escolhido pelo fato de ser isolado e de fácil acesso as entradas e saídas do sistema, o que facilita todo o trabalho. Na Figura 7 são apresentados os reservatórios que abastecem o setor de estudo.

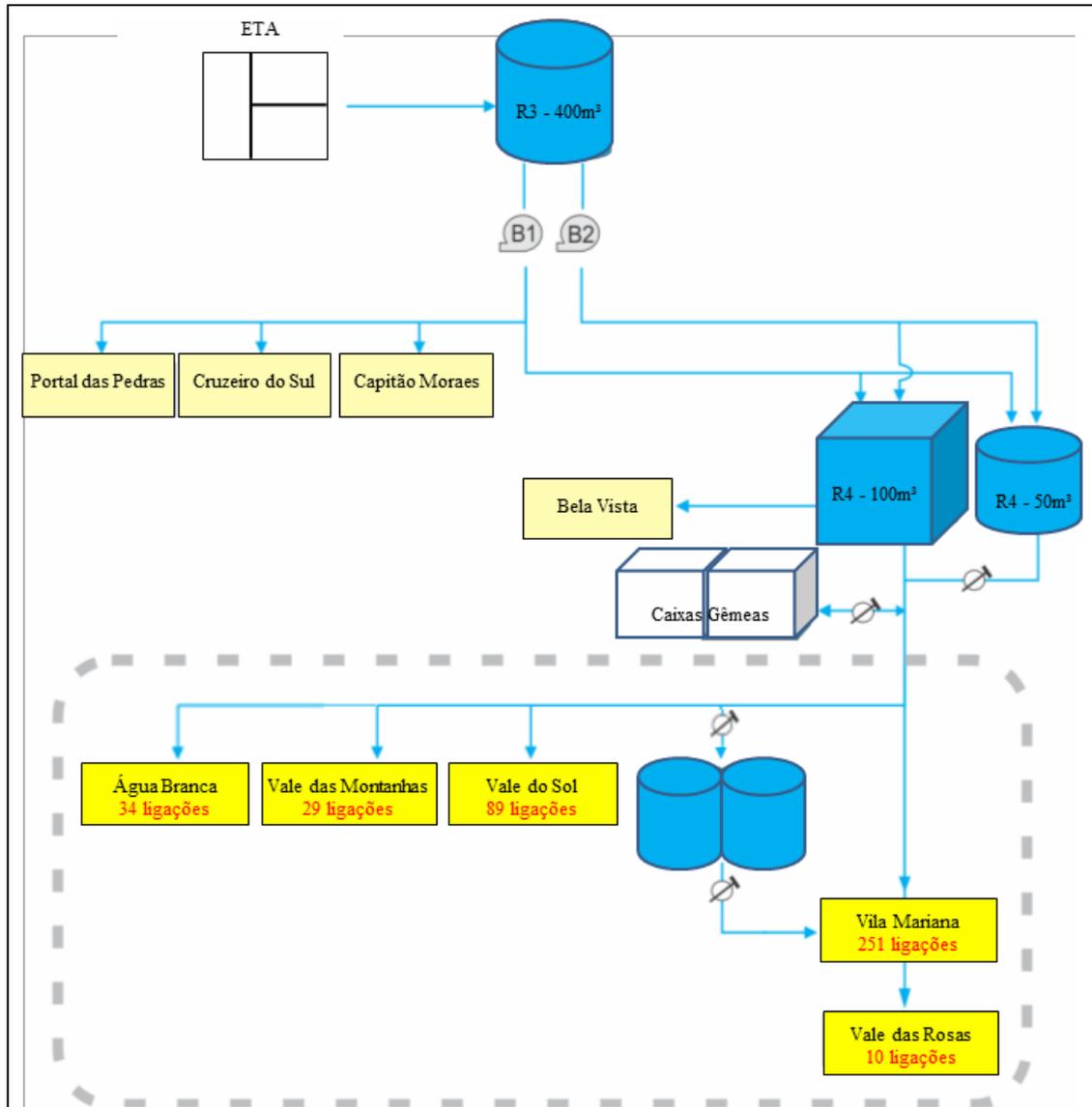


Figura 7 - Esquema de abastecimento do setor de estudo

(FONTE: ANDRADE, 2016)

$$A3 = 95.795,61 \text{ m}^3$$

$$A15 = 27.225,18 \text{ m}^3$$

$C1 = 550 \text{ m}^3$ (soma dos reservatórios R3 e R4 do setor de estudo)

$$H1 = 1 \text{ ano} = 365 \text{ dias}$$

$$GFA = \frac{550}{(95.795,61 - 27.225,18) * 365} = 2,93 \text{ dias}$$

Usando apenas a capacidade de reserva do reservatório R4 temos $C1 = 150\text{m}^3$, com isso temos:

$$GFA = \frac{150}{(95.795,61 - 27.225,18) * 365} = \mathbf{0,8 \text{ dia}}$$

5.1.19 PAH – Perdas aparentes por habitante (l/hab./dia)

PAp. = 625,87 m³

Pop. = 2.189 hab.

$$PAH = \frac{625,87}{2.189} * \frac{1.000}{365} = \mathbf{0,78 \text{ l/hab/dia}}$$

5.2 Discussão a avaliação dos resultados dos indicadores de desempenho hídrico

Na Figura 8 apresentam-se os valores de Op23 e Op27 na mesma unidade para fins de comparação.

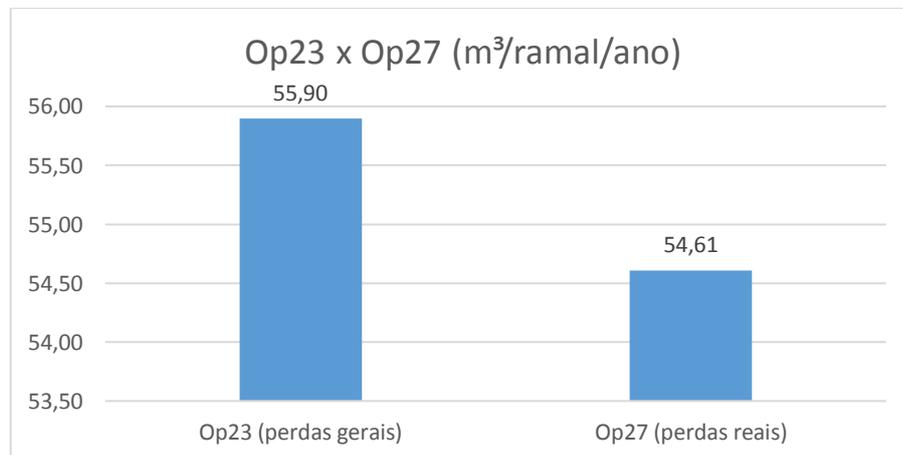


Figura 8 - Indicadores de perdas (m³/ramal/ano)

Com base nos indicadores clássicos calculados para o setor de estudo, pode-se perceber que o setor isolado apresenta baixos índices de perdas totais, reais e aparentes. Os indicadores Op23 e Op27 expressam as perdas em unidade de volume/ramal/tempo determinado, no caso do indicador Op23 (m³/ramal/ano) abrangendo as perdas totais e Op27 (l/ramal/dia) específico para perdas reais.

Nota-se que quando comparados na mesma unidade de medida, o indicador de perdas reais (Op27) fica bem próximo do indicador de perdas totais (Op23) uma diferença de apenas 1,29 m³/ramal/ano o que corrobora um baixo índice de perdas aparentes no setor analisado. Outro indicador específico de perdas aparentes (Op26) expressa em porcentagem a quantidade de perdas aparentes por volume de água de entrada do sistema, neste caso um valor de 0,65% para o setor estudado.

Os indicadores Op24 e Op28 expressam a quantidade de perdas de água em unidade de volume por comprimento de condutos, da mesma forma como foi citado anteriormente, o Op24 (m³/km/dia) para perdas totais e Op28 (l/km/dia) específico para perdas reais. Na Figura 9 apresentam-se os valores de Op24 e Op28 na mesma unidade de medida.

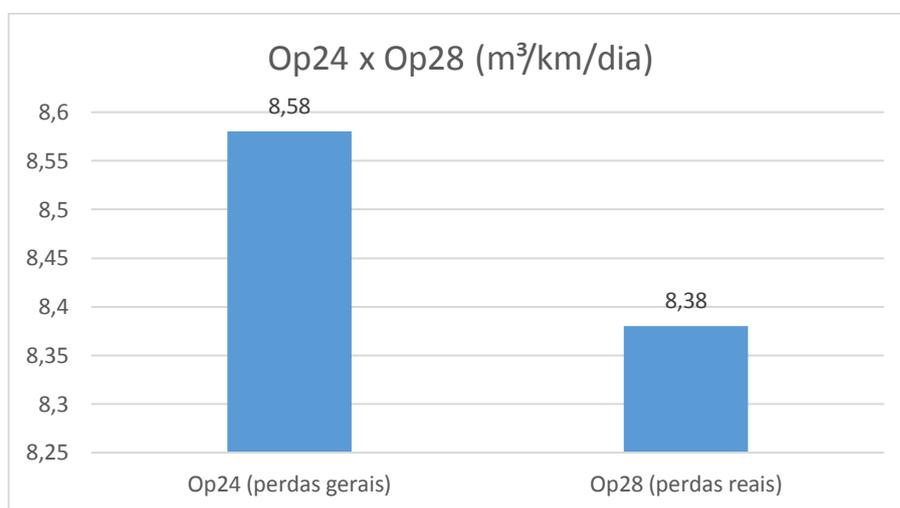


Figura 9 - Indicadores de perdas (m³/km/dia)

Os indicadores acima apresentam uma diferença de apenas 0,2 m³/km/dia correspondente as perdas aparentes por Km de conduto por dia.

Os valores de referência para o indicador Fi46 (água não faturada em termos de volume) são demonstrados no Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de referência para água não faturada

Valores de referência	Alta	Baixa
Qualidade do serviço boa	[0,0; 5,0]	[0,0; 20,0]
Qualidade do serviço mediana]5,0; 7,5]]20,0; 30,0]
Qualidade do serviço insatisfatória]7,5; 100]]30,0; 100]

Fonte: (ADASA, 2017)

Considerando os valores do quadro acima, observa-se que o setor estudado possui uma qualidade do serviço entre baixa e mediana.

Em relação ao consumo médio de água per capita, de acordo com o SNIS (2015) no diagnóstico anual de água e esgoto, a média de consumo do país foi de 154 l/hab.dia mostrando uma redução de 4,9% em relação ao ano de 2014. O indicador apropriado para quantificar o consumo médio per capita é o IN022, uma informação de extrema importância para projeções de demanda, dimensionamento de sistemas de distribuição de água e para controle operacional. Em particular, municípios com previsão de aumento populacional e com restrições na disponibilidade hídrica devem atentar-se para buscar uma redução do consumo per capita. Na Figura 10 seguem os valores do IN022 das regiões do Brasil, a média geral do país e o valor encontrado para o setor de estudo.

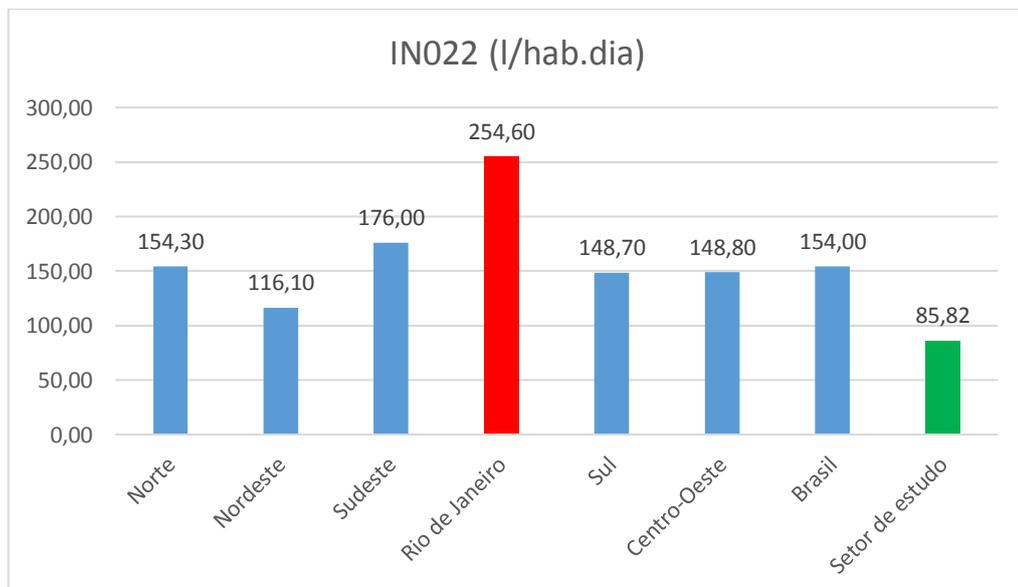


Figura 10 - Consumo médio per capita de água

Fonte: (BRASIL, 2017)

De posse dos valores apresentados, nota-se que o setor analisado possui um baixo índice de consumo médio per capita de água, bem abaixo da média nacional (154,00) e da média da região sudeste (176,00). No gráfico há um destaque para a cidade do Rio de Janeiro com um consumo médio de 254,6 l/hab.dia, segundo o SNIS (2015) o consumo do estado apresenta 44,6% acima da média da região sudeste e 65,3% acima da média nacional. O valor encontrado no setor de estudo (85,82 l/hab.dia) pode não representar todo o município já que a população do setor analisado é de 2.189 habitantes, importante ressaltar que o balanço hídrico realizado no setor de estudo foi realizado a partir de dados coletados em uma semana consecutiva e extrapolados para todo o ano de 2014.

A ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental) publicou em 2013 um relatório de perdas em sistemas de abastecimento de água das operadoras do Brasil e os resultados apresentaram uma média de perdas em torno de 40% (incluindo perdas reais e aparentes) e em algumas operadoras os valores superam os 60%. Na Figura 11 é possível identificar que aproximadamente 30% das operadoras encontram-se na faixa de 30 a 40% das perdas.

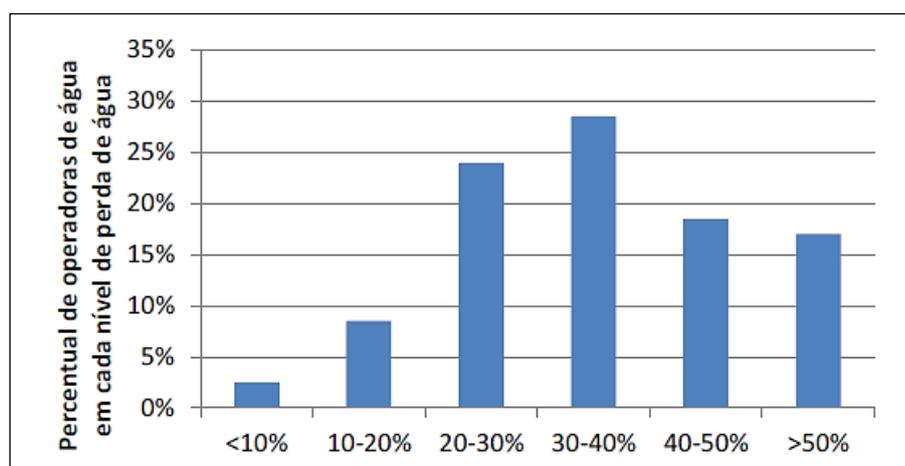


Figura 11 - Cenário de perdas de água das operadoras de água

Fonte: (ABES, 2013)

Ainda no relatório, segundo a ABES (2013), o nível de perdas no Brasil passou de 45,6% em 2004 para 38,8% em 2011, porém, o que é preocupante é que a maioria das empresas prestadoras dos serviços de distribuição de água no país não faz uma medição consistente quando se trata de perdas reais e aparentes. Na Figura 12 nota-se a evolução do indicador de perdas.

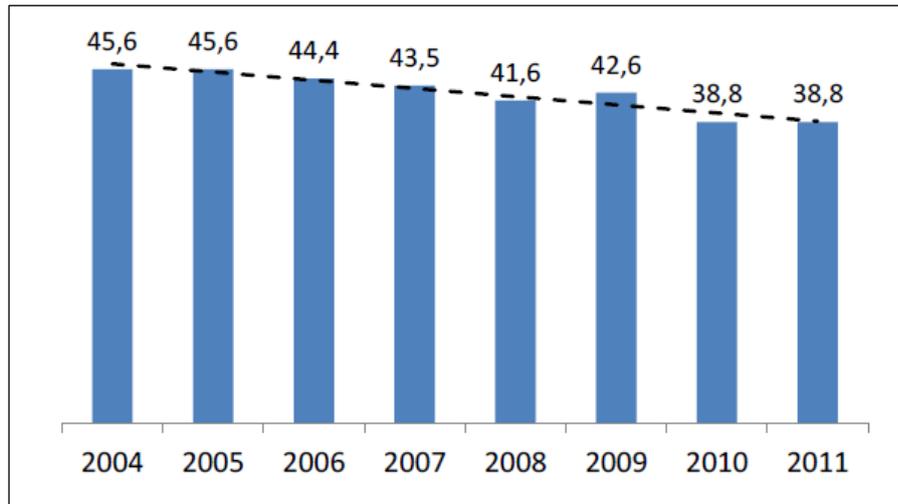


Figura 12 - Evolução histórica do indicador de perdas na distribuição

Fonte: (ABES, 2013)

Para distribuir a água e garantir o consumo dos habitantes, os sistemas sofrem perdas em torno de 36,7% (SNIS, 2015) a média de perdas na distribuição das regiões do Brasil, a média nacional e todos os indicadores relacionados às perdas calculados para o setor de estudo expressos em porcentagens e os valores encontram-se na Figura 13.

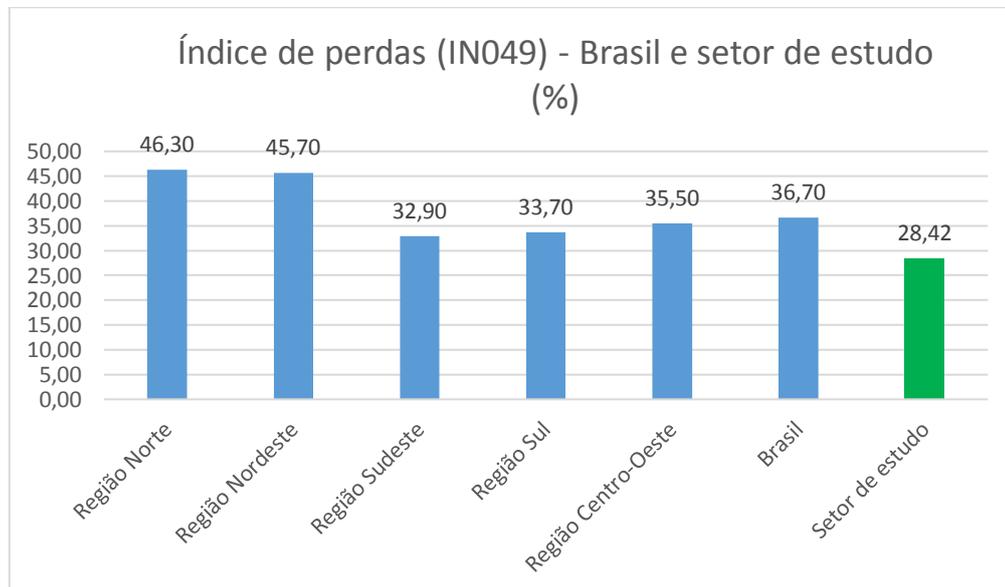


Figura 13 – Índice de perdas na distribuição (%)

Nota-se que o indicador IN049 calculado para o setor apresenta baixo índice quando comparado com a média nacional e com a região sudeste, mostrando que o setor analisado apresenta boas condições de operação e distribuição de água, obviamente que um plano de ação para redução de perdas nunca deve ser descartado, mas no caso deste setor, não é um problema a ser tratado com extrema urgência levando em consideração que todo sistema possui perdas.

Com os resultados do indicador GFA (garantia de fornecimento de água), pode-se avaliar a possibilidade de possíveis intervenções na rede de abastecimento, seja para realizar manutenções nas bombas ou limpeza dos reservatórios, também servem de alerta em casos de escassez de água ou por outros motivos que possam afetar a distribuição de água para os usuários. Ressalta-se que o indicador GFA foi adaptado de outros indicadores que relacionam a garantia de fornecimento, porém, o mesmo levou em consideração não somente a água que entra no sistema, mas também desconta a parcela de perdas totais do sistema, já que os demais indicadores relacionados não as considera.

O valor encontrado com o indicador de perdas aparentes por habitante (PAH), pode ser utilizado para conscientização com a população que recebe a água tratada. Um valor que incide diretamente na quantidade de água por habitante que não está sendo contabilizada pela companhia servindo de alerta para possíveis medidas mitigadoras para tentar reduzir os usos não autorizados, erros de medição e ligações clandestinas.

5.3 Cálculo de indicadores de desempenho energético

Para a estimativa do consumo de energia do setor de estudo, foram obtidas informações junto ao SAAE e comparados com as medições de parâmetros elétricos realizadas pela empresa contratada durante a campanha de campo.

O setor escolhido para estudo é abastecido por dois reservatórios denominados pelo SAAE de R3 e R4 e foi escolhido pelo fato de ser isolado e de fácil acesso as entradas e saídas do sistema, o que facilita todo o trabalho. No reservatório R3 existem duas bombas, uma delas é utilizada para fornecer água diretamente para o R4, a outra bomba destina-se ao abastecimento de outros três bairros que não fazem parte do setor estudado e a sobra dos bairros segue para o reservatório R4, porém na semana de monitoramento a sobra não foi contabilizada.

Segundo Andrade (2016), a empresa responsável em realizar as medições dos parâmetros elétricos realizou as análises no reservatório R3 de maneira geral, portanto não foi possível obter os valores relativos somente ao setor de interesse. A demanda média de potência elétrica em R3 referente as duas bombas durante os sete dias de monitoramento, foi de 28,77 kW. O gráfico de demanda de potência é demonstrado na Figura 14.

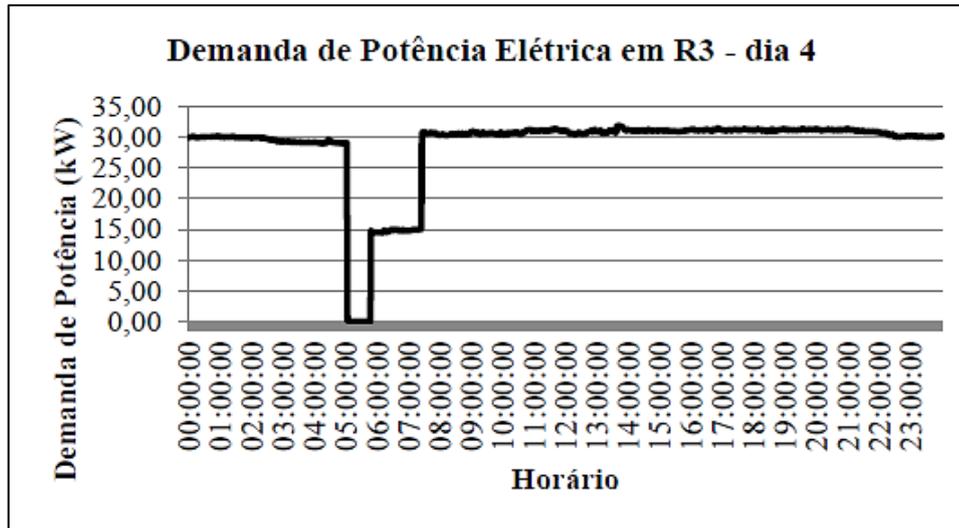


Figura 14 - Demanda de potência elétrica

Fonte: (ANDRADE, 2016)

Para as estimativas de consumo de energia no setor de estudo, Andrade (2016) utilizou alguns dados que foram fornecidos pelo SAAE e comparou com as medições em R3 realizadas pela empresa contratada, o valor médio do consumo energético diário foi de 668 kWh que corresponde ao período de 22 horas por dia (período de operação média do conjunto motobomba). O consumo máximo de energia foi registrado no dia 12/10/2014 com o valor de 683,297 Kwh.

Na Figura 16 é apresentado o consumo diário de energia elétrica do setor com dados medidos em campo.

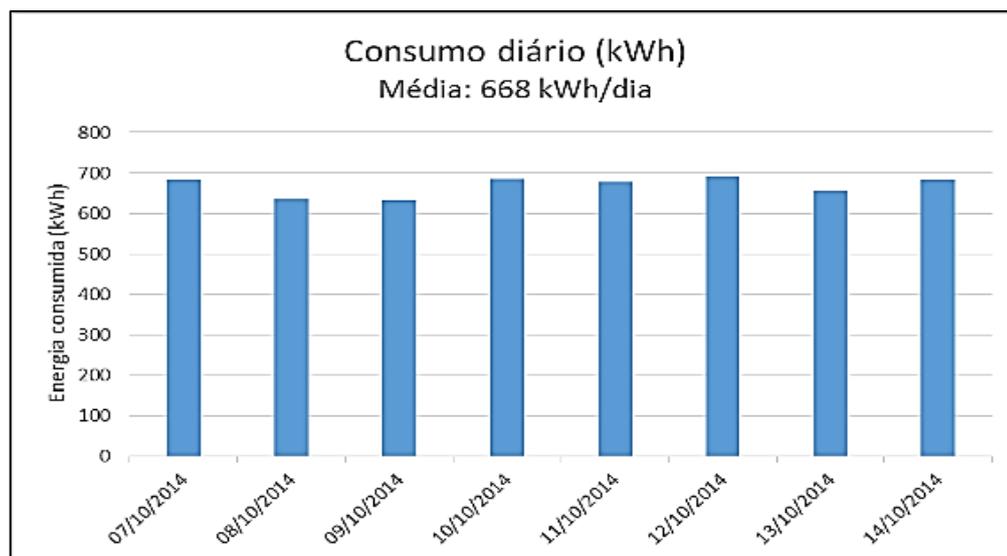


Figura 15 - Consumo diário do setor em estudo

Fonte: (ANDRADE, 2016)

Andrade (2016) ressalta que o volume bombeado por R3 abastece outros bairros além do setor de interesse, desta forma, foi necessário obter a real contribuição do reservatório R3 para o setor de estudo levantando toda a vazão bombeada em R3 e calculando o consumo de energia proporcional à vazão de entrada do setor. Os dados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Consumo de energia em R3, na captação, na ETA e proporcional ao setor

	Consumo mensal [kWh/mês]	Vazão [m³/mês]	Consumo [kWh/mês]	Vazão do setor [m³/mês]	Contribuição do setor [%]	Consumo do setor [kWh/mês]	Consumo do setor [kWh/ano]
R3	18.120	27.959	0,6481	7.982,97	28,55	5.173,70	62.084,35
Captação	65.785	157.680	0,4172	7.982,97	5,06	3.330,54	39.966,48
ETA	49.604	223.380	0.2221	7.982,97	3,57	1.772,71	21.272,47

Fonte: (ANDRADE, 2016)

Nota-se pela Tabela 4 que o setor de estudo corresponde a 28,55 % do total bombeado por R3, além de 5,06 % consumido na captação e 3,57 % na ETA.

