



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**Aline Christian Pimentel Almeida Santos**

**ESPACIALIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES NA GESTÃO DE  
SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO  
SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

Belém

2010

Aline Christian Pimentel Almeida Santos

ESPACIALIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES NA GESTÃO DE  
SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO  
SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-graduação em Engenharia Civil, Instituto  
de Tecnologia, Universidade Federal do Pará.

Área de concentração: Recursos hídricos e  
Saneamento Ambiental.

Linha de pesquisa: Saneamento e sistemas de  
infraestrutura urbana.

Orientador: Prof. Dr. José Almir Rodrigues  
Pereira.

Belém

2010

Aline Christian Pimentel Almeida Santos

ESPACIALIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES NA GESTÃO DE  
SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO  
SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Área de concentração: Recursos hídricos e Saneamento Ambiental.

Linha de pesquisa: Saneamento e sistemas de infraestrutura urbana.

Orientador: Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira.

Data de aprovação: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / 2010.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira – Orientador  
Doutor em Hidráulica e Saneamento  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes  
Doutor em Ciências: Desenvolvimento Sócio-ambiental  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte  
Doutor em Geologia e Geoquímica  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. Miguel Agostinho de Lalor Imbiriba  
Doutor em Engenharia Civil  
Universidade Federal do Pará

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Zuila do Socorro Pimentel e Raimundo Nazareno Almeida pelo amor e dedicação. Aos meus avós Izibilina e José Castro (em memória) que sonhavam e desejavam meu sucesso. Ao meu marido Rogério Santos pelo apoio e compreensão nos momentos mais difíceis.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por seu amor e sua constante presença em minha vida, que me guia e me faz persistir.

Aos meus pais pelo amor, incentivo e dedicação que me fizeram chegar até aqui. E ao meu marido Rogério Santos pelo incentivo, apoio e contribuição no desenvolvimento do trabalho.

Ao professor e orientador José Almir Rodrigues Pereira pela confiança depositada, orientação e sugestões em todas as fases da execução deste trabalho.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento (GPHS), Monique e Gilberto Barreto, Daniel Mescoito, Débora Cunha, Silvana Veloso, David Sales, João Henrique, Rodrigo Sá, Karina Castro, Rafael Tavares, Valdinei Mendes, Lucy Anne Gutierrez, Gleiciane Moraes, Aldenor Queiroz e Marcus Miranda.

À Ana Júlia Soares Barbosa pela amizade e incentivo, e à Marise Condurú pelo apoio e contribuição neste e em outros trabalhos técnicos.

À Fundação de Amparo a Pesquisa pela bolsa de pesquisa (FAPESPA) pelo apoio financeiro, que foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPA, pela contribuição ao longo do curso.

À Universidade Federal do Pará por me proporcionar o desenvolvimento de uma pós-graduação.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente dispuseram suas valiosas colaborações para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE DESENHOS

LISTA DE ESQUEMAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE GRÁFICOS

LISTA DE MAPAS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE TABELAS

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>22</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	22
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>23</b>
3.1	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	23
<b>3.1.1</b>	<b>Balço hídrico</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Despesas de Exploração (DEX)</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Dados comerciais</b> .....	<b>30</b>
3.2	PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	32
3.3	CONTROLE DE SAAs .....	37
3.4	PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES .....	39
<b>3.4.1</b>	<b>Aplicações de SIG em SAA</b> .....	<b>41</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Diferença entre SIG e CAD</b> .....	<b>47</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Softwares de SIG mais comuns</b> .....	<b>49</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Armazenamento e organização de dados em SIG</b> .....	<b>51</b>
<b>3.4.5</b>	<b>Modelo de representação de dados em SIG</b> .....	<b>54</b>
3.4.5.1	Representação Vetorial .....	54
3.4.5.2	Representação Matricial .....	55
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>57</b>
4.1	FASE 1 - DEFINIÇÃO DOS DADOS A SEREM UTILIZADOS NA PESQUISA .....	60
4.2	FASE 2 - ARMAZENAMENTO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS EM SIG .....	64
4.3.1	Software escolhido .....	65

4.3.2	Construção do modelo de dados.....	67
4.3	FASE 3 - CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO.....	69
4.4	FASE 4 - CÁLCULO DE INDICADORES DE DESEMPENHO .....	71
4.5	FASE 5 - ESPACIALIZAÇÃO DOS RESULTADOS EM SIG .....	76
5	RESULTADOS .....	77
5.1	FASE 1 - DEFINIÇÃO DOS DADOS A SEREM UTILIZADOS NA PESQUISA .....	77
5.2	FASE 2 - ARMAZENAMENTO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS EM SIG	84
5.2.1	Construção do modelo de dados.....	85
5.3	FASE 3 - CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO.....	95
5.4	FASE 4 - CÁLCULO DE INDICADORES DE DESEMPENHO .....	105
5.5	FASE 5 - ESPACIALIZAÇÃO DOS RESULTADOS EM SIG .....	110
6	CONCLUSÕES .....	125
	REFERÊNCIAS.....	126

## RESUMO

Avaliar a espacialização de informações na gestão de Sistema de Abastecimento de Água (SAA). Para isso, foram definidos e adotados os dados da pesquisa (Fase 1), sendo dividido em dados de perdas reais, comerciais e Despesas de exploração. Na Fase 2, a base cartográfica da área de estudo e os dados adotados foram armazenados e organizados em Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software ArcGis 9.3, onde foi construído o modelo de dados para a pesquisa, e definida a topologia a ser utilizada para identificação dos dados espacializados, a construção do banco de dados georreferenciado e a criação dos layers. Na fase 3 foi realizado o cálculo do balanço hídrico nas principais unidades dos SAAs estudados sendo determinadas as perdas na adução de água bruta, no tratamento, na reservação, e na distribuição. Na fase 4 foram calculados indicadores para avaliar o desempenho dos SAAs, como: índice de cobertura, índice total de perda real, índice de perda na arrecadação, índice de perda de faturamento, índice de consumo de energia em SAA, índice de despesas com energia elétrica, entre outros. Na fase 5 foi proposta a espacialização e apresentação em SIG dos resultados obtidos nas fases anteriores. Com isso, considerando os dados adotados, foi possível identificar os valores das perdas reais e dos indicadores de desempenho em cada setor do SAA estudado, sendo, por exemplo, o setor 9, o que apresentou maior índice de perda total, chegando a 59,10%, seguido dos setores 4, 8 e 5. A perda mais significativa para o sistema foi a perda na distribuição, com o setor 9 apresentando perda de 57%; a perda no tratamento foi de 3,4%, no setor 3; e os setores com maior índice de perda na adução, foram os setores 6 e 8, com 3,5%. Os percentuais de água não faturada, foram maiores nos setores 1 e 5. Os setores 1, 3, 4 e 6 são os que apresentaram maior consumo de energia elétrica por volume de água produzido. Portanto, a espacialização dos dados em SIG facilitou a visualização e análise dos dados adotados na pesquisa.

Palavras-Chave: SIG, Abastecimento de Água, Desempenho.

## ABSTRACT

To evaluate the spatial information in the management of Water Supply System (ATS). For this they were defined and adopted to the survey (Phase 1), being divided into data of actual losses, commercial and operating expenses. In Phase 2, the base map of study area and data used were stored and organized in a Geographic Information System (GIS) using ArcGIS 9.3 software, which built the data model for the study, and defined the topology be used for identification of specialized data, building the database and the creation of georeferenced layers. In phase 3 was calculated from water balance in the main units of SAAs studied with certain losses in raw water supply, treatment, on the reservation, and distribution. In phase four indicators were calculated to evaluate the performance of SAAs, including: coverage index, total index of actual loss, loss index in the collection, rate of loss of business, index of energy consumption in SAA, index of energy costs Electric, among others. In phase 5 was proposed to the spatial and GIS presentation of the results obtained in earlier phases. Thus, considering the data adopted, it was possible to identify the values of actual losses and performance indicators in each sector of the SAA studied, being, for example, sector 9, which presented the highest rate of total loss, reaching 59, 10%, followed by sections 4, 8 and 5. The most significant loss for the system was the loss distribution, with 9 industry to a loss of 57% loss on treatment was 3.4% in the third sector, and sectors with the highest loss of adduction weresectors 6 and 8, with 3.5%. The percentage of water unaccounted were higher in sectors 1 and 5. Sectors 1, 3, 4 and 6 are those with the highest energy consumption per volume of water produced. Therefore, the spatial data in GIS facilitated the visualization and data analysis adopted in this research.

Keywords: GIS, Water Supply, Performance.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANF	Águas não faturadas
CAD	<i>Computer Aided Design and Drafting</i>
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
DEX	Despesas de Exploração
DPA	Depreciação, provisão e amortização
EAB	Estação Elevatória de Água Bruta
EAT	Estação Elevatória de Água Tratada
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
GPS	<i>Global Positioning System</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MNT	Modelagem numérica de terreno
PDEI	Projeto de Direcionamento Estratégico de Informatização
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
RAP	Reservatório Apoiado
REL	Reservatório Elevado
RMB	Região Metropolitana de Belém
SABESP	Companhia de Saneamento do estado de São Paulo
SGBD	Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGNOS	Sistema de Informações Geográficas no Saneamento
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
VRP	Válvulas redutoras de pressão

## LISTA DE DESENHOS

Desenho 1 - Conjunto de camadas de informações sobre uma determinada região ..	52
Desenho 2 - Camadas de informação associadas a uma única localização. ....	53
Desenho 3 - Álgebra de mapas .....	53
Desenho 4 - Exemplo de representação vetorial .....	55
Desenho 5 - Exemplo de representação matricial .....	56
Desenho 6 - Cruzamento de dados de SAA em SIG.....	76

## LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1 – Unidades do Sistema de Abastecimento de Água.....	24
Esquema 2 – Perdas em Sistema de Abastecimento de Água.....	33
Esquema 3 – Integração do SIG com todos os níveis de negócio da empresa de saneamento .....	43
Esquema 4 – Sistema de tratamento e elevação de água na RMB .....	59
Esquema 5 – Fases da Pesquisa .....	59
Esquema 6 – Dados do sistema de abastecimento de água utilizados na pesquisa ....	60
Esquema 7 – Balanço hídrico do SAA .....	69

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Exemplo de projeto de rede coletora de esgoto sanitário em CAD.....	47
Figura 2- Exemplo de SIG na gestão de fossas sépticas .....	49
Figura 3 - Janela de visualização do ArcMap .....	66
Figura 4 - Janela de visualização do ArcCatalog.....	66
Figura 5 - Janela de visualização do ArcToolbox.....	67
Figura 6 - Limite da Zona Central de Abastecimento de Água .....	83
Figura 7 - Limite dos Setores de Abastecimento de Água.....	83
Figura 8 - Adutoras e localização das unidades dos sistemas de Abastecimento de Água .....	83
Figura 9 - Base viária da Zona Central de Abastecimento de Água.....	83
Figura 10 - Hidrografia da Área em estudo .....	84
Figura 11 - Limites de Bairros da Área em estudo.....	84
Figura 12 - Layer Zona Central de Abastecimento .....	87
Figura 13 - Layer de Bairros e setores de abastecimento de água da Área de estudo	88
Figura 14 - Composição dos layers SAAs, Adutoras e Unidades do Sistema Utinga - São Braz.....	89
Figura 15 - Composição dos layers SAAs, Adutoras e Unidades do Sistema Bolonha - Zona Central.....	90
Figura 16 - Composição dos layers do Sistema Utinga - 5º Setor.....	91
Figura 17 - Visualização do banco de dados construído no Microsoft Office Excel 2007 .....	92
Figura 18 - Utilização da ferramenta “Join” para vinculação do banco de dados construído .....	93
Figura 19 - Seleção de banco de dados na ferramenta “Join” .....	93
Figura 20 - Banco de dados georreferenciado.....	94
Figura 21 - Criação de nova coluna no banco de dados.....	96
Figura 22 - Janela <i>Add Field</i> para criação de nova coluna no banco de dados .....	96
Figura 23 - Utilização da ferramenta <i>Field Calculator</i> no banco de dados georreferenciado .....	97
Figura 24 - Cálculo da Perda 1 utilizando a ferramenta <i>Field Calculator</i> .....	98
Figura 25 - Resultado da Perda na adução de água (Perda 1).....	98
Figura 26 - Utilização da ferramenta <i>Field Calculator</i> no banco de dados georreferenciado .....	99
Figura 27 - Cálculo da Perda 2 utilizando a ferramenta <i>Field Calculator</i> .....	100
Figura 28 - Resultado da perda no tratamento de água (Perda 2).....	100
Figura 29 - Utilização da ferramenta <i>Field Calculator</i> no banco de dados georreferenciado .....	101
Figura 30 - Cálculo da Perda 3 utilizando a ferramenta <i>Field Calculator</i> .....	102
Figura 31 - Resultado da Perda 3 utilizando a ferramenta <i>Field Calculator</i> .....	102
Figura 32 - Utilização da ferramenta <i>Field Calculator</i> no banco de dados georreferenciado .....	103
Figura 33 - Cálculo da Perda 4 utilizando a ferramenta <i>Field Calculator</i> .....	104
Figura 34 - Resultado da perda na distribuição (Perda 4).....	104

Figura 35 – Exemplo da utilização de SIG para o cálculo de indicadores de desempenho .....	105
Figura 36 – Exemplo da utilização da ferramenta “ <i>Field calculator</i> ” para o cálculo de indicadores de desempenho .....	106
Figura 37 – Índices de desempenho calculados .....	106
Figura 38 – Visualização e consulta dos dados, perdas e indicadores de desempenho do 3º setor de abastecimento .....	109

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Prestadores de serviços de abrangência Regional.....	29
Gráfico 2 - Prestadores de serviços de abrangência local .....	29

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização da área de estudo .....	57
Mapa 2 - Perdas no SAA Utinga - São Braz .....	111
Mapa 3 - Perdas no SAA Bolonha - Zona Central .....	112
Mapa 4 - Perdas no SAA Utinga - 5º Setor.....	113
Mapa 5 - Índice de Perda Total nos SAAs estudados.....	114
Mapa 6 - Índice de Perda na distribuição dos SAAs estudados .....	115
Mapa 7 - Índice de Perdas físicas nas Unidades dos SAAs estudados .....	116
Mapa 8 - Índice de Água Não Faturada nos setores de abastecimento estudados ...	117
Mapa 9 - Índice de Água Distribuída por Economia Ativa nos setores de abastecimento estudados.....	118
Mapa 10 - Índice de Consumo de Energia Elétrica nos setores de abastecimento estudados.....	119
Mapa 11 - Índice de Despesas com Energia Elétrica nos setores de abastecimento estudados.....	120
Mapa 12 - Índice de Despesas de Exploração por Economia Ativa nos setores de abastecimento estudados.....	121
Mapa 13 - Índice de Faturamento por Economia Ativa nos setores de abastecimento estudados.....	122
Mapa 14 - Índice de Arrecadação por Economia Ativa nos setores de abastecimento estudados.....	123
Mapa 15 - Índice de Perda Total nos SAAs estudados.....	124

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Componentes do balanço de perdas comerciais .....	31
Quadro 2 - Principais origens de perdas reais.....	37
Quadro 3 - Siglas definidas para as variáveis operacionais .....	61
Quadro 4 - Dados comerciais para análise de desempenho de SAAs.....	62
Quadro 5 - Despesas de exploração para análise de desempenho de SAAs.....	63
Quadro 6 - Natureza dos dados utilizados na pesquisa .....	64
Quadro 7 - Dados operacionais adotados para os setores da Zona Central de Abastecimento.....	78
Quadro 8 - Dados comerciais dotados para os setores da Zona Central de Abastecimento.....	80
Quadro 9 - Despesas de exploração estimadas para os setores da Zona Central de Abastecimento.....	82
Quadro 10 - Topologia para representação de dados cartográficos em SIG.....	85
Quadro 11 - Convenções utilizadas para representação de dados cartográficos de SAA em SIG.....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices de perdas por faturamento médio dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2010. ....	32
Tabela 2 - Índice de ANF em alguns países .....	34
Tabela 3 - Resultados do cálculo de indicadores gerais de desempenho dos SAAs. ....	107
Tabela 4 - Resultados do cálculo de indicadores de perdas reais dos SAAs.....	107
Tabela 5 - Resultados do cálculo de indicadores comerciais de desempenho dos SAAs .....	108
Tabela 6 - Resultados do cálculo de indicadores de despesas com energia elétrica nos SAAs .....	108
Tabela 7 - Resultados do cálculo de indicadores de desempenho dos SAAs .....	109

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, mais de 14 milhões de pessoas não têm acesso ao abastecimento de água, e é crescente a contaminação dos mananciais. Assim, ter água de boa qualidade e em quantidade adequada é uma prioridade, em especial em áreas urbanas (MANANCIAIS..., 2009).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2002), 95,9% dos municípios brasileiros contavam com serviço de abastecimento de água por rede geral em 1989. Em 2000, o atendimento por empresas prestadoras deste serviço alcançou proporção de 97,9% dos municípios do País. Entretanto, deve-se ressaltar que a metodologia aplicada nessa pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) considera que se um município possuir uma rede de serviços de abastecimento de água instalada, é incluído no total de municípios com rede de distribuição, independentemente da cobertura, eficiência e número de ligações domiciliares a esta rede.

Apesar do aumento do número de municípios atendidos com rede de distribuição de água, os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) apresentam problemas na sua gestão, principalmente em relação às perdas de água, que chegam a 50% do volume produzido nos SAAs. Isso ocorre por muitos fatores, como o uso excessivo de água na limpeza das unidades, com maior incidência no tratamento; rupturas nas tubulações; ligações clandestinas, desperdício de água etc.

A eficiência na gestão está diretamente ligada à qualidade no atendimento e ao equilíbrio financeiro da empresa. Quando a gestão não é eficiente pode ocorrer racionamento, falta ou perda de água, o que reflete diretamente na arrecadação e no aumento das despesas do sistema.

Vale ressaltar, que o volume perdido de água é relacionado com a energia elétrica utilizada nos equipamentos de bombeamento, ou seja, perder água é desperdiçar energia elétrica.

Além disso, no volume perdido de água após a unidade de tratamento devem ser computadas as despesas com produtos químicos, para tornar essa água potável e adequada ao consumo.

Ainda podem ser citados os custos com pessoal e os prejuízos ao meio ambiente embutidos no volume perdido de água. Portanto, os gestores e funcionários precisam atentar para o uso eficiente de água em todas as etapas do SAA.

Para a avaliação de desempenho de SAAs, é fundamental a organização das informações dos volumes, das despesas de exploração e dos dados comerciais.

O conhecimento dos volumes que entram (produção) e saem do sistema (utilizados pelos consumidores e perdidos) é essencial para a adequada gestão do SAA.

O controle dos dados comerciais pode proporcionar o conhecimento das perdas por faturamento e arrecadação, além de facilitar o controle e gestão de usuários do SAAs.

A falta de cadastro técnico comercial e operacional atualizado é um dos principais problemas existentes nas concessionárias de saneamento, e também é uma das causas do aumento das perdas de água. Assim, o cadastro técnico informatizado, associado com a espacialização desses dados, auxilia no monitoramento do SAA e proporciona o controle visual do sistema como um todo, facilitando o planejamento e a tomada de decisão.

Os dados de controle precisam ser confrontados com os de projeto, sendo importante, a sistematização das informações em cadastros utilizando ferramentas que facilitem a visualização espacial para a gestão operacional e para a futura tomada de decisão de expansão do SAA.

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva avaliar a espacialização de dados e informações de SAAs, para análise de desempenho de SAA, utilizando um banco de dados geográficos.

Para isso, no capítulo 3 são apresentados conceitos de SAA, destacando o controle do sistema por meio do balanço hídrico, das despesas de exploração e dos dados comerciais. Também são comentadas as perdas de água e energia elétrica no

SAAAs e o processamento informatizado dos dados de SAAAs utilizando geoprocessamento, bem como exemplificadas algumas aplicações de SIG em SAAAs.

No capítulo 4 é apresentada a metodologia proposta para o estudo, sendo dividida em cinco fases: Fase 1: Definição dos dados a serem utilizados na pesquisa; - Fase 2: Armazenamento e organização dos dados em SIG; - Fase 3: Cálculo do balanço hídrico; - Fase 4: Cálculo de Indicadores de desempenho; - Fase 5: Espacialização dos resultados em SIG.

No capítulo 5 são apresentados os resultados esperados na pesquisa.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

- Propor a espacialização de informações de desempenho para facilitar a gestão de Sistemas de Abastecimento de Água.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir os dados cartográficos, técnicos e os procedimentos para a espacialização de informações de desempenho de SAAs;
- Propor metodologia para a determinação do balanço hídrico, construção de indicadores e avaliação do desempenho de SAAs utilizando SIG;
- Simular o processamento dos dados no modelo proposto.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão abordados temas referentes à SAAs, enfocando os problemas freqüentemente encontrados nos sistemas, além de algumas informações de SIG, possibilitando que haja suporte para a avaliação do desempenho das unidades dos SAAs.

#### 3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O abastecimento de água é fundamentalmente realizado para o controle e prevenção de doenças; à implantação de hábitos higiênicos na população como, por exemplo, a lavagem das mãos, o banho e a limpeza dos utensílios; à facilidade de limpeza pública; à facilidade de práticas esportivas; à promoção de conforto e bem-estar.

Em 3200 a.C., sistemas de água e drenagem eram utilizados no vale do Hindus e por volta de 2500 a. C. já existiam construções de aquedutos e canalizações para a condução da água dos rios e lagos até as cidades. Com o passar dos anos, o sistema de abastecimento de água foi aperfeiçoado pelos romanos e gregos. Foi, no entanto, a partir da segunda metade do século XIX, com a revolução industrial, que os sistemas de abastecimento de água de núcleos populacionais sofreram modificações profundas. O crescimento demográfico urbano, consequência dessa revolução, determinou a necessidade de se estabelecer infraestrutura que assegurasse o consumo, a distribuição e a salubridade tanto da água potável quanto daquela destinada a usos industriais ou agrícolas (ABIKO; ALMEIDA; BARREIROS, 1995; REZENDE; HELLER, 2002).

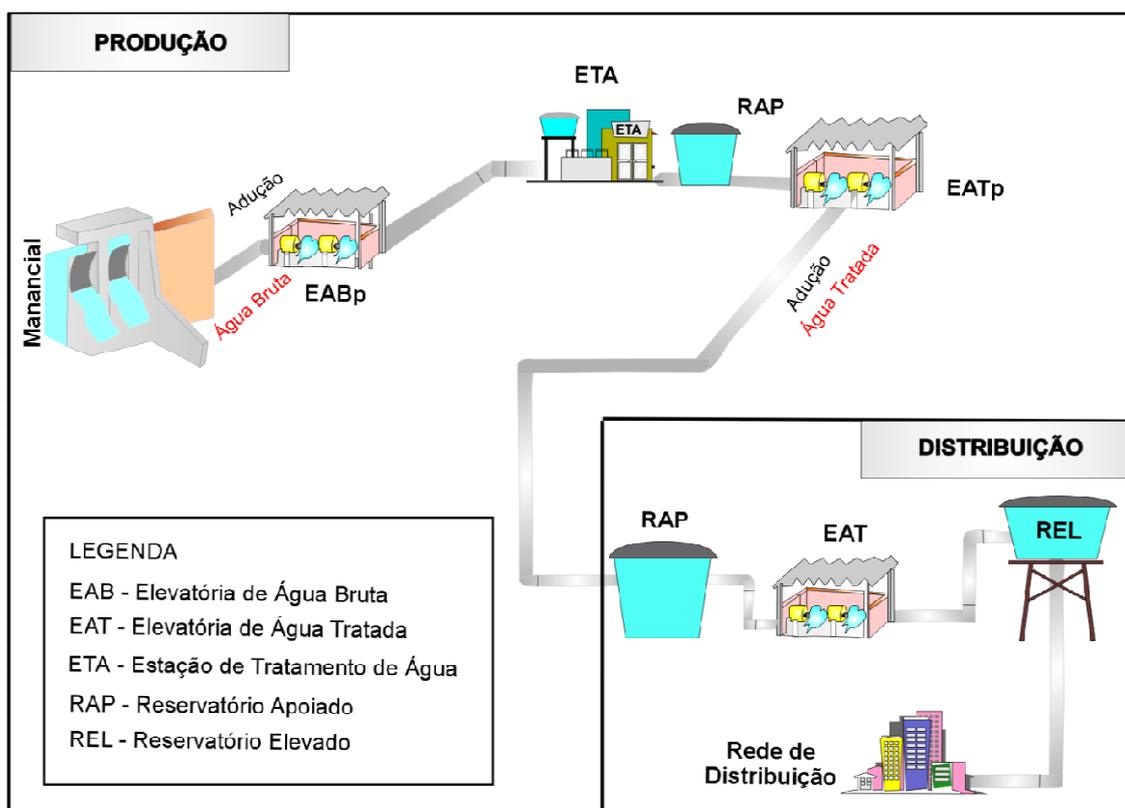
Para Fernandes (2009), o Sistema de Abastecimento de Água é o serviço público constituído de um conjunto de sistemas hidráulicos e instalações

responsáveis pelo suprimento de água para atendimento das necessidades de uma população.

Para a Fundação Nacional da Saúde (2004), os SAAs podem ser tipo individual e coletivo, sendo o primeiro indicado para assentamentos de baixa densidade, como em áreas rurais e/ou áreas ribeirinhas, que são muito comuns na região amazônica. Quando a comunidade cresce e a densidade populacional aumenta, a solução coletiva passa a ser mais econômica e permanente para o abastecimento de água.

Do ponto de vista sanitário, a solução coletiva é a mais interessante em áreas urbanas, porque é muito mais fácil proteger um manancial e controlar a operação das unidades de um sistema, do que fazer a supervisão de grande número de mananciais e de sistemas isolados.

Um sistema convencional de abastecimento de água pode ser dividido em produção e distribuição. A produção é formada pelas unidades de captação, elevação de água bruta, adução e tratamento; enquanto a reservação, a elevação e a rede de distribuição formam a distribuição, conforme representado no Esquema 1.



Esquema 1 - Unidades do Sistema de Abastecimento de Água

A primeira parte do SAA é constituída pelas unidades de produção, com a água captada em mananciais superficiais ou subterrâneos, transportada em tubulações chamadas adutoras. Segundo Heller e Pádua (2006), as adutoras podem ser classificadas de acordo com a natureza da água transportada, em adutora de água bruta ou de água tratada, e quanto à energia para movimentação da água, em adutora por gravidade, por recalque ou mista.

Normalmente, a água captada do manancial é bombeada pela Estação Elevatória de Água Bruta (EAB) para a adutora que termina na entrada da Estação de Tratamento de Água (ETA). Essa unidade é utilizada para melhorar as características qualitativas da água em termos físico, químico, bacteriológico e organoléptico, a fim torná-la apropriada para o consumo humano.

A escolha da tecnologia de tratamento da água depende das características da água bruta e da qualidade desejada para a água final, sendo os principais tipos de ETA: convencional, filtração direta e desferrização.

Á água tratada é bombeada sob as adutoras que alimentam os reservatórios dos setores de distribuição de água. Esse é o ponto final da etapa de produção da água. Vale ressaltar que é preciso controlar os volumes e as despesas para produzir, transportar e tratar a água nessa primeira etapa do SAA.

Normalmente, a segunda parte do sistema é denominada de setor de distribuição, sendo formado por reservatório apoiado (RAP), estação elevatória de água tratada (EAT), reservatório elevado (REL) e rede de distribuição de água.

De acordo com Barreto (2006), os reservatórios são essenciais para a operação dos SAAs, já que permitem a paralisação do bombeamento de água no horário de pico de energia elétrica, diminuindo sensivelmente os custos com energia elétrica.

A EAT é destinada a bombear a água tratada até os reservatórios elevados, quando, então, a água é encaminhada para a rede de distribuição.

No setor de distribuição de água também é importante controlar os volumes de água e as despesas de exploração. Além disso, nessa segunda parte do

SAA é que ocorre a relação direta com o cliente, por meio do “pagamento” do serviço prestado, no caso o abastecimento de água.

Para que o SAA não traga prejuízos, é necessário o controle do desempenho de todas as suas unidades, ou seja, o monitoramento do volume de água na entrada e na saída do SAA, as despesas de exploração e os dados comerciais são essenciais para o equilíbrio do sistema. Para isso, a empresa precisa realizar o balanço hídrico; a avaliação das despesas de exploração; e a constante atualização dos dados comerciais.

O bom funcionamento de qualquer SAA pressupõe que os consumidores tenham continuamente à sua disposição, nos locais de consumo, água com qualidade, em quantidade suficiente, à pressão adequada e com o menor custo possível (ALEGRE et al., 2005).

Para isso, é necessário que a infraestrutura existente seja adequadas, que os recursos naturais disponíveis sejam racionalmente utilizados e que este conjunto seja gerido com eficácia e sustentabilidade.

Além disso, para a eficiência na gestão de SAAs, as concessionárias devem procurar adotar continuamente medidas que minimizem o consumo dos recursos naturais (água e energia), financeiros, técnicos e humanos disponíveis para a obtenção dos seus objetivos. Contudo, em muitos casos, as entidades gestoras não dispõem de dados confiáveis do volume de água que entra no sistema e, algumas vezes, também desconhecem com exatidão o volume de água fornecido aos consumidores.

Assim, a gestão de SAA envolve a manipulação de grande quantidade de dados e informações de fontes e naturezas distintas, sendo que esses dados e informações devem ser disponibilizados aos funcionários de forma organizada e segura, para propiciar a tomada de decisão correta. Nesse sentido, a sistematização e especialização facilita a análise e o desenvolvimento de importantes ferramentas na gestão, como o balanço hídrico, o conhecimento das despesas de exploração e dos dados comerciais, os quais são essenciais na avaliação das perdas no SAA.

### 3.1.1 Balanço hídrico

O balanço hídrico é a relação entre os volumes de entrada, consumido e as perdas em determinado limite do SAA. E pode ser obtido por meio da fórmula:

$$\text{Volume produzido} = \text{Vol. consumido} + \text{Vol. perdas de água}$$

Para Tsutiya (2006), o balanço hídrico de um sistema de abastecimento de água é uma forma estruturada de avaliar os componentes dos fluxos e usos da água no sistema e seus valores absolutos e relativos. O autor também ressalta que o balanço hídrico é uma importante metodologia de uso na gestão de SAAs, pois daí podem ser gerados diversos indicadores de desempenho para o acompanhamento das ações técnicas, operacionais e empresariais.

O SAA ideal apresenta volume de água que entra igual ao volume consumido. Entretanto, essa situação não é observada na prática, pois ocorrem perdas no próprio sistema (lavagem de adutoras, filtros, decantadores etc.), vazamentos, uso indevido (ligações clandestinas, ligações sem hidrômetro etc.). Portanto, o balanço hídrico é importante ferramenta para determinar o volume de água que não atinge os consumidores finais.

De acordo com o balanço hídrico é instrumento indispensável na avaliação das perdas de água. Porém, requer medições ou estimativas criteriosas em cada ponto de controle definido no sistema (Machado e Fernandes, 2009).

O cálculo do balanço hídrico pode demandar estimativas dos volumes de água em cada ponto de controle, ou seja, a medição da água captada, produzida, aduzida e armazenada (incluindo os importados e exportados) e entradas ou saídas em cada setor de distribuição ou zona de medição. Assim, é possível verificar perdas nas unidades dos SAAs como vazamentos, rupturas de tubulações e extravasamentos nos reservatórios.

### 3.1.2 Despesas de Exploração (DEX)

De acordo com Brasil (1978), as despesas de exploração são aquelas necessárias à prestação dos serviços pelas companhias estaduais de saneamento básico, abrangendo:

- a) as despesas de operação e manutenção, incluindo gastos com pessoal, energia elétrica, produtos químicos, materiais e equipamentos;
- b) as despesas comerciais;
- c) as despesas administrativas e financeiras;
- d) as despesas fiscais, excluída a provisão para o imposto de renda.

Segundo dados do SNIS, em 2008, as despesas totais com os serviços por m<sup>3</sup> faturado dos prestadores de abrangência regional chegou a 2,14 R\$/m<sup>3</sup>, (7,5% maior que o valor de 2007 que foi de R\$ 1,99/m<sup>3</sup>) e, entre os prestadores de serviços de abrangência local, este valor foi de R\$ 1,33/m<sup>3</sup> (8,1% maior que o valor de 2007 que foi de R\$ 1,23/m<sup>3</sup>). Para todo o conjunto de prestadores de serviços, a despesa total média foi de R\$ 1,93/m<sup>3</sup>, representando um crescimento de 7,8% em relação ao valor de 2007 que foi de R\$ 1,79/m<sup>3</sup> (PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR SANEAMENTO, 2010).

Em dados de 2008 do SNIS é possível constatar que as despesas com pessoal são as maiores, seguida das despesas com serviços de terceiros, e das despesas com energia elétrica. As despesas com água importada são as menores, haja vista que os SAAs geralmente importam água de outros setores do próprio sistema e não de sistemas de outros prestadores (PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR SANEAMENTO, 2010). No Gráfico 1 e no Gráfico 2 são apresentados os percentuais médios das despesas de exploração dos prestadores de serviços de abrangência regional e local, respectivamente.

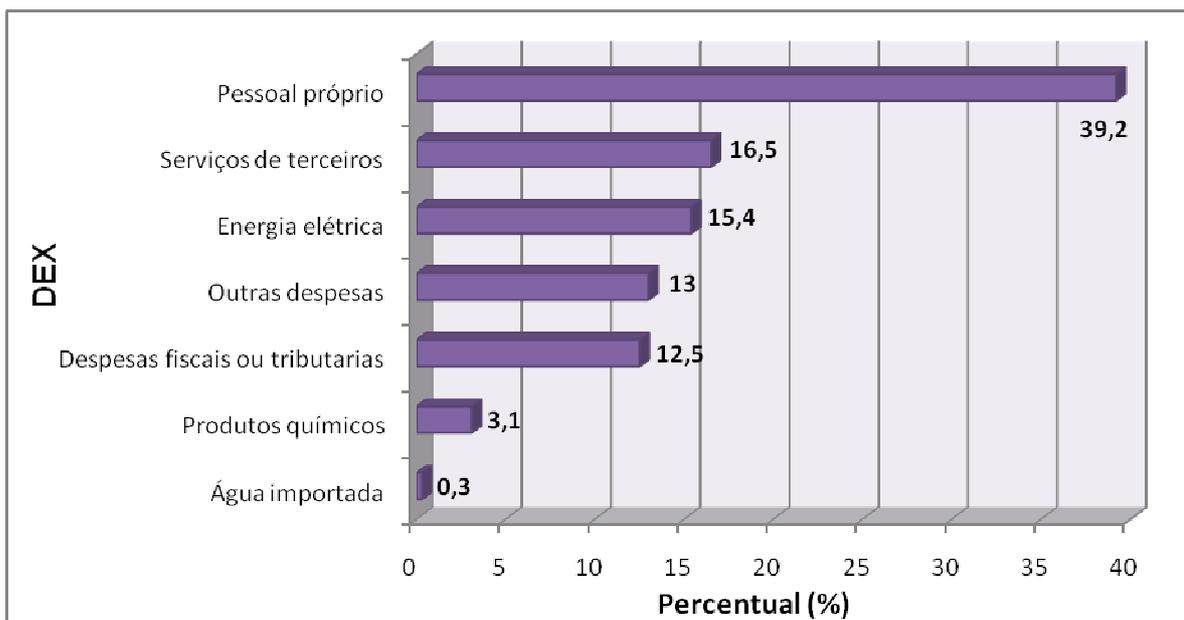


Gráfico 1 - Prestadores de serviços de abrangência Regional  
 Fonte: Programa de Modernização do Setor Saneamento (2010).

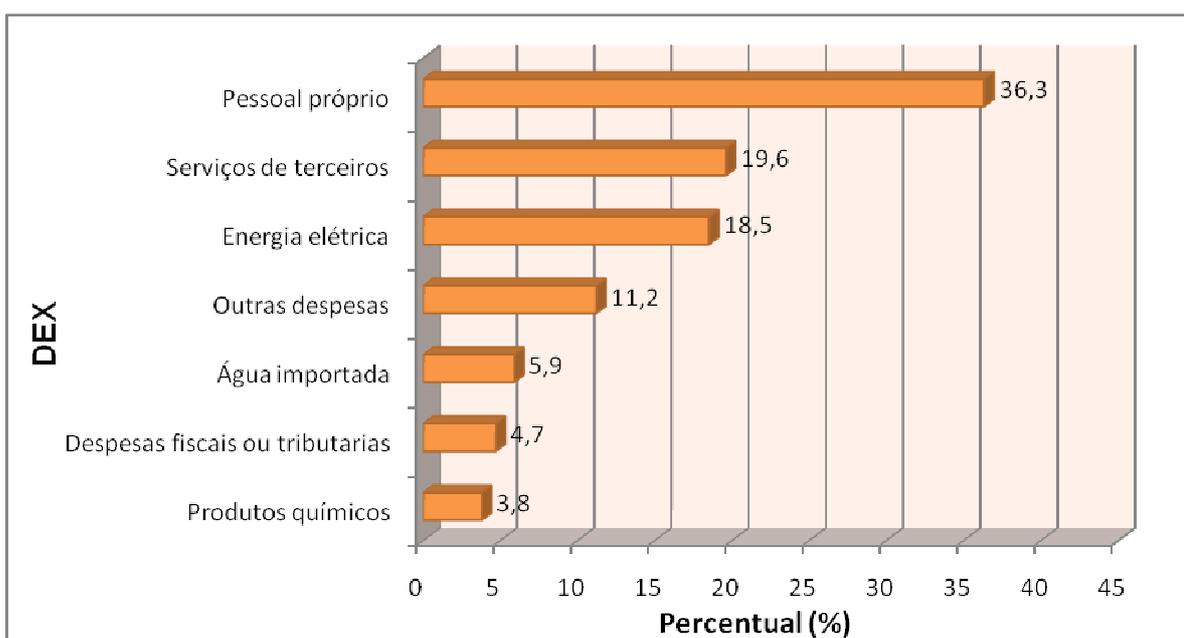


Gráfico 2 - Prestadores de serviços de abrangência local  
 Fonte: Programa de Modernização do Setor Saneamento (2010).

Em relação às despesas com energia elétrica, que também tendem a ser bastante significativas, a redução do consumo de energia elétrica, além do controle de perdas reais, é essencial, já que existe uma interação significativa entre essas medidas; pois se houver menos perdas físicas, o volume de água a bombear é menor, reduzindo assim o consumo energético; e se reduzir a pressão na rede para redução de perdas de água, e a esta redução corresponderem menores alturas manométricas,

também se reduzem simultaneamente os consumos energéticos. Por outro lado, a eficiência na seleção, na manutenção e na operação de equipamentos de elevação também podem ser significativas para redução de despesas de exploração (ALEGRE et al, 2005).

As despesas com produtos químicos em ETAs estão diretamente ligadas ao bom índice de qualidade da água distribuída. Em ETAs que não utilizam produtos químicos excessivamente e ainda operam adequadamente, os índices de desempenho são maiores. Já outros SAAs, apesar do alto consumo de produtos químicos, não conseguem atingir uma qualidade de água distribuída elevada, demonstrando que a baixa qualidade da água bruta captada apresenta grande influência na qualidade da água distribuída, não obstante o maior consumo de produtos químicos (LEITE e ANDREOLI, 2005).

### **3.1.3 Dados comerciais**

Os dados comerciais estão diretamente ligados às perdas por faturamento. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a perda por faturamento é resultado da relação entre os volumes faturados e os disponibilizados para distribuição. Esses valores são obtidos na forma de indicadores percentuais (BRASIL, 2007).

As perdas comerciais ocorrem devido à falta de controle do cadastro comercial dos consumidores, resultando em ligações clandestinas, falta de micromedidores, hidrômetros adulterados etc.

Uma das maneiras de avaliar as perdas comerciais é relacionando o volume de água que entra no sistema com os volumes de água faturada e não faturada, conforme exemplificado no Quadro 1, ou seja, é preciso compatibilizar os dados do balanço hídrico com os dados comerciais, para avaliar o desempenho do SAA.

<b>Entrada de Água no Sistema</b>	<b>Consumo autorizado</b>	<b>Consumo autorizado faturado</b>	Consumo faturado medido (+água exportada)	<b>Água Faturada</b>
			Consumo faturado não medido	
		<b>Consumo autorizado não faturado</b>	Consumo não faturado medido	<b>Água não faturada (perdas comerciais)</b>
			Consumo não faturado não medido	
	<b>Perdas de Água</b>	<b>Perdas aparentes</b>	Uso não autorizado	
			Erros de medição	
		<b>Perdas reais</b>	Fugas na adução e/ou distribuição	
			Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição	
Fugas nos ramais (a montante do ponto de medição)				

Quadro 1 - Componentes do balanço de perdas comerciais

Fonte: Alegre et al. (2004).

Além dos dados já mencionados, podem ser utilizados no controle de perdas comerciais: - o número de ligações (ativas e inativas); - o número de economias (ativas e inativas); - o número de ligações (hidrometradas e não-hidrometradas); - o número de economias (hidrometradas e não-hidrometradas); - a população atendida; - o valor em reais arrecadados; - o valor em reais faturados; - o volume de água hidrometrado e não hidrometrado.

Na Tabela 1 são mostrados os índices de perdas por faturamento médio dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2007, segundo abrangência e região geográfica.

Tabela 1 – Índices de perdas por faturamento médio dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2010.

Regiões	Abrangência - Índice de perdas por		Total
	Regional	Microrregional	
Norte	52,4	-	53,4
Nordeste	45,8	22,1	44,8
Sudeste	36,0	36,4	36,2
Sul	24,8	17,7	26,7
Centro-Oeste	31,8	35,7	33,7
Brasil	37,4	34,2	37,4

Fonte: Programa de Modernização do Setor Saneamento (2010).

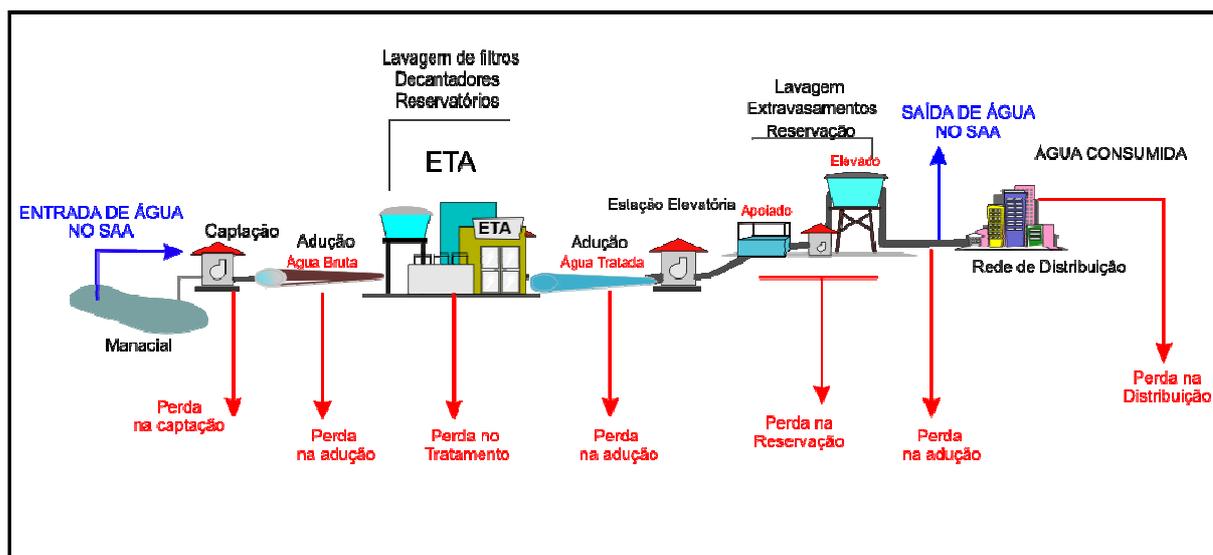
Segundo dados do SNIS, o valor médio das perdas de faturamento para todo o conjunto de prestadores de serviços presentes no SNIS foi de 39,0% (BRASIL, 2005).

### 3.2 PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Nos SAAs, o cumprimento de metas da universalização do atendimento da população com água tratada é o grande desafio para os administradores públicos. Porém, desde a captação até a rede de distribuição e os ramais prediais, ocorrem perdas que, quando em grande escala, são geralmente causadas por operação e manutenção deficiente nas tubulações e pela inadequada gestão nos sistemas (TSUTIYA, 2006).

As perdas de água nos Sistemas de Abastecimento podem ser consideradas reais ou físicas e aparentes ou não-físicas. As perdas reais correspondem ao volume que não chega ao consumidor, proveniente de vazamentos e rompimentos (superficiais ou subterrâneos) em redes e ramais ou, ainda, de vazamentos e extravasamentos em reservatórios, lavagens de filtros e decantadores, falta ou ineficiência na operação/manutenção de equipamentos.

As perdas por vazamentos podem ocorrer na captação, na adução de água bruta, no tratamento, na reservação, na adução de água tratada e na distribuição, conforme representado no Esquema 2. A lavagem de filtros e descargas na rede quando provocam consumos superiores ao estritamente necessário para operação, também são considerados vazamentos (BRASIL, 2006).



Esquema 2 - Perdas em Sistema de Abastecimento de Água

As perdas aparentes consistem nos volumes consumidos, mas não contabilizados, decorrentes de fraudes, falhas de cadastro, ligações clandestinas, ou na imprecisão dos equipamentos dos sistemas de macromedição e micromedição (LAMBERT; WIRNER, 2000).

As perdas em sistemas de abastecimento são comuns em todos os SAAs, sendo uma das principais fontes de ineficiência das entidades gestoras de abastecimento de água (BRASIL, 2004). Para reverter esse quadro é necessária a conscientização do problema, o conhecimento de técnicas e o envolvimento de todos os profissionais da concessionária de saneamento.

O gerenciamento de perdas exige, antes de tudo, o seu conhecimento pleno. Identificar e quantificar corretamente as perdas constitui-se em ferramenta essencial e indispensável para a implementação de ações de combate. Nesse contexto, ações tecnológicas facilitam a identificação e possibilitam medições cada vez mais precisas dos volumes de água perdidos (HELLER; PÁDUA, 2006).

A associação das perdas e a eficiência de companhias de saneamento é total, ou seja, sistemas de abastecimento bem operados e gerenciados possuem baixos índices de perdas. Os custos de produção e transporte de água são inerentes às perdas reais, tais como aqueles relacionados ao consumo de produtos químicos, mão-de-obra, energia elétrica etc. (TSUTIYA, 2006; BRASIL, 2006).

De acordo com o SNIS, para cada metro cúbico de água bombeado é gasto R\$ 0,16 com energia elétrica, o que equivale em média a 15,40% das despesas com exploração de água (BRASIL, 2006).

Cerca de 2 a 3% do consumo de energia elétrica do mundo são usados no bombeamento e tratamento de água para residências urbanas e indústrias. Esse consumo, na maioria dos SAAs poderia ser reduzido em pelo menos 25%, por meio de ações de efficientização com melhor desempenho (INSTITUTE OF INTERNATIONAL EDUCATION, 2007).

Tsutiya (2001) observa que para reduzir o custo de energia elétrica em um sistema de abastecimento de água há necessidade da implementação de algumas ações, como o diagnóstico do SAA existente, com a identificação dos pontos de uso excessivo de energia; e ações administrativas, objetivando a redução de custos.

Para Heller e Pádua (2006), as perdas nas unidades de produção (captação, estação elevatória, adutora de água bruta e ETAs) também enquadram-se no grupo de perdas reais.

Na **Tabela 2** são descritos os valores apresentados por Lambert (2001) referentes ao Índice de Águas Não Faturadas (ANF) em alguns países.

Tabela 2 – Índice de ANF em alguns países

PAÍS	ANF	PAÍS	ANF
Malásia	36,4	Portugal	18 a 58
Itália	30 a 40	Noruega	40
Korea	29,3	Dinamarca	7,6
Finlândia	12 a 25	Tailândia	38,8
França	10 a 30	Hungria	5 a 37
Polônia	10 a 20	EUA	5 a 37

Fonte: Lambert (2001).

O controle de perdas proporciona melhoria no desempenho econômico da empresa, revertendo tal benefício em tarifas mais baixas para os usuários, além da economia em investimentos para ampliação dos sistemas e no desempenho gerencial e operacional, especialmente com energia elétrica.

As perdas reais na captação podem ocorrer devido ao excesso de água utilizada na limpeza geral, incluindo o poço de sucção, sendo geralmente pequena e função das características hidráulicas do projeto e da qualidade da água bruta (BRASIL, 2004).

Já as perdas na adução de água bruta e água tratada ocorrem geralmente devido a vazamentos e rompimentos nas tubulações das adutoras e subadutoras.

Os vazamentos na adução são mais preocupantes, devido ao estado das tubulações e do material utilizado; à idade da tubulação; à pressão, às atividades de manutenção preventiva etc. As perdas na adução de água variam de acordo com o estado das tubulações, às pressões e à eficiência operacional, podendo se agravar em adutoras de grande extensão e/ou deterioradas (WERDINE, 2002).

Para Tsutiya (2006), em cada fase do SAA há condições específicas que podem destacar um ou outro tipo de perda. Na adução, quando são utilizadas adutoras de aço, é provável que as perdas físicas sejam insignificantes em relação às perdas aparentes.

Além dos vazamentos, também podem ocorrer perdas na adução de água devido às descargas excessivas realizadas para facilitar reparos ou limpeza na tubulação.

Para evitar perdas de água na adução é fundamental a realização de manutenção prevenida e a adoção de procedimentos operacionais e treinamento de pessoal para a realização de manobras adequadas (BRASIL, 2004).

Já as perdas ocorridas na estação de tratamento de água estão associadas ao processo de tratamento ou podem decorrer de vazamentos, e geralmente variam entre 2 a 10%, dependendo do estado das instalações e da eficiência operacional (BRASIL, 2004).

As perdas associadas ao processo de tratamento correspondem ao excesso de água utilizada na lavagem dos filtros, floculadores, decantadores e nas descargas de lodo.

As perdas por vazamentos em sistema de tratamento de água podem ocorrer devido a falhas (trincas) na estrutura de equipamentos e tubulações, na impermeabilização e na estanqueidade insuficiente de comportas (WERDINE, 2002).

Devido ao processo de lavagem dos equipamentos, não é possível eliminar totalmente as perdas no tratamento, mas é possível reduzi-la para a diminuição dos desperdícios (BRASIL, 2004).

As perdas nas unidades de reservação podem ter origem em procedimentos operacionais, como a limpeza de reservatórios, ou em operações inadequadas, provocando extravasamentos, ou ainda, em deficiências estruturais da obra, com trincas ou falhas na impermeabilização. No caso de extravasamentos, é possível diminuir ou eliminar a ocorrência com o uso de alarmes ou controle automático de níveis de vazões (BRASIL, 2004).

As perdas em reservatórios podem variar de acordo com o estado das instalações e com a eficiência operacional. Geralmente esse tipo de perda possui pouca importância no contexto geral do sistema.

De acordo com Silva et al. (2003), as perdas na distribuição ocorrem por meio de vazamentos na rede de distribuição e em ramais prediais, além das perdas decorrentes das descargas realizadas para limpeza das tubulações. Geralmente são elevadas, e as ações corretivas são complexas e onerosas.

Não existem, na prática, redes totalmente estanques. É inevitável existirem algumas fugas ou extravasamentos. Porém, uma rede bem construída e mantida apresenta poucas perdas. Volumes de perdas reais elevados, mesmo que o valor econômico da água perdida possa ser insuficiente para justificar intervir, devem merecer das entidades gestoras grande atenção, já que significam que a rede não está em boas condições (ALEGRE et al, 2005).

De acordo com Brasil (2004), entre 70% e 90% ocorrem nos ramais prediais, já as perdas de água são maiores nas tubulações da rede distribuidora.

No Quadro 2 é apresentado o resumo das principais origens de perdas reais por unidade do SAA.

	PARTE DO SISTEMA	ORIGEM DA PERDA	MAGNITUDE
P E R D A S  R E A I S	Captação	Limpeza de poço de sucção Limpeza do desarenador	Variável em função do estado das instalações
	Adução	Vazamento na adução	Variável em função do estado das instalações
	Estação de Tratamento	Vazamentos na estrutura Lavagem de filtros Descarga de lodo	Significativa em função do estado das instalações e da eficiência operacional
	Reservação	Vazamentos na estrutura Extravasamentos Limpeza	Variável em função do estado das instalações e da eficiência operacional
	Adução	Vazamentos na tubulação Descargas	Variável em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
	Distribuição	Vazamentos na rede Vazamentos em ramais Descargas	Significativa em função do estado das tubulações e principalmente das pressões

Quadro 2 - Principais origens de perdas reais.  
Fonte: Brasil (2004).

### 3.3 CONTROLE DE SAAs

Atualmente, a informação é considerada a principal ferramenta para a gestão de empresas, como as concessionárias de sistemas de abastecimento de água, podendo ser considerada como a matéria-prima, para o conhecimento da situação, para a avaliação do desempenho, manter a qualidade dos serviços, monitorar e

controlar os recursos materiais, econômicos e humanos, para que a utilização adequada da informação permita prever e planejar a expansão etc.

Para isso, a informação precisa ser registrada corretamente, sendo o cadastro de SAAs, a base para as ações técnicas, o que é imprescindível para o controle e planejamento do SAA. Contudo, em muitas empresas, o cadastro técnico ainda não apresenta informações confiáveis desse serviço, sendo esse problema freqüente e que, geralmente, também explica falhas no monitoramento das atividades e no controle de processos inerentes ao saneamento, porém, nos novos modelos de gestão, a utilização de banco de dados cadastrais deve acontecer de forma eficiente.

A existência e manutenção do sistema cadastral é fundamental para o diagnóstico do SAA, além de auxiliar nas metas de eficiência e qualidade do sistema.

A relação dos controles operacional e comercial é preocupação crescente das concessionárias de saneamento, no sentido de melhorar o desempenho dos SAAs. Para isso, o cadastro técnico atualizado possibilita o entendimento de todo o sistema, facilitando o planejamento e a tomada de decisão.

Esse controle cadastral pode ser realizado de duas formas: manual ou informatizado. Muitas vezes, no cadastro manual são utilizadas cadernetas para anotações e gerando grande volume de papéis e mapas, dificultando a utilização de informações do sistema.

A utilização de bases cartográficas digitais e de banco de dados informatizado possibilitam o melhor armazenamento e organização dos dados comerciais e operacionais do sistema, agilizando as intervenções do gestor do SAA.

No passado, o controle de SAAs era realizado com bases cadastrais analógicas e que muitas vezes não representavam a realidade. Atualmente, a utilização de bases cartográficas digitais com o auxílio de ferramentas computacionais permitem compartilhar um nível de conhecimento da realidade muito mais avançado que anteriormente, o que facilita o controle e o planejamento de SAAs.

Nos últimos anos, o monitoramento dos dados e informações do sistema vem ocorrendo com a utilização de ferramentas computacionais em algumas empresas.

A existência do cadastro, juntamente com um acompanhamento constante do processo de produção, com registro de volumes, receitas e despesas, é o primeiro passo para a concepção de uma aplicação em geoprocessamento (VENTURIERI, 2004).

### 3.4 PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES

Na gestão de SAAs é imprescindível o uso e a espacialização de informações confiáveis resultantes do cruzamento dos dados operacionais, comerciais e de despesas de exploração. Nesse sentido, a prática de controle, planejamento e tomada de decisão com base nos indicadores de desempenho deve ser bem aceita, e mesmo corriqueira, em empresas de saneamento.

Os indicadores traduzem de modo sintético os aspectos mais relevantes do desempenho operacional e econômico-financeiro de uma concessionária de saneamento, simplificando sua análise. Também avaliam ao longo do tempo a evolução do desempenho da empresa e possibilitam a comparação com outras organizações do setor (PENA; ABICALIL, 1999).

Segundo Alegre (2009), os indicadores de desempenho são medidas da eficiência e da eficácia das entidades gestoras. A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço, e a eficácia mede até que ponto os objetivos de gestão, definidos específica e realisticamente, foram cumpridos.

De acordo com Santos (2009), a finalidade dos indicadores é fornecer informações que permitam auxiliar os gerenciadores e administradores na elaboração do planejamento e tomada de decisão.

A principal característica dos indicadores é a sua capacidade de quantificar e simplificar a informação. Um bom indicador é aquele que tem a capacidade de medir, avaliar e expressar, com fidelidade, os fenômenos ao qual se refere, entretanto sua relevância consiste na sua confiabilidade, tempo de resposta ao estímulo, integridade, estabilidade, solidez, relação com as prioridades do planejamento, utilidade para o usuário, eficiência e eficácia (SANTOS, 2004 apud SANTOS, 2009).

O uso de indicadores de desempenho em SAAs, aliado com o geoprocessamento dos dados, possibilita eficiência e rapidez na gestão do sistema, especialmente quando é possível visualizar os dados técnicos de forma espacial.

O Sistema Nacional de Informações sobre saneamento (SNIS), que é o maior banco de dados do setor saneamento brasileiro, administrado desde a sua criação no âmbito do Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS), apresenta dados da prestação dos serviços sob os aspectos institucional, administrativo, econômico-financeiro, técnico-operacional e da qualidade. No SNIS são coletadas informações primárias dos SAAs de prestadores de serviços de saneamento do Brasil, e com base nesses dados, o próprio Sistema calcula os indicadores de desempenho dos SAAs (PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR SANEAMENTO, 2009).

O desenvolvimento da tecnologia da informação disponibilizou novos recursos para processamento de informações cartográficas e dados tabulares (técnicos), com custo acessível para a grande parte dos municípios, tornando-se mais fácil dispor de informações físico-territoriais, inclusive aquelas componentes do cadastro técnico municipal.

Com o uso de geoprocessamento, os gestores passam a dispor de rapidez e confiabilidade nos dados e informações da área em estudo, reduzindo o tempo e melhorando a qualidade da tomada de decisões.

Camargo (1997) define geoprocessamento como o processamento informatizado de dados georreferenciados, utilizando programas que permitem a interação entre informações espaciais (mapas) e dados que são associados às suas respectivas localizações geográficas, ou seja, falar em geoprocessamento, é se referir a

informações temáticas “amarradas” à superfície terrestre, através de um sistema de coordenadas, que pode ser Geográfica e/ou o *Universal Transverse Mercator* (UTM).

Georreferenciar um dado, seja ele mapa ou imagem, significa tomar conhecimento dos pontos de suas coordenadas geográficas em um dado sistema de referência. A obtenção desses dados pode ser feita em campo a partir de levantamento topográfico e *Global Positioning System* (GPS), ou ainda por meio de *softwares* digitalizadores e imagens ou mapas (em papel ou digitalizados) já referenciados (SANTOS, 2008a).

Entre as principais tecnologias de geoprocessamento destaca-se o *Computer Aided Design and Drafting* (CAD) e o Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Embora o geoprocessamento seja uma técnica de gestão desejável a todos os SAAs, sua implantação requer preparação. A eficiência dessa implantação está diretamente ligada ao planejamento, pessoal técnico qualificado, escolha da tecnologia adequada ao SAA em questão, uso de bases cartográficas que representem a realidade e de dados técnicos precisos.

### **3.4.1 Aplicações de SIG em SAA**

O SIG pode ser aplicado no planejamento e cadastro urbano, com a finalidade de armazenar e relacionar as informações cartográficas e descritivas do espaço urbano, como infraestrutura, características da população e limites do SAAs. O uso desse sistema permite a manutenção preventiva do SAA, evitando ou reduzindo gastos com manutenção e compra de equipamentos e diminuindo as perdas de água.

Segundo Santos (2008), a falta de controle operacional nos SAAs dificulta o conhecimento do volume perdido e o controle do sistema, fazendo-se necessária a implantação de um sistema para gerenciamento do SAA, no qual seja possível a espacialização e a visualização dos dados tabulares e cartográficos. Nesse sentido, o

SIG surge como uma poderosa ferramenta de gestão, podendo ser usada para diversos outros fins no SAA, auxiliando na redução de perdas e no monitoramento do sistema.

De acordo com Junqueira, Lautenschlager e Paredes (2009), a aplicação de SIG no apoio à gestão de companhias de saneamento introduz a facilidade de obtenção de informações de clientes, apóia projetos e planejamento, aperfeiçoa a operação e manutenção do sistema hidráulico, indica pontos críticos, gerencia a infraestrutura utilizada e a estrutura administrativa.

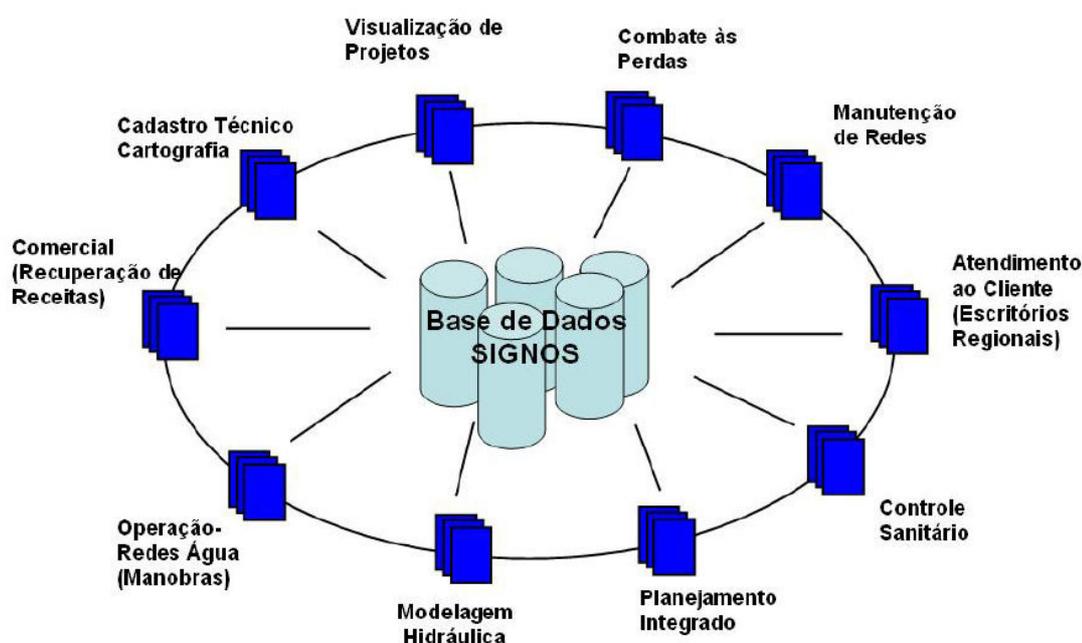
Em um SAA existem diferentes tipos de dados e informações específicas necessárias para uma boa gestão. Assim, todos os setores da empresa devem ter suas informações armazenadas e interligadas no SIG, como, o setor comercial (com o sistema de informação de clientes), setor de projetos e planejamento, setor operacional (com o registro de operações, manutenções e do estado da rede de distribuição e equipamentos), gerência de infraestrutura, gerência de fugas e gerência administrativa.

Santos (2008) observa que, para o controle de perdas em rede de distribuição de água utilizando SIG, é fundamental a organização das informações, tanto as referentes à cartografia da área que se deseja monitorar, quanto os dados necessários para a realização de tal monitoramento, isto é, informações cartográficas e dados e informações técnicas.

Segundo Dorca, Luvizotto Jr. e Andrade (2009), as possibilidades de armazenamento e gestão da informação em SIG são praticamente ilimitadas, já que o gestor pode visualizar todos os elementos da rede de distribuição e de suas características, gerar estatísticas, realizar o gerenciamento de consumidores e dos equipamentos, visualizar o estado de funcionamento do sistema etc.

A Companhia de Saneamento do estado de São Paulo (SABESP) desenvolveu o Sistema de Informações Geográficas no Saneamento (SIGNOS), que foi implantado em dezembro de 2005, e desde então vêm se consolidando como uma imprescindível ferramenta para gestão de vários processos nessa empresa, abrangendo todos os níveis de negócio, inclusive o controle de perdas. O SIGNOS tem a característica de agrupar, em uma mesma base de dados, informações de

aspectos diferentes do negócio, como cadastro de redes e ligações, setorização, integração com sistemas comercial e de serviços, dados de manobras etc., conforme representado no Esquema 3 (RIDOLPHO et al., 2009).



Esquema 3 - Integração do SIG com todos os níveis de negócio da empresa de saneamento  
Fonte: Ridolpho et al. (2009).

Abrahão, Franco e Ishmitzu (2009) comentam a utilização do SIGNOS na otimização dos processos de manobra das válvulas da rede de distribuição de água da SABESP. Com a ferramenta específica desse sistema chamada *trace*, consultas por trilho e à integração com o sistema comercial, esses autores determinam manobras topologicamente otimizadas, de modo que elas possam ser executadas com o menor impacto possível em termos de abastecimento, minimizando o número de clientes afetados pela falta de água e o volume de água não entregue aos mesmos, listando, inclusive os clientes a serem afetados. Além disso, os autores puderam medir a diferença de desempenho entre as manobras otimizadas e aquelas criadas de forma empírica.

Esse estudo foi denominado de Projeto GIS na SABESP, ao lado do Projeto de Direcionamento Estratégico de Informatização (PDEI), e constituem iniciativas de porte e que trazem profundo e decisivo impacto na eficiência operacional da

empresa, seja na redução de custos e aumento de receitas, como na melhoria do atendimento aos consumidores.

Junqueira, Lautenschlager e Paredes (2009) abordam o cruzamento de dados do SAA da região do Jardim Higienópolis, em Maringá-PR, por meio de aplicações com o *software* Arcview 3.1. Nesse trabalho foram utilizados dados dos setores de manobras, contendo informações de quantidade de vazamentos, análises de cloro residual, variação de população, consumo de água, economias residenciais, industriais e comerciais. Esses dados foram cruzados com suas respectivas áreas de influência, e por meio de análise em ambiente SIG, foi possível obter informações que indicassem a necessidade de manutenção nas válvulas redutoras de pressão (VRP) das áreas mais afetadas, bem como direcionar as equipes de geofonamento, que é a utilização de aparelho geofone para detecção de vazamentos não visíveis.

Outro exemplo de utilização de SIG em SAA foi realizado por Santos (2008), que aplicou SIG no SAA na recuperação de vazamentos do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém (RMB). A autora registrou as informações de vazamentos ocorridos no período de um ano, o que permitiu a elaboração do relatório das ocorrências de vazamentos na área em estudo e a construção de indicadores, com a visualização dos pontos de vazamentos e suas características.

Mühlhofer e Silva (2009) utilizaram geoprocessamento na manutenção preventiva em redes de água e esgoto, proporcionando facilidade no impedimento de transtornos aos usuários do sistema, melhorando a prestação de serviços, tornando o processo de manutenção mais ágil e reduzindo o índice de perdas no sistema. Os autores ressaltam a importância da manutenção preventiva, uma vez que dados pré-existentes sobre execução de serviços de manutenção corretiva em redes de distribuição de água e em redes coletoras de esgoto sanitário estão disponíveis para subsidiar processos de gestão de manutenção preventiva nessas redes.

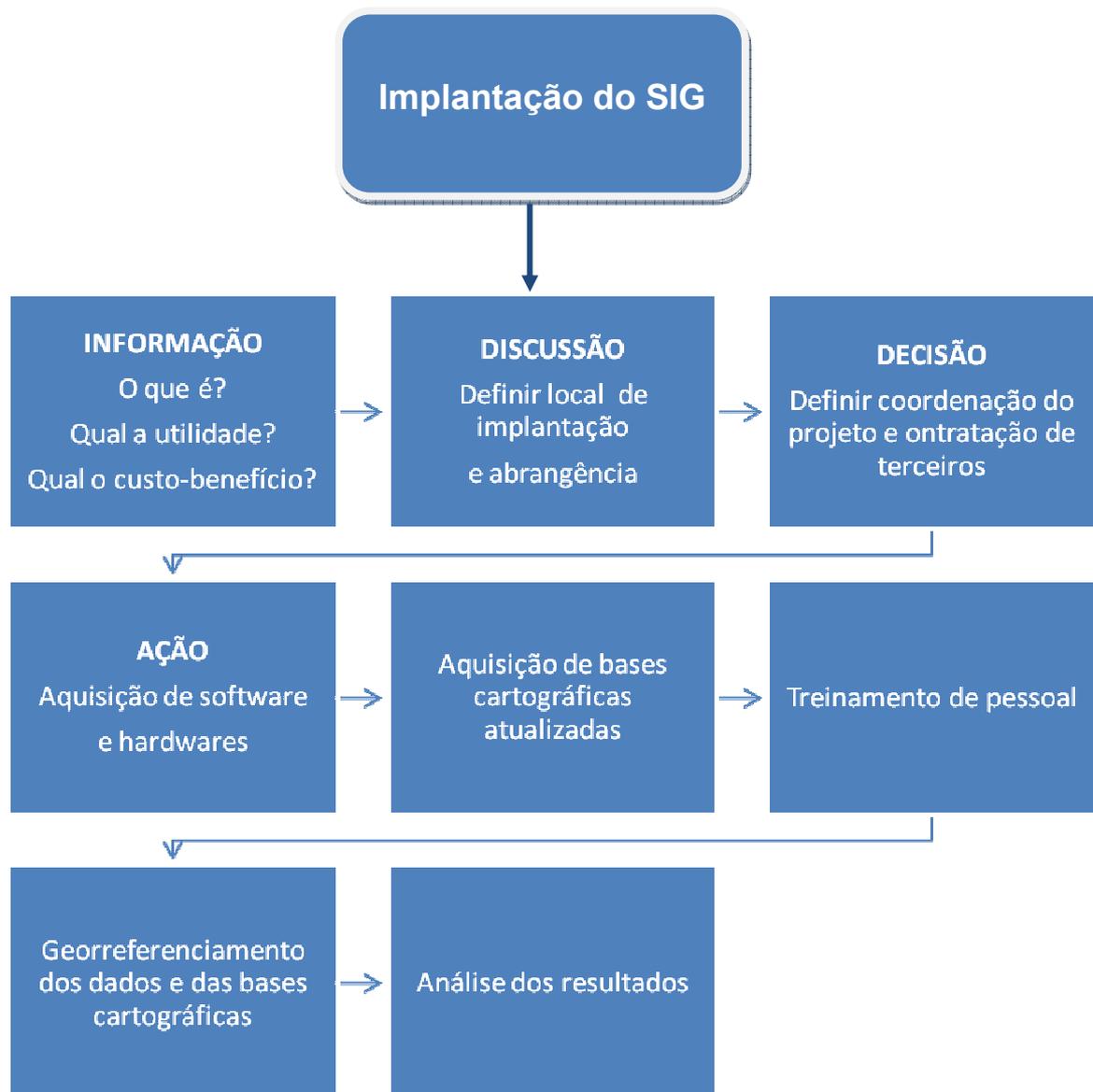
Nesse trabalho, os autores recomendam o uso de geoprocessamento para auxiliar no controle e gerenciamento de rede de distribuição de água e rede de coleta de esgoto, proporcionando resultados positivos aliados ao bom desempenho do sistema, impactando na redução do custo do trabalho preventivo bem como redução

de custos de manutenção corretiva. O estudo foi realizado nas cidades do Gama e do Recanto das Emas no Distrito Federal, nas quais a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) atua na distribuição de água e coleta de esgoto sanitário.