5.3.1 Ph4 – Utilização da capacidade de bombeamento (%)

$$C7 = 28,77 \text{ kW} * 28,55\% \text{ (valor proporcional ao setor)} = 8,21 \text{ kW}$$

De acordo com Soares (2016) o dia de maior consumo energético foi 12/10/2014 assumindo um valor de 683,279 kWh.

$$D2 = 683,297 \text{ kWh} * 28,55\% \text{ (valor proporcional ao setor)} = 195,08 \text{ kWh}$$

$$Ph4 = \frac{195,08}{8,21 * 24} * 100 = 99\%$$

5.3.2 Ph5 – Consumo de energia normalizado (kWh/m³/100m)

$$D1 = 668 \text{ kWh}$$

$$D3 - \text{Fator de uniformização (m}^3 \times 100\text{m)}$$

Para a determinação do fator de uniformização foram necessários os dados de vazão no período e altura manométrica das bombas de operação. Na Tabela 5 são apresentados os dados de vazão e altura manométrica.

Tabela 5 - Volume bombeado e altura manométrica no período de referência

PONTO	n[rpm]	Q[m³/h]	H[m]
Shutoff B1	3.500	0,00	62,89
Operação B1	3.500	37,49	60,35
Shutoff B2	3.500	0,00	68,80
Operação B2	3.500	16,90	65,08
TOTAL		54,39	125,43

Fonte: (SOARES, 2016)

Da Tabela 5, retiram-se os valores de vazão total e altura manométrica total para determinar o valor de D3, vale ressaltar que as bombas operam num período de 22 horas por dia.

$$D3 = V \cdot h \cdot H_m / 100$$

$$D3 = 54,39 \cdot 22 \cdot 125,43 / 100 = 1.500,87 \text{ m}^3 \times 100\text{m}$$

$$Ph5 = \frac{668}{1.500,87} = \mathbf{0,45 \text{ kWh/m}^3/100\text{m}}$$

5.3.3 Ph6 – Consumo de energia reativa (%)

$$D1 = 668 \text{ kWh}$$

O consumo médio de energia reativa medida pela empresa contratada foi de 33.401,702 kVar/min, multiplicando-se o consumo por 60 min, obtém-se o valor do consumo por hora, 2.004.102,12 kVar/hora.

$$D4 = 2.004.102,12 \text{ kVar/hora}$$

$$Ph6 = \frac{2.004.102,12}{668 \cdot 100} = \mathbf{30,00 \%}$$

5.3.4 IN058 – Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (kWh/m³)

$$AG006 = 95.795,61 \text{ m}^3$$

$$AG018 = 0$$

Na Tabela 6 são apresentados os dados de consumo diário, mensal e anual fornecidos pelo SAAE e pela empresa contratada.

Tabela 6 - Comparação de dados de consumo de energia elétrica do setor de estudo

	Consumo diário [Kwh]	Consumo mensal [kWh]	Consumo anual [kWh]
Dados SAAE (out/2014)	604,00	18.120,00	217.440,00
Dados medidos em campo	668,06	20.320,16	243.841,90

Fonte: (Andrade, 2016)

$$AG028 = 217.440 \text{ kWh (dados do SAAE – out/2014)}$$

$$IN058 = \frac{217.440}{(95.795,61 + 0)} = \mathbf{2,27 \text{ kWh/m}^3}$$

$$AG028 = 243.841,90 \text{ kWh (dados medidos em campo)}$$

$$IN058 = \frac{243.841,90}{(95.795,61 + 0)} = \mathbf{2,55 \text{ kWh/m}^3}$$

5.3.5 IRE – Ineficiência dos recursos energéticos (%)

$$E_{\text{entr.}} = 62.084,35 \text{ kWh/ano}$$

$$E_{\text{perd.}} = 17.152,92 \text{ kWh/ano}$$

$$E_{\text{atr.}} = 1.729,40 \text{ kWh/ano}$$

$$IRE = \frac{(17.152,92 + 1.729,40)}{62.084,35} * 100 = \mathbf{30,41\%}$$

5.4 Discussão dos resultados dos indicadores de desempenho energético

O indicador Ph4 (utilização da capacidade de bombeamento) demonstrou que no dia de maior consumo energético das bombas do setor estudado, 99% da capacidade de bombeamento foi necessário para distribuir água para os usuários.

De acordo com a ERSAR (2017) em seu guia de avaliação da qualidade dos serviços de água e resíduos prestados aos utilizadores, há valores de referência para avaliar a eficiência energética das instalações elevatórias (analisado pelo indicador Ph5) com base no consumo médio de energia normalizado. Os valores de referência encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Eficiência energética de sistemas de abastecimento

	Valores de referência para sistemas	Eficiência energética
Qualidade do serviço boa	[0,27; 0,40]	Eficiências médias entre 68 e 100%
Qualidade do serviço mediana]0,40; 0,54]	Eficiências médias entre 50 e 68%
Qualidade do serviço insatisfatória]0,54; 5,00[Eficiências médias inferiores a 50%

Fonte: (ERSAR, 2017)

De acordo com o guia, o valor de 0,44 kWh/m³/100m encontra-se dentro da faixa mediana, uma eficiência energética entre 50 e 68% para o setor estudado.

A energia reativa (Ph6) é a componente da energia elétrica que não realiza trabalho, mas é utilizada pelos equipamentos formando campos magnéticos necessários para o funcionamento dos motores, porém o excesso desta energia está associado a perdas por aquecimento, quedas de tensão e cobrança adicional na fatura de energia pelo consumo excedente, gerando uma perda financeira considerável.

De acordo com o SNIS (2015), o indicador IN058 pode ser utilizado para projeções de custos operacionais, porém, o indicador não demonstra por si só a eficiência energética do sistema analisado, pois cada sistema necessita de análise de maior ou menor intensidade energética.

Adaptado da metodologia de Cabrera et al., (2010) o indicador IRE expressa as perdas em porcentagem de energia que é inserida no sistema de distribuição para produzir água necessária para os usuários da rede.

5.5 Proposta de indicadores de sustentabilidade

Nesta categoria apresentou-se uma proposta de indicadores de sustentabilidade hídrica e energética, o conjunto de indicadores propostos expressam em porcentagem o quanto um sistema de abastecimento de água consegue recuperar em questões hídricas e energéticas quando utilizam-se de técnicas de sustentabilidade. A definição de cada indicador é apresentada juntamente com a fórmula de cálculo e resultados.

5.5.1 ICHR – Indicador de compensação hídrica residencial (%)

O indicador de compensação hídrica residencial foi criado para relacionar a economia de água dentro de um sistema de distribuição de água, para o cálculo utiliza-se os valores de volume economizado por práticas sustentáveis dividido pelo volume total consumido na residência. A fórmula de cálculo do indicador ICHR é apresentada na equação 25.

$$ICHR = \frac{VPS}{VTR} * 100 \quad \text{Equação 25}$$

Onde:

VPS – Volume economizado por prática sustentável (l/lig./mês)

VTR – Volume total consumido na residência (l/lig./mês)

Para obter dados suficientes para o cálculo do indicador ICHR foi necessário calcular os subindicadores a seguir.

5.5.1.1 ICHRcac – Indicador de compensação hídrica residencial – economia por captação de água de chuva (%)

O indicador ICHRcac analisa o volume que uma residência economiza quando é instalado um sistema de captação de água de chuva, a água captada e armazenada pode ser utilizada em usos não potáveis, como caixa de descarga, lavagem de calçadas e garagem. O ICHRcac utiliza o volume economizado por meio da captação de água de chuva dividido pelo volume total consumido na residência, a fórmula de cálculo é apresentada na equação 26.

$$ICHRcac = \frac{VCAC}{VTR} * 100 \quad \text{Equação 26}$$

Onde:

VCAC – Volume economizado por sistemas de captação de água de chuva (l/lig./mês)

VTR – Volume total consumido na residência (l/lig./mês)

Para obtenção do volume economizado pela prática de sustentabilidade utilizou-se os valores da Tabela 8 com áreas respectivas aos padrões sociais, os valores foram adaptados da NBR 12721:2005.

Os valores de volume consumido e armazenado (m³) foram estimados a partir da área correspondente a cada padrão social e como dado inicial utilizou-se do valor mínimo consumido em m³ que é cobrado pela COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) das residências brasileiras equivalente a 6 m³ e os valores subsequentes de volume consumido foram estimados considerando o acréscimo equivalente a cada aumento de área correspondente aos padrões sociais.

Os valores de volume armazenado dependem de alguns fatores como área disponível para captação no telhado e disponibilidade de área que os reservatórios irão ocupar, desta forma, considerou-se como valor mínimo armazenado o valor de 0,5 m³ e a cada aumento de área um respectivo aumento de volume armazenado.

Tabela 8 - Áreas residenciais correspondentes ao padrão social

PADRÃO SOCIAL	ÁREA CORRESPONDENTE (m²)	Volume consumido (m³)	Volume armazenado (m³)
Residência padrão popular	Até 39,56	6	0,5
Residência padrão baixo	De 39,56 a 58,64	9	1,5
Residência padrão normal	De 58,64 a 106,44	12	3
Residência padrão alto	De 106,44 a 224,82	15	5
Residência padrão luxo	Acima de 224,82	18	7

Fonte: (Adaptado da NBR 12721, 2005)

A partir dos valores adaptados na Tabela 8 calculou-se o indicador ICHR – captação de água de chuva para cada padrão social e os resultados apresentam-se na Tabela 9.

Tabela 9 - ICHR – captação de água de chuva para cada padrão social

PADRÃO SOCIAL	ÁREA CORRESPONDENTE (m ²)	ICHRcac (%)
Residência padrão popular	Até 39,56	8,33
Residência padrão baixo	De 39,56 a 58,64	16,67
Residência padrão normal	De 58,64 a 106,44	25,00
Residência padrão alto	De 106,44 a 224,82	33,33
Residência padrão luxo	Acima de 224,82	38,89
	Média	24,44

O volume gasto em cada residência do setor de estudo foi equivalente ao volume faturado no mês igual a 68.570.43 l/lig./mês, retirado do balanço hídrico do município em estudo que contém 487 ligações.

$$VTR = 68570,43/487 \text{ lig} = 140,8 \text{ m}^3/\text{ano} = 11.733,47 \text{ l/lig./mês}$$

O volume consumido no setor de estudo é semelhante ao valor estimado para uma residência de padrão normal (12.000 l/lig./mês), portanto, o volume armazenado ($VCAC_{\text{setor de estudo}}$) será equivalente ao valor estimado para uma residência de padrão normal (3 m³).

$$ICHRcac_{\text{setor de estudo}} = \frac{3.000}{11.733,47} * 100 = 25,57\%$$

O indicador de compensação hídrica residencial por meio de economia de água de chuva depende de alguns fatores que são considerados relevantes para a sua aplicação:

- O projeto de um sistema de captação de água de chuva é fundamental para determinar o volume que será captado por meio da área disponível do telhado (quanto maior a disponibilidade de área livre, maior o volume captado).
- A capacidade de reserva de água depende da disponibilidade do espaço que houver na residência, os usuários têm que definir previamente qual o espaço de maior prioridade para então determinar o local onde ficarão as cisternas.
- A região, o clima e conseqüentemente o índice pluviométrico são fatores de extrema importância que irão incidir diretamente na quantidade de água que será armazenada e se a mesma irá atender as exigências e a demanda pré-estabelecidas pelo projeto.

Por fim, a finalidade do uso da água de chuva, considerada imprópria para o consumo humano (a não ser que haja um tratamento para torná-la potável) mas que pode ser utilizada para outros fins como irrigação de jardins, descargas em vaso sanitário, lavagens de carros, pisos de garagens e quintal.

5.5.1.2 ICHRcac – Indicador de compensação hídrica residencial – economia por dispositivos hidráulicos (%)

O indicador ICHRdh considera o volume economizado na residência quando é feita a substituição de equipamentos hidráulicos convencionais por equipamentos economizadores que, segundo os fabricantes, garantem uma economia considerável no fim do mês. O indicador utiliza o volume economizado dividido pelo volume total consumido, a fórmula de cálculo do indicador ICHRdh é apresentada na equação 27.

$$ICHRcac = \frac{VCAC}{VTR} * 100 \quad \text{Equação 27}$$

Onde:

VCAC – Volume economizado por sistemas de captação de água de chuva (l/lig./mês)

VTR – Volume total consumido na residência (l/lig./mês)

Para o cálculo do indicador ICHR – economia por dispositivos hidráulicos baseou-se na Tabela 10, resultado de um estudo realizado por Barreto (2008) onde o autor determinou o consumo residencial e os usos finais da água de residência localizadas na zona oeste da cidade de São Paulo.

Da Tabela 10, retirou-se a participação dos pontos de utilização do banheiro (23,6%) da cozinha (12%) e da área de serviço (33,8%) totalizando 69,4%, pois a utilização de dispositivos economizadores atua diretamente nestas áreas específicas de uma residência.