A informatização dos cadastros das concessionárias de saneamento utilizando SIG proporciona a realização de ações preventivas e solução de problemas na gestão de SAA.

Embora o SIG seja uma ferramenta útil aos gestores de sistemas de saneamento, sua implantação efetiva requer cuidadoso planejamento, para evitar prejuízos e deficiência nos benefícios. Alguns requisitos são necessários para a implantação satisfatória do SIG, por exemplo, pessoal técnico qualificado, recursos financeiros para a aquisição de plantas, mapas e imagens. Além da contratação de consultores especializados para suporte e manutenção do sistema, treinamentos de funcionários etc.

Assim, o passo inicial para uso do SIG é o conhecimento da informação, ou seja, saber o que é SIG, qual sua utilidade, qual resultado deseja obter, e quais os custos que a empresa está disposta a ter. Após a etapa da informação, é necessário que haja a definição do local e abrangência do sistema; feito isso, é essencial que seja definida a coordenação do projeto de SIG e a contratação de terceiros, para auxiliar na implantação do projeto. Após essas definições, inicia-se a etapa de Ação do projeto, que envolve a aquisição de softwares, hardwares e de bases cartográficas atualizadas, o treinamento de pessoal, a definição dos dados do sistema de saneamento que se deseja relacionar de forma espacial, o que depende do interesse e objetivos do usuário, e por fim, o georreferenciamento dos dados técnicos e das bases cartográficas da área, para então proceder a análise dos resultados. No Fluxograma 1 é mostrado o passo a passo para implantação de SIG.



Fluxograma 1 - Metodologia para implantação de SIG

### 3.4.2 Diferença entre SIG e CAD

Os termos SIG e CAD são comumente utilizados para descrever dados espaciais. Porém, são muito confundidos. Assim, é necessário esclarecer a diferença entre essas duas ferramentas.

Segundo Ferreira (2005), o CAD é uma ferramenta do geoprocessamento que captura, modifica ou cria desenhos informatizados e georreferenciados, é capaz de associar atributos aos elementos, mas é incapaz de realizar operações espaciais, organizar e manipular as relações topológicas e realizar cruzamentos de dados com base na localização geográfica, como os SIGs.

Essa ferramenta é geralmente aplicada em plantas baixas, na confecção de mapas e em projetos de engenharia etc., por exemplo, projeto de rede coletora de esgoto sanitário, conforme exemplificado na Figura 1.

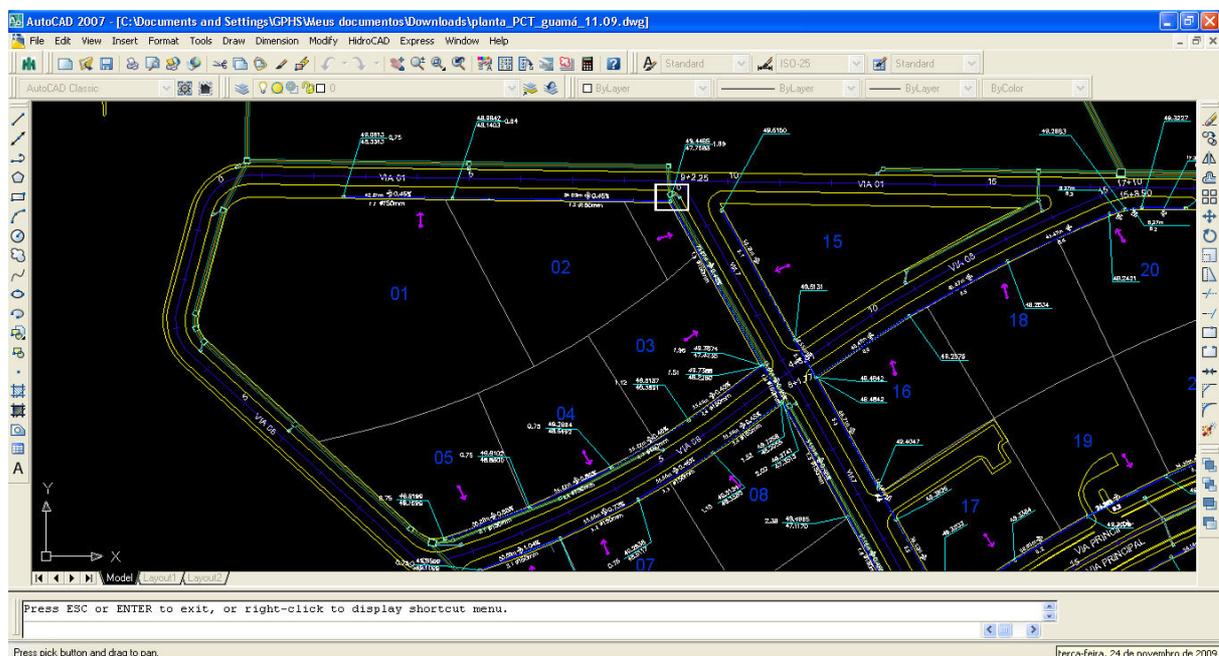


Figura 1- Exemplo de projeto de rede coletora de esgoto sanitário em CAD

Fonte: Universidade Federal do Pará (2009).

Para Korte (1994), CAD é uma tecnologia ou mapeamento assistido por computador, para a produção de mapas como substituição ao processo cartográfico

tradicional. Os dados são organizados em camadas (*layers*), empregados para organizar as feições do mapa por temas. Pode reduzir bastante o tempo de produção de mapas e possibilitar economias de recursos financeiros quando comparado aos processos cartográficos tradicionais. Entretanto, não é um sistema muito adequado para realizar análises; as relações espaciais não são definidas na estrutura de dados, requerendo processamentos especiais para a inspeção de tais relações, o que torna demorada a resposta a perguntas complexas.

Por sua vez, o SIG é uma das tecnologias do geoprocessamento capazes de capturar, armazenar, consultar, manipular, analisar, exibir e imprimir dados referenciados espacialmente sobre/sob a superfície da Terra (SANTOS, 2008).

Uma das vantagens dos SIGs é a de manipular dados gráficos e não-gráficos de forma integrada, provendo uma forma consistente para análise e consulta envolvendo dados geográficos.

O SIG utiliza estrutura de dados diferenciada, empregando nós, linhas e polígonos. Por permitir acesso a ambos os dados (espaciais e atributos), ao mesmo tempo, o SIG possibilita buscar o dado atributo e relacioná-lo com o dado espacial e vice-versa.

Os SIGs são uma forma eficaz de interligar esses dados a uma base espacial. Tais sistemas permitem, não somente relacionar dados de caráter geográfico (espacial) a dados alfanuméricos, como também atualizar estes dados de maneira simples por meio de interface gráfica amigável (FERREIRA, 2005).

Dentre as diversas atividades relacionadas ao geoprocessamento e SIG está a localização de uma entidade e listagem de seus atributos, a atualização dos dados; o cálculo de área, o cálculo de perímetro, o cálculo de distâncias; a localização geográfica, as operações aritméticas entre planos (soma, subtração, divisão, multiplicação etc.), classificação dos dados; cruzamento entre planos, filtragens espaciais etc. que juntos possibilitam a melhor tomada de decisão.

Para DeMers (2003), o SIG está mudando a maneira como os mapas são tratados, como as informações geográficas são pensadas e até mesmo a maneira como os dados geográficos são coletados e compilados, tornando comuns tarefas que eram impossíveis com mapas tradicionais.

Korte (1994) define SIG como o mais recomendado para a análise de dados geográficos; difere do CAD por definir as relações espaciais entre todos os elementos dos dados.

O SIG pode ser aplicado no planejamento urbano, análise de dados ambientais, na gestão de sistemas de saneamento etc., conforme exemplificado na Figura 2.

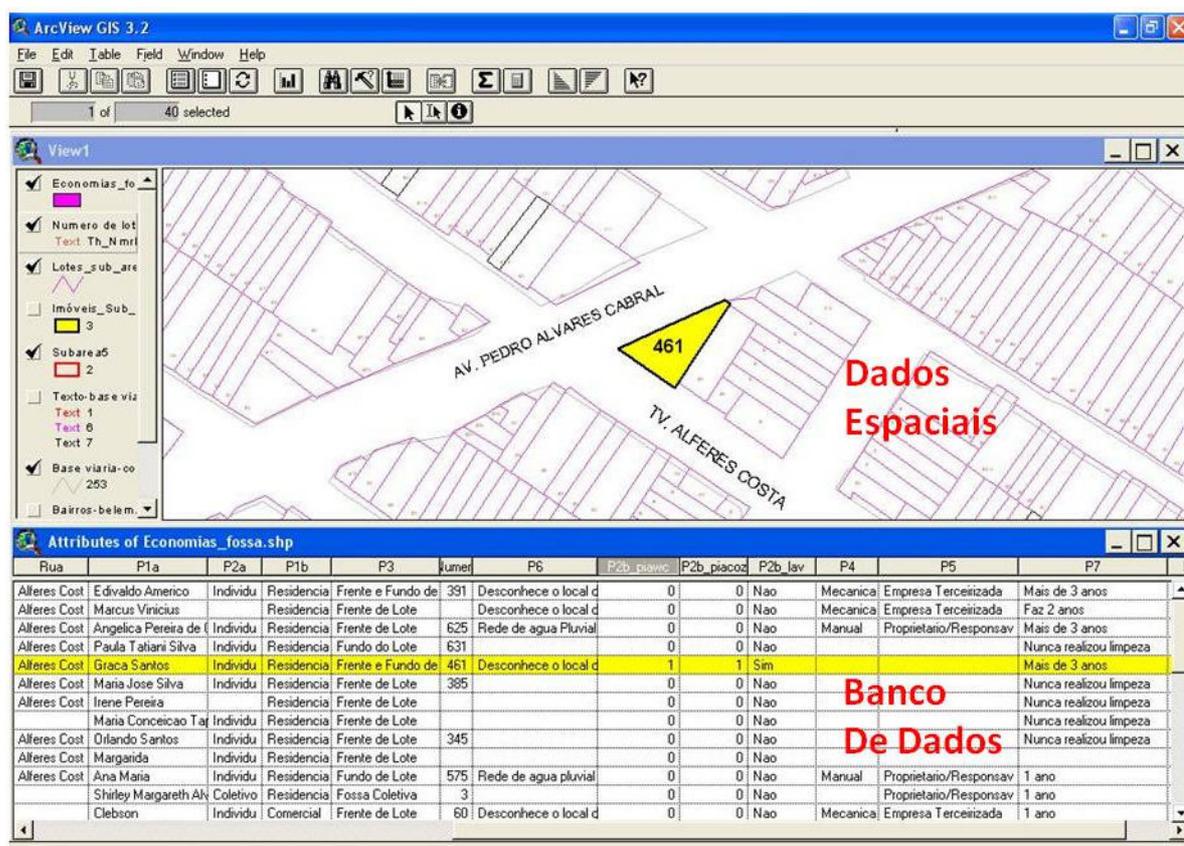


Figura 2- Exemplo de SIG na gestão de fossas sépticas  
Fonte: Pereira et al. (2009).

### 3.4.3 Softwares de SIG mais comuns

Existem diversos tipos de *softwares* de SIG, alguns pagos como o Arcgis 9.x e o Arcview 3.x, e outros gratuitos como Spring.

O ArcGis Desktop é o *software* pago mais comum, onde são comercializados os sistemas ArcInfo, ArcEditor e ArcView, que compartilham um

mesmo núcleo e um número de funções que varia da versão mais completa (ArcInfo) até a mais simples, cada um deles é composto por três aplicativos diferentes: o ArcMap, ArcCatalog e ArcToolbox (COSTA, 2008), abaixo mencionados:

- a) o ArcMap é semelhante ao Arcview 3.x e é usado para toda a forma de mapeamento e edição, bem como na análise baseada em mapas;
- b) o ArcCatalog é semelhante a um Windows Explorer para dados espaciais e é aplicado para administrar as propriedades de dados espaciais avançados e projetar banco de dados, registros e visualização;
- c) o ArcToolbox é um conjunto de ferramentas usado para conversão de dados e geoprocessamento.

Outro *software* pago é o MapInfo, da MapInfo Corporation, uma empresa especialista em visualização de dados e análises gráficas através do *desktop mapping*, que tem a finalidade de utilizar a geografia para ajudar a correlacionar, visualizar e analisar dados. Assim como qualquer outro software de SIG, no MapInfo, qualquer objeto como pontos, linhas, polilinhas e regiões podem ter dados associados. Os dados anexados tornam possível a análise temática da variação ou coloração de mapas que podem fornecer comparações geográficas, além de adicionar gráficos do tipo pizza ou gráficos de barras aos mapas, e controlar o uso de símbolos, padrões de preenchimento, tipos de linhas e cores para melhorar as comparações geográficas (CARTOGRAFIA, 2009).

A suíte de produtos GeoMedia também é outro conjunto de aplicações integradas, que possui a capacidade de processamento geoespacial, para armazenamento, tratamento e análise de dados espaciais e de atributos. Nesse *software* também é possível compartilhar dados com outros aplicativos de banco de dados, como o Excel e o Access, e produzir mapas para melhor análise temática (INTERGRAPH, 2009).

Dentre os *softwares* gratuitos, o Spring é o mais utilizado, esse *software* foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em parceria com

outras instituições<sup>1</sup>, com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno (MNT) e consulta a bancos de dados espaciais. Um dos objetivos desse sistema é o de fornecer um ambiente unificado de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para aplicações urbanas e ambientais, tornando-se amplamente acessível para a comunidade brasileira (INFO ESCOLA, 2009).

#### **3.4.4 Armazenamento e organização de dados em SIG**

Nos *softwares* de SIG é possível armazenar grandes quantidades de dados e torná-los disponíveis para operações de consulta e análise. Os SIGs fornecem importantes ferramentas que podem ser utilizadas na abordagem de assuntos geográficos e ambientais. Essas ferramentas nos permitem organizar dados sobre um determinado espaço, como um conjunto temas (camadas), cada um deles exibindo uma informação a respeito de uma característica da região (ROSA, 2004).

No Desenho 1, um conjunto de temas contribui no auxílio ao planejamento de transporte urbano. Cada um dos mapas temáticos apresentados nessa ilustração é referenciado, individualmente, como camada, cobertura ou nível.

---

<sup>1</sup> As instituições que fizeram parceria com o INPE para o desenvolvimento do Spring são a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, a IBM Brasil, a Tecnologia em Computação Gráfica LTDA., e a Petróleo do Brasil S/A (PETROBRÁS)/ Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES).



Desenho 1 - Conjunto de camadas de informações sobre uma determinada região  
 Fonte: Foote e Lynch (2009).

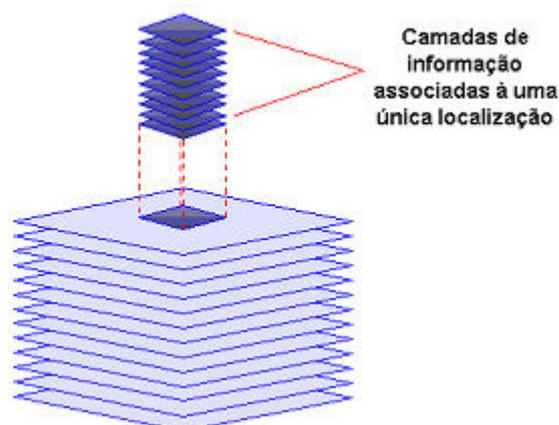
Cada camada foi cuidadosamente sobreposta de forma que toda localização é precisamente ajustada às localizações correspondentes em todos os outros mapas.

A camada inferior do desenho é a mais importante, porque representa um reticulado com um sistema de referência (como latitude e longitude) aos quais todos os mapas foram precisamente referenciados.

Uma vez que estes mapas foram cuidadosamente referenciados dentro de um mesmo sistema de coordenadas, as informações exibidas nas diferentes camadas podem ser comparadas e analisadas em combinação, podendo, por exemplo, ser analisadas conjuntamente:

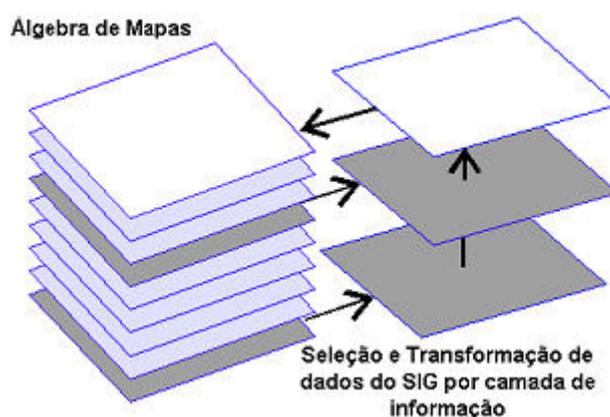
- a) as rotas de trânsito e a localização de centros comerciais,
- b) a densidade de população e os centros de trabalho, dentre outras.

Paralelo a isso, localizações ou áreas podem ser separadas de localizações ou áreas vizinhas, como representado no Desenho 2.



Desenho 2 – Camadas de informação associadas a uma única localização.  
Fonte: Foote e Lynch (2009).

Em alguns casos, o pesquisador pode considerar relações entre camadas específicas. Além disso, as informações relativas a duas ou mais camadas podem ser combinadas, gerando uma nova camada a ser utilizada em análises subseqüentes. Este processo de combinar e transformar dados de camadas diferentes, representado no Desenho 3, é chamado de álgebra de mapas, pois envolve soma e subtração de informação.



Desenho 3 – Álgebra de mapas  
Fonte: Foote e Lynch (2009).

A habilidade em separar informação em camadas, e então combiná-las com outras camadas de informação é a razão pela qual o SIG oferece tão grande potencial como ferramenta de pesquisa e apoio à tomada de decisão.

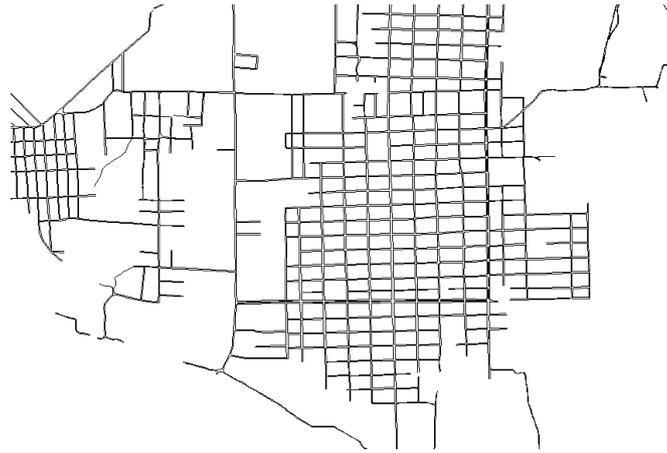
### 3.4.5 Modelo de representação de dados em SIG

Em um SIG é possível processar dados do tipo linhas, polígonos e pontos, além de arquivos do tipo imagens. A representação geométrica do tipo linha, polígono e ponto é chamada de representação vetorial; e a do tipo imagem são chamadas representação matricial (*Raster*).

#### 3.4.5.1 Representação Vetorial

Os sistemas vetoriais são apropriados para a modelagem de sistemas, controle terrestre, análises de redes. Para Antenucci et al. (1991) e Vonderohe et al. (1993), no sistema vetorial a posição dos dados é representada por coordenadas do tipo  $(x,y)$ , sendo codificadas a localização e a extensão das feições espaciais, bem como as relações de incidência e conectividade ao longo das feições. Um modelo topológico de dados vetoriais enquadra-se bem nas análises de conectividade e de adjacência espacial; estes dados vetoriais definem polígonos, objetos e outras entidades complexas, que podem ser manipuladas ou mostradas graficamente tomando por base os seus atributos. As redes de transporte geralmente são representadas por modelos vetoriais.

O Desenho 4 mostra um exemplo de representação vetorial.

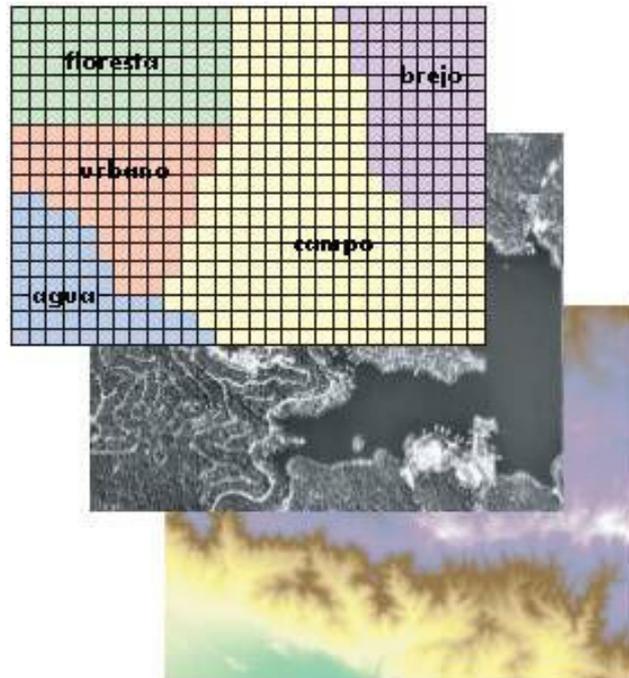


Desenho 4 - Exemplo de representação vetorial

### 3.4.5.2 Representação Matricial

Os sistemas matriciais são utilizados no processamento de imagens de satélite, tendo múltiplas aplicações nos setores florestal, marítimo, ambiental e militar, dentre outros.

De acordo com Pontífice Universidade Católica (2007), esse sistema divide o espaço em elementos discretos, consistindo de uma matriz de células homogêneas (geralmente quadradas), obtidas a partir de uma malha com linhas horizontais e verticais espaçadas regularmente, conforme exemplificado no Desenho 5.

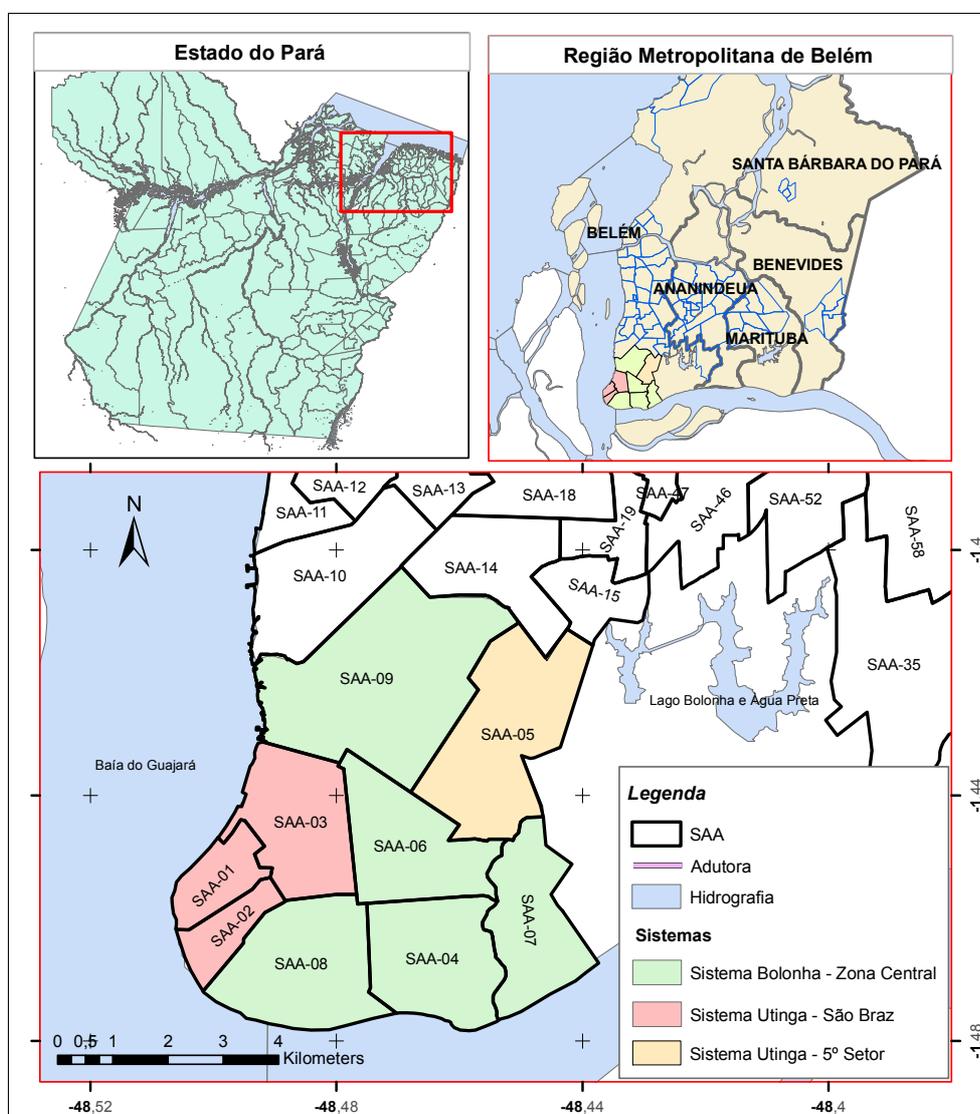


Desenho 5 – Exemplo de representação matricial  
 Fonte: Universidade Federal Fluminense (2009).

A área de cada célula define a resolução espacial, onde quanto maior o tamanho da célula, menor a precisão da informação, e, quanto menor a célula, maior a base de dados resultante, pois a suposição é que em algum lugar dentro dessa célula de grade será encontrado o objeto ponto (TIBÚRCIO, 2006). Uma célula individual em uma imagem matricial é denominada de “*pixel- picture element*”. O *pixel* pode ser definido como um elemento gráfico bidimensional que apresenta o menor elemento indivisível de uma imagem, ou seja, cada *pixel* representa uma área no terreno, definindo a resolução espacial.

## 4 METODOLOGIA

Para facilitar o entendimento da aplicação prática dessa ferramenta, foi escolhida como área de estudo a zona central de abastecimento de água administrada pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) no município de Belém. Localizada no estado do Pará, na Região Metropolitana de Belém (RMB), a zona Central está situada entre as coordenadas  $1^{\circ} 45'$  de latitude leste e  $- 48^{\circ} 47'$  de longitude oeste de Greenwich, conforme mostrado no Mapa 1.

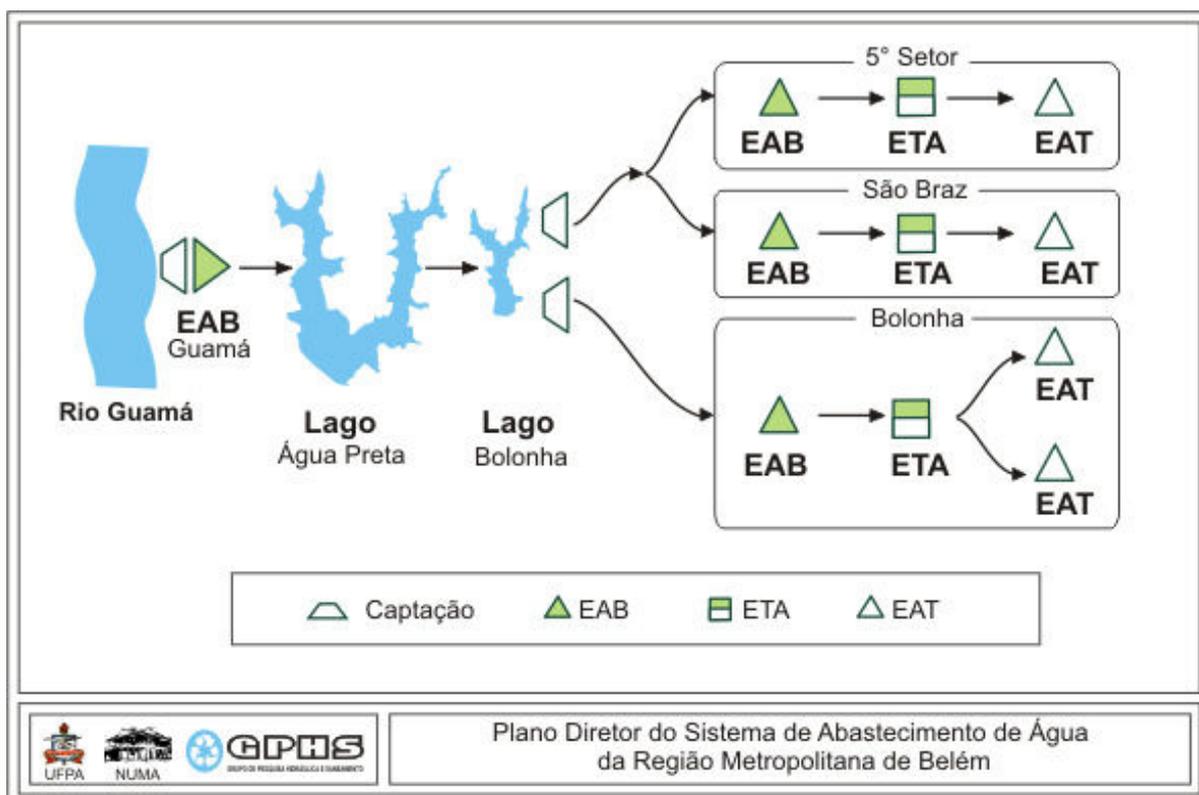


Mapa 1 - Localização da área de estudo

Diariamente, cerca de 475.200 m<sup>3</sup>/d da água armazenada do lago Bolonha são recalçados pelas estações elevatórias de água bruta do Bolonha e do Utinga para três Estações de Tratamento de Água e, então, encaminhados para setores de abastecimento de água do município de Belém. Os sistemas que abastecem a zona central de abastecimento são:

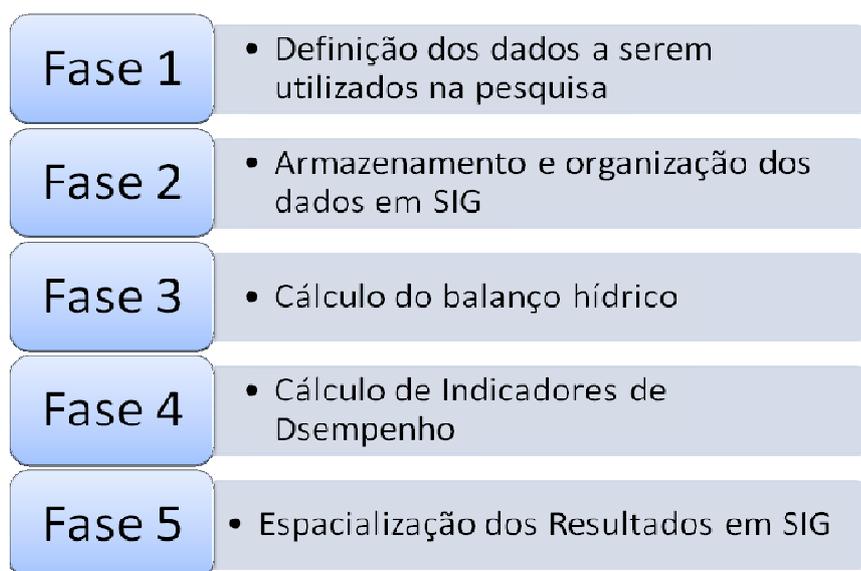
- a) sistema Utinga - São Braz - Recebe a água bruta aduzida do lago Bolonha, bombeada na unidade de elevação denominada Utinga. Após submetida a tratamento na ETA-São Braz, é encaminhada aos 1o, 2o e 3o Setores de Abastecimento (SA) da Zona Central de Belém
- b) sistema Utinga - 5º Setor - Recebe e trata a água bruta aduzida do lago Bolonha/Utinga. Após tratá-la na ETA do Marco, é distribuída na área do 5º Setor (Bairro do Marco) de Abastecimento da Zona Central de Belém.
- c) sistema Bolonha - Zona Central - Recebe e trata a água bruta aduzida do lago Bolonha, que, após tratamento (na mesma área, ETA-Bolonha), é encaminhada para cinco Setores (4º, 6º, 7º, 8º e 9º) de abastecimento da Zona Central de Belém e também para nove Setores dos municípios de Belém e Ananindeua

No Esquema 4 são apresentados os elementos componentes dos referidos sistemas pertencentes à zona central do município de Belém.



Esquema 4 – Sistema de tratamento e elevação de água na RMB

A pesquisa é baseada na organização sistemática de informações de SAA para espacialização em SIG. Para isso, foram realizadas cinco fases, conforme relacionado no Esquema 5.