Tabela 10 - Consumo médio diário per capita por ponto de utilização

PONTO DE UTILIZAÇÃO	PARTICIPAÇÃO (%)	CONSUMO (L/DIA)	CONSUMO PER CAPTA (L/HAB./DIA)
CHUVEIRO	13,9	106	35,3
PIA DE COZINHA	12,0	91	30,3
MÁQUINA DE LAVAR ROUPAS	10,9	83	27,7
TANQUINHO DE LAVAR	9,2	70	23,3
TANQUE COM MÁQUINA DE LAVAR	8,3	63	21,0
CAIXA ACOPLADA	5,5	42	14,0
TANQUE	5,4	41	13,6
LAVATÓRIO	4,2	32	10,8
OUTROS USOS	30,6	232	77,4
TOTAL	100,0	788	262,7

(FONTE: BARRETO, 2008)

Os dispositivos hidráulicos utilizados no estudo foram retirados da Tabela 11 fornecida pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) com valores de consumo de dispositivos hidráulicos convencionais e uma comparação com o consumo de dispositivos que economizam água.

Tabela 11 - Comparação entre equipamentos convencionais e equipamentos economizadores

EQUIPAMENTO CONVENCIONAL	CONSUMO	EQUIPAMENTO ECONOMIZADOR	CONSUMO	ECONOMIA
BACIA COM CX ACOPLADA	12 l/descarga	Bacia VDR	6 l/descarga	50%
DUCHA – ATÉ 6 MCA	0,19 l/seg.	Restritor de vazão 8 l/min.	0,13 l/seg.	32%
DUCHA – 15 A 20 MCA	0,34 l/seg.	Restritor de vazão 8 l/min.	0,13 l/seg.	62%
DUCHA – 15 A 20 MCA	0,34 l/seg.	Restritor de vazão 12 l/min.	0,20 l/seg.	41%
TORNEIRA DE PIA – ATÉ 6 MCA	0,23 l/seg.	Arejador vazão cte (6 l/min.)	0,10 l/seg.	57%

Continuação da Tabela 12 - Comparação entre equipamentos convencionais e equipamentos economizadores

TORNEIRA DE PIA – 15 A 20 MCA	0,42 L/SEG.	AREJADOR DE VAZÃO CTE (6 L/MIN.)	0,10 L/SEG.	76%
TORNEIRA DE USO GERAL/TANQUE – ATÉ 6 MCA	0,26 l/seg.	Regulador de vazão	0,13 l/seg.	50%
TORNEIRA DE USO GERAL/TANQUE – DE 15 A 20 MCA	0,42 l/seg.	Regulador de vazão	0,21 l/seg.	50%

Fonte: (SABESP, 2017)

Foi necessário criar níveis de sustentabilidade, considerando uma residência nível 0 de sustentabilidade a que não utiliza nenhum dispositivo hidráulico economizador, os níveis aumentam a cada instalação ou substituição dos dispositivos convencionais por dispositivos que consomem menos água. Criou-se então, várias situações envolvendo os dados de consumo total de cada padrão social.

- Nível de sustentabilidade (N0) – considerou-se uma residência de padrão popular que não utiliza nenhum tipo de dispositivo hidráulico economizador.

$$\text{VDH} = 6.000 * 69,4\% = 4.164 * 0\% \text{ de economia} = 0 \text{ l/lig./mês}$$

$$\text{VTR} = 6.000 \text{ l/lig./mês}$$

$$ICHRdh_{N0} = \frac{0}{6.000} * 100 = 0\%$$

- Nível de sustentabilidade (N1) – considerou-se uma residência de padrão baixo que utiliza ducha até 6 mca – economia de 32% e torneira de pia até 6 mca – economia de 57% = média de 44,5%

$$\text{VDH} = 9.000 * 69,4\% = 6.246,00 * 44,5\% \text{ de economia} = 2.779,47 \text{ l/lig./mês}$$

$$\text{VTR} = 9.000 \text{ l/lig./mês}$$

$$ICHRdh_{N1} = \frac{2.779,47}{9.000} * 100 = 30,88\%$$

- Nível de sustentabilidade (N2) – considerou-se uma residência de padrão normal que utiliza ducha de 15 a 20 mca – economia de 41%, torneira de pia de 15 a 20 mca – economia de 76% e bacia com válvula regulada – economia de 40% = média de 52,33% de economia.

$$\text{VDH} = 12.000 * 69,4\% = 8.328 * 52,33\% \text{ de economia} = 4.358,04 \text{ l/lig./mês}$$

$$\text{VTR} = 12.000 \text{ l/lig./mês}$$

$$\text{ICHRdh}_{N2} = \frac{4.358,04}{12.000} * 100 = \mathbf{36,32\%}$$

- Nível de sustentabilidade (N3) – considerou-se uma residência de padrão alto que utiliza ducha de 15 a 20 mca – economia de 62%, torneira de pia de 15 a 20 mca – economia de 76%, bacia com caixa acoplada – economia de 50% e torneira de uso geral/tanque – economia de 50% = média de 59,5% de economia.

$$\text{VDH} = 15.000 * 69,4\% = 10.410 * 59,5\% \text{ de economia} = 6.193,95 \text{ l/lig./mês}$$

$$\text{VTR} = 15.000 \text{ l/lig./mês}$$

$$\text{ICHRdh}_{N3} = \frac{6.193,95}{15.000} * 100 = \mathbf{41,29\%}$$

- Nível de sustentabilidade (N4) – considerou-se uma residência de padrão luxo que utiliza ducha de 15 a 20 mca – economia de 62%, torneira de pia de 15 a 20 mca – economia de 76, bacia com caixa acoplada – economia de 50%, torneira de uso geral/tanque – economia de 76% e torneira de jardim – economia de 50% = média de 62,8% de economia.

$$\text{VDH} = 18.000 * 69,4\% = 12.492 * 62,8\% \text{ de economia} = 7.844,98 \text{ l/lig./mês}$$

$$\text{VTR} = 18.000 \text{ l/lig./mês}$$

$$\text{ICHRdh}_{N4} = \frac{7.844,98}{18.000} * 100 = \mathbf{43,58\%}$$

Para efeito de comparação, calculou-se a média de todos os indicadores acima.

$$ICHRdh_{m\u00e9dio} = \frac{0 + 30,88 + 36,32 + 41,29 + 43,58}{5} = \mathbf{30,41\%}$$

O volume gasto em cada resid\u00eancia do setor de estudo foi equivalente ao volume faturado no m\u00eas igual a 68.570.43 l/lig./m\u00eas, retirado do balan\u00e7o h\u00eddrico do munic\u00edpio em estudo que cont\u00e9m 487 liga\u00e7\u00f5es.

$$VTR = 68570,43/487 \text{ lig} = 140,8 \text{ m}^3/\text{ano} = 11.733,47 \text{ l/lig./m\u00eas}$$

A situa\u00e7\u00e3o criada para o setor de estudo foi semelhante a situa\u00e7\u00e3o de um padr\u00e3o normal, pois o consumo total da resid\u00eancia do setor (11.733,47 l/lig./m\u00eas) \u00e9 praticamente o mesmo de uma resid\u00eancia de padr\u00e3o normal (12.000 l/lig./m\u00eas).

Desta forma t\u00eam-se:

- Setor de estudo – considerou-se uma resid\u00eancia ducha de 15 a 20 mca – economia de 41%, torneira de pia de 15 a 20 mca – economia de 76% e bacia com v\u00e1lvula regulada – economia de 40% = m\u00e9dia de 52,33% de economia.

$$VDH = 11.733,47 * 69,4\% = 8.143,03 * 52,33\% \text{ de economia} = 4.261,25 \text{ l/lig./m\u00eas}$$

$$VTR = 11.733,47 \text{ l/lig./m\u00eas}$$

$$ICHRdh_{setor \text{ de estudo}} = \frac{4.261,25}{11.733,47} * 100 = 36,32\%$$

Para determinar o indicador ICHR considerou-se que a resid\u00eancia do setor de estudo utilizou simultaneamente o sistema de capta\u00e7\u00e3o de \u00e1gua de chuva e a instala\u00e7\u00e3o de dispositivos hidr\u00e1ulicos economizadores.

$$VPS = \frac{3.000 + 4.261,25}{2} = 3.630,62 \text{ l/lig/m\u00eas}$$

$$VTR = 11.733,47 \text{ l/lig/m\u00eas}$$

$$ICHR = \frac{3.630,62}{11.733,47} * 100 = \mathbf{30,94\%}$$

Após calcular o indicador geral ICHR o mesmo foi comparado com o subindicador de compensação hídrica por meio de captação de água de chuva que foi calculado nas diversas situações e padrões sociais, foi possível avaliar que dos padrões sociais baixos obteve-se valores bem abaixo do ICHR geral, porém no setor de estudo o valor do indicador de captação de água de chuva ficou bem próximo do indicador ICHR.

Os valores de comparação do ICHRcac com o indicador ICHR são apresentados na Figura 16.

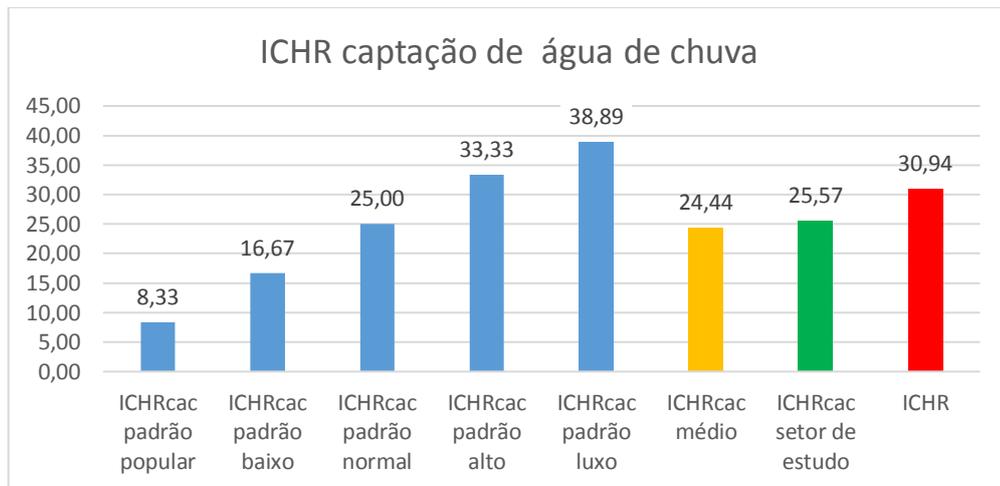


Figura 16 - Indicadores ICHR captação de água de chuva

Semelhante a comparação feita anteriormente, foi realizada uma comparação com os indicadores de compensação hídrica por meio da instalação de dispositivos hidráulicos com o indicador ICER. Neste caso, o valor do indicador ICHRdh para o setor de estudo mostrou-se bem acima do indicador ICHR geral. Os valores são apresentados na Figura 17.

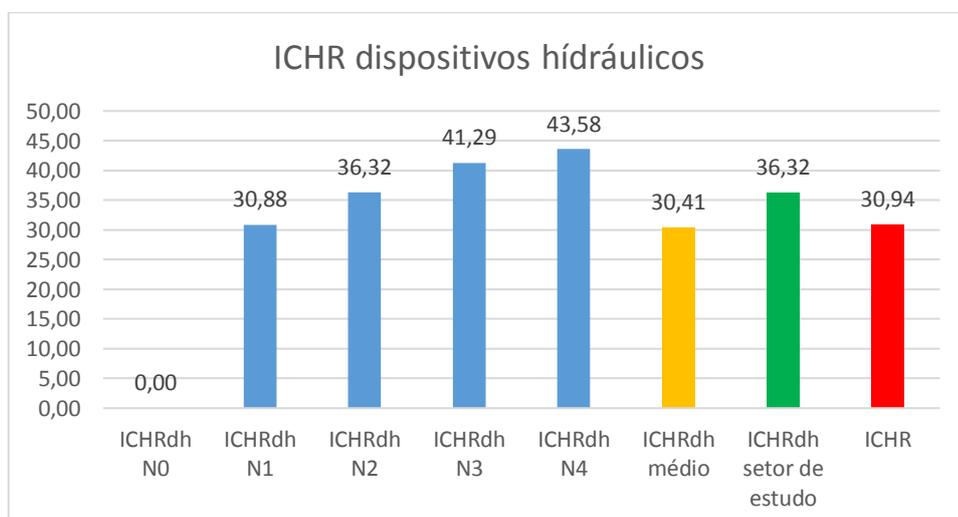


Figura 17 - Indicadores ICHR dispositivos hidráulicos

5.5.2 ICER – Indicador de compensação energética residencial (%)

O indicador de compensação energética residencial é utilizado para relacionar a economia de energia dentro de um sistema de distribuição de água, para o cálculo utiliza-se os valores de redução de consumo energético por meio de práticas sustentáveis dividido pela potência total consumida na residência. A fórmula de cálculo do indicador ICER é apresentada na equação 28.

$$ICER = \frac{CPS}{PTR} * 100 \quad \text{Equação 28}$$

Onde:

CPS – Consumo economizado por prática sustentável (kWh/lig./mês)

PTR – Potência total consumida na residência (kWh/lig./mês)

Para o cálculo do indicador ICER será necessário calcular dois subindicadores que estão relacionados a economia de energia por meio de sistema de captação de energia solar e pela instalação de equipamentos economizadores de energia nas residências.

5.5.2.1 ICERces – Indicador de compensação energética residencial – economia por meio de captação de energia solar (%)

O indicador ICERces considera a redução de consumo na residência quando é feita a instalação de um sistema de captação de energia solar, a energia solar captada pode ser utilizada de diversas formas como aquecedor solar e como geração de energia. O indicador ICHRdh considera a redução de consumo dividido pelo consumo total na residência e a fórmula de cálculo é apresentada na equação 29.

$$ICERces = \frac{RCES}{PTR} * 100 \quad \text{Equação 29}$$

Onde:

RCES – Redução de consumo por sistemas de captação de energia solar (kWh/lig./mês)

PTR – Potência total consumida na residência (kWh/lig./mês)

Para a determinação da redução de consumo por sistemas de captação de energia solar utilizou-se de valores concedidos por diversos fornecedores e os valores encontram-se na Tabela 12.