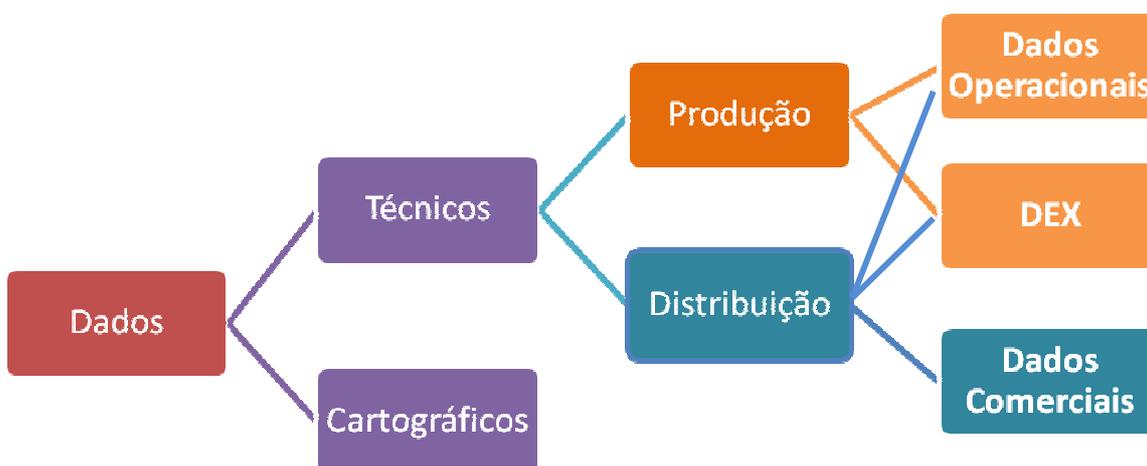


Esquema 5 – Fases da Pesquisa

#### 4.1 FASE 1 - DEFINIÇÃO DOS DADOS A SEREM UTILIZADOS NA PESQUISA

A pesquisa de dados foi dividida em dois grupos: Dados técnicos e cartográficos. No grupo de dados técnicos do SAA são inseridos os dados de produção e distribuição do SAA para a análise e comparação de desempenho dos mesmos.

No grupo Produção são inseridos os dados operacionais e DEX do SAA. Os dados comerciais integram o grupo Distribuição. As despesas de exploração também são relacionadas aos dois grupos, conforme representado no Esquema 6.



Esquema 6 - Dados do sistema de abastecimento de água utilizados na pesquisa

Os dados técnicos de Sistema de Abastecimento de Água foram divididos em dados operacionais, comerciais e despesas de exploração. Foram estudadas 36 variáveis, sendo oito variáveis operacionais, 18 variáveis comerciais e dez variáveis de despesas de exploração.

Devido à dificuldade na obtenção dos dados na companhia de saneamento, os dados técnicos dos SAAs pertencentes à zona central de abastecimento foram adotados. Vale ressaltar, que o objetivo da pesquisa não é avaliar o desempenho dos SAAs administrados pela COSANPA, e sim propor o desenvolvimento de SIG para auxiliar no armazenamento e monitoramento de dados para controle de perdas de água e análise de desempenho de SAAs.

Para facilitar a organização dos dados e a inserção dos mesmos no software escolhido, foram definidas siglas para representar as variáveis operacionais, comerciais e DEX adotadas na pesquisa.

- **Dados operacionais**

Como dados operacionais são considerados os volumes captados, aduzidos, tratados, de serviço, reservados, distribuídos e consumidos.

Os dados operacionais englobam os volumes macromedidos nas unidades do SAA, conforme mostrado no Quadro 3.

<b>Grupo</b>	<b>Sigla</b>	<b>Variável</b>
<b>Produção</b>	VOp1	Volume de água bruta
	VOp2	Volume macromedido na entrada da ETA
	VOp3	Volume tratado ou macromedido na saída da ETA ou Volume produzido
	VOp4	Volume de serviço
	VOp5	Volume macromedido na entrada do RAP
<b>Distribuição</b>	VOp6	Volume macromedido na saída do REL /Vol. disponibilizado para distribuição
	VOp7	Volume consumido
	VOp8	Extensão da rede de distribuição (km)

Quadro 3 - Siglas definidas para as variáveis operacionais

- **Dados comerciais**

Os dados comerciais do SAA se enquadram no subgrupo Distribuição. A relação das variáveis comerciais adotadas e suas respectivas siglas são apresentadas no Quadro 4.

Grupo	Sigla	Variável
<b>Distribuição</b>	VC1	População total 2010 (hab)
	VC2	População Atendida (hab)
	VC3	População hidrometrada (hab)
	VC4	População não hidrometrada (hab)
	VC5	Quantidade de economias ativas
	VC6	Quantidade de economias inativas
	VC7	Quantidade de economias Residências ativas
	VC8	Total de economias
	VC9	Quantidade de ligações ativas de água
	VC10	Quantidade de ligações inativas de água
	VC11	Quantidade de ligações totais
	VC12	Volume de água consumido (m <sup>3</sup> )
	VC13	Volume de água faturado (m <sup>3</sup> )
	VC14	Volume de água arrecadado (m <sup>3</sup> )
	VC15	Valor faturado (R\$)
	VC16	Valor arrecadado (R\$)
	VC17	Volume de água hidrometrado (m <sup>3</sup> )
	VC18	Volume de água não hidrometrado (m <sup>3</sup> )

Quadro 4 - Dados comerciais para análise de desempenho de SAAs

- **Despesas de exploração**

Além desses, foram também definidos dados das despesas de exploração de SAAs. No Quadro 5 são apresentadas as siglas e as variáveis utilizadas no estudo.

<b>Sigla</b>	<b>Variável</b>
DEX1	DEX total (R\$)
DEX2	Consumo de energia (kwh/mês)
DEX3	Consumo de energia em elevatória (kwh/mês)
DEX4	Tarifa de consumo (R\$/kWh)
DEX5	Tarifa de demanda (R\$/kWh)
DEX6	Valor das despesas com energia elétrica (R\$/kWh)
DEX7	Despesas devido ao fator de potencia (R\$/kWh)
DEX8	Valor das despesas com Produto químico
DEX9	Valor das despesas com Pessoal
DEX10	Valor das despesas com Outros

Quadro 5 - Despesas de exploração para análise de desempenho de SAAs

Para a aplicação de SIG em SAAs foram utilizadas informações cartográficas da área em estudo, como:

- a) limite de área abastecida por SAA;
- b) limite dos setores de abastecimento;
- c) base cartográfica com vias e nomenclatura;
- d) localização cartográfica das unidades dos SAAs integrados;
- e) limite de bairros;
- f) hidrografia.

## 4.2 FASE 2 – ARMAZENAMENTO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS EM SIG

Nessa fase foi definido o modelo de dados para representação em SIG, ou seja, a forma que os dados serão representados e espacializados, os *shapes* ou temas a serem criados, e a forma que os bancos de dados serão organizados.

Para isso, foram considerados os limites cartográficos reais dos SAAs da área de estudo, porém, devido à dificuldade no acesso aos dados dos SAAs da área de estudo e/ou inexistência dos mesmos, e considerando também que o objetivo da pesquisa não é avaliar o desempenho dos SAAs gerenciados pela COSANPA e sim propor um modelo para gerenciamento dos dados e análise de desempenho dos SAAs, os dados técnicos utilizados na pesquisa foram adotados. No Quadro 6 são apresentadas a natureza dos dados utilizados na pesquisa.

<b>Dados</b>	<b>Natureza dos dados</b>
Limites de setores	Reais
Localização das unidades dos SAAs	Reais
Dados comerciais	Estimados
Dados operacionais	Estimados
DEX	Estimados

Quadro 6 – Natureza dos dados utilizados na pesquisa

Primeiramente foi definido o software a ser utilizado na pesquisa, em seguida é descrita a construção do modelo de dados para o armazenamento e organização dos dados em SIG.

### 4.3.1 Software escolhido

Na pesquisa foi utilizado o software ArcGis 9.3 da ESRI. A escolha desse software se deu devido o mesmo permitir a análise dos dados e informações de sistema de abastecimento de água e a simulação dos resultados de forma rápida e eficiente.

O ArcGis 9.3 tem interface gráfica amigável e um conjunto de ferramentas que reduz o tempo e aumenta a eficiência da aplicação de SIG em sistemas de saneamento. As ferramentas desse software são atuais e diversificadas proporcionando a aplicação do software em várias áreas.

O ArcGIS usa modelos de dados de SIG para representar a geografia e provê todas as ferramentas necessárias para criar e trabalhar com o dados geográficos. Isto inclui ferramentas para todas as tarefas de SIG: editando e automatizando dados, mapeando cartograficamente tarefas, administrando dados, realizando análise geográfica, administrando dados avançados e desenvolvendo dados e aplicações na Internet.

O Desktop ArcGIS divide-se nos seguintes aplicativos: ArcMap, ArcCatalog e ArcToolbox. Usando estas três aplicações é possível executar qualquer tarefa simples ou avançada de SIG, incluindo mapeamento, administração de dados, análise geográfica, edição de dados e geoprocessamento.

O Desktop é um sistema dinâmico e integrado projetado para satisfazer as necessidades de uma gama extensiva de usuários SIG. O ArcMap é usado para toda a forma de mapeamento e edição, bem como na análise baseada em mapas. Na Figura 3 é mostrada a tela de visualização do ArcMap.

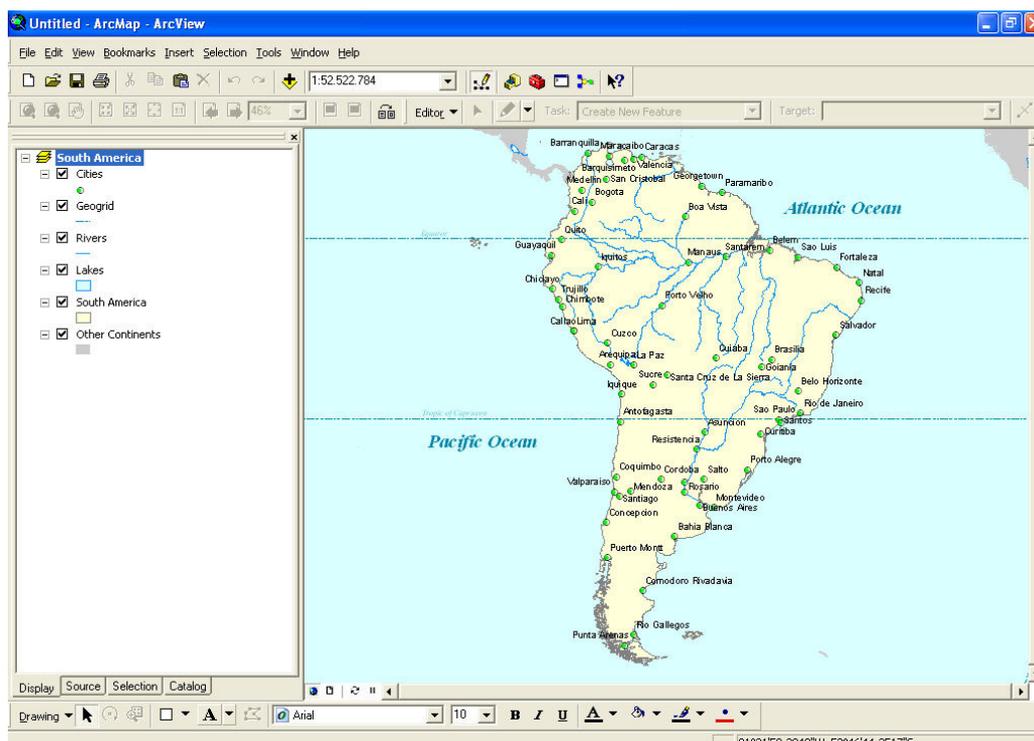


Figura 3 – Janela de visualização do ArcMap

O ArcCatalog é aplicado para administrar as propriedades de dados espaciais e banco dados, projetar banco de dados, registros, visualização e administração de dados avançados. Na Figura 4 é mostrada a janela de visualização do ArcCatalog.

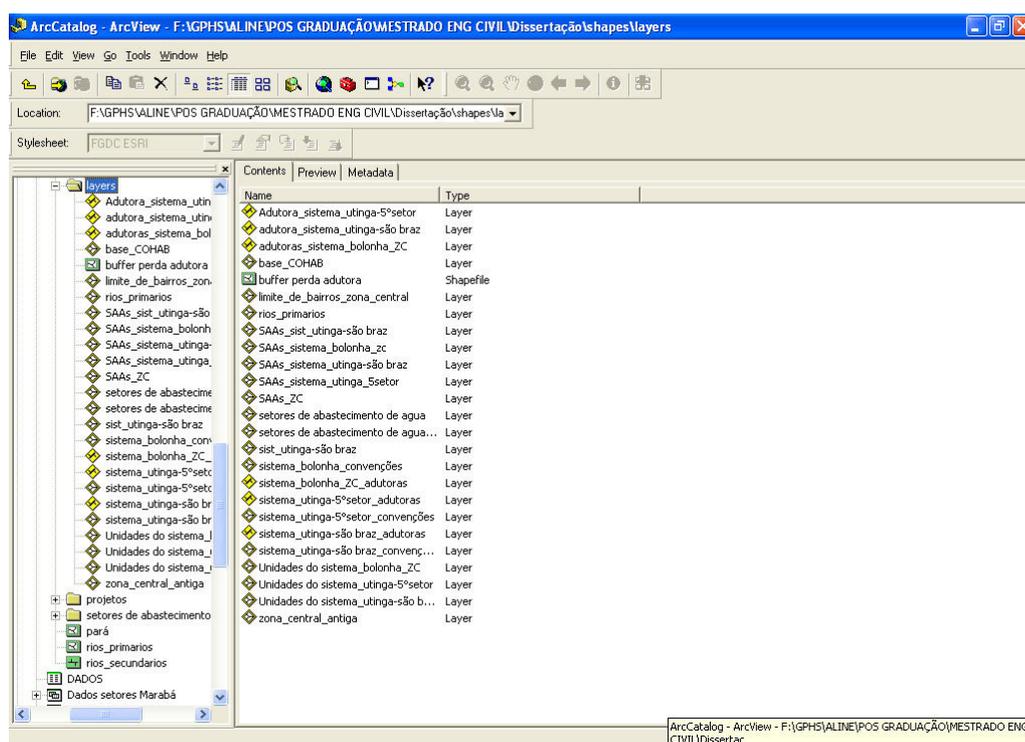


Figura 4 – Janela de visualização do ArcCatalog

ArcToolbox é usado para conversão de dados e geoprocessamento. Na Figura 5 é mostrada a janela de visualização do ArcToolbox.

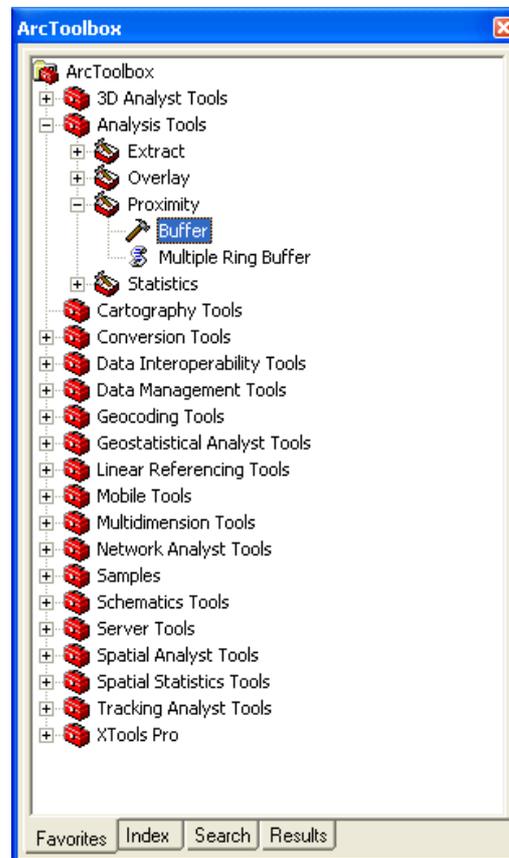


Figura 5 - Janela de visualização do ArcToolbox

#### 4.3.2 Construção do modelo de dados

Após a definição do software foi construído o modelo de dados para SIG. Esse modelo é baseado no armazenamento e organização dos dados tabulares e cartográficos por meio de camadas (*layers*) e bancos de dados.

O primeiro passo para a construção do modelo é a definição da topologia a ser utilizada para representar os dados utilizados no estudo.

- **Representação topológica**

A representação topológica dos dados utilizados facilitará a visualização e identificação dos dados no SIG. Para isso, foi definida a simbologia usada para representar cada unidade do SAA, além dos outros dados cartográficos utilizados na pesquisa, como unidades dos setores de abastecimento de água, setores censitários e base viária.

- **Criação dos layers**

As informações cartográficas obtidas foram organizadas em layers ou camadas salvos em formato shapefile (formato utilizado pela maioria dos SIGs), e em seguida espacializados utilizando o software escolhido. Por exemplo, serão criados temas para cada tipo de informação como: - setores de abastecimento de água; - unidades do SAA; - lotes (imóveis) da área estudada; - base viária etc.

Cada tema ou camada construído será composto de poligonais, linhas ou pontos que representarão os elementos relacionados com a pesquisa.

- **Construção dos bancos de dados georreferenciados**

Os dados técnicos estimados e os dados cartográficos foram organizados em banco de dados por SAA e georreferenciados utilizando o datum SAD-69 e o sistema de coordenadas geográficas com base no sistema geodésico brasileiro. Isso possibilitou a visualização geral dos dados dos SAAs, além da integração e cruzamento dos dados, gerando novas informações importantes para o relatório de desempenho.

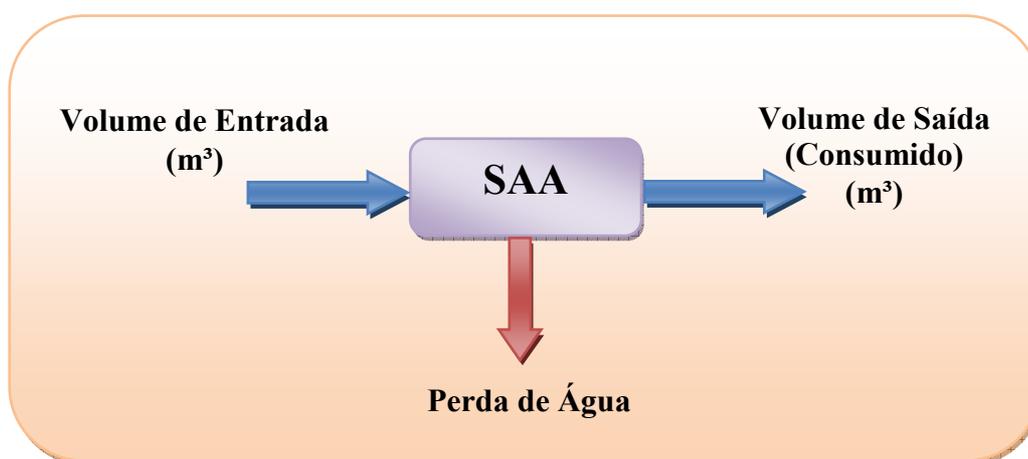
Para a construção do banco de dados foi utilizado o software Microsoft Excel 2007. Assim, o banco de dados construído foi vinculado ao seu respectivo tema ou camada.

Os dados operacionais, comerciais e de despesas de Exploração do Sistema estudado foram armazenados no tema correspondente à área abrangida pelo SAA, possibilitando o cruzamento dos dados, a geração de novas informações e indicadores de desempenho do SAA.

#### 4.3 FASE 3 – CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO

Nesta etapa foi proposta a análise dos dados obtidos por unidade do sistema de abastecimento utilizando SIG. Para isso, foi utilizado o banco de dados georreferenciado contendo os dados obtidos na etapa 1 da pesquisa, para a obtenção do volume perdido de água na produção, tratamento e distribuição de cada SAA estudado.

O volume perdido de água por SAA foi diagnosticado por meio do balanço hídrico, ou seja, da diferença entre o volume de água produzido (entrada) e o volume de água na saída em cada unidade do SAA (Esquema 7). Para o cálculo do balanço hídrico também deverão ser considerados os consumos autorizados e os não-autorizados em um SAA.



Esquema 7 – Balanço hídrico do SAA

No cálculo do balanço hídrico, a principal ferramenta do ArcGis 9.3 utilizada foi a “*Field Calculator*” que utilizou dados do banco de dados georreferenciado para o cálculo de perdas reais com base na metodologia proposta.

A determinação das perdas reais na adução de água bruta, no tratamento, na reservação e na distribuição dos sistemas de abastecimento foi realizada da seguinte forma:

a) **Perda física na adutora**

As perdas reais ou físicas na adução foram determinadas por meio da relação entre o volume captado e o volume macromedido na entrada da ETA, sendo denominada Perda 1.

$$Perda\ 1 = VOp1 - VOp2$$

b) **Perda no tratamento**

As perdas reais no tratamento foram determinadas por meio da diferença entre o volume macromedido na entrada da ETA, o volume tratado macromedido na saída da ETA e o volume de serviço, que nesse caso não é considerado perda de água. A perda no tratamento foi denominada Perda 2.

$$Perda\ 2 = VOp2 - Vop3 - Vop4\ (serviço)$$

c) **Perda na reservação**

As perdas de água na reservação foram determinadas por meio da diferença entre o volume macromedido na entrada do reservatório apoiado e o volume macromedido na saída do REL ou volume disponibilizado para distribuição. A perda na reservação foi denominada Perda 3.

$$Perda\ 3 = VOp5 - VOp6$$

#### d) Perda na distribuição

Foi determinada a perda de água na distribuição dos setores dos sistemas estudados por meio da relação entre o volume disponibilizado para distribuição e o volume consumido, conforme a equação:

$$Perda\ 4 = VOp6 - Vop7$$

#### 4.4 FASE 4 - CÁLCULO DE INDICADORES DE DESEMPENHO

Além das perdas físicas, também é proposta a determinação de indicadores para avaliar o desempenho dos sistemas de abastecimento de água estudados.

Para o cálculo de indicadores de desempenho também foi utilizada a ferramenta “*Field calculator*” do software ArcGis 9.3, que proporcionou a realização das operações matemáticas necessárias para o desenvolvimento do trabalho.

São propostos indicadores baseados no Documento Técnico de Apoio nº2 (DTA - 02) do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) do Ministério das Cidades, no SNIS e no conhecimento dos dados definidos na etapa 1:

- 1) **Índice de cobertura:** Relaciona a população abastecida pela população total.

$$I_c = \frac{\text{População abastecida com água (VC2)}}{\text{População total (VC1)}} \times 100$$

- 2) **Índice de Rede de distribuição por ligação:** Relaciona a extensão da rede de distribuição pelo número total de ligações.

$$I_{R\text{Lig}} = \frac{\text{Extensão da rede de distribuição (VOp9)}}{\text{Nº total de ligações (VC11)}}$$

- 3) **Índice de Perda Real na Produção:** Considera as perdas reais na adução de água bruta e no tratamento.

$$I_{\text{Perda Prod}} = \frac{\text{Volume captado (VOp1)} - \text{volume produzido(VOp6)}}{\text{Volume captado(VOp1)}} \times 100$$

- 4) **Índice de Perda Real na Adução:** É subconjunto do índice de perda na produção, é a relação entre o volume captado e o volume aduzido (afluente à ETA).

$$I_{\text{Perda Ad.}} = \frac{\text{Volume captado (VOp1)} - \text{volume Aduzido(VOp2)}}{\text{Volume captado (VOp1)}} \times 100$$

- 5) **Índice de Perda Real no Tratamento:** Também é subconjunto do índice de perda na produção, e resulta da relação entre o volume aduzido (afluente à ETA) e o volume produzido (efluente à ETA).

$$I_{\text{Perda Trat}} = \frac{\text{Volume aduzido(VOp2)} - \text{volume produzido(VOp3)}}{\text{Volume aduzido (VOp2)}} \times 100$$

- 6) **Índice Total de Perda Real:** É calculado por meio da relação entre o volume captado e o volume fisicamente utilizado no SAA.

$$I_{\text{Perda Tot.}} = \frac{\text{Volume captado (VOp1)} - \text{volume consumido (VOp7)}}{\text{Volume captado (VOp1)}} \times 100$$

- 7) **Índice de Perda na Distribuição ou Água não contabilizada:** Relaciona o volume disponibilizado para distribuição ao volume consumido. Esse índice e refere às perdas reais e aparentes do SAA.

$$I_{\text{Perda Dist.}} = \frac{\text{Volume Disponibilizado (VOp6)} - \text{volume consumido (VOp7)}}{\text{Volume Disponibilizado (VOp6)}} \times 100$$

- 8) **Índice de Perda na Arrecadação:** Relaciona o volume produzido e o volume arrecadado.

$$I_{\text{FArr}} = \frac{\text{Volume Disponibilizado (VOp6)} - \text{volume arrecadado (VC14)}}{\text{Volume Disponibilizado (VOp6)}} \times 100$$

- 9) **Índice de Perda de Faturamento ou Água não Faturada:** Relaciona o volume disponibilizado para distribuição ao volume faturado.

$$I_{\text{ANF}} = \frac{\text{Volume Disponibilizado (VOp6)} - \text{volume Faturado (VC13)}}{\text{Volume Disponibilizado (VOp6)}} \times 100$$

- 10) **Índice de Perda por Ligação:** Relaciona a diferença entre o volume disponibilizado para distribuição e volume consumido ao número de ligações ativas.

$$I_{\text{Perda Lig.}} = \frac{\text{Volume Disponibilizado (VOP6)} - \text{Volume Consumido (VOp7)}}{\text{Nº de ligações ativas (VC9)} \times \text{Nº de dias (30 dias)}}$$

- 11) **Índice de ligações inativas:** Relaciona o número de ligações inativas pelo número total de ligações.

$$I_{\text{Lig inat}} = \frac{\text{Nº de ligações inativas (VC10)}}{\text{Nº total de ligações (VC11)}}$$

- 12) **Índice de população não hidrometrada:** Relaciona o número de habitantes não hidrometrados e o número total de habitantes da localidade.

$$I_{\text{pop n Hid}} = \frac{\text{População não Hidrometrada (VC4)}}{\text{População total (VC1)}}$$

13) **Índice de economias inativas:** Relaciona o número de economias inativas pelo total de economias.

$$I_{econ\ inat} = \frac{N^{\circ} \text{ de economias inativas (VC6)}}{N^{\circ} \text{ total de economias (VC8)}}$$

14) **Índice de economias residenciais ativas:** É a relação entre o número de economias residenciais ativas e o total de economias ativas.

$$I_{ERA} = \frac{N^{\circ} \text{ de economias residenciais ativas (VC7)}}{N^{\circ} \text{ de economias ativas (VC5)}}$$

15) **Índice de volume de água disponibilizado por economia:** É a relação entre o volume disponibilizado para distribuição e o número de economias ativas.

$$I_{ADEcon} = \frac{\text{Volume Disponibilizado (VOp6)}}{N^{\circ} \text{ de economias ativas (VC5)}}$$

16) **Cota per capita bruta (vol/hab):** É o volume disponibilizado para distribuição por habitante abastecido.

$$I_{PerCapB} = \frac{\text{Volume Disponibilizado (VOp6)}}{\text{População Atendida (VC2)}}$$

17) **Índice de consumo de energia em SAA:** É o consumo total de energia elétrica em sistema de abastecimento de água por volume de água produzido.

$$I_{CEESAA} = \frac{\text{Consumo total de energia em SAA (DEX2)}}{\text{Volume de água Disponibilizado (VOp6)}}$$

18) **Índice de despesas com energia elétrica:** É a relação entre a despesa com energia elétrica pela despesa total de exploração.

$$I_{DEXEE} = \frac{\text{DEX com Energia Elétrica (DEX6)}}{\text{DEX total (DEX1)}} \times 100$$

19) **Índice de despesas por volume produzido:** É a despesa com energia elétrica por volume produzido.

$$I_{DEXVol} = \frac{\text{DEX com Energia Elétrica (DEX6)}}{\text{Volume Produzido (VOp3)}}$$

20) **Índice de faturamento por economia ativa:** É o valor faturado por economia ativa.

$$I_{FEA} = \frac{\text{Valor faturado (VC15)}}{\text{Nº de economias ativa (VC5)}}$$

21) **Índice de volume faturado por economia ativa:** É o volume faturado por economia ativa.

$$I_{VFEA} = \frac{\text{Volume faturado (VC13)}}{\text{Nº de economias ativas (VC5)}}$$

22) **Índice de arrecadação por economia ativa:** É o valor arrecadado por economia ativa.

$$I_{AEA} = \frac{\text{Valor arrecadado (VC16)}}{\text{Nº de economias ativas (VC5)}}$$

23) **Índice de volume arrecadado por economia ativa:** É o volume arrecadado por economia ativa.

$$I_{VAEA} = \frac{\text{Volume arrecadado (VC14)}}{\text{Nº de economias ativas (VC5)}}$$

24) **Índice de DEX por economia ativa:** É relação entre a despesa total pelo número de economias ativas.

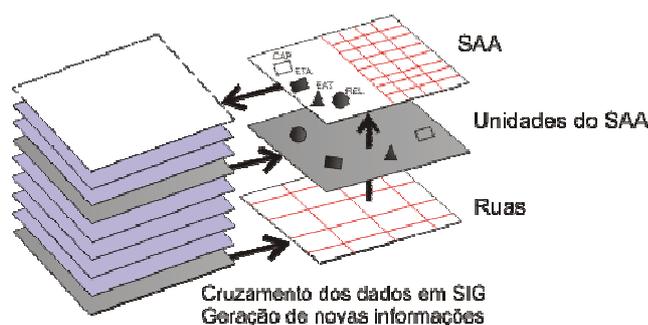
$$I_{DEXEA} = \frac{\text{DEX total (DEX1)}}{\text{Nº de economias ativas(VC5)}}$$

#### 4.5 FASE 5 - ESPACIALIZAÇÃO DOS RESULTADOS EM SIG

Nesta etapa é proposta a espacialização dos dados em mapas utilizando ambiente SIG para facilitar a visualização das informações de desempenho dos SAAs, além de possibilitar a padronização dos relatórios de desempenho dos SAAs e a facilidade de análise.

Nessa etapa, os dados de perdas reais, dados comerciais e DEXs pertencentes ao banco de dados serão cruzados e, com o auxílio do SIG, serão melhor visualizados espacialmente.

Esse cruzamento e espacialização, exemplificado no Desenho 6, possibilitará a avaliação do SAA, auxiliando no combate às perdas de água e excessos nas despesas dos sistemas, favorecendo o controle operacional, prevenindo problemas.



Desenho 6 - Cruzamento de dados de SAA em SIG  
Fonte: Foote e Lynch (2009).

## 5 RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados da simulação da pesquisa.

### 5.1 FASE 1 - DEFINIÇÃO DOS DADOS A SEREM UTILIZADOS NA PESQUISA

Como o objetivo da pesquisa não é determinar valores reais para avaliação do desempenho dos SAAs administrados pela concessionária de saneamento, optou-se por adotar valores para os dados que representaram o desempenho de um SAA qualquer. No entanto, na pesquisa foi utilizada a base cartográfica de área real dos SAAs da área de estudo.

Conforme já apresentado, a pesquisa de dados foi dividida em dois grupos: dados técnicos e cartográficos. Os dados técnicos adotados foram organizados em três grupos: dados operacionais, comerciais e despesas de exploração.

- **Dados operacionais**

No Quadro 7 são apresentados os dados operacionais adotados para os setores da Zona Central de Abastecimento de Água do município de Belém.

	SIGLA	SISTEMA	UTINGA - SÃO BRAZ			UTINGA	BOLONHA - ZONA CENTRAL				
			Setor 1	Setor 2	Setor 3	5° SETOR	Setor 4	Setor 6	Setor 7	Setor 8	Setor 9
PRODUÇÃO	VOp1	Vol de Água bruta Captado	478.149	408.906	871.399	934.093	1.281.217	921.096	928.781	1.381.473	1.780.789
	VOp2	Vol macromedido na entrada da ETA	473.368	402.772	859.199	912.608	1.265.842	888.858	899.060	1.333.121	1.771.885
	VOp3	Vol tratado ou Vol macromedido na saída da ETA	461.533	390.689	829.987	882.492	1.227.867	862.192	872.088	1.293.128	1.718.729
	VOp4	Vol de serviço	9.579	5.581	19.321	23.287	18.220	24.423	21.174	15.851	18.512
DISTRIBUIÇÃO	VOp5	Vol macromedido na entrada do RAP	461.533	390.689	829.987	882.492	1.227.867	862.192	872.088	1.293.128	1.718.729
	VOp6	Vol macromedido na saída do REL/ disp p distribuição	461.072	376.872	829.987	849.175	1.194.051	829.816	836.740	1.285.498	1.693.635
	VOp7	Volume consumido	299.697	252504	516.101	463466	583857	504739	494856	682450	728223
	VOp8	Extensão da rede de distribuição (km)	55.325	38.471	233.175	106.068	53.635	78.711	27.965	116.536	159.903

Quadro 7 - Dados operacionais adotados para os setores da Zona Central de Abastecimento

- **Dados comerciais**

Os dados comerciais do SAA adotados para os setores da Zona Central de Abastecimento de Água de Belém são apresentados no Quadro 8, assim como as siglas que representarão essas variáveis no SIG

SIGLA	VARIÁVEL	SISTEMA UTINGA - SÃO BRAZ			UTINGA 5º SETOR	SISTEMA BOLONHA - ZONA CENTRAL				
		Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 5	Setor 4	Setor 6	Setor 7	Setor 8	Setor 9
VC1	População total (hab)	44.406	36.321	114.689	110.349	149.707	105.154	103.095	162.488	211.079
VC2	População Atendida (hab)	42.030	36.138	114.457	110.349	149.707	105.154	103.095	162.488	211.079
VC3	População hidrometrada (hab)	29.284	24.964	93.311	90.486	131.742	84.123	88.662	146.239	170.974
VC4	População não hidrometrada (hab)	12.747	11.173	21.146	19.863	17.965	21.031	14.433	16.249	40.105
VC5	Quantidade de economias ativas	6.378	6.525	19.816	18.711	24.409	17.602	16.585	25.433	32.580
VC6	Quantidade de economias inativas	2.759	1.331	5.066	5.278	8.136	5.258	5.827	9.891	13.307
VC7	Quantidade de economias Residências ativas	3.466	5.586	14.069	13.472	20.015	13.553	13.268	20.092	27.693
VC8	Total de economias	9.137	7.856	24.882	23.989	32.545	22.860	22.412	35.323	45.887
VC9	Quantidade de ligações ativas de água	3.454	4.012	9.072	10.075	16.779	14.005	9.712	19.116	22.171
VC10	Quantidade de ligações inativas de água	1.351	917	1.807	1.919	1.302	1.234	961	1.662	1.980
VC11	Quantidade de ligações totais	4.805	4.929	10.879	11.994	18.081	15.240	10.672	20.779	24.151
VC12	Volume de água consumido (m³)	282.543	263.810	592.840	662.094	898.242	630.924	618.570	974.928	1.266.474
VC13	Volume de água faturado (m³)	254.288	242.705	541.855	615.747	862.312	589.914	562.899	892.059	1.114.497
VC14	Volume de água arrecadado (m³)	228.860	206.299	444.321	511.070	741.589	495.528	455.948	713.647	913.888
VC15	Valor faturado (R\$)	445.005	424.734	948.247	1.077.558	1.509.047	1.032.349	985.073	1.561.103	1.950.370
VC16	Valor arrecadado (R\$)	378.254	348.282	739.632	851.271	1.267.599	846.527	800.864	1.248.883	1.501.785
VC17	Volume de água hidrometrado (m³)	248.638	226.877	527.627	583.305	682.664	520.512	496.093	790.667	980.251
VC18	Volume de água não hidrometrado	33.905	36.933	65.212	78.789	215.578	110.412	122.477	184.261	286.223

Quadro 8 - Dados comerciais dotados para os setores da Zona Central de Abastecimento

- **Despesas de exploração**

As Despesas de exploração são constituídas de dados de consumo de energia, despesas com produto químico, com pessoal e outras. No Quadro 9 são apresentadas as siglas e as variáveis adotadas no estudo.

PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO	SIGLA	VARIÁVEL	SISTEMA UTINGA - SÃO BRAZ			UTINGA	SISTEMA BOLONHA - ZONA CENTRAL				
			Setor 1	Setor 2	Setor 3	5° SETOR	Setor 4	Setor 6	Setor 7	Setor 8	Setor 9
	DEX1	DEX total (R\$)	1.694.322	1.219.032	2.456.855	2.533.858	2.038.437	2.293.017	1.842.760	1.599.631	1.838.093
	DEX2	Consumo de energia (kwh/mês)	92.191	41.926	148.766	154.325	134.643	149.245	121.412	98.321	101.234
	DEX3	Consumo de energia em elevatória (kwh/mês)	92.191	41.926	148.766	154.325	134.643	149.245	121.412	98.321	101.234
	DEX4	Tarifa de consumo (R\$/kwh)	0,071	0,189	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071
	DEX5	Tarifa de demanda (R\$/kwh)	11,03	11,03	11,03	11,03	11,03	11,03	11,03	11,03	11,03
	DEX6	Valor das despesas com energia elétrica (R\$/kwh)	1.017.145,1	462.447,5	1.641.338,0	1.702.667,7	1.485.516,2	1.646.620,1	1.339.538,6	1.084.775,6	1.116.914,7
	DEX8	Valor das despesas com Produto químico	4.081	48.621	52.872	5.142	3.272	1.434	3.878	2.761	4.132
	DEX9	Valor das despesas com Pessoal	264.424	286.525,0	348.663	423.561	122.321	223.324	123.126	113.456	234.533
DEX10	Valor das despesas com Outros	408.672	421.439	413.982	402.487	427.328	421.639	376.217	398.638	482.513	

Quadro 9 - Despesas de exploração estimadas para os setores da Zona Central de Abastecimento

As informações cartográficas da área em estudo utilizadas na pesquisa foram: - limite da Zona Central de Abastecimento; - limite dos setores de abastecimento; base cartográfica com vias e nomenclatura; - localização cartográfica das unidades dos SAAs integrados, - Hidrografia; - Limites de bairros da área de estudo, conforme mostrado nas Figuras 6 a 11.

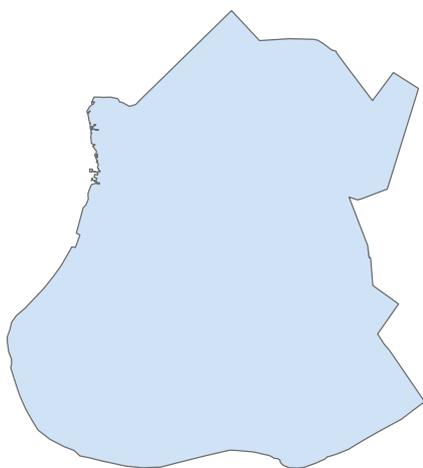


Figura 6 - Limite da Zona Central de Abastecimento de Água

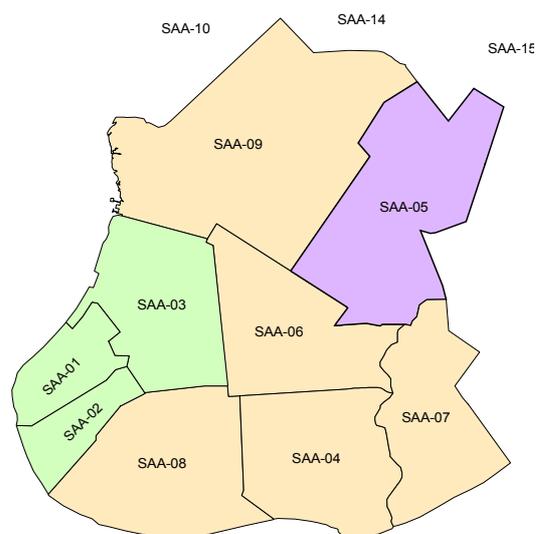


Figura 7 - Limite dos Setores de Abastecimento de Água

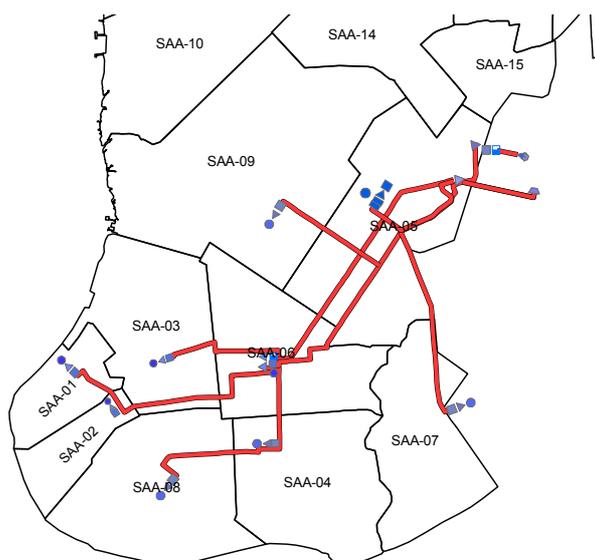


Figura 8 - Adutoras e localização das unidades dos sistemas de Abastecimento de Água



Figura 9 - Base viária da Zona Central de Abastecimento de Água



Figura 10 – Hidrografia da Área em estudo



Figura 11 – Limites de Bairros da Área em estudo

Esses dados cartográficos ajudaram a compor a base de dados utilizada na pesquisa. As informações cartográficas referentes aos sistemas de abastecimento de água estudados foram obtidas na COSANPA. A base viária e limites de bairros utilizados no estudo foram fornecidos pela Companhia de Habitação de Belém (COHAB), e a hidrografia foi extraída do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

## 5.2 FASE 2 – ARMAZENAMENTO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS EM SIG

O armazenamento e organização dos dados técnicos e cartográficos foi realizado por meio do software ArcGis 9.3. Para isso, foi construído o modelo de dados utilizando as informações obtidas e estimadas dos SAAs.

### 5.2.1 Construção do modelo de dados

Com os dados a serem utilizados já definidos, foi construído o modelo de dados definido para representação em SIG dos dados dos três SAAs da Zona Central de Abastecimento de Água do município de Belém.

Foram construídas camadas (*layers*) para organizar as informações segundo seus respectivos temas. Para a construção das camadas foram, primeiramente, definidas topologias para representar os elementos estudados.

Após isso, foi construído o banco de dados com os dados técnicos adotados. Esse banco de dados foi desenvolvido utilizando o software Excel, versão 2003 da Microsoft Office.

- **Representação topológica**

A topologia utilizada para representação dos dados cartográficos em SIG é mostrada no Quadro 10.

Elemento	Nome	Descrição
	Polígono	Geralmente usado para representar áreas com características comuns, como setores de abastecimento de Água.
	Círculo	Usado geralmente como simbologia para representar elementos de uma determinada área, ou para circundar área com características comuns.
	Ponto	Usado comumente para representar elementos ou unidades com determinada característica.
	Linha	Usado geralmente para representar elementos retilíneos como adutoras de SAAs ou trajetos de trânsito.
	Arco	Usado geralmente para representar curvas como, por exemplo, as curvas de um rio.

Quadro 10 – Topologia para representação de dados cartográficos em SIG

No caso específico dessa pesquisa foi utilizada topologia definida no Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água da RMB para representar cada unidade do SAA, conforme mostrado no Quadro 11.

<b>Elemento</b>	<b>Nome</b>	<b>Tipo</b>
	Captação	Polígono
	Elevatória de Água Bruta	Ponto
	Elevatória de Água Tratada	Ponto
	Estação de Tratamento de Água	Polígono
	Reservatório Apoiado	Polígono
	Reservatório Elevado	Ponto
	Adutora	Linha

Quadro 11 - Convenções utilizadas para representação de dados cartográficos de SAA em SIG

- **Criação dos layers**

As informações cartográficas obtidas foram espacializadas em layers ou camadas salvas em formato shapefile utilizando o software Arcgis 9.3.

Assim, foram criados layers para cada tipo de informação como: - Zona de Abastecimento de Água; - SAAs do Sistema Utinga-São Braz; - SAAs do Sistema Bolonha - Zona Central; - SAAs do Sistema Utinga-5º Setor; - Adutoras; - unidades do SAAs; - base viária; - Bairros da zona central.

Na Figura 12 é mostrado o layer com os limites da zona central de abastecimento de água.

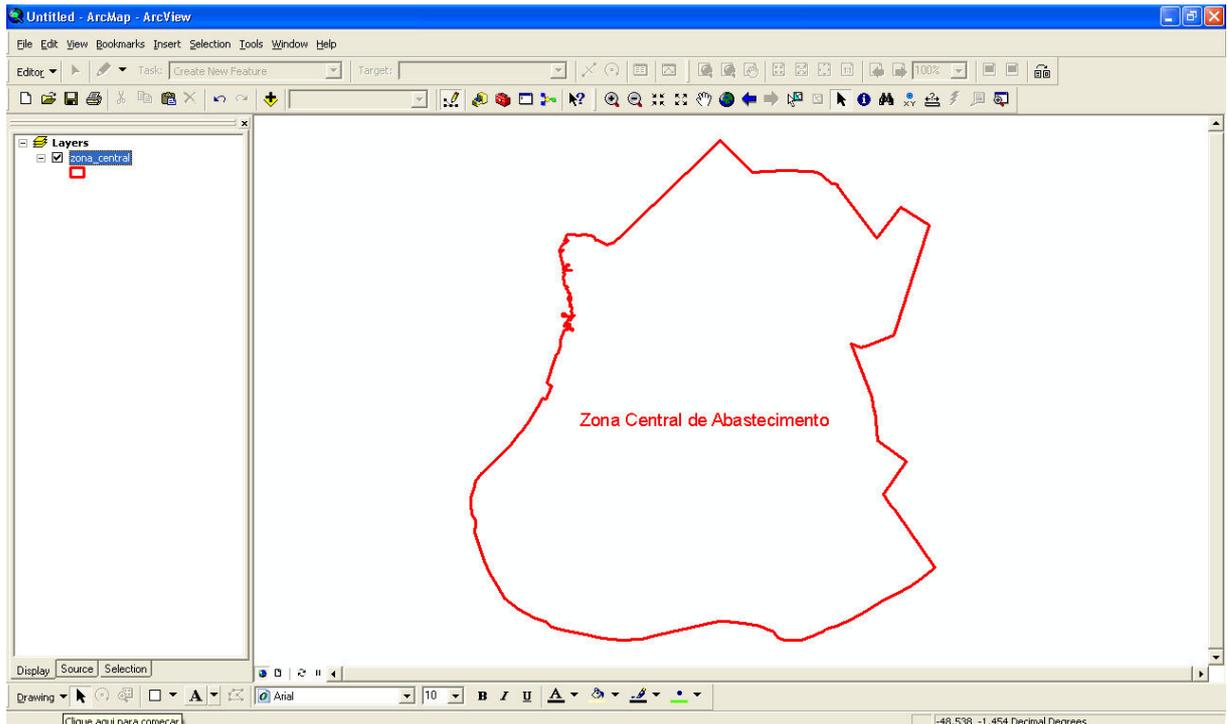


Figura 12 – Layer Zona Central de Abastecimento

Esse layer permite a delimitação da área de estudo, de acordo com os limites dos 3 SAAs utilizados na pesquisa para exemplificar a espacialização das informações de desempenho no SIG.

Em seguida, foram inseridos os limites de bairros e dos setores de distribuição de água dos 3 sistemas utilizados como exemplo, conforme mostrado na Figura 13.

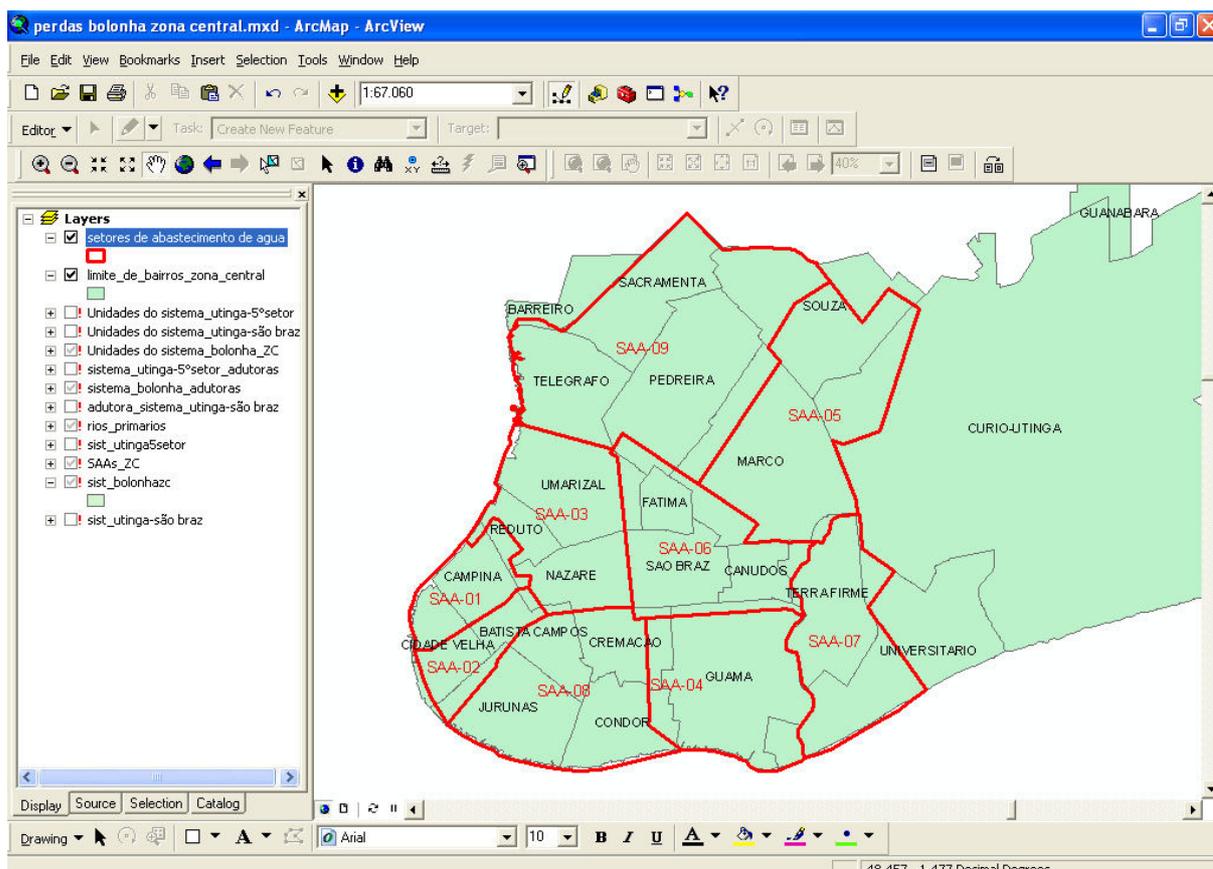


Figura 13 – Layer de Bairros e setores de abastecimento de água da Área de estudo

É oportuno ressaltar, que o limite dos bairros não coincide com os dos setores de distribuição de água (nem com dos SAAs), ou seja, nesse caso, a divisão administrativa em bairros não pode ser utilizada na avaliação do desempenho do SAA.

## SISTEMA UTINGA - SÃO BRAZ

Foram construídos três layers para o sistema Utinga – São Braz:

- a) SAAs do Sistema Utinga - São Braz;
- b) Adutoras do Sistema Utinga - São Braz;
- c) Unidades do Sistema Utinga - São Braz.

Os layers construídos são mostrados na Figura 14.

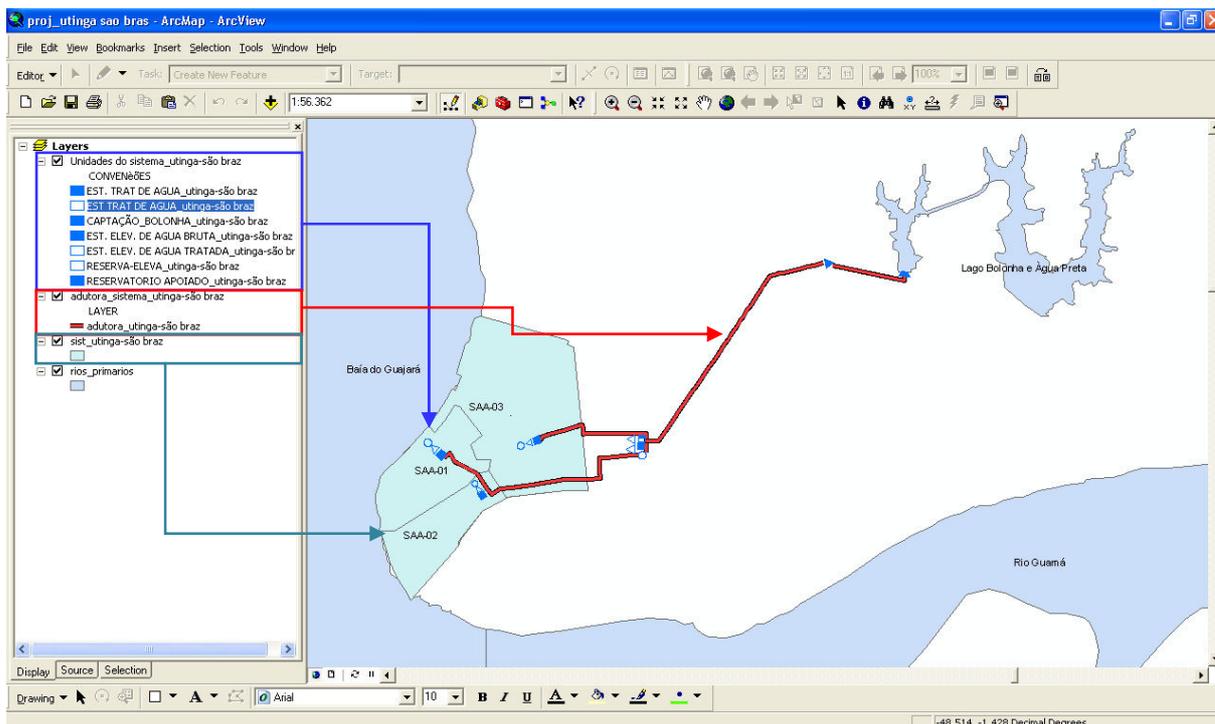


Figura 14 – Composição dos layers SAAs, Adutoras e Unidades do Sistema Utinga – São Braz

## SISTEMA BOLONHA ZONA CENTRAL

Para o sistema Bolonha – Zona Central foram construídos os layers: - SAAs do Sistema Bolonha – Zona Central; - Adutoras do Sistema Bolonha – Zona Central; - Unidades do Sistema Bolonha – Zona Central, conforme mostrado na Figura 15.

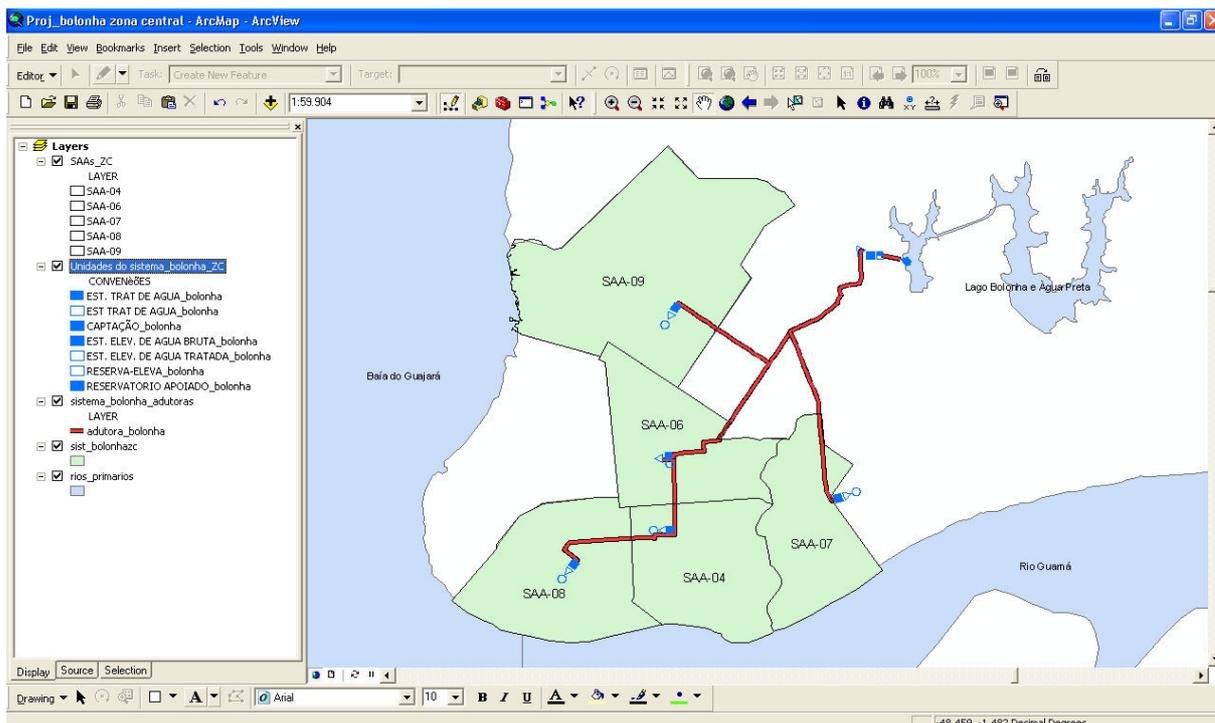


Figura 15 – Composição dos layers SAAs, Adutoras e Unidades do Sistema Bolonha – Zona Central

## SISTEMA UTINGA – 5º SETOR

Para o sistema Utinga – 5º Setor foram construídos os layers: - SAAs do Sistema Utinga – 5º Setor; - Adutoras do Sistema Utinga – 5º Setor; - Unidades do Sistema Utinga – 5º Setor, conforme mostrado na Figura 16.

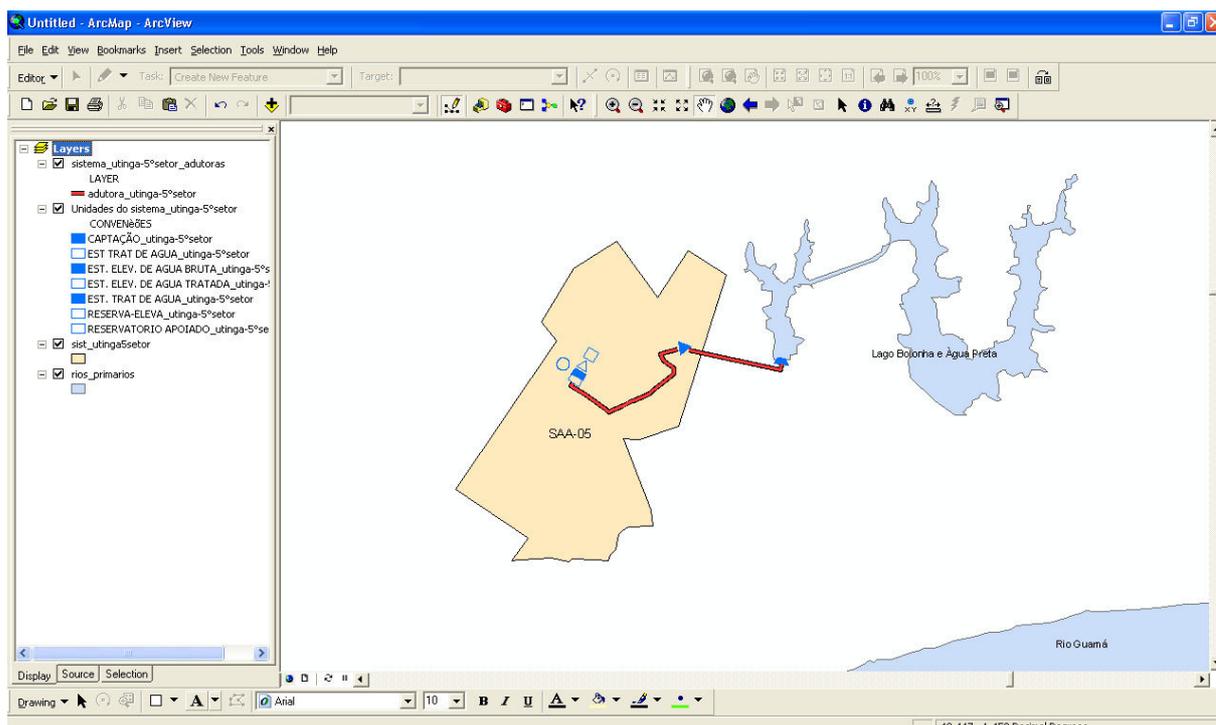


Figura 16 – Composição dos layers do Sistema Utinga – 5º Setor

- **Construção dos bancos de dados georreferenciados**

Os dados obtidos e os adotados foram organizados em banco de dados utilizando o software Microsoft Office Excel 2007 (salvo em formato xls), o que permitiu o georreferenciamento dos dados, que foi realizado interligando cada informação no banco de dados à sua respectiva localização geográfica.

Na pesquisa foram estudados nove setores de abastecimento de água pertencentes aos três sistemas de abastecimento da zona central, sendo esses setores representados espacialmente por polígonos. Cada polígono, ou seja, cada setor de abastecimento é representado por uma linha no banco de dados, e as colunas são as variáveis estudadas e já descritas na etapa 1 da pesquisa.

Na Figura 17 é mostrada a tela de visualização do banco de dados construído no Microsoft Office Excel 2007. Devido ao grande número de variáveis estudadas, não foi possível visualizar na Figura 17 todas as variáveis no banco de dados construído no modelo para vinculação ao SIG.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	LAYER	VOp1	VOp2	VOp3	VOp4	VOp5	VOp6	VOp7	VOp8	VOp9	VOp10	VOp11	VOp12	VOp13	VC1	VC2	VC3	VC4	VC5	VC6	VC7	VC8
2	SAA-01	478.149	468.686	449.843	449.843	9.579	440.264	440.264	435.861	434.681	282.543	44.406	200	266.436	44.406	42.030	29.284	12.747	6.378	2.759	3.466	9.137
3	SAA-02	408.906	402.772	388.675	388.675	5.581	383.094	383.094	379.263	376.872	263.810	36.082	200	216.492	36.082	36.138	24.964	11.173	6.525	1.331	5.586	7.856
4	SAA-03	871.399	850.486	824.971	824.971	19.321	805.651	805.651	805.651	799.449	592.840	104.689	200	628.134	104.689	114.457	93.311	21.146	19.816	5.066	14.069	24.882
5	SAA-04	1.281.872	1.266.490	1.228.495	1.228.495	18.220	1.210.275	1.210.275	1.197.051	1.194.662	898.242	149.707	200	898.242	149.707	149.707	131.742	17.965	24.409	8.136	20.015	32.545
6	SAA-05	932.228	910.787	880.731	880.731	23.287	857.444	857.444	849.175	847.480	662.094	110.349	200	662.094	110.349	110.349	90.486	19.863	18.711	5.278	13.472	23.989
7	SAA-06	917.427	885.317	858.757	858.757	24.423	834.334	834.334	829.816	826.510	630.924	105.154	200	630.924	105.154	105.154	84.123	21.031	17.602	5.258	13.553	22.860
8	SAA-07	926.927	897.265	870.348	870.348	21.174	849.174	849.174	836.740	835.070	618.570	103.095	200	618.570	103.095	103.095	88.662	14.433	16.585	5.827	13.268	22.412
9	SAA-08	1.381.473	1.333.121	1.293.128	1.293.128	15.851	1.277.277	1.277.277	1.269.741	1.267.406	974.928	162.488	200	974.928	162.488	162.488	146.239	16.249	25.433	9.891	20.092	35.323
10	SAA-09	1.780.789	1.771.885	1.718.729	1.718.729	18.512	1.700.217	1.700.217	1.634.588	1.633.751	1.266.474	211.079	200	1.266.474	211.079	211.079	170.974	40.105	32.580	13.307	27.693	45.887
11																						
12																						
13																						
14																						
15																						
16																						
17																						

Figura 17 – Visualização do banco de dados construído no Microsoft Office Excel 2007

Para georreferenciamento do banco de dados mostrado na Figura 17 foi utilizada a ferramenta “join” do arcgis 9.3, que vinculou o banco de dados georreferenciado ao banco de dados contendo os dados operacionais, comerciais e de despesas de exploração dos SAAs estudados.

Na Figura 18 é demonstrada a utilização da ferramenta Join para a agregação dos bancos de dados.

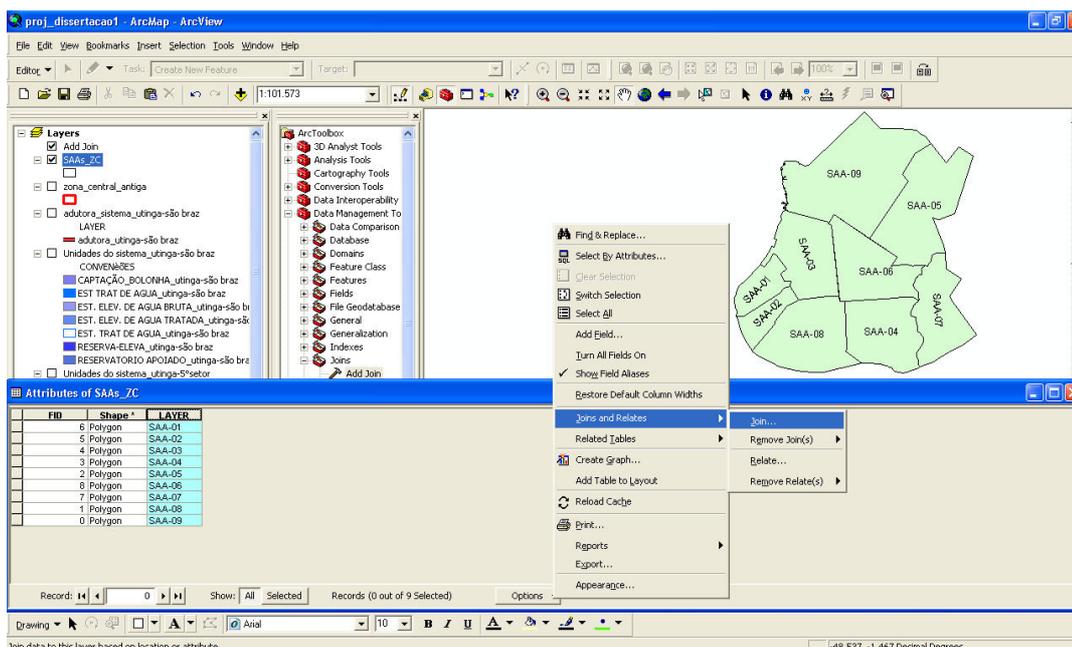


Figura 18 – Utilização da ferramenta “Join” para vinculação do banco de dados construído

A Figura 19 mostra a janela do software para a escolha do banco de dados a serem agregados utilizando a ferramenta *Join*.

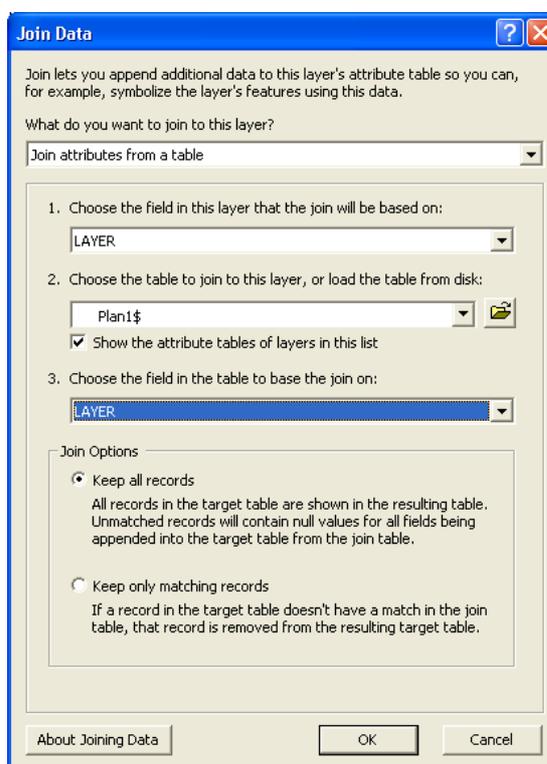


Figura 19 – Seleção de banco de dados na ferramenta “Join”

Na Figura 20 é mostrada a visualização do banco de dados já georreferenciado e vinculado ao seu respectivo setor de abastecimento de água.