Tabela 13 - Aproveitamento de energia solar e faixas de economia

FORNECEDORES	APROVEITAMENTO	ECONOMIA
Fornecedor 1	Aquecedor solar	17%
Fornecedor 2	Aquecedor solar	35%
Fornecedor 3	Aquecedor solar	40%
Fornecedor 4	Aquecedor solar a vácuo	60%
Fornecedor 5	Aquecedor solar banho e piscina	70%

A partir dos valores de economia retirados da Tabela 12, obtêm-se os valores de RCES mínimo, médio e máximo, respectivamente 17%, 44,4% e 70%.

Os valores de potência total consumida nas residências foram estimados de acordo com cada padrão social. Os valores de consumo são apresentados na Tabela 13.

Tabela 14 - Consumo residencial correspondente ao padrão social

PADRÃO SOCIAL	ÁREA CORRESPONDENTE (m ²)	Consumo mensal (kWh) (PTR)
Residência padrão popular	Até 39,56	150
Residência padrão baixo	De 39,56 a 58,64	210
Residência padrão normal	De 58,64 a 106,44	280
Residência padrão alto	De 106,44 a 224,82	350
Residência padrão luxo	Acima de 224,82	420

Fonte: (Adaptado da NBR 12721, 2005)

Para o cálculo do subindicador ICERces utilizou-se dos valores de consumo dos eletrodomésticos fornecidos pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) para determinar as situações de redução de consumo nas residências, para este caso específico considerou-se a incidência do indicador diretamente no consumo dos chuveiros os valores encontram-se na Tabela 14.

Tabela 15 - Consumo de eletrodomésticos

APARELHOS ELÉTRICOS	DIAS ESTIMADOS USO/MÊS	MÉDIA UTILIZAÇÃO/DIA	CONSUMO MÉDIO MENSAL (kWh)
Chuveiro elétrico 3500 W	30	40 min	70,00
Chuveiro elétrico 4500 W	30	40 min	90,00
Chuveiro elétrico 5500 W	30	40 min	110,00

(FONTE: CEMIG, 2017)

A partir dos dados estimados criou-se diferentes situações para cada padrão social.

- ICERces – padrão popular

Considerou-se uma residência de padrão popular utilize um chuveiro de 3500W por 30 dias com uma média de 20 min por dia, o consumo no mês será de 35kWh.

$$RCES_{\text{mínimo}} = 35 * 17\% = 5,95 \text{ kWh}$$

$$PTR = 150 \text{ kWh}$$

$$ICERces_{\text{padrão popular}} = \frac{5,95}{150} * 100 = 3,97\%$$

- ICERces – padrão baixo

Considerou-se uma residência de padrão baixo que utiliza um chuveiro de 3500W por 30 dias com uma média de 40 min por dia e consumo mensal de 70kWh.

$$RCES_{\text{mínimo}} = 70 * 17\% = 11,9 \text{ kWh}$$

$$PTR = 210 \text{ kWh}$$

$$ICERces_{\text{padrão baixo}} = \frac{11,9}{210} * 100 = 5,66\%$$

- ICERces – padrão normal

Considerou-se uma residência de padrão normal que utiliza um chuveiro de 4500W por 30 dias com uma média de 30 min por dia e consumo mensal de 67,5kWh.

$$RCES_{\text{médio}} = 67,5 * 44,4\% = 29,97 \text{ kWh}$$

$$PTR = 280 \text{ kWh}$$

$$ICERces_{\text{padrão normal}} = \frac{29,97}{280} * 100 = \mathbf{10,7\%}$$

- ICERces – padrão alto

Considerou-se uma residência de padrão alto que utiliza um chuveiro de 4500W por 30 dias com uma média de 40 min por dia e consumo mensal de 90kWh.

$$RCES_{\text{médio}} = 90 * 44,4\% = 39,96 \text{ kWh}$$

$$PTR = 350 \text{ kWh}$$

$$ICERces_{\text{padrão alto}} = \frac{39,96}{350} * 100 = \mathbf{11,42\%}$$

- ICERces – padrão luxo

Considerou-se uma residência de padrão luxo que utiliza um chuveiro de 5500W por 30 dias com uma média de 40 min por dia e consumo mensal de 110kWh.

$$RCES_{\text{máximo}} = 110 * 70\% = 77 \text{ kWh}$$

$$PTR = 420 \text{ kWh}$$

$$ICERces_{\text{padrão luxo}} = \frac{77}{420} * 100 = \mathbf{18,33\%}$$

Para efeito de comparação calculou-se a média de todos os valores acima.

$$ICERces_{m\u00e9dio} = \frac{3,97 + 5,66 + 10,77 + 11,42 + 18,33}{5} = \mathbf{10,03\%}$$

Durante a campanha de campo no setor de estudo n\u00e3o foram coletados dados de consumo de energia das resid\u00eancias, j\u00e1 que a campanha de campo focou apenas em coletar dados referente ao consumo das bombas que fornecem \u00e1gua para o setor estudado para realizar o balan\u00e7o energ\u00e9tico, sendo assim, foi necess\u00e1rio estipular dados de pot\u00eancia total consumida nas resid\u00eancias com base em estudos relacionados ao tema.

De acordo com dados do EPE (Empresa de pesquisa energ\u00e9tica) no fim de 2015 o consumo m\u00e9dio residencial equivalente \u00e0 m\u00e9dia mensal de todas as unidades consumidoras do pa\u00eds no ano passou de 167 kWh/m\u00eas para 161 kWh/m\u00eas representando queda de 3,2% em rela\u00e7\u00e3o ano anterior (EPE, 2016).

Na Figura 18 destacam-se os consumos m\u00e9dios das resid\u00eancias referente aos anos de 2002 a 2015.

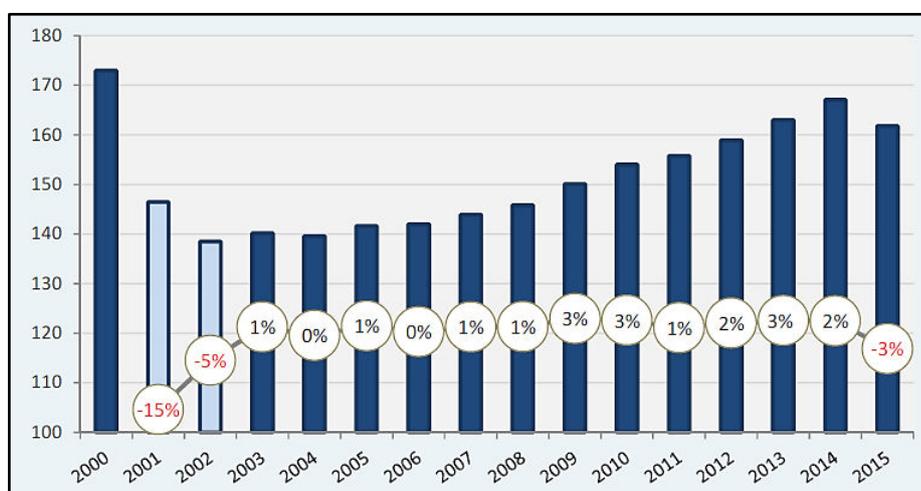


Figura 3 - Consumo m\u00e9dio residencial, valores em kWh/m\u00eas e varia\u00e7\u00e3o (%) em rela\u00e7\u00e3o ao ano anterior

Fonte: (EPE, 2016)

Na Figura 4 destacam-se os consumos m\u00e9dios das resid\u00eancias do Brasil e de cada regi\u00e3o referente ao ano de 2015.

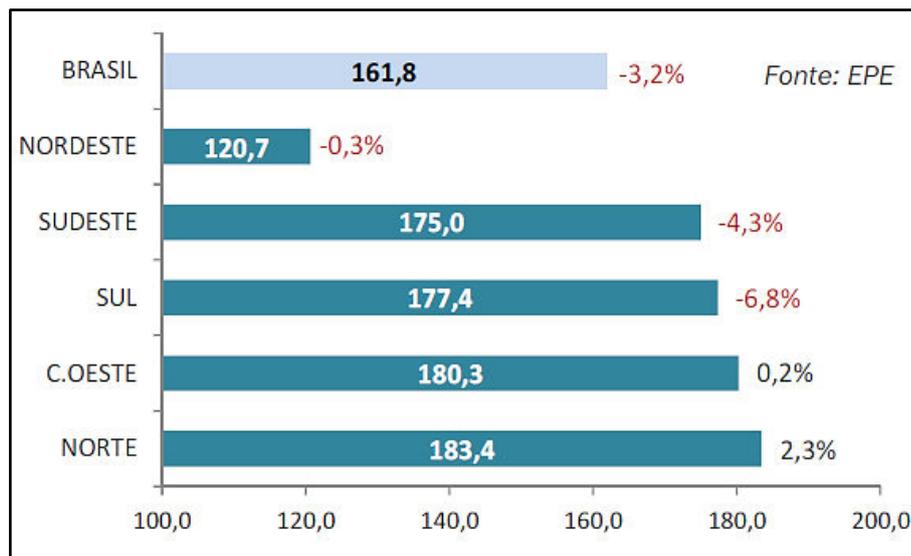


Figura 18 - Brasil e regiões, consumo médio residencial por unidade consumidora (kWh/mês)

Fonte: (EPE, 2016)

De acordo com a EPE (2017) no primeiro semestre de 2017 a média de consumo das residências brasileiras foi de 159 kWh/mês e os valores são apresentados na Figura 19.

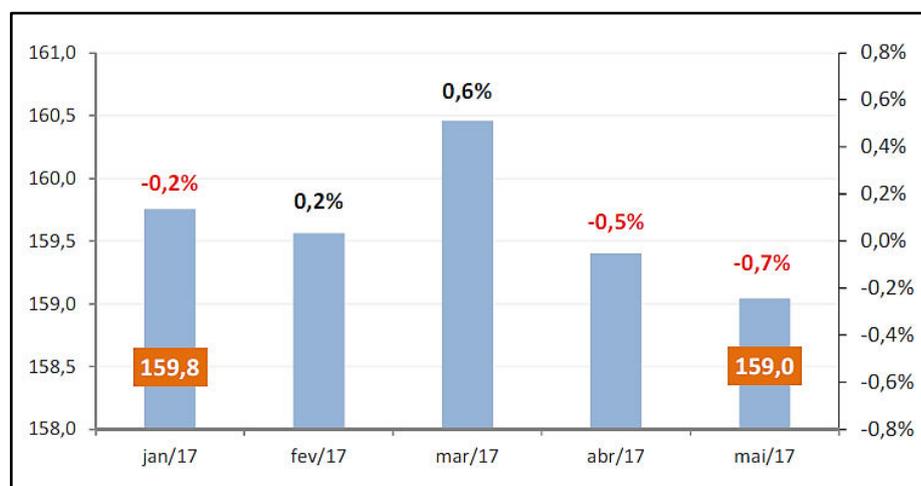


Figura 19 - Consumo médio residencial, valores em kWh/mês e variação (%) em relação igual ao mês do ano anterior

Fonte: (EPE, 2017)

Estimou-se que o consumo de energia das residências do setor de estudo seja semelhante à média dos valores de consumo das residências brasileiras (159 kWh/mês) consumo da região sudeste (175 kWh/mês) e consumo referente ao padrão social normal estimado na Tabela 2 (280 kWh/mês). Desta forma, tem-se:

$$PTR_{\text{setor de estudo}} = (159 + 175 + 280) / 3 = 205 \text{ kWh}$$

- ICERces – setor de estudo

Considerou-se uma residência do setor de estudo que utiliza um chuveiro de 4500W por 30 dias com uma média de 40 min por dia e consumo mensal de 90 kWh.

$$RCES_{\text{médio}} = 90 * 44,4\% = 39,96 \text{ kWh}$$

$$PTR = 205 \text{ kWh}$$

$$ICERces_{\text{setor de estudo, médio}} = \frac{39,96}{205} * 100 = \mathbf{19,5\%}$$

A determinação do indicador de compensação energética por meio de aquecedores solares pode resultar em algumas vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Quanto a sustentabilidade, a energia solar é uma energia limpa, renovável e não poluente;
- Sistema garante economia que incide diretamente na conta de energia no fim do mês, reduzindo-a de forma significativa;
- Rentabilidade, um imóvel com sistema de captação solar possui uma valorização significativa após a implementação do sistema;
- Por fim, a energia solar é extremamente abundante, sua utilização deve ser considerada como uma alternativa sustentável e aproveitada ainda mais nas residências.

Desvantagens:

- Em determinadas épocas do ano, há pouca insolação como nos dias nublados, o que reduz a produção de energia e consequentemente o desempenho cai, assim, é necessário utilizar a energia solar como forma secundária, considerando como apoio um sistema elétrico;
- Regiões mais frias e com baixos índices de radiação solar pode não tornar viável a implantação do sistema, já que o mesmo necessita de um investimento inicial que terá

retorno com a redução da conta de energia. Em regiões frias existe alguns sistemas de aquecedores que absorvem maior radiação e resistem a baixas temperaturas tornando-se uma boa solução.

O indicador ICERces não foi calculado para a geração de energia por meio de placas fotovoltaicas, pois, considera-se que com a geração de energia, a residência passa a economizar exatamente a porcentagem de energia gerada e fornecida pelos fabricantes e a energia pode ser utilizada em toda a residência,

O sistema de geração de energia solar necessita de um alto valor de investimento inicial o que pode não ser tão convidativo e atrativo para todas as classes sociais, mas é um sistema que ao longo dos anos garante o retorno investido e a partir de então garante total economia para a conta de energia. De acordo com fornecedores, o payback de um sistema de energia solar fotovoltaico gira em torno de 5 anos e a vida útil é de no mínimo 25 anos.

5.5.2.2 ICERee – Indicador de compensação energética residencial – economia de energia por meio de equipamentos economizadores (%)

O indicador ICERee considera a redução de consumo na residência quando é feita a substituição de equipamentos elétricos convencionais por equipamentos economizadores que, segundo os fabricantes, garantem uma economia considerável no fim do mês. O indicador utiliza a redução de consumo obtido pela prática sustentável dividido pela potência total consumida na residência. A fórmula de cálculo do ICERee é apresentada na equação 30.

$$ICERee = \frac{RCEE}{PTR} * 100 \quad \text{Equação 30}$$

Onde:

RCEE – Redução de consumo por meio de equipamentos economizadores (kWh/lig./mês)

PTR – Potência total consumida na residência (kWh/lig./mês)

Para obter dados suficientes para o cálculo do subindicador ICERee, foi necessário consultar os valores de consumo de alguns equipamentos fornecidos pela CEMIG, os dados encontram-se na Tabela 15.

Tabela 16 - Consumo de eletrodomésticos

APARELHOS ELÉTRICOS	DIAS ESTIMADOS USO/MÊS	MÉDIA UTILIZAÇÃO/DIA	CONSUMO MÉDIO MENSAL (kWh)
Ar-condicionado tipo janela	30	8 h	182,40
Ar-condicionado tipo split	30	8 h	192,00
Geladeira 1 porta – Frost free	-	-	30,00
Geladeira 2 portas – Frost free	-	-	55,00
Lâmpada fluorescente – 11W	30	5 h	1,65
Lâmpada fluorescente – 15W	30	5 h	2,20
Lâmpada fluorescente – 23W	30	5 h	3,50
Lâmpada LED 8W	30	5 h	1,20
Lâmpada LED 12W	30	5 h	1,80

(FONTE: CEMIG, 2017)

Para a determinação dos valores de redução de consumo por meio de equipamentos economizadores, foi necessário criar níveis de sustentabilidade, considerando uma residência nível 0 de sustentabilidade a residência que não utiliza equipamentos economizadores, os níveis aumentam a cada instalação ou substituição de equipamentos convencionais por equipamentos que consomem menos energia.

Criou-se então, várias situações envolvendo os dados de consumo total de cada padrão social, como por exemplo a substituição de lâmpadas fluorescentes por LED e substituição de equipamentos convencionais por equipamentos com selo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Conservação de Energia Elétrica) que apresentam melhores níveis de eficiência energética.

- Nível de sustentabilidade (N0) – considerou-se uma residência padrão popular que não utiliza nenhum tipo de equipamento economizador.

RCEE = 0 kWh

PTR = 150 kWh (padrão popular)

$$ICERee_{N0} = \frac{0}{150} * 100 = \mathbf{0\%}$$

- Nível de sustentabilidade (N1) – considerou-se uma residência de padrão baixo, criou-se a situação onde há a substituição de 6 lâmpadas fluorescentes de 23W que consomem 21 kWh/mês por lâmpadas de LED de 12W que consomem 10,8 kWh/mês.

$$RCEE = 21 - 10,8 = 10,2 \text{ kWh}$$

$$PTR = 210 \text{ kWh (padrão baixo)}$$

$$ICERee_{N1} = \frac{10,2}{210} * 100 = \mathbf{4,86\%}$$

- Nível de sustentabilidade (N2) – considerou-se uma residência de padrão normal, criou-se a situação onde há a substituição de 6 lâmpadas fluorescentes de 23W que consomem 21 kWh/mês por lâmpadas de LED de 12W que consomem 10,8 kWh/mês. Além da substituição de um refrigerador frost free normal que consome 50 kWh/mês por um refrigerador frost free com classificação A pelo selo PROCEL que consome apenas 20 kWh/mês.

$$RCEE = (21 - 10,8) + (50 - 20) = 40,2 \text{ kWh}$$

$$PTR = 280 \text{ kWh (padrão normal)}$$

$$ICERee_{N2} = \frac{40,2}{280} * 100 = \mathbf{14,36\%}$$

- Nível de sustentabilidade (N3) – considerou-se uma residência de padrão alto, criou-se a situação onde há a substituição de 12 lâmpadas fluorescentes de 23W que consomem 42 kWh/mês por lâmpadas de LED de 12W que consomem 21,6 kWh/mês. Além da substituição de um ar condicionado tradicional com consumo equivalente a 192 kWh/mês por um aparelho com função inverter, que, segundo fabricantes, garantem uma redução de 40% no consumo mensal.

$$RCEE = (42 - 21,6) + (192 * 40\%) = 135,6 \text{ kWh}$$

$$PTR = 350 \text{ kWh (padrão alto)}$$

$$ICERee_{N3} = \frac{135,6}{350} * 100 = \mathbf{38,74\%}$$

- Nível de sustentabilidade (N4) – considerou-se uma residência de padrão luxo, criou-se a situação onde há a substituição de 15 lâmpadas fluorescentes de 23W que consomem 52,5 kWh/mês por lâmpadas de LED de 12W que consomem 27 kWh/mês. Substituição de um refrigerador frost free normal que consome 50 kWh/mês por um refrigerador frost free com classificação A pelo selo PROCEL que consome apenas 20 kWh/mês. Além da substituição de um ar condicionado tradicional com consumo equivalente a 192 kWh/mês por um aparelho com função inverter, que, segundo fabricantes, garantem uma redução de 40% no consumo mensal.

$$RCEE = (52,5 - 27) + (50 - 20) + (192 * 40\%) = 170,7 \text{ kWh}$$

$$PTR = 420 \text{ kWh (padrão luxo)}$$

$$ICERee_{N4} = \frac{170,7}{420} * 100 = \mathbf{40,64\%}$$

Para efeito de comparação calculou-se a média de todos os valores acima.

$$ICERee_{m\u00e9dio} = \frac{0 + 4,86 + 14,36 + 38,74 + 40,64}{5} * 100 = \mathbf{19,72\%}$$

- Setor de estudo – considerou-se uma residência onde há a substituição de 10 lâmpadas fluorescentes de 23W que consomem 35 kWh/mês por lâmpadas de LED de 12W que consomem 18 kWh/mês. Além da substituição de um refrigerador frost free normal que consome 50 kWh/mês por um refrigerador frost free com classificação A pelo selo PROCEL que consome apenas 20 kWh/mês.

$$RCEE = (35 - 18) + (50 - 20) = 47 \text{ kWh}$$

$$PTR = 205 \text{ kWh (setor de estudo)}$$

$$ICER_{e_{\text{setor de estudo}}} = \frac{47}{205} * 100 = \mathbf{22,93\%}$$

Para determinar o indicador ICeR considerou-se que a residência do setor de estudo utilizou simultaneamente o sistema de captação de energia solar e a instalação de equipamentos economizadores.

$$CPS = \frac{39,96 + 47}{2} = 43,48 \text{ kWh}$$

$$PTR = 205 \text{ kWh}$$

$$ICER = \frac{43,48}{205} * 100 = \mathbf{21,21\%}$$

Após calcular o indicador geral ICER o mesmo foi comparado com o subindicador de compensação energética por meio de captação de energia solar que foi calculado nas diversas situações e padrões sociais, foi possível avaliar que dos padrões sociais baixos obteve-se valores bem abaixo do ICER geral, porém no setor de estudo o valor do indicador de captação de água de chuva ficou bem próximo do indicador ICER. Os valores de comparação do ICERces com o indicador ICER são apresentados na Figura 20.

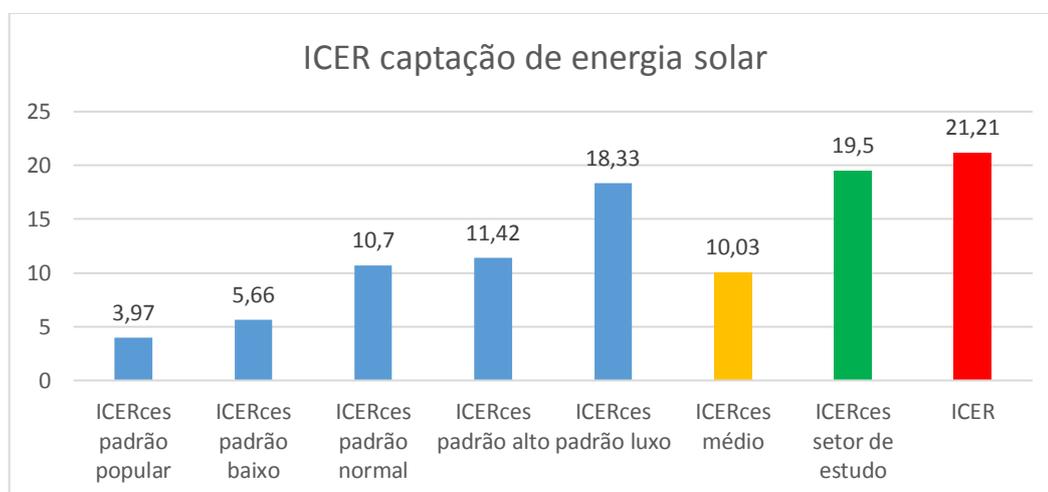


Figura 20 - Indicadores ICER captação de energia solar

Da mesma forma, comparou-se o indicador ICER com os indicadores de compensação energética por meio de equipamentos economizadores e foi possível avaliar que dos níveis de sustentabilidade criados, dois deles N3 e N4 apresentaram valores bem acima do ICER geral, já no setor de estudo o valor ficou bem próximo do ICER.

Os valores de comparação do indicador ICER com os indicadores ICERee são apresentados na Figura 21.

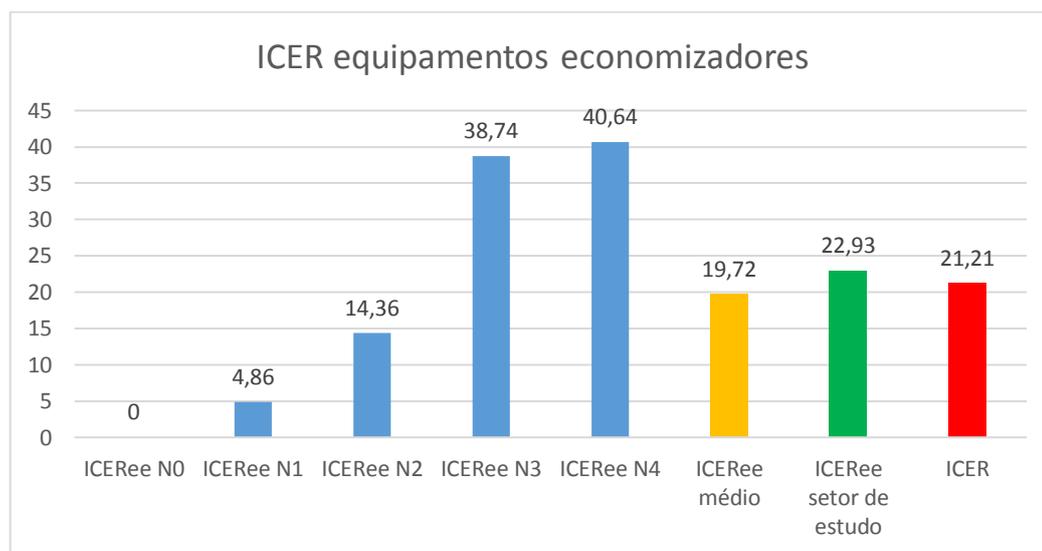


Figura 21 - Indicadores ICER equipamentos economizadores

A proposta inicial do indicador ICER necessitaria de três subindicadores (ICERces, ICERee e ICERin) o indicador de compensação energética por meio de iluminação natural acabou se tornando inviável devido a obtenção de informações necessárias que poderiam comprometer o desenvolvimento da pesquisa. Basicamente o indicador ICERin utiliza a redução de consumo na residência em função das aberturas de portas e janelas de uma residência considerando que uma residência com menos iluminação natural necessite de mais iluminação artificial o que incide diretamente na potência total consumida na residência, para o cálculo considera-se a redução de consumo obtido pela prática sustentável dividido pela potência total consumida na residência.

Porém, para obter os dados de redução de consumo por meio da iluminação natural necessita-se da conversão da iluminância referente a iluminação natural em Watts para então descontar do consumo total das residências para isto, demanda de outros fatores como área, quantidade de portas e janelas, incidência da iluminação o que tornou inviável a pesquisa, já que no setor de estudo não foram coletados dados semelhantes durante a campanha de campo.

5.6 Relação de indicadores clássicos com indicadores de sustentabilidade propostos

De posse dos valores encontrados com o cálculo de compensação de água e energia (ICHR = 30,94% e ICER = 21,21%) para o setor de estudo, criou-se uma conexão com os indicadores clássicos tanto de desempenho hídrico quanto energético.

O indicador de compensação hídrica recupera 30,94% que influencia diretamente nos indicadores de perdas IN049, Fi46, IN013 e WR1 ambos expressos em porcentagem, seria como se cada indicador apresentasse 30,94% a menos do que os valores encontrados com o cálculo, desta forma têm-se novos valores para cada indicador e os resultados são apresentados na Figura 22.