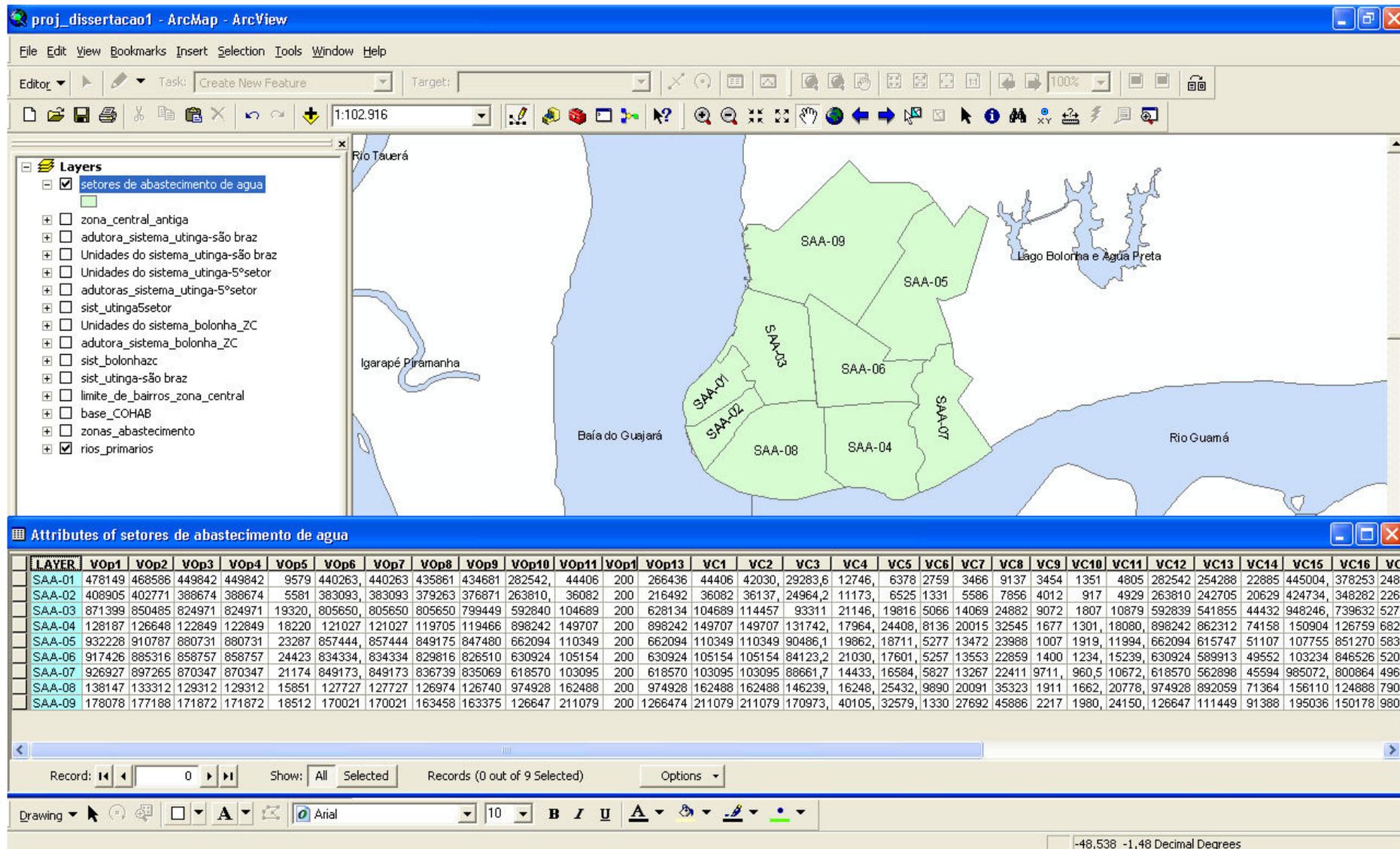


Figura 20 – Banco de dados georreferenciado

### 5.3 FASE 3 – CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO

Com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento foi realizado o balanço hídrico nas principais unidades dos SAA nos três sistemas de abastecimento de água estudados, sendo determinadas as perdas na adução de água bruta, no tratamento de água, na reservação (considerando os reservatórios apoiados e elevados), e na distribuição.

Para isso, foi utilizada a ferramenta *Field calculator* do ArcGis 9.3, que, por meio de operações matemáticas, determinou as perdas reais nas unidades dos SAAs estudados, inserindo automaticamente os resultados no banco de dados georreferenciado.

Foram determinadas as perdas reais na adução de água bruta (Perda 1), no tratamento (Perda 2), na reservação (Perda 3) e na distribuição em cada setor do sistema de abastecimento (Perda 4).

#### a) **Perda física na Adução de Água Bruta (Perda 1)**

Para o cálculo da Perda 1 foi utilizada a expressão:

$$Perda\ 1 = VOp1 - VOp2$$

Onde:

VOp1 = Volume captado;

VOp2 = volume macromedido na entrada da ETA.

Primeiramente foi criada uma nova coluna no banco de dados “Setores de Abastecimento de Água, denominada “Perda 1”, para então efetuar o cálculo da perda na adutora de água bruta. Para isso, foi utilizada a ferramenta “Add Field”, conforme mostrado na Figura 21.

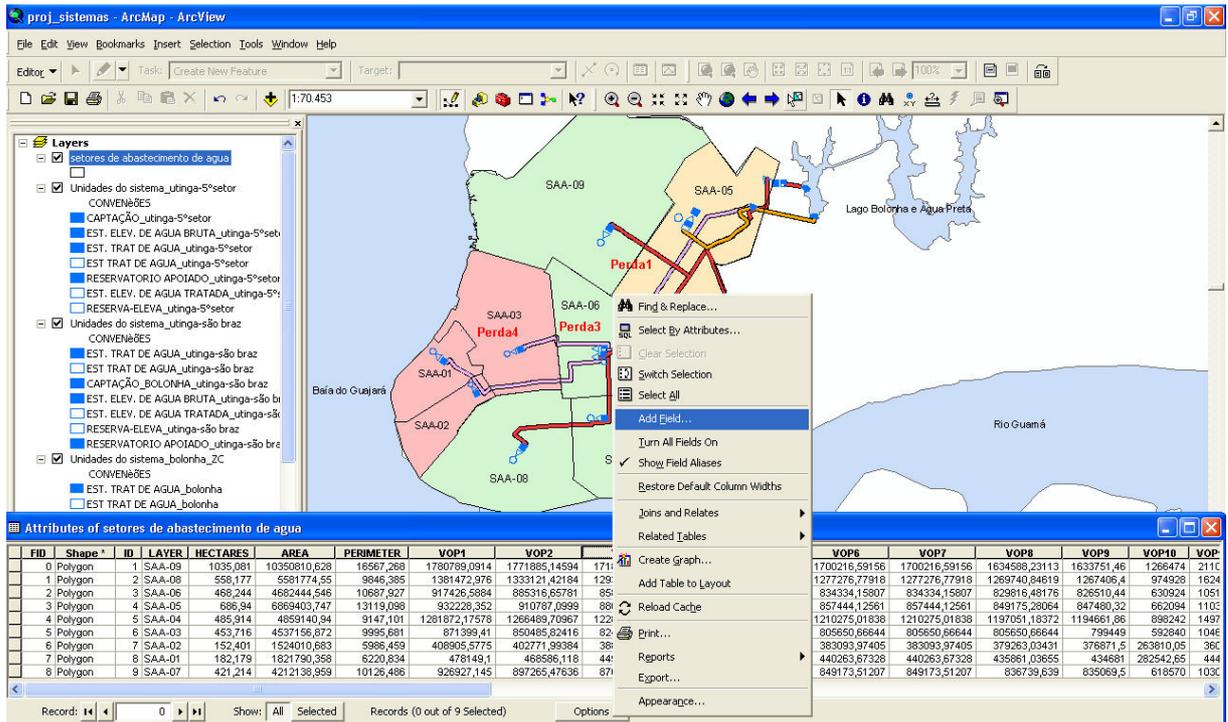


Figura 21 – Criação de nova coluna no banco de dados

Clicando em *Options* e em seguida em *Add Field*, abrirá uma nova janela onde foi indicado o nome da nova coluna e o tipo de coluna, com caracteres longos, curtos, texto, data etc., conforme mostrado na Figura 22.

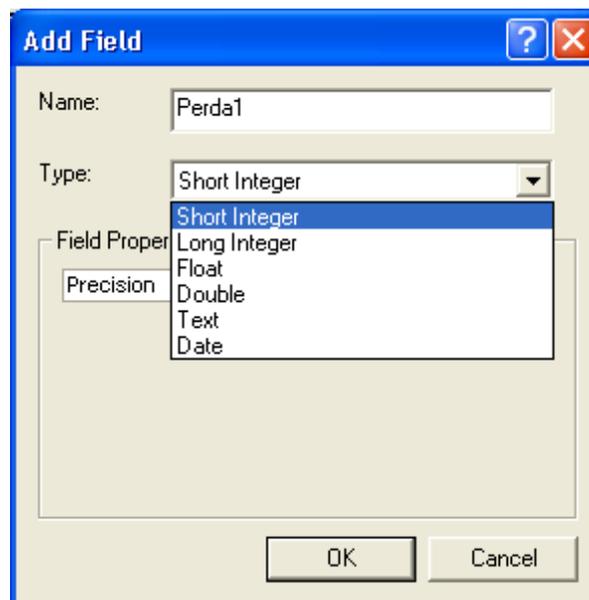


Figura 22 – Janela *Add Field* para criação de nova coluna no banco de dados

Após a criação da coluna Perda 1, foi utilizada a ferramenta “*Field Calculator*” para determinar as perdas reais nas unidades do sistema de abastecimento de água Utinga – São Braz, conforme mostrado na Figura 23.

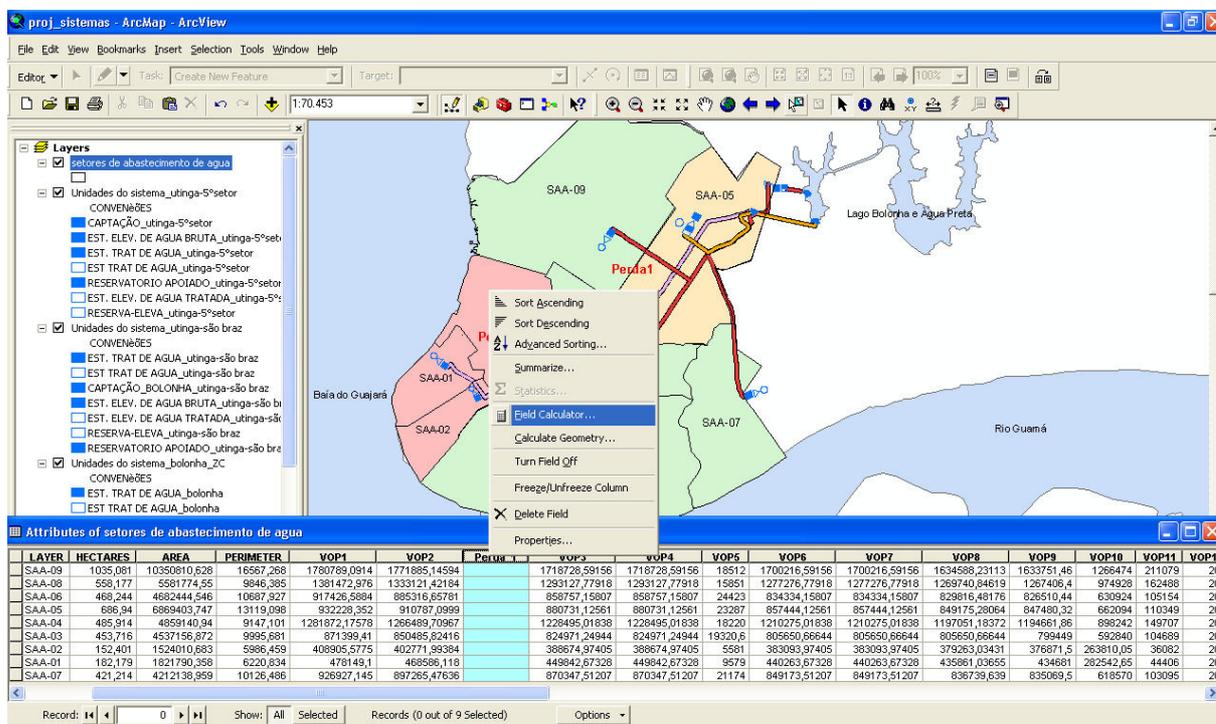


Figura 23 – Utilização da ferramenta *Field Calculator* no banco de dados georreferenciado

Na janela da ferramenta “*Field Calculator*” foi possível realizar operações matemáticas fundamentais para a determinação das perdas 1, 2, 3 e 4, de acordo com fórmulas já descritas na metodologia do trabalho.

Na Figura 24 é possível observar a inserção da fórmula da Perda 1 (Perda na adução de água bruta), onde foram utilizadas as variáveis volume captado (VOP1) e volume macromedido na entrada da ETA (VOP2).

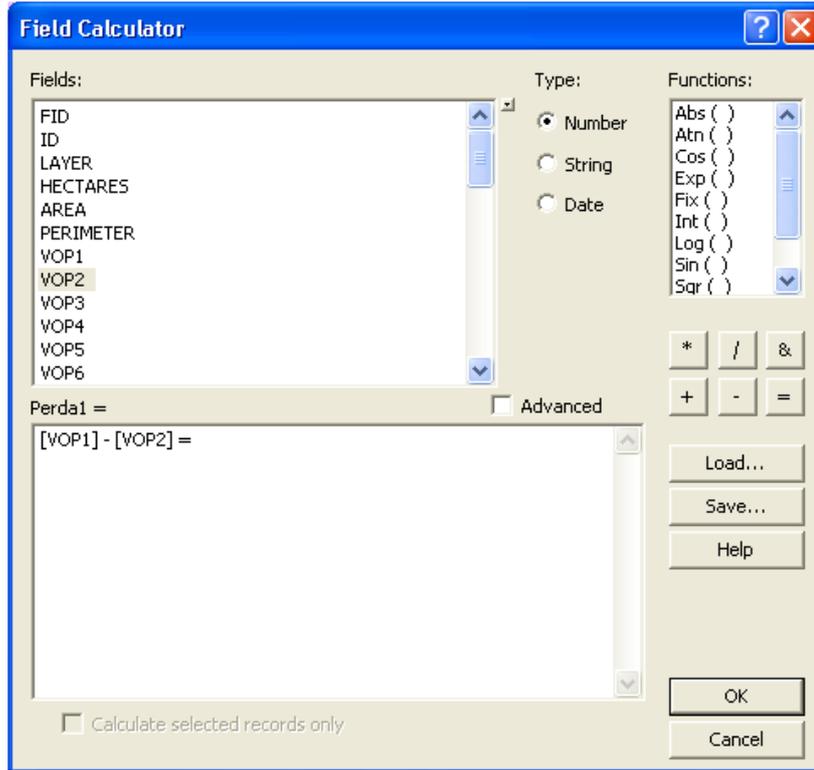


Figura 24 – Cálculo da Perda 1 utilizando a ferramenta *Field Calculator*

Na Figura 25 é mostrado o resultado da Perda na adução de água bruta para os nove SAAs da Zona Central, denominada Perda 1.

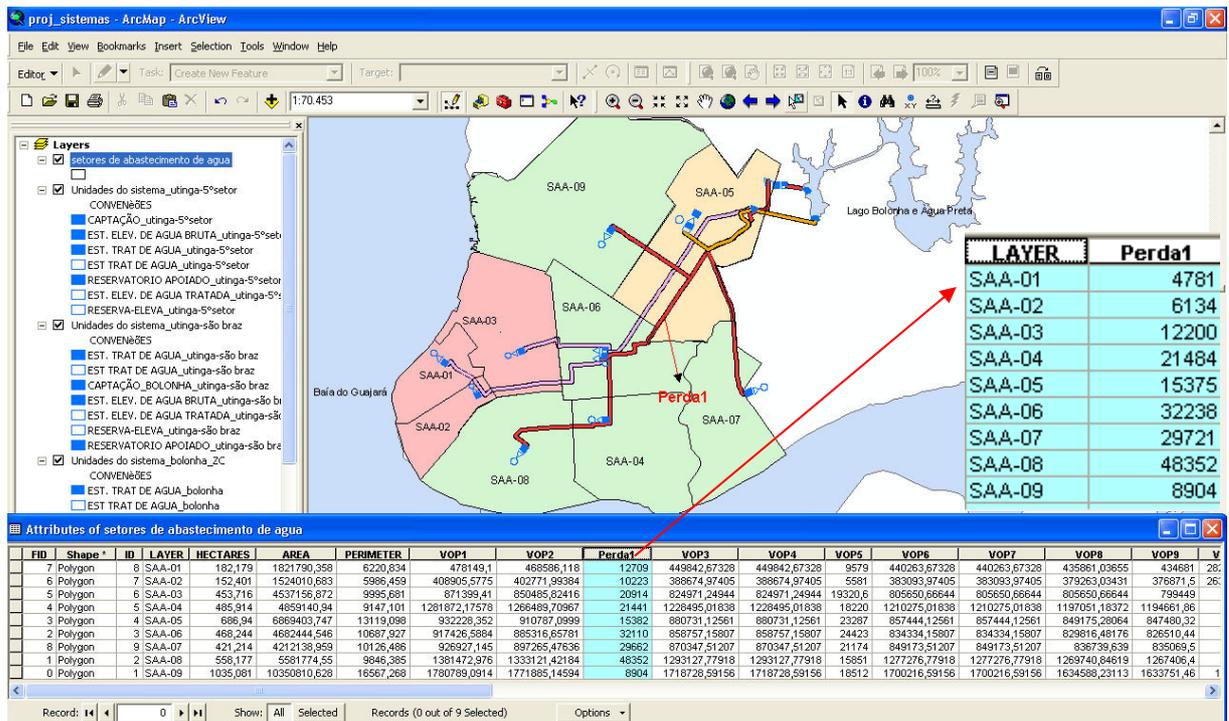


Figura 25 – Resultado da Perda na adução de água (Perda 1)

## b) Perda no tratamento

Para o cálculo da Perda 2 foi utilizada a expressão:

$$\text{Perda 2} = \text{VOp2} - \text{Vop3} - \text{Vop4}$$

Onde:

VOp2 = Volume macromedido na entrada da ETA;

VOp3 = Volume tratado ou volume macromedido na saída da ETA;

VOp4 = Volume de serviço.

Para a isso, foi utilizada a mesma metodologia usada na determinação da perda 1, criando uma nova coluna denominada Perda 2, e calculando a perda no tratamento por meio da fórmula definida na metodologia, conforme mostrado na Figura 26, na Figura 27 e na Figura 28.

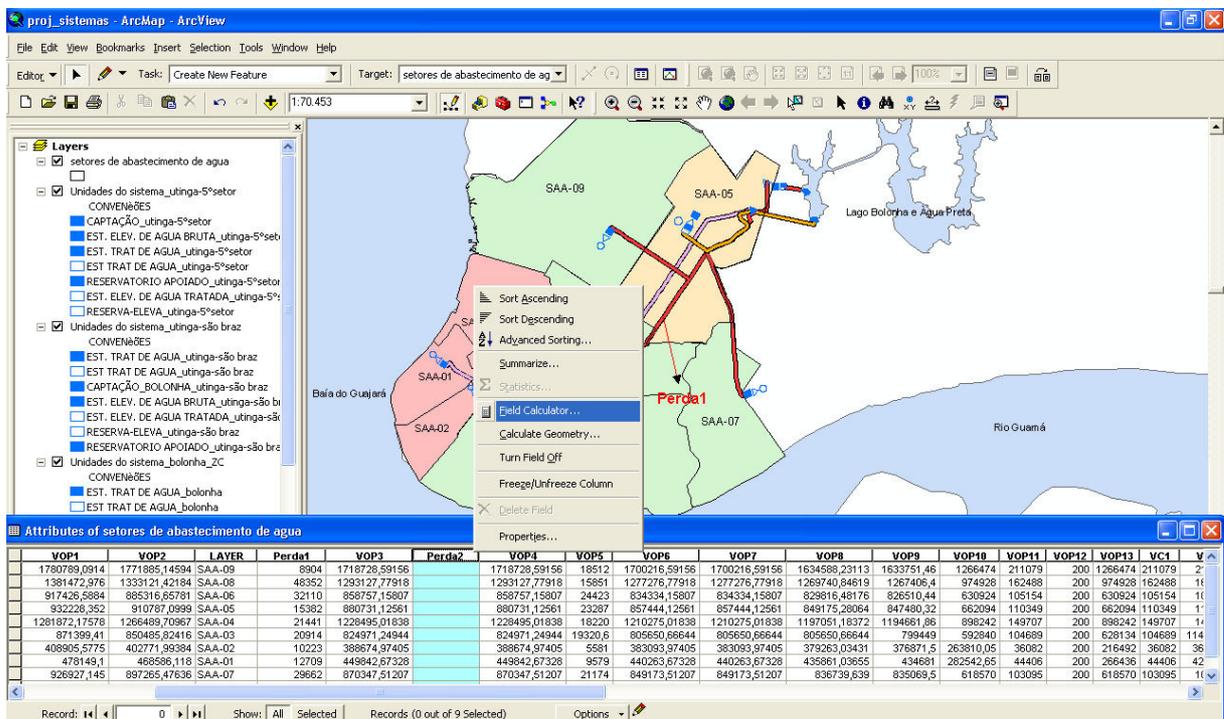


Figura 26 - Utilização da ferramenta *Field Calculator* no banco de dados georreferenciado

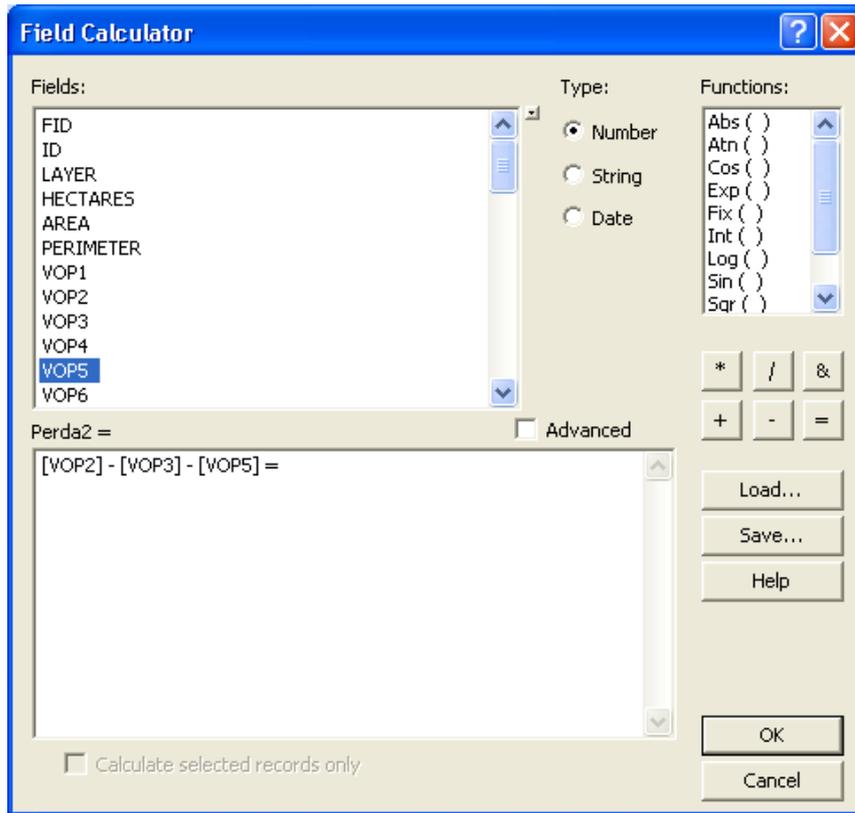


Figura 27 – Cálculo da Perda 2 utilizando a ferramenta *Field Calculator*

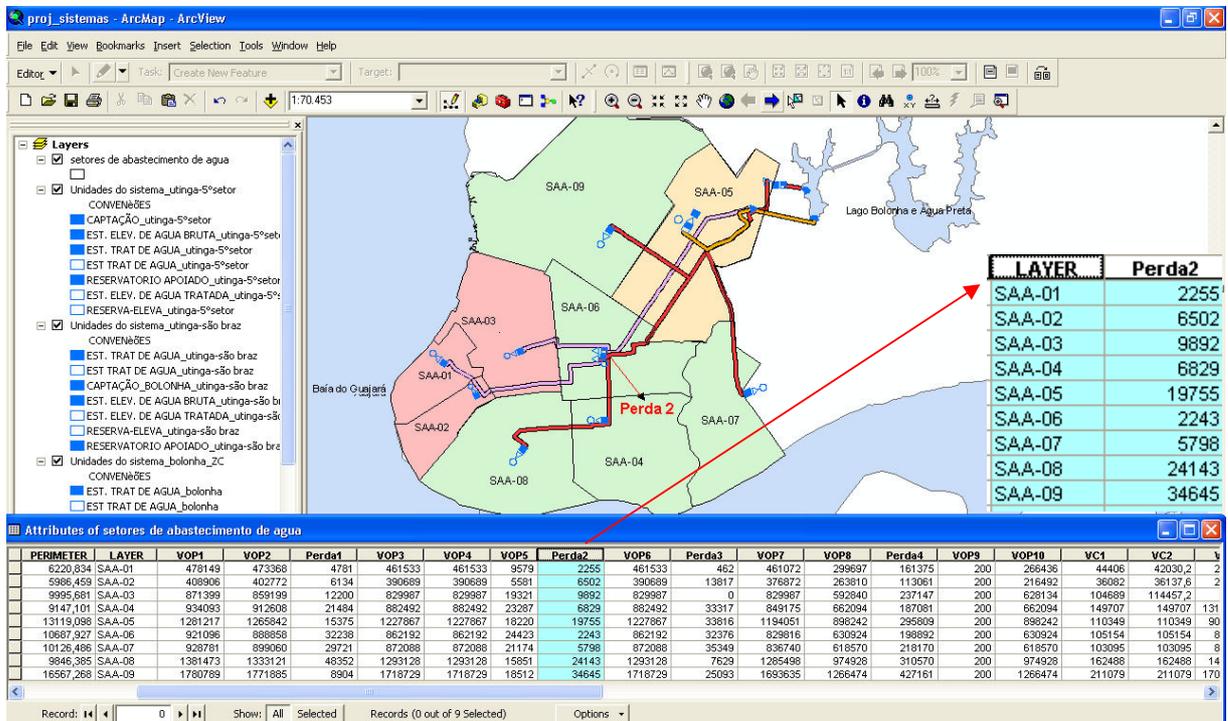


Figura 28 – Resultado da perda no tratamento de água (Perda 2)

### c) Perda na reservação

Para o cálculo da Perda 3 foi utilizada a expressão:

$$\text{Perda 3} = \text{VOp5} - \text{VOp6}$$

Onde:

VOp5 = Volume macromedido na entrada do reservatório apoiado;

VOp6 = Volume macromedido na saída do reservatório elevado ou volume disponibilizado para distribuição;

Na determinação da perda na reservação foi criada a coluna “Perda 3” e calculada a perda na reservação por meio da fórmula definida na metodologia, conforme mostrado na Figura 29, na Figura 30 e na Figura 31.

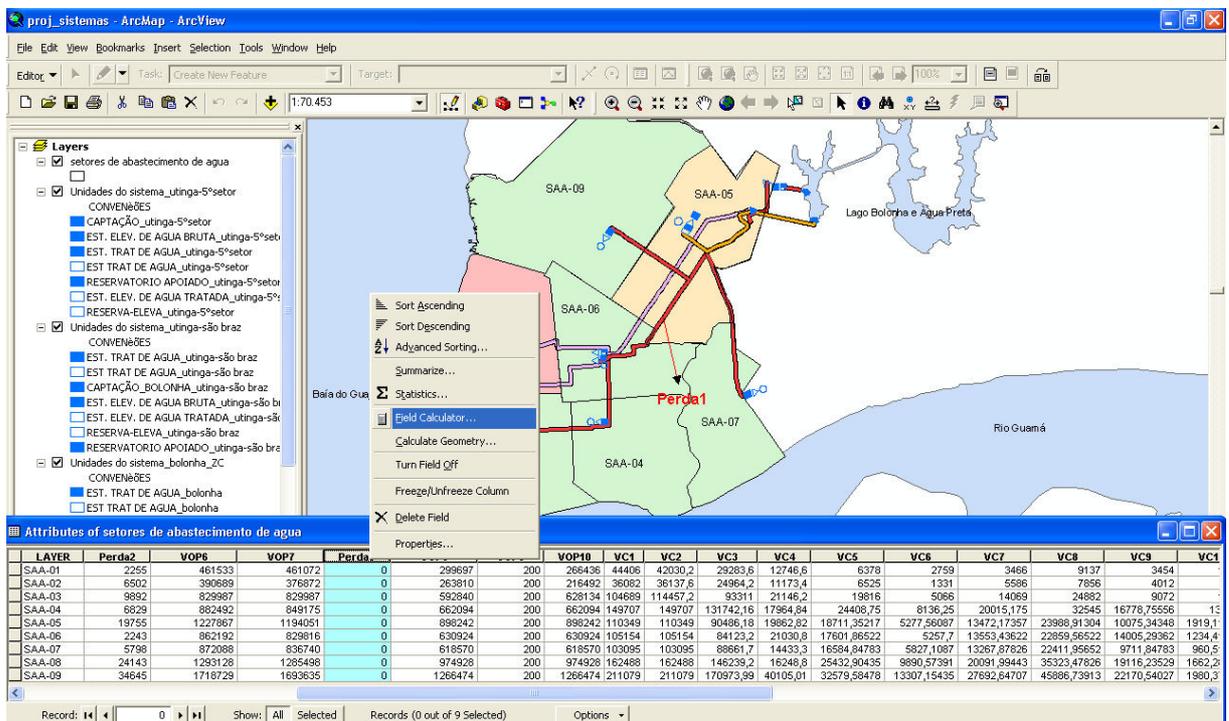


Figura 29 – Utilização da ferramenta Field Calculator no banco de dados georreferenciado

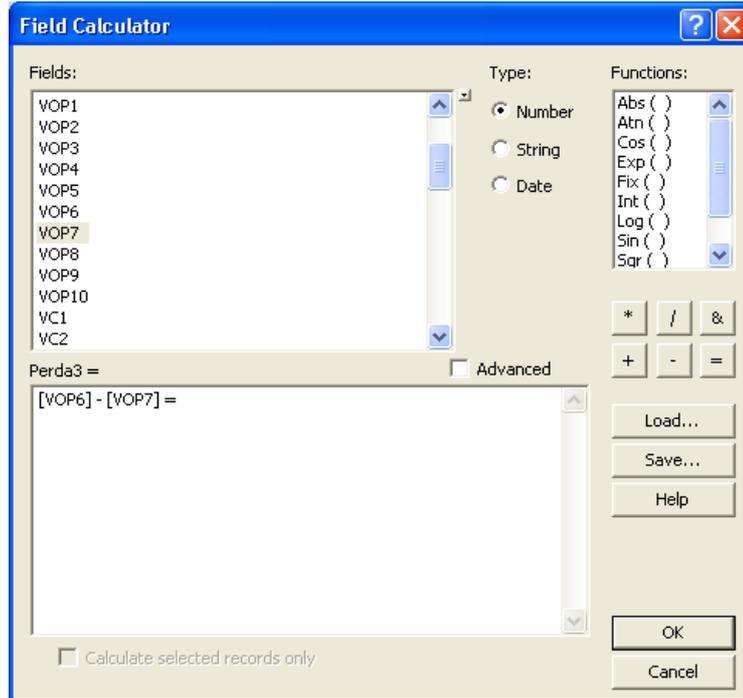


Figura 30 – Cálculo da Perda 3 utilizando a ferramenta Field Calculator

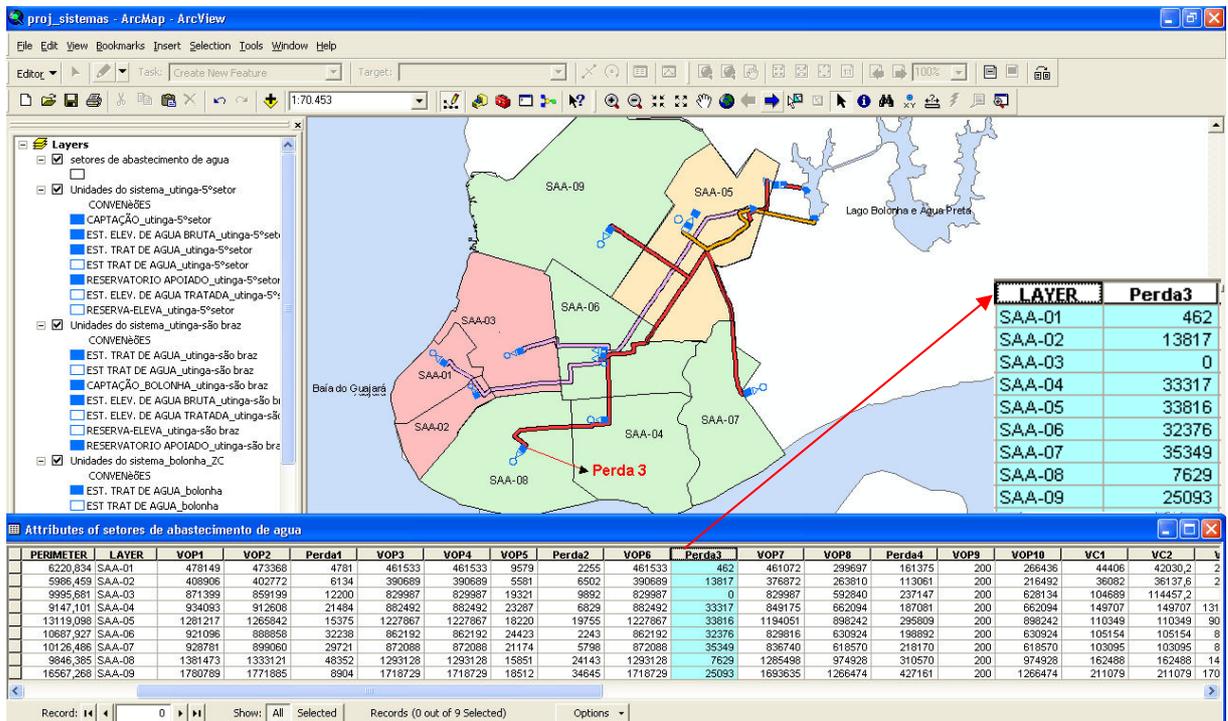


Figura 31 – Resultado da Perda 3 utilizando a ferramenta Field Calculator

#### d) Perda na distribuição

Para o cálculo da Perda 4 foi utilizada a expressão:

$$\text{Perda 4} = \text{VOp6} - \text{Vop7}$$

Onde:

VOp6 = Volume macromedido na saída do reservatório elevado ou volume disponibilizado para distribuição;

VOp7 = Volume consumido.

A perda na distribuição foi determinada utilizando a mesma metodologia anterior, sendo criada a coluna “Perda 4” e calculada a perda na distribuição dos SAAs estudados, conforme mostrado na Figura 32, na Figura 33 e na Figura 34.