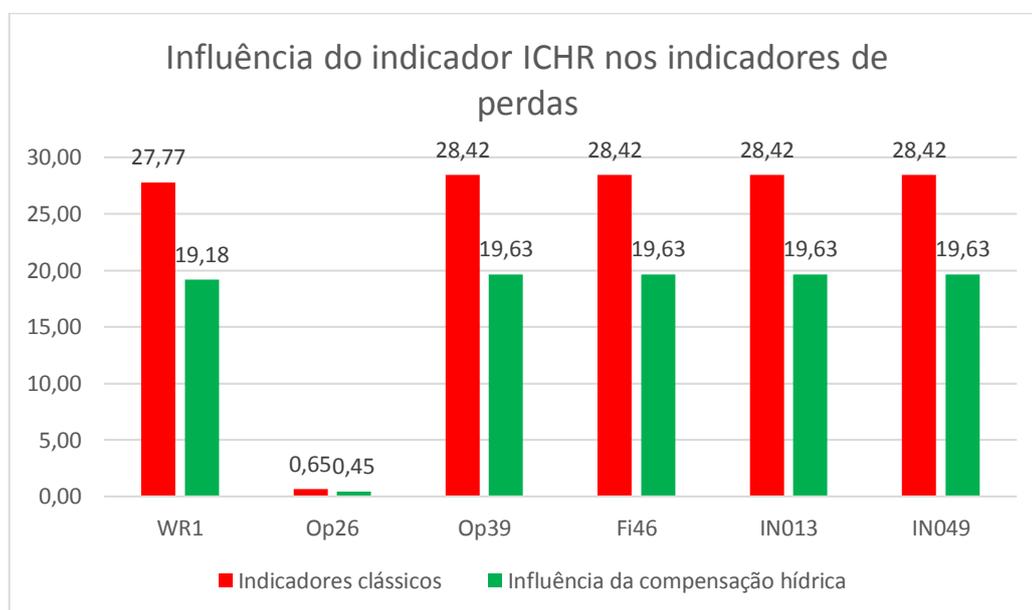


Figura 22 - Influência da compensação hídrica com os indicadores de perdas.

Da mesma forma, pode-se comparar que os indicadores IN028 (Índice de faturamento de água) e IN052 (Índice de consumo de água) também seriam melhor representados caso houvesse a influência do indicador ICHR. Os valores são apresentados na Figura 23.

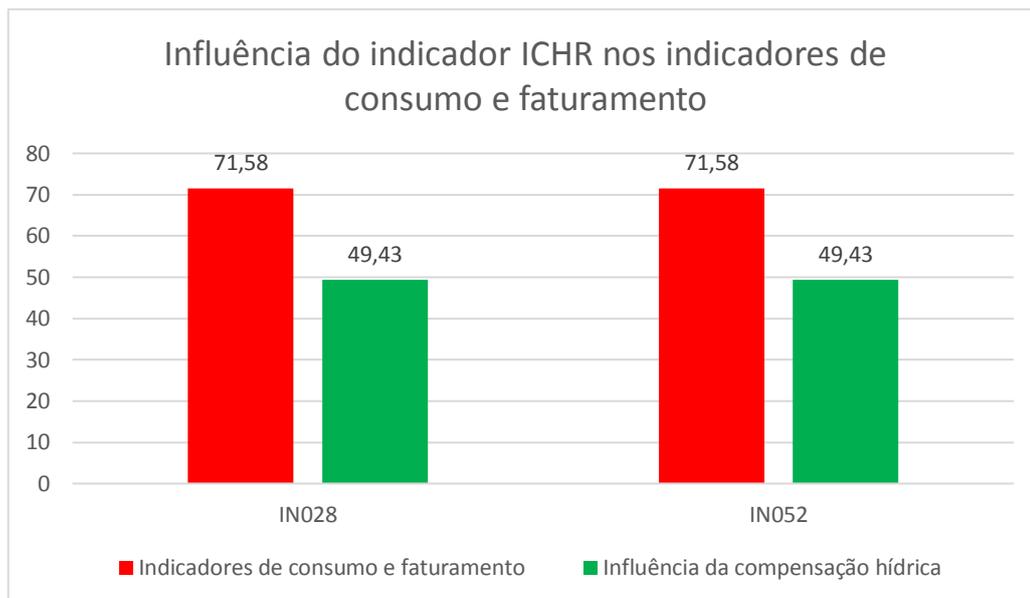


Figura 23 - Influência do indicador ICHR nos indicadores de consumo e faturamento de água

O indicador de compensação energética recupera 21,21% que influencia diretamente no indicador de consumo energético na estação elevatória do setor de estudo (IN058) basicamente seria como se o indicador apresentasse 21,21% a menos do que o valor encontrado com o cálculo, desta forma têm-se novos valores para cada indicador e os resultados são apresentados na Figura 24.

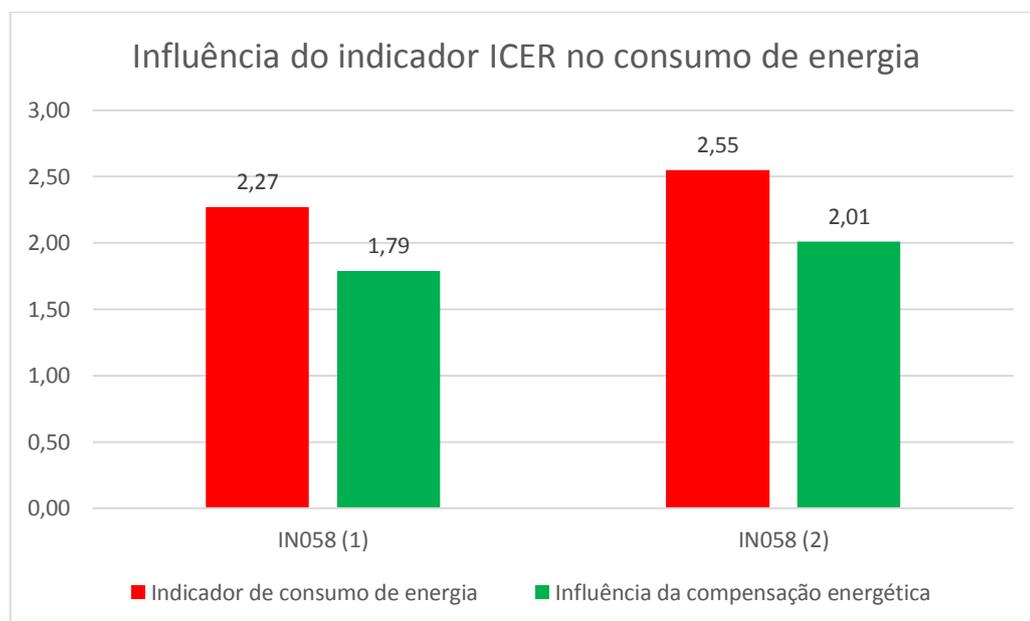


Figura 24 - Influência do indicador ICER nos indicadores de consumo de energia

Da mesma forma, pode-se comparar que o indicador IRE pode ser melhor representado caso houvesse a influência do indicador ICER. Os valores são apresentados na Figura 25.

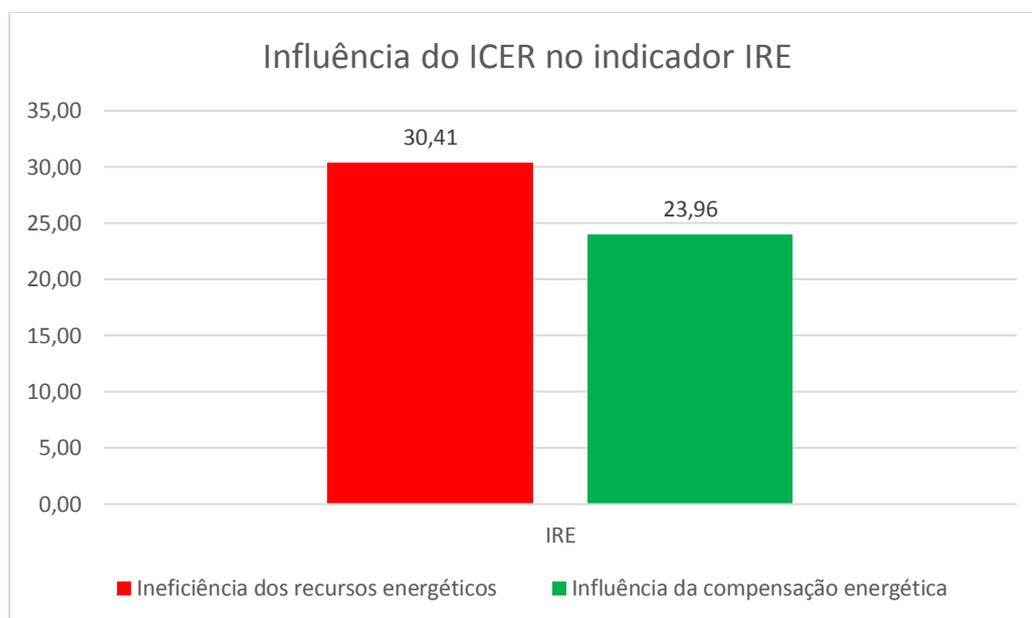


Figura 25 - Influência do indicador ICER no indicador IRE

Após calcular a compensação de água por meio do indicador ICHR, calculou-se o custo de água em m³ por habitante com base nos dados tarifários da COPASA. Na Tabela 16 são apresentadas as tarifas cobradas por m³ em função das faixas de volume consumido os dados se referem as tabelas tarifárias da COPASA aprovadas pela resolução ARSAE-MG 96, de 29 de junho de 2017. Da tabela retirou-se apenas os dados referentes a consumo residencial, os valores correspondem ao período de julho/2017 a junho/2018.

Tabela 17 – Tabela tarifária de aplicação COPASA

CATEGORIA	FAIXA	ÁGUA	UNIDADE
Residencial	Fixa	15,29	R\$/mês
	0 a 5 m ³	0,96	R\$/m ³
	>5 a 10 m ³	3,089	R\$/m ³
	>10 a 15 m ³	6,407	R\$/m ³
	>15 a 20 m ³	7,637	R\$/m ³
	>20 a 40 m ³	8,327	R\$/m ³
	>40 m ³	13,662	R\$/m ³

FONTE: ARSAE, 2017

O consumo médio de água per capita foi de 85,82 l por habitante calculado a partir do indicador IN022, e de acordo com a Tabela 14, a tarifa para consumos residenciais entre 10 e 15 m³ é de R\$ 6,407 por m³. No setor de estudo o volume faturado foi de 11,733 m³/mês por ligação desta forma o custo por ligação no setor de estudo foi de R\$ 75,18 em média. Existem 487 ligações, portanto o custo total é de R\$ 36.609,41. A população do setor estudado é de 2.189 habitantes, sendo assim o custo por m³ por habitante é de R\$ 16,72.

Após calcular os valores por habitante, calculou-se os novos valores com a influência do indicador ICHR e os dados são apresentados na Tabela 17.

Tabela 18 - Influencia do indicador ICHR no consumo de agua

POPULAÇÃO (HAB.)	CUSTO M ³ /HAB. (R\$)	CUSTO TOTAL	CUSTO M ³ /HAB. COM ICHR (R\$)	CUSTO TOTAL COM ICHR (R\$)
2.189	16,72	36.609,41	11,55	25.282,95

Para o cálculo do indicador de compensação energética (ICER) considerou-se que o consumo em kWh por mês no setor de estudo foi de 205 kWh. Considerando a tarifa mais cara (bandeira vermelha – patamar 2) o custo por mês das ligações do setor estudado foi de R\$ 111,55. O custo total foi de R\$ 54.324,85 e o custo por habitante foi de aproximadamente R\$ 24,82. Na Figura 26 têm-se os valores de tarifa cobrado por kWh consumido em função das bandeiras tarifárias.

B1- RESIDENCIAL NORMAL	 Consumo R\$/kWh	 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 1 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 2 Consumo R\$/kWh
Residencial Normal (Consumo R\$/kWh)	0,49414	0,50414	0,52414	0,54414

Figura 26 - Tarifas CEMIG

FONTE: CEMIG, 2017

Na Tabela 18 são apresentados os valores atualizados de consumo energia após a aplicação dos indicadores de compensação energética.

Tabela 19 - Influencia do indicador ICER no consumo de energia

POPULAÇÃO (HAB.)	CUSTO kWh/HAB. (R\$)	CUSTO TOTAL	CUSTO kWh/HAB. COM ICER (R\$)	CUSTO TOTAL COM ICER (R\$)
2.189	24,82	54.324,85	19,55	42.794,95

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho avaliou o desempenho de um sistema de distribuição de água real no sul de Minas Gerais por meio da aplicação de indicadores de desempenho hídrico e energético clássicos da literatura, além da adaptação alguns indicadores de sustentabilidade, uma proposição inicial utilizando técnicas de sustentabilidade que proporcionam a economia de água e energia.

A aplicação dos indicadores estabelecidos no estudo juntamente com a proposta de indicadores de sustentabilidade colaborou para o conhecimento do sistema de distribuição estudado, permitindo comparações relativas a outros sistemas reais. Dos indicadores de sustentabilidade propostos notou-se a importância de se utilizar técnicas de sustentabilidade que promovem uma compensação hídrica e energética para o setor possibilitando que os usuários e toda o sistema de distribuição de água obtenha retorno e garantia dos recursos hídricos e energéticos por mais tempo.

A partir da revisão bibliográfica verificou-se que há vários tipos de avaliação de desempenho de sistemas de abastecimento de água utilizando indicadores, porém, são metodologias com foco em indicadores operacionais, de infra estruturais e financeiros, direcionados à medição da produtividade, que apontam para uma lacuna referente à formalização de métodos e ferramentas para avaliar a eficiência hídrica, energética e sustentável de sistemas de distribuição de água.