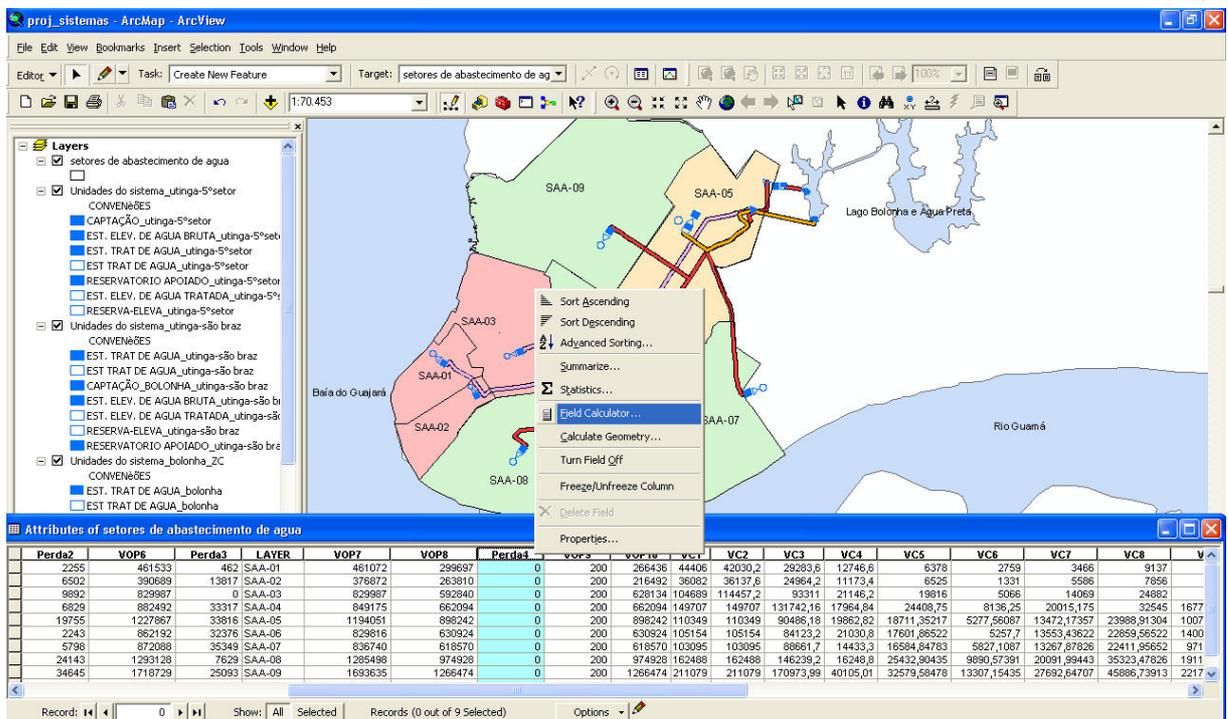


Figura 32 – Utilização da ferramenta *Field Calculator* no banco de dados georreferenciado

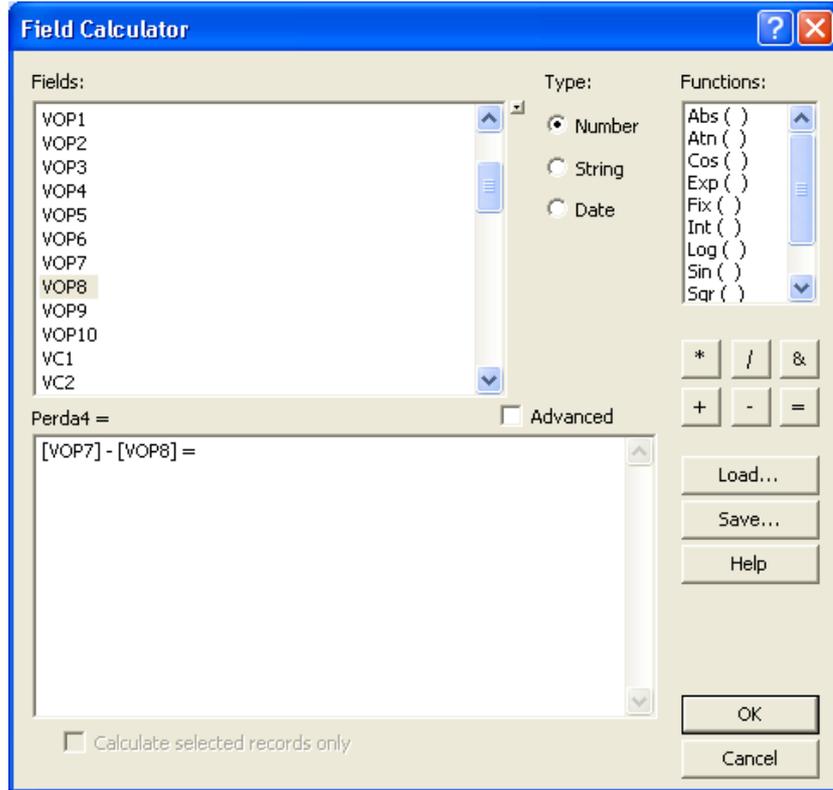


Figura 33 – Cálculo da Perda 4 utilizando a ferramenta Field Calculator

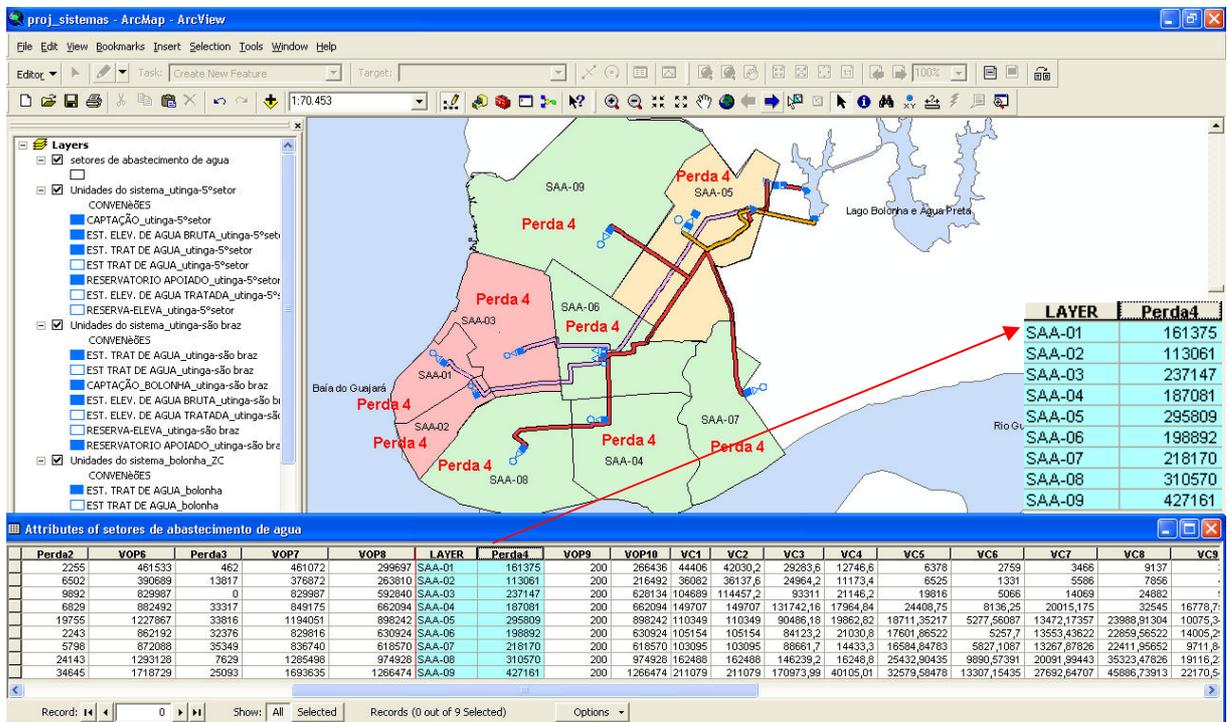


Figura 34 – Resultado da perda na distribuição (Perda 4)

## 5.4 FASE 4 – CÁLCULO DE INDICADORES DE DESEMPENHO

Os indicadores de desempenho foram calculados com o auxílio de SIG, obedecendo a mesma metodologia utilizada para o cálculo das perdas nas unidades dos SAAs.

As fórmulas utilizadas para cálculo dos indicadores foram inseridas na ferramenta “*Field calculator*” do software Arcgis 9.3, gerando automaticamente os resultados dos indicadores para os nove setores de abastecimento de água estudados.

Como o passo a passo da utilização da ferramenta “*Field calculator*” já foi demonstrado nas etapas anteriores, nessa etapa será demonstrado o cálculo do Índice de cobertura de atendimento com abastecimento de água, seguindo o mesmo roteiro para o cálculo dos demais índices, substituindo apenas a fórmula utilizada.

Os indicadores foram calculados conforme demonstrado na Figura 35 e na Figura 36. Na Figura 37 são mostrados os índices de desempenho calculados.

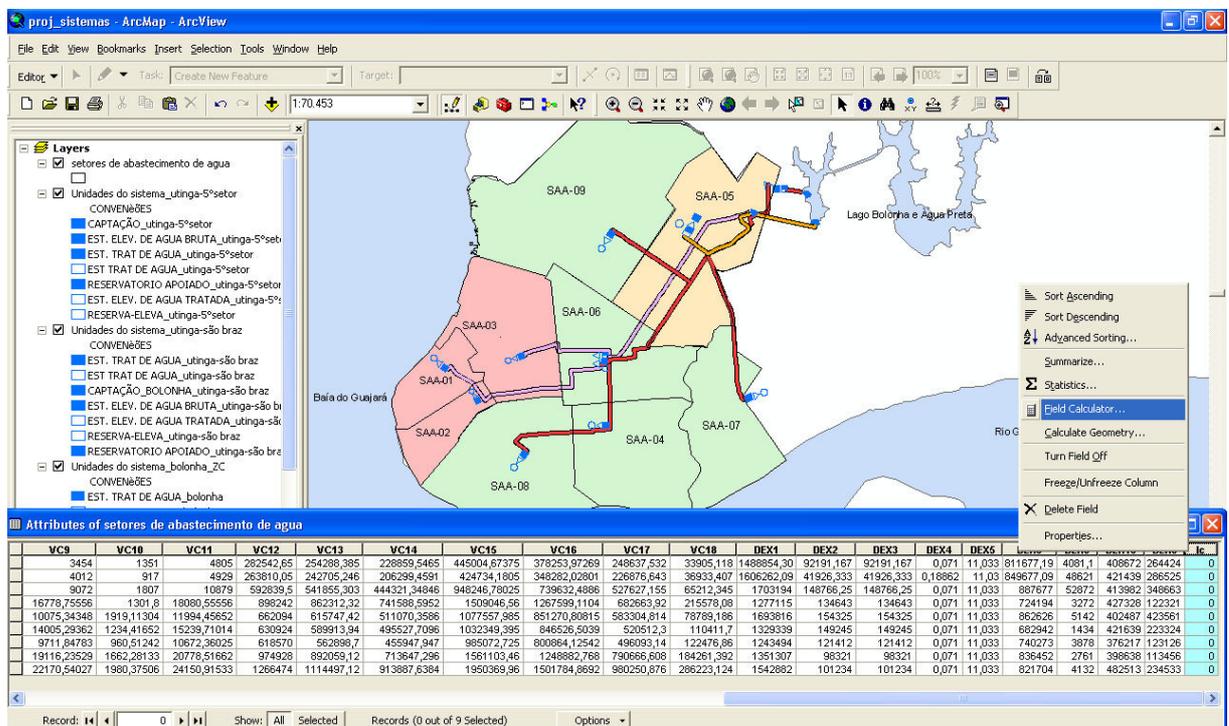


Figura 35 – Exemplo da utilização de SIG para o cálculo de indicadores de desempenho

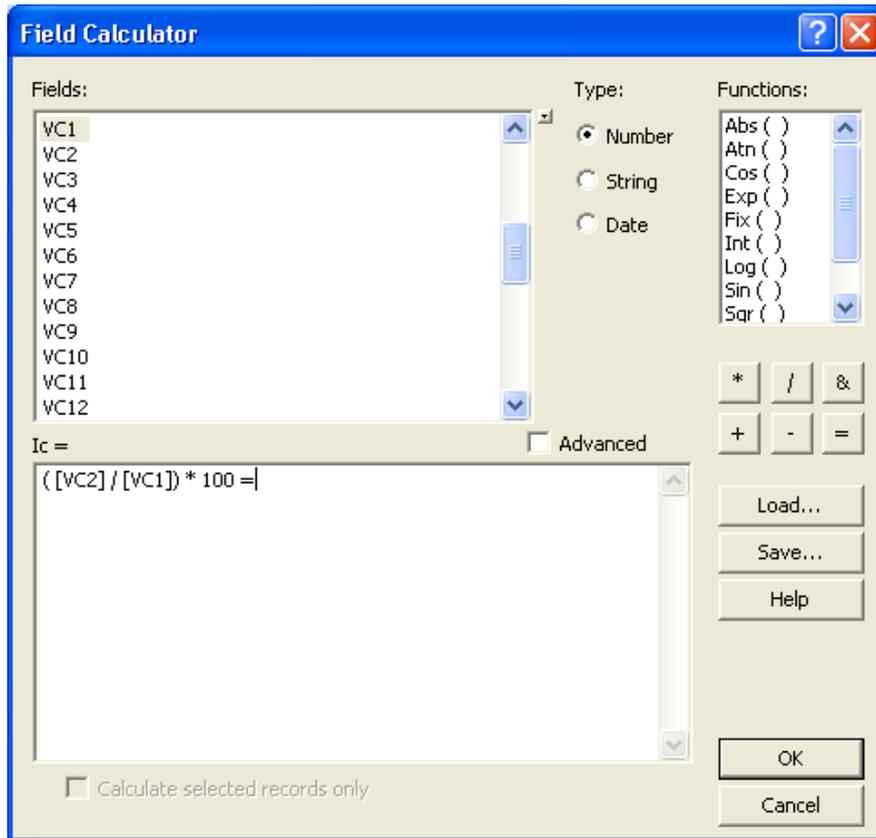


Figura 36 – Exemplo da utilização da ferramenta “Field calculator” para o cálculo de indicadores de desempenho

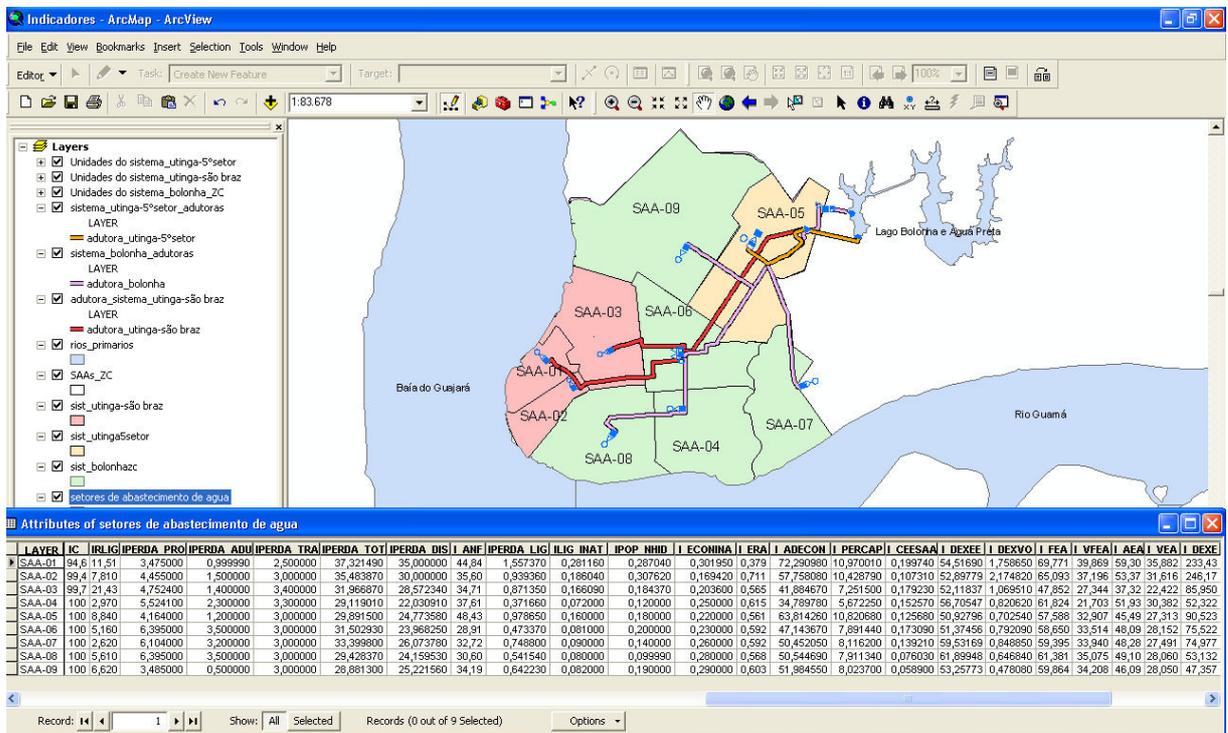


Figura 37 – Índices de desempenho calculados

Na Tabela 7 são apresentados os resultados dos indicadores gerais de desempenho propostos. No exemplo, foi possível constatar que a cobertura do serviço de abastecimento de água é na maioria dos casos de 100%; o indicador de rede de distribuição por ligação de água é maior nos setores 3 e 1, e menor nos setores 4 e 7; já a per capita bruta, ou seja, o volume disponibilizado para distribuição por habitante abastecido, é maior nos setores 1, 2 e 5.

Tabela 3 – Resultados do cálculo de indicadores gerais de desempenho dos SAAs

INDICADOR	SAA-01	SAA-02	SAA-03	SAA-04	SAA-05	SAA-06	SAA-07	SAA-08	SAA-09
Ic	94,65	99,50	99,80	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Irlig	11,51	7,81	21,43	2,97	8,84	5,16	2,62	5,61	6,62
I_PERCAPB	10,97	10,43	7,25	5,67	10,82	7,89	8,12	7,91	8,02

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos indicadores de perdas reais propostos na pesquisa, como indicador de perda na produção, indicador de perda na adução, indicador de perda no tratamento, indicador de perda total, indicador de perda na distribuição e indicador de perda por ligação. É possível observar que a perda mais significativa é a perda na distribuição, onde o setor 9 é o que apresenta maior indicador, sendo, conseqüentemente maior a perda total nesse setor.

Tabela 4 – Resultados do cálculo de indicadores de perdas reais dos SAAs

INDICADOR	SAA-01	SAA-02	SAA-03	SAA-04	SAA-05	SAA-06	SAA-07	SAA-08	SAA-09
Iperda_prod	3,48	4,46	4,75	5,52	4,16	6,40	6,10	6,40	3,49
Iperda_Adu	1,00	1,50	1,40	2,30	1,20	3,50	3,20	3,50	0,50
Iperda_Trat	2,50	3,00	3,40	3,30	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Iperda_total	37,321	38,249	40,773	54,429	50,383	45,202	46,720	50,600	59,107
Iperda_Dist	35,00	33,00	37,82	51,10	45,42	39,17	40,86	46,91	57,00
Iperda_Lig	1,56	0,94	0,87	0,37	0,98	0,47	0,75	0,54	0,64

Na Tabela 5 são apresentados os resultados dos indicadores comerciais de desempenho propostos. O setor que apresentou os piores índices foram: O setor 01,

que apresentou maior índice de ligações inativas, o maior índice de economias inativas e o menor índice de economias residenciais ativas; o setor 2, que apresentou o maior índice de população não hidrometrada; o setor 5 que apresentou o maior índice de água não faturada; o setor 3 que apresenta o menor índice de faturamento por economia ativa e a menor arrecadação por economia ativa.

Tabela 5 – Resultados do cálculo de indicadores comerciais de desempenho dos SAAs

INDICADOR	SAA-01	SAA-02	SAA-03	SAA-04	SAA-05	SAA-06	SAA-07	SAA-08	SAA-09
<b>ILig_Inat</b>	0,28	0,19	0,17	0,07	0,16	0,08	0,09	0,08	0,08
<b>Ipop_NHid</b>	0,29	0,31	0,18	0,12	0,18	0,20	0,14	0,10	0,19
<b>I_EconInat</b>	0,30	0,17	0,20	0,25	0,22	0,23	0,26	0,28	0,29
<b>I_ERA</b>	0,38	0,71	0,57	0,62	0,56	0,59	0,59	0,57	0,60
<b>I_ADECON</b>	72,29	57,76	41,88	34,79	63,81	47,14	50,45	50,54	51,98
<b>I_ANF</b>	44,85	35,60	34,72	37,61	48,43	28,91	32,73	30,61	34,19
<b>I_FEA</b>	69,77	65,09	47,85	61,82	57,59	58,65	59,40	61,38	59,86
<b>I_VFEA</b>	39,87	37,20	27,34	21,70	32,91	33,51	33,94	35,08	34,21
<b>I_AEA</b>	59,31	53,38	37,33	51,93	45,49	48,09	48,29	49,11	46,10
<b>I_VAEA</b>	35,88	31,62	22,42	30,38	27,31	28,15	27,49	28,06	28,05

Na Tabela 6 são apresentados os resultados dos indicadores de despesas com energia elétrica propostos, onde é possível observar que o consumo de energia elétrica é maior no setor 1, e menor no setor 09, e o índice de despesas com energia elétrica é maior no setor 3.

Tabela 6 – Resultados do cálculo de indicadores de despesas com energia elétrica nos SAAs

INDICADOR	SAA-01	SAA-02	SAA-03	SAA-04	SAA-05	SAA-06	SAA-07	SAA-08	SAA-09
<b>I_CEESAA</b>	0,20	0,11	0,18	0,15	0,13	0,17	0,14	0,08	0,06
<b>I_DEXEE</b>	68,32	52,76	96,37	83,59	89,91	92,02	86,79	80,28	72,39

Na Tabela 7 são apresentados os resultados dos indicadores de despesas de exploração propostos, onde é possível observar que o setor 1 possui o maior índice de despesas por volume produzido e o maior índice de despesas por economia ativa.

Tabela 7 - Resultados do cálculo de indicadores de desempenho dos SAAs

INDICADOR	SAA-01	SAA-02	SAA-03	SAA-04	SAA-05	SAA-06	SAA-07	SAA-08	SAA-09
I_DEXVol	2,20	1,18	1,98	1,68	1,39	1,91	1,54	0,84	0,65
I_DEXEA	233,44	134,34	85,95	72,81	101,21	101,66	93,07	53,13	47,36

Finalizado o desenvolvimento de SIG, com a inserção dos dados dos SAAs estudados, e calculadas as suas respectivas perdas e indicadores de desempenho, é possível a atualização, visualização e consulta dessas informações, conforme demonstrado na Figura 38.

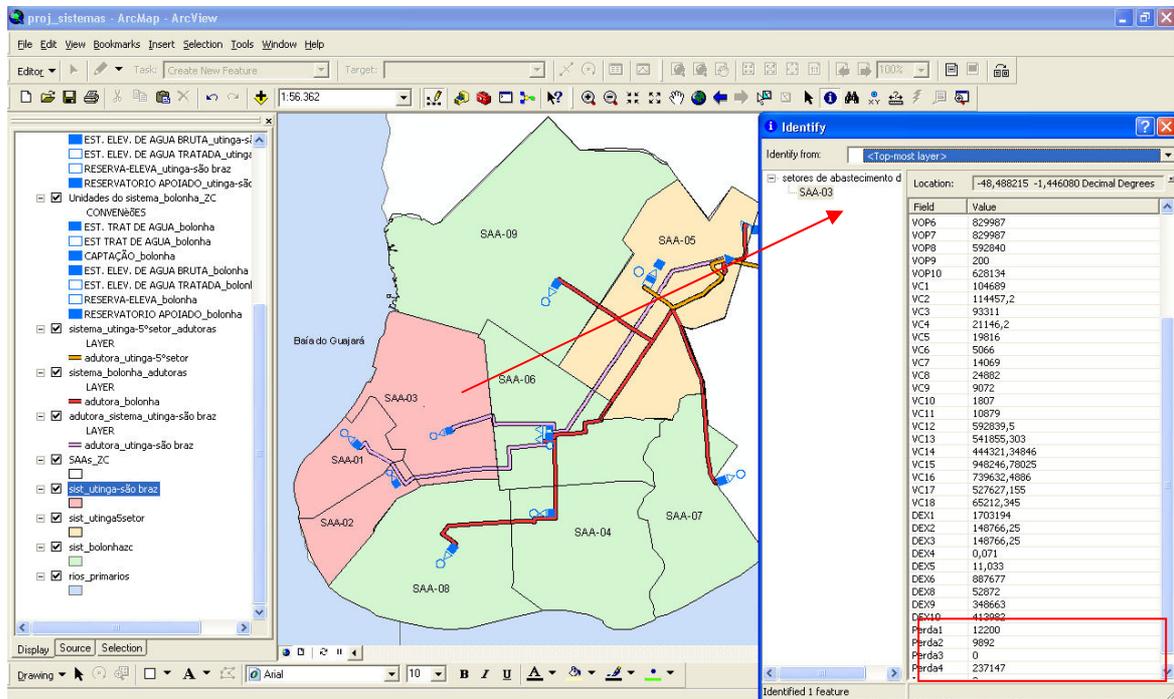


Figura 38 – Visualização e consulta dos dados, perdas e indicadores de desempenho do 3º setor de abastecimento

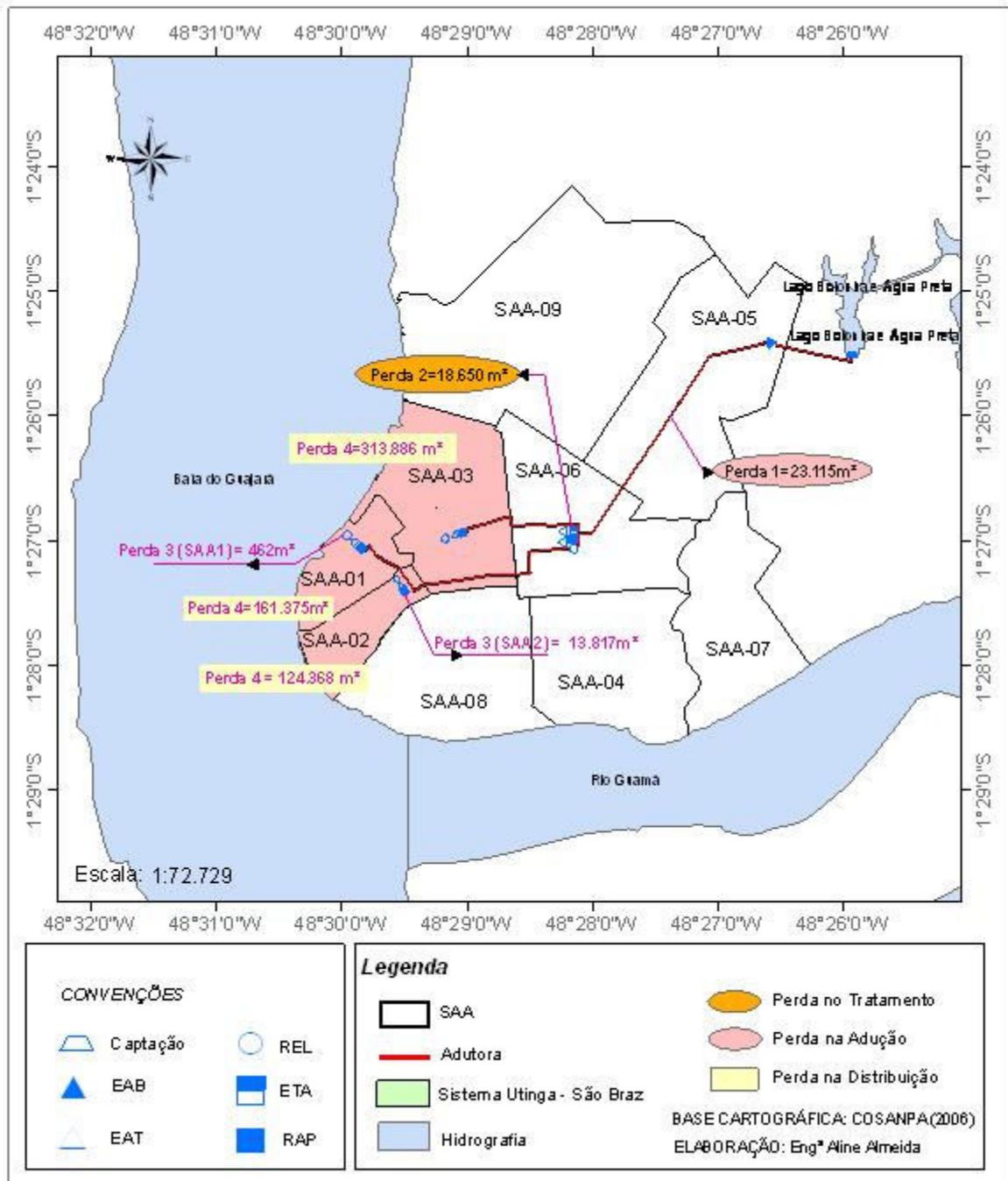
## 5.5 FASE 5 - ESPACIALIZAÇÃO DOS RESULTADOS EM SIG

Com a utilização de SIG na análise de desempenho de SAAs é possível visualizar os dados e os resultados com mais facilidade e dispor de informações mais precisas para tomada de decisão.

Com base nos valores adotados para a exemplificação do uso de SIG em SAAs, foram construídos mapas para facilitar a visualização das informações de desempenho dos SAAs.

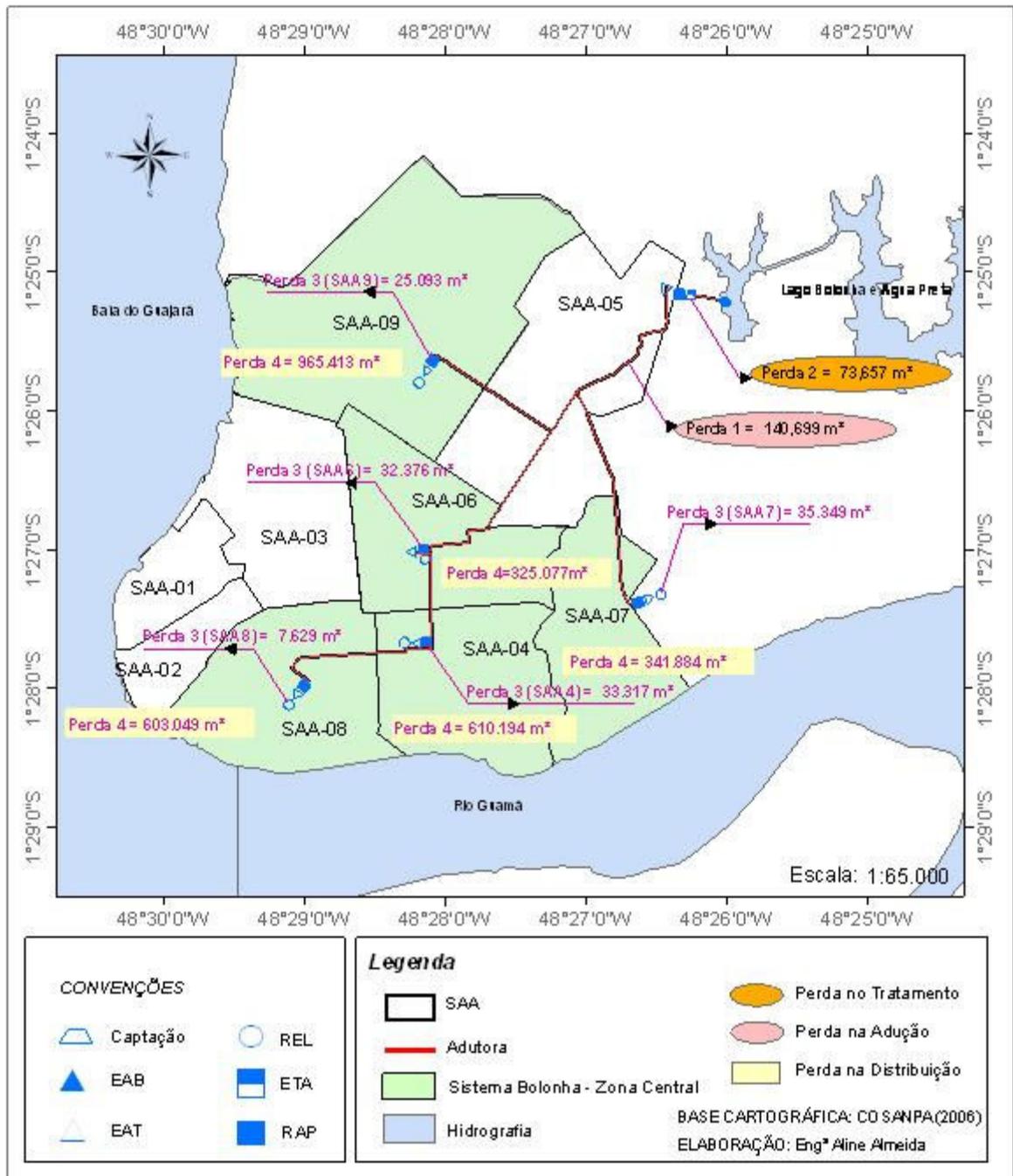
Com os resultados do balanço hídrico foram determinadas as perdas físicas na adução (Perda 1), no tratamento (Perda 2), na reservação (Perda 3) e na distribuição (Perda 4) para os setores de abastecimento de água dos SAAs Utinga - São Braz, Bolonha - Zona Central e Utinga - 5º Setor.

Nesse exemplo, é possível identificar as perdas e seus valores, ressaltando o objeto de interesse, no caso, as perdas físicas na adução, no tratamento, na reservação e na distribuição para os três setores do SAA Utinga - São Braz, conforme apresentado no Mapa 2.



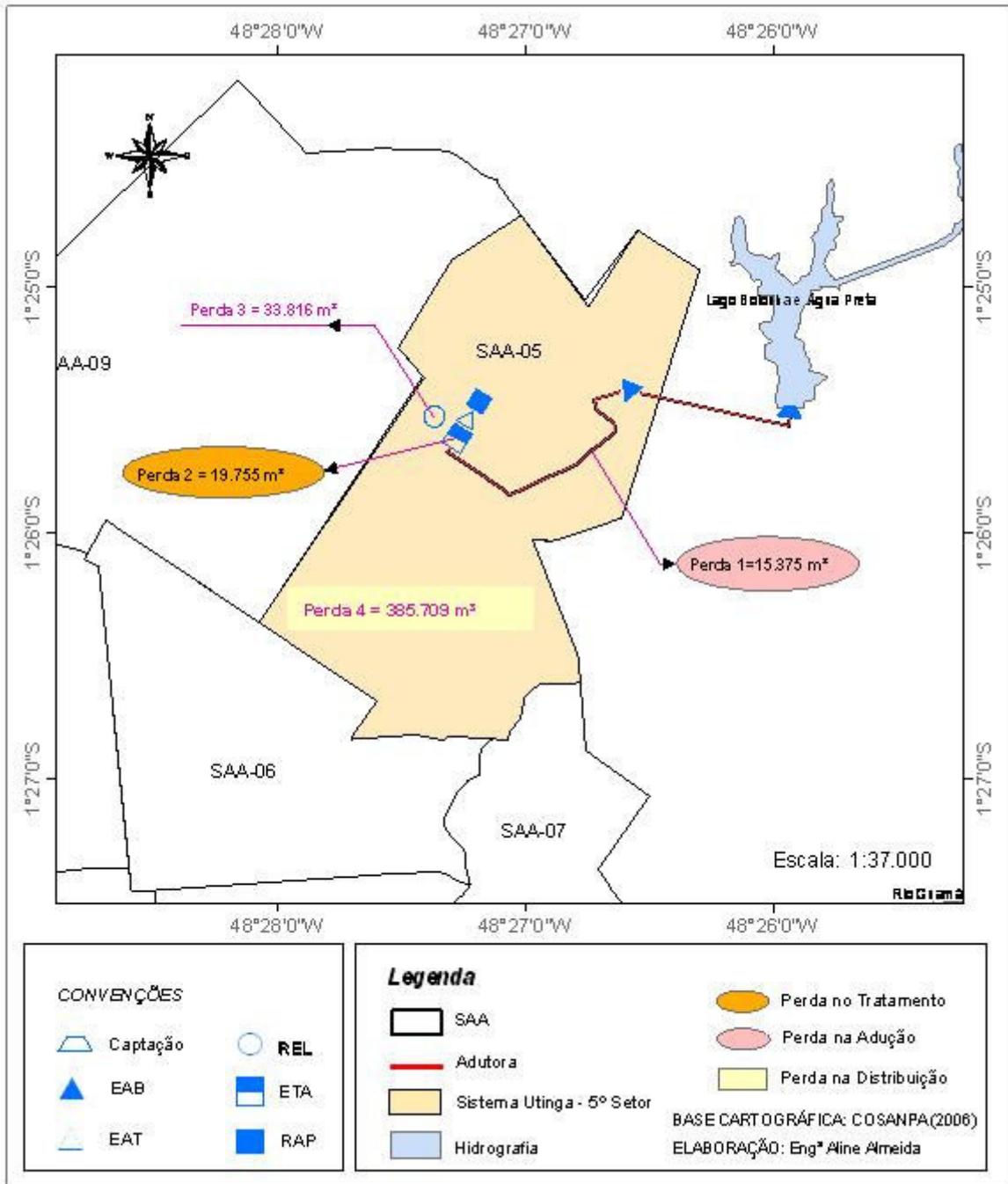
Mapa 2 - Perdas no SAA Utinga - São Braz

No Mapa 3 são apresentadas as perdas físicas na adução, no tratamento, na reservação e na distribuição para os cinco setores do SAA Bolonha - Zona Central. É possível verificar que os maiores volumes de perda de água ocorre na distribuição, e os menores volumes ocorrem na reservação, seguida do tratamento de água. Os setores 9, 4 e 8, apresentaram as maiores perdas físicas.