O indicador de compensação hídrica residencial mostrou o quanto é possível obter a compensação hídrica em um sistema utilizando-se de técnicas de captação de água de chuva e instalação de dispositivos hidráulicos economizadores nas residências, para isto, foi estipulado valores de consumo em função de padrões sociais para posteriormente comparar com dados do setor de estudo, criou-se ainda níveis de sustentabilidade mostrando a quantidade de dispositivos instalados em cada residência.

O indicador de compensação energética residencial mostrou o quanto é possível obter a compensação energética em um sistema utilizando-se de técnicas de captação de energia solar e substituição de equipamentos convencionais por equipamentos que consomem menos energia.

Importante ressaltar que a proposta de indicadores de sustentabilidade serviu não apenas para demonstrar a redução de custos, já que para obter bons resultados primeiramente é

necessário fazer um investimento inicial, mas principalmente mostrar que é possível utilizar de técnicas sustentáveis na tentativa de melhorar a gestão dos recursos hídricos e energéticos dos sistemas de abastecimento de água de todo o país.

De forma complementar, sugere-se que novas pesquisas sejam realizadas para determinar um subindicador de compensação energética por meio da iluminação natural que utiliza a redução de consumo na residência em função iluminação natural de uma residência considerando que uma residência com menos iluminação natural necessite de mais iluminação artificial o que incide diretamente na potência total consumida. O cálculo do indicador acabou se tornando inviável pela falta de dados necessários cuja apropriação demandaria muito tempo da pesquisa.

Outra sugestão seria um estudo aprofundado em metodologias e técnicas eficientes para a determinação e gestão de perdas aparentes, tendo em vista que estudos nessa linha de pesquisa são escassos e com certeza serão fundamentais para auxiliar gestores e prestadores de serviço no gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água.

Finalmente como recomendação para futuros trabalhos sugere-se que sejam feitas análises estatísticas mais detalhadas dos indicadores objetos do estudo, além de aplicação destes indicadores para outros sistemas reais para se ter uma referência de comparação de valores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAR – Associação Brasileira de Agências de Regulação. Disponível em:

<http://abar.org.br/quem-somos/#>. Acesso em: 14 abr. 2017.

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate.** IN: 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Goiânia, GO. Setembro, 2013. Disponível em:

<http://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2017

ADASA. Anexo I – Manual de avaliação de desempenho da prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário do Distrito Federal. Resolução 008, de 2016. Brasília, p. 1-157. Disponível em:

http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res_ADASA/Resolucao08_2016_AnexoI.pdf. Acesso em: 15 maio 2017.

ADERASA. Manual de indicadores de gestión para agua potable y alcantarillado sanitario. 2007. Disponível em: http://www.asep.gob.pa/agua/estudios/M1_aderasa.pdf. Acesso em: 17 jun. 2017.

ALEGRE, H. et al. Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição. Lisboa: Irar, 2005. 330 p. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/260570843_CONTROLO_DE_PERDAS_DE_AGUA_EM_SISTEMAS_PUBLICOS_DE_ADUCAO_E_DISTRIBUICAO. Acesso em: 10 out. 2016.

ALEGRE, H. et al. **Performance indicators for water supply services.** Lisboa: Iwa, 2004. 277 p. (Guias Técnicos).

ALEGRE, H. **Indicadores de desempenho de sistemas de abastecimento de água.**

Trabalho em Curso no Âmbito da IWSA, 2006. Disponível em:

<http://docplayer.com.br/4004423-Indicadores-de-desempenho-de-sistemas-de-abastecimento-de-agua-trabalho-em-curso-no-ambito-da-iwsa-helena-alegre-1.html>. Acesso em: 18 jun. 2017.

AMORIN, D. L. **Análise de perdas físicas de água em um sistema de abastecimento de água**: Estudo de caso no município de Araruna - PB. 2016. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2016.

Disponível em: [http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/10300/1/PDF-Diogo de Lima Amorim.pdf](http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/10300/1/PDF-Diogo%20de%20Lima%20Amorim.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2016.

ANDRADE, M. R. **Balanco hidro energético de sistema de distribuição de água aplicado a um setor do município de Cambuí - MG**. 2016. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016. Disponível em:

https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/494/dissertacao_andrade_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 fev. 2017.

ARSAE-MG. Autoriza a companhia de saneamento de Minas Gerais – Copasa a aplicar aos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário prestados as tarifas constantes do Anexo I desta resolução, aprova as regras a serem observadas pela Copasa para o próximo ciclo tarifário e dá outras providências. Resolução nº 96, de 29 de junho de 2017. Belo Horizonte, p. 1-14. Disponível em:

<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/agencia-virtual/mais-servicos/atendimento-informacoes/tarifas-em-vigor-2017>>. Acesso em 21 nov. 2017.

ARSAE-MG. Define os indicadores técnico-operacionais da prestação dos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Resolução nº 001, de 2010. Belo Horizonte, p. 1-13. Disponível em:

http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/proposta_resolucao_operacional_consulta_publica_001_2010_indicadores_operacionais.pdf>. Acesso em: 15 maio. 2017.

ARSAE-MG. Tradução da Publicação: Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. The Blue Pages. Ed. A. Lambert e W. Hirner, International Water Association (IWA), 2000. Belo Horizonte, p. 1-18, maio 2015. Disponível em:

http://www.arsae.mg.gov.br/images/Img_Artigos/Traducao_Blue_Pages_V02.pdf>. Acesso em: 10 set. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721**: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios e edifícios. Rio de Janeiro, 2005. 61 p.

AWWA. **Benchmarking – performance indicators for water and wastewater utilities**.

2016 Edition. Disponível em:

<https://www.awwa.org/Portals/0/files/publications/documents/2016BenchmarkingLookInside.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**,

Porto Alegre, v. 8, n. 2, p.23-40, jun. 2008. Disponível em:

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:VrFVElt4hMsJ:www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/5358/3280+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>.

Acesso em: 23 set. 2017.

BOAVENTURA, J. D. **Indicadores de desempenho**: Uma ferramenta no processo de melhoria contínua aplicada à gestão de um sistema multimunicipal. 2013. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Especialização em Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013. Disponível em:

https://sigarra.up.pt/feup/pt/pub_file?pi_gdoc_id=361572>. Acesso em: 10 jan. 2017.

BOTELHO, K. T. et al., Indicadores de Sustentabilidade Empresarial: um estudo exploratório.

Revista Eletrônica Interdisciplinar, Matinhos, v. 8, n. 2, p. 104-116, jul/dez. 2015.

Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/diver/article/view/45050/27429>>. Acesso em: 16 mar. 2018.

BRASIL. Constituição (2007). Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Política Nacional de Saneamento Básico**. Brasília, 08 jan. 2007. Seção 1, p. 1-18.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 13 out. 2016.

Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde: **Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água**. 2. ed. Brasília: FUNASA, 2014. 172p.

Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA.

Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e

Esgotos – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017. 212p. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

CABRERA et al., E. Energy Audit of Water Networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 136, n. 6, p.669-677, Nov. 2010. [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000077](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000077)>.

CARVALHO, B. E. F. C. **A avaliação de desempenho da prestação de serviços de abastecimento de água independe da perspectiva, se usuário ou prestador?** 2013. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2013. Disponível em: http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/15361/1/2013_BrunoEustaquioFerreiraCastrodeCarvalho.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2016.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. Guia do melhor consumo: dicas de economia de energia e segurança com a rede elétrica. Disponível em: http://www.trt3.jus.br/socioambiental/downloads/GUIA_MELHOR_CONSUMO_CARTILHA_CEMIG.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2017.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. Valores de tarifas e serviços. Disponível em: https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 21 nov. 2017.

DI NARDO et al., A. **Redundancy Features of Water Distribution Systems.** 2016. Trabalho apresentado à 18ª Conferência sobre Distribuição de Água e Análise de Sistemas, WDSA, Cartagena, Colômbia, 2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2016. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt>>. Acesso em: 29 nov. 2017.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2017. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt>>. Acesso em: 29 nov. 2017.

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos. **Missão, atribuições e poderes.** Disponível em: <<http://www.ersar.pt/pt/a-ersar/missao-atribuicoes-e-poderes>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

FORTES, L. R. **Análise de perdas de água e relações energéticas em sistema de distribuição de água utilizando metodologia de balanço.** 2016. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/609>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

GALVÃO JUNIOR, A. C. **Regulação:** Indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto. 2. ed. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora Ltda., 2006. 204 p. Disponível em: <http://www.aesabesp.org.br/arquivos/livro_indicadores.pdf>. Acesso em: 15 out. 2016.

GHEISI, A.; NASER, Gh.. Multi-aspect Performance Analysis of Water Distribution Systems Under Pipe Failure. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 119, p.158-167, 2015. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.867>>.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Águas:** Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias. 3. ed. João Pessoa: Universitária/ufpb, 2009. 277 p.

GOMES, M. L.; MARCELINO, M. M.; ESPADA, M.G. Proposta para um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável. **DGA – Direção Geral do Ambiente.** 2000. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/cms/view/page_doc.php?id=308>. Acesso em: 17 nov. 2017.

GUPTA, S.; KUMAR, S.; SARANGI, G. K.. Measuring the performance of water service providers in urban India: implications for managing water utilities. **Water Policy**, [s.l.], v. 14, n. 3, p.391-408, mar. 2012. IWA Publishing. <<http://dx.doi.org/10.2166/wp.2011.109>>.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano.** 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. 418 p.

HELLER, P. G. B.; VON SPERLING, M.; HELLER, L. Desempenho tecnológico dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em quatro municípios de Minas Gerais: uma análise comparativa. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14,

n. 1, p.109-118, mar. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522009000100012>.

HERNANDEZ, E.; ORMSBEE, L. **Segment based reliability assessment for water distribution systems**. 2016. Trabalho apresentado à 18ª Conferência sobre Distribuição de Água e Análise de Sistemas, WDSA, Cartagena, Colômbia, 2016.

IBNET. The International Benchmarking Network. 2017. Disponível em: <https://www.ibnet.org/>. Acesso em: 14 maio 2017.

KEMERICH, P. D. C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**. Santa Maria, v. 13, n. 5, p.3723-3736, 2014. <http://dx.doi.org/10.5902/2236130814411>.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; NETTO, O. M. C.; NASCIMENTO, N. O. Os Indicadores como Instrumentos Potenciais de Gestão das Águas no Atual Contexto Legal-Institucional do Brasil - Resultados de um painel de especialistas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p.49-67, 2003. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v8n4.p49-67>.

MELO, F. L. N. B. de et al. Análise do Serviço de Abastecimento de Água no Rio Grande do Norte: Uma Abordagem Multicritério. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 47., 2015, Porto de Galinhas. **Anais...** . Porto de Galinhas: SbpO, 2015. p. 209 - 2019. Disponível em: <http://www.sbpO2015.iltc.br/pdf/142911.pdf> . Acesso em: 29 set. 2017.

MURANHO, J. et al. Technical Performance Evaluation of Water Distribution Networks based on EPANET. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 70, p.1201-1210, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.133>.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/agua/>. Acesso em: 10 out. 2016.

PARMENTER, D. **Key Performance Indicators: Developing, implementing and using winning KPIs**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007. Disponível em: http://pro-u4ot.info/files/books/finance/Key_Performance_Indicators.pdf. Acesso em: 03 fev. 2017.

RODRIGUES, J. M. F. **Construção de um sistema de indicadores de desempenho para empresas de abastecimento público de água para consumo**. 2012. 151 f. Dissertação (Mestrado) – Economia e Gestão do Ambiente, Universidade do Porto, Porto, 2012.

Disponível em: https://sigarra.up.pt/fep/pt/pub_geral.show_file?pi_gdoc_id=122156.

Acesso em: 15 abr. 2017.

SABESP – Companhia de saneamento básico do estado de São Paulo. Equipamentos economizadores. Disponível em:

<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=145>. Acesso em: 27 nov. 2017.

SANTIAGO, L. S.; DIAS, S. M. F. Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 17, n. 2, p.203-212, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522012000200010>.

SOARES, F. R. **Estudo comparativo dos indicadores de eficiência hidro energética em sistemas de distribuição de água: Análise de municípios do sul de Minas Gerais**. 2016. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016. Disponível em:

https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/608/dissertacao_soares_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 17 mar. 2017.

TEIXEIRA JÚNIOR, W. Avaliação de Indicadores de Sustentabilidade Hídrica de Rondonópolis MT. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Curitiba, v. 10, n. 5, p. 105-127, jan/maio 2016. Disponível

em: <https://www.uninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/download/500/283>. Acesso em: 11 mar. 2018.

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. 643 p.

VILANOVA, M. R. N. **Desenvolvimento e avaliação de indicadores de eficiência hidráulica e energética para sistemas de abastecimento de água como ferramenta de suporte à tomada de decisões**. 2012. 316 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/106398>. Acesso em: 15 fev. 2017.

VILANOVA, M. R. N.; MAGALHÃES FILHO, P.; BALESTIERI, J. A. P. Performance measurement and indicators for water supply management: Review and international cases. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 43, p.1-12, mar. 2015. Elsevier BV. [.<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.043>](http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.043).

VON SPERLING, T. L. **Estudo da utilização de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário**. 2010. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: [.<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ENGD-88QPXC>](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ENGD-88QPXC). Acesso em: 20 mar. 2017.

VON SPERLING, T. L.; VON SPERLING, M. Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Belo Horizonte, v. 18, n. 4, p.313-322, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). [.<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522013000400003>](http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522013000400003).