Mapa 3 - Perdas no SAA Bolonha - Zona Central

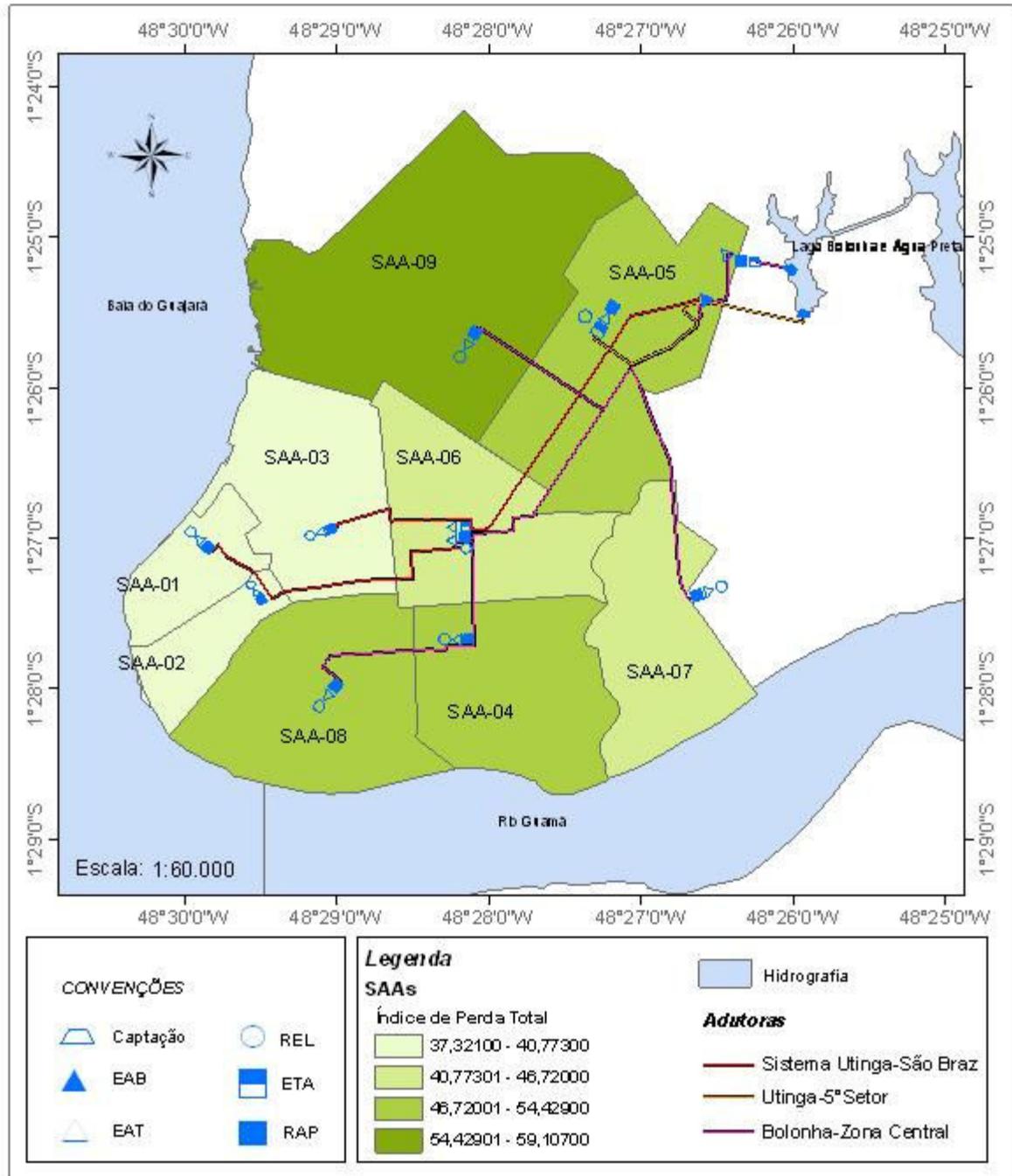
No Mapa 2 são apresentadas as perdas físicas na adução, no tratamento, na reservação e na distribuição para o SAA Utinga - 5º Setor. No mapa é possível identificar claramente os volumes de perda de água que ocorrem desde a captação até a distribuição, sendo nesse caso, menos significativa a perda na adução (15.375 m³), e mais significativa, a perda na distribuição (385.709 m³).



Mapa 4 - Perdas no SAA Utinga - 5º Setor

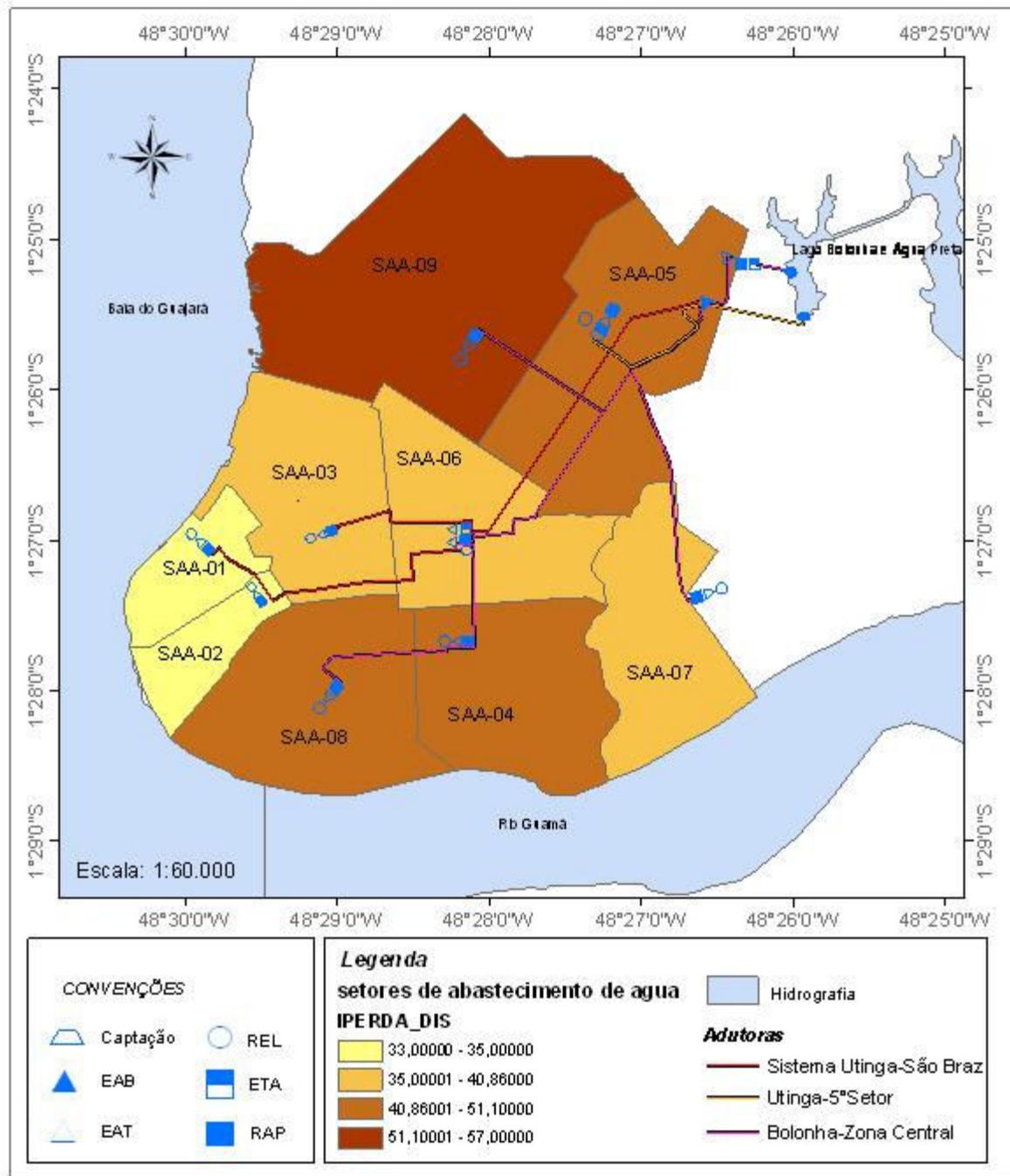
Além das perdas físicas foram construídos indicadores para auxiliar na avaliação de desempenho dos SAAs estudados. Os resultados do cálculo dos indicadores são apresentados nos mapas com graduação de cor construídos utilizando o software ArcGis 9.3, dessa forma é possível visualizar os setores com maior ou menor índice, sendo os maiores índices representados pela tonalidade mais forte e os menores índices representados pela tonalidade mais fraca.

No Mapa 5 são apresentados os índices de perda total para os nove setores de abastecimento de água estudados hipoteticamente. O setor 9 foi o que apresentou maior índice de perda total, chegando a 59,107% de perda física total, seguido dos setores 4, 8 e 5.

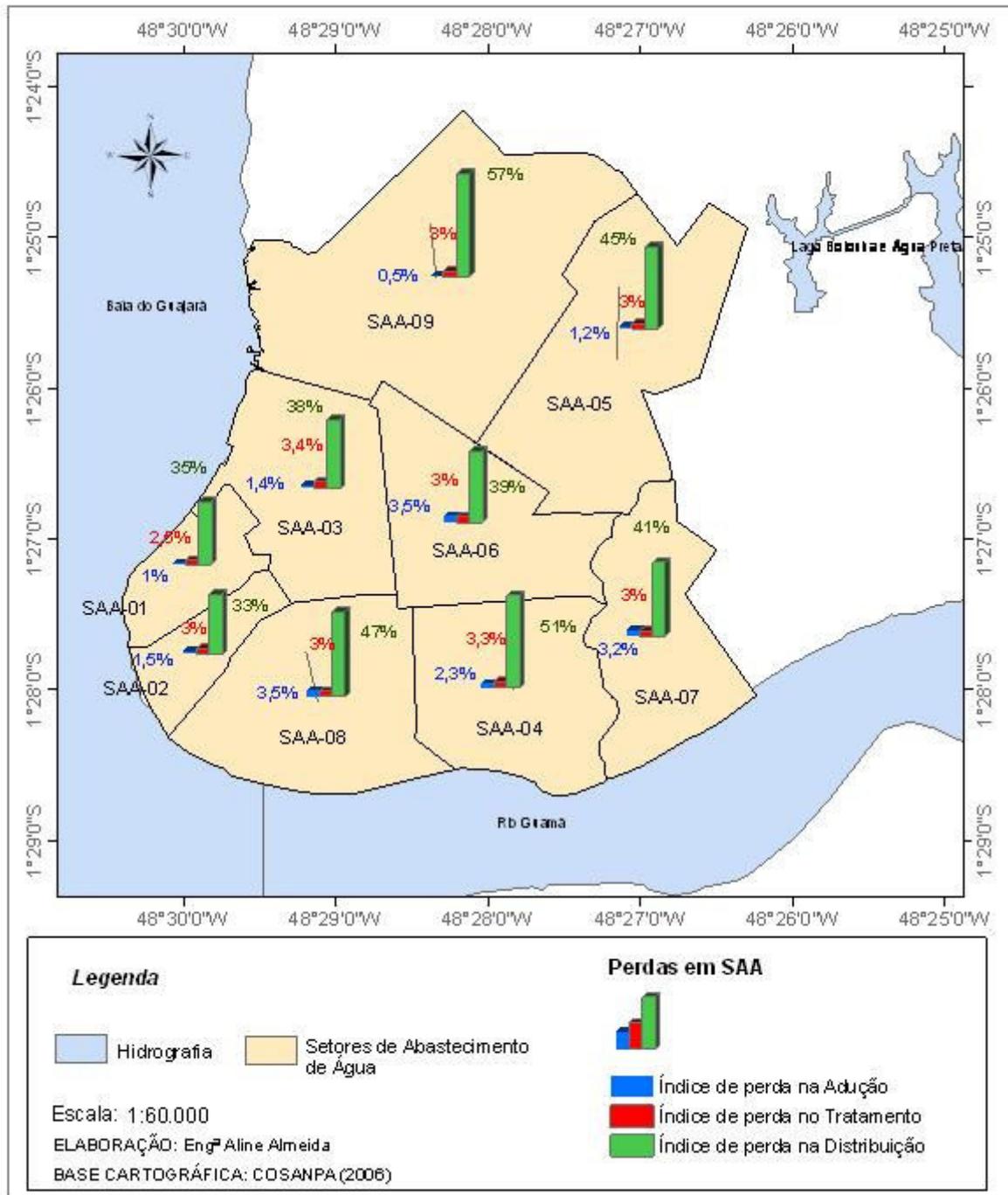


Mapa 5 - Índice de Perda Total nos SAAs estudados

Com os dados adotados na pesquisa foi possível também determinar e espacializar o indicador de perda na distribuição, que é a perda mais significativa de todo o sistema. No Mapa 6 são apresentados os índices de perda na distribuição para os nove setores de abastecimento de água estudados, onde é possível constatar que o maior percentual de perda na distribuição ocorre no setor 9, chegando à 57% de perda na distribuição, seguido dos setores 4, 8 e 5.

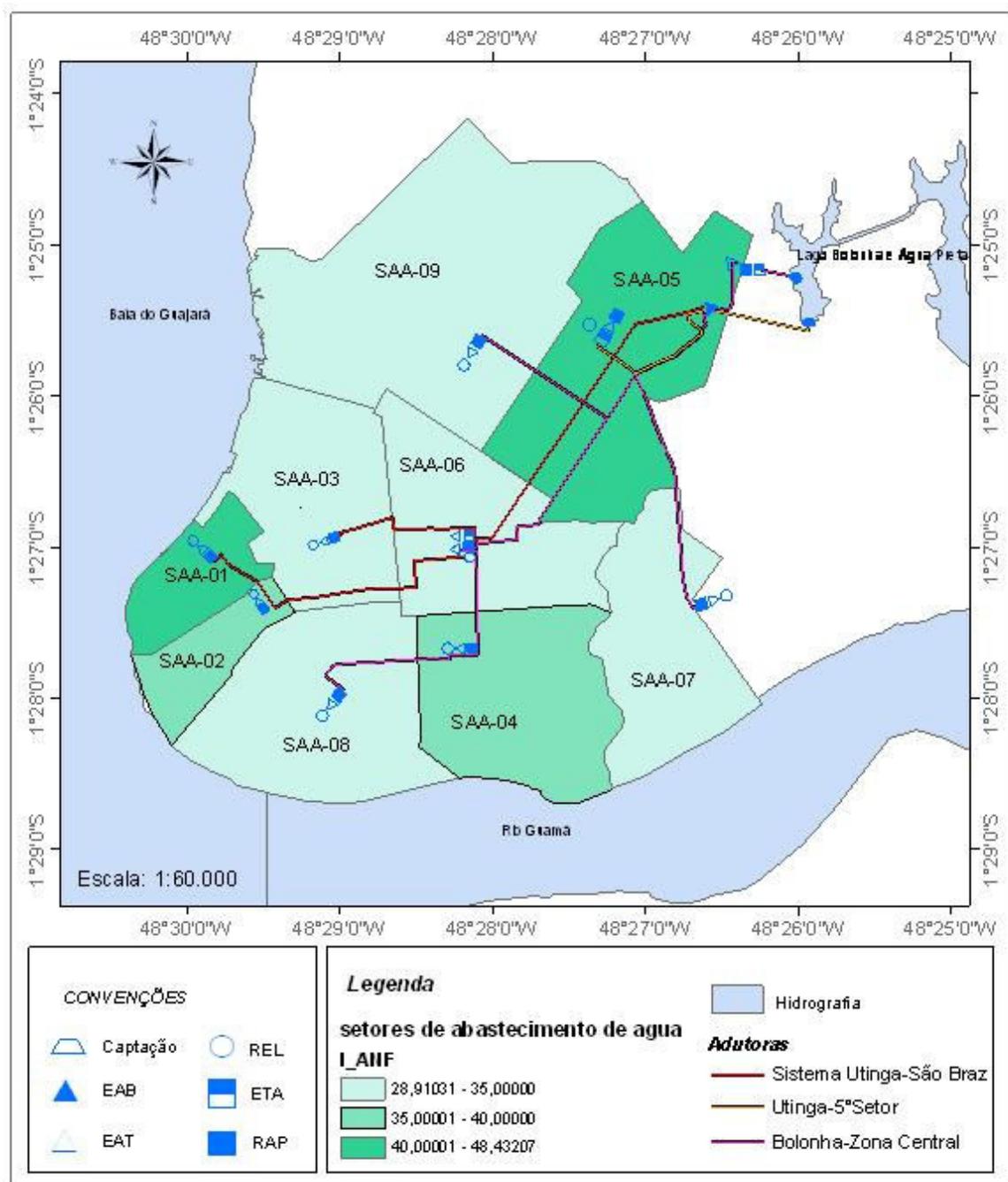


No Mapa 7 é possível visualizar os indicadores de perdas físicas nas unidades de adução, tratamento e distribuição dos SAAs estudados. No mapa é possível verificar que o maior percentual de perda nos SAAs ocorre na distribuição, sendo o setor 9, com maior índice de perda na distribuição (57%); o setor com maior índice de perda no tratamento, foi o setor 3, com 3,4% de perda; e os setores com maior índice de perda na adução, foram os setores 6 e 8, com 3,5% de perda na adução.



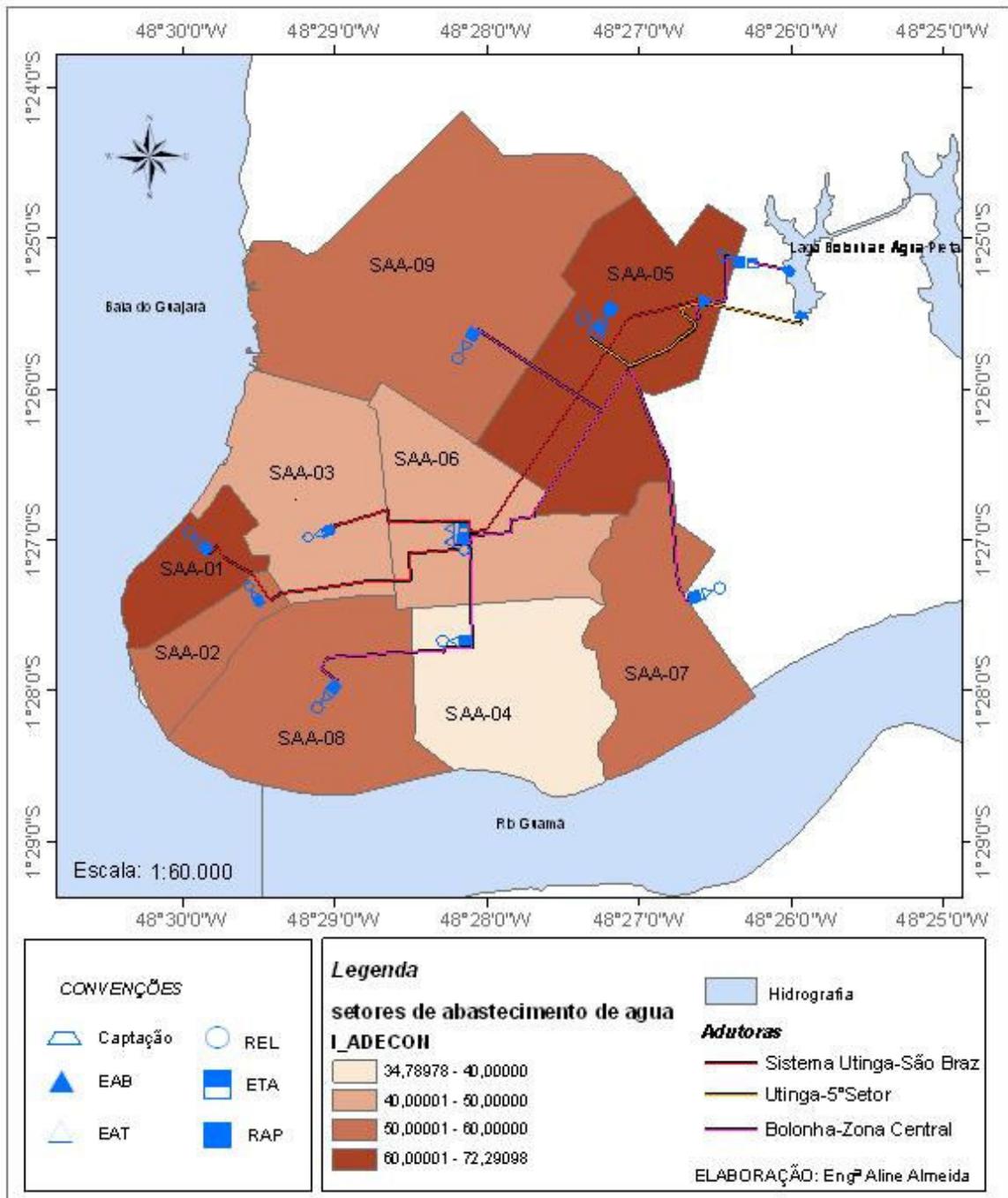
Mapa 7 - Índice de Perdas físicas nas Unidades dos SAAs estudados

No Mapa 8 são apresentados os índices de Água Não Faturada para os nove setores de abastecimento de água estudados, onde é possível constatar que o maior percentual de água não faturada ocorre nos setores 1 e 5, seguido dos setores 2 e 4.



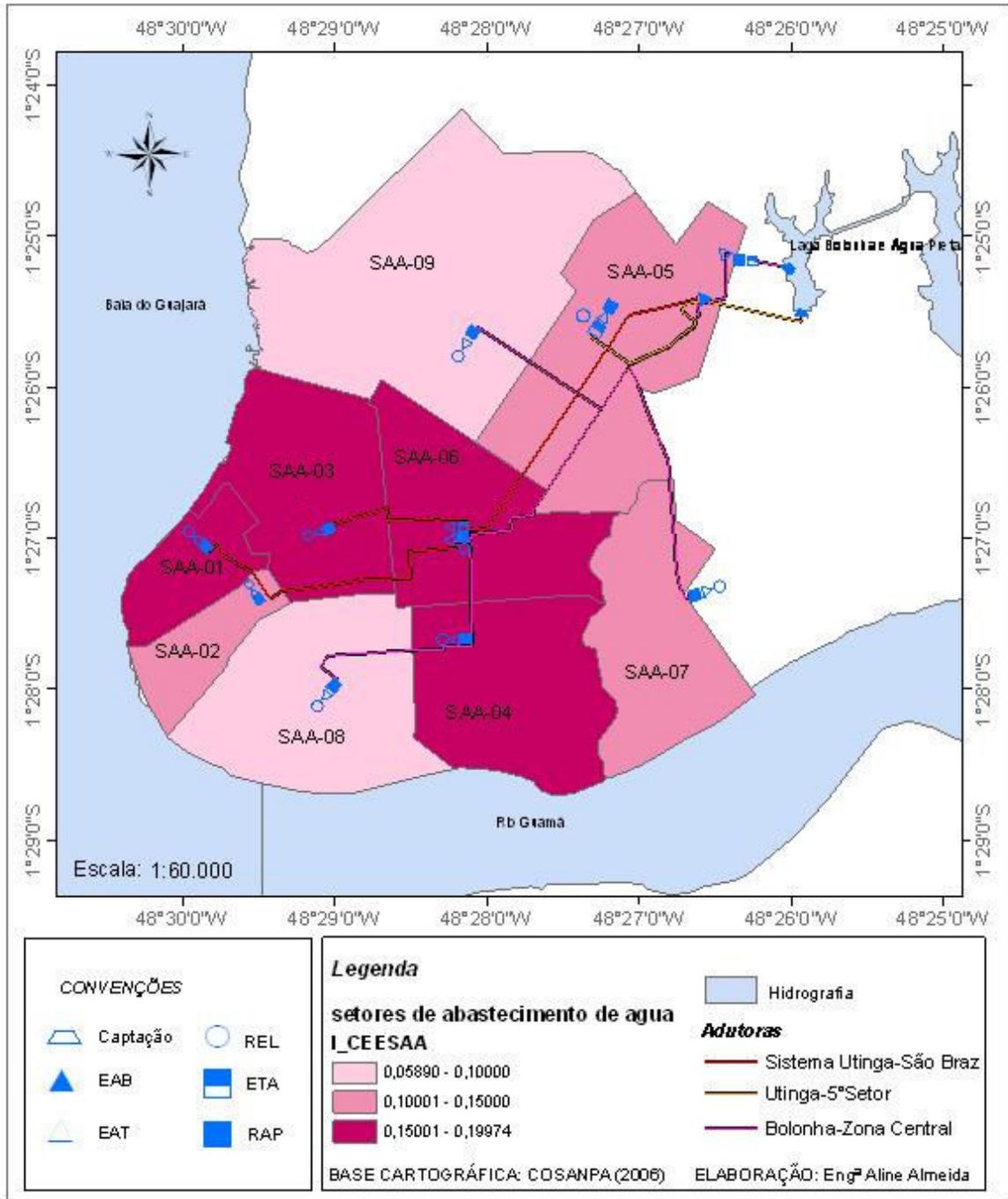
Mapa 8 - Índice de Água Não Faturada nos setores de abastecimento estudados

No Mapa 9 são apresentados os índices de água distribuída por economia ativa para os nove setores de abastecimento de água estudados, onde é possível constatar que o maior percentual desse índice ocorre nos setores 1 e 5, seguido dos setores 2, 7, 8 e 9.



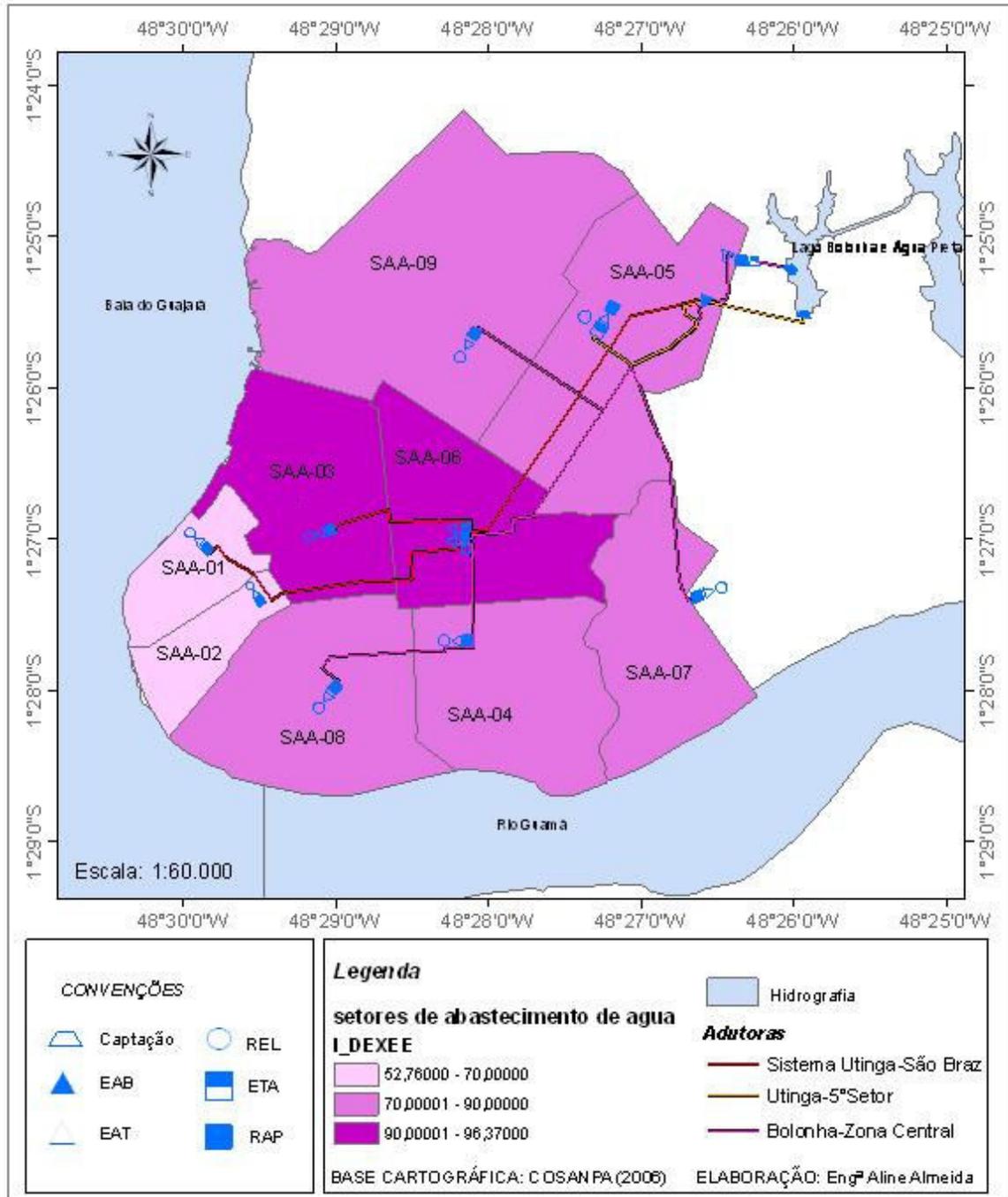
Mapa 9 - Índice de Água Distribuída por Economia Ativa nos setores de abastecimento estudados

No Mapa 10 são apresentados os índices de consumo de energia elétrica por volume de água produzido para os nove setores de abastecimento de água estudados, onde é possível constatar que o maior percentual de consumo de energia Elétrica ocorre nos setores 1, 3, 4 e 6.



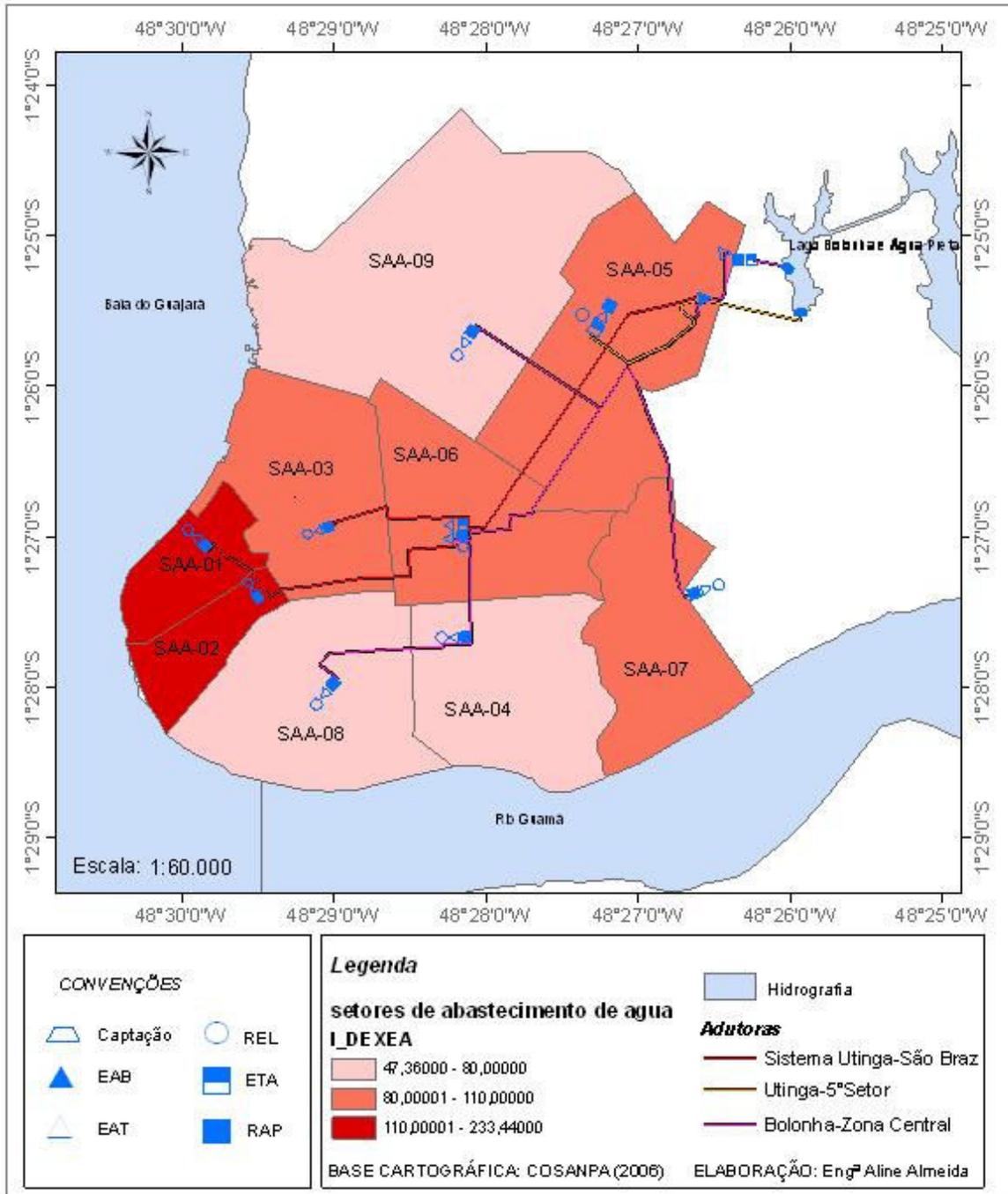
Mapa 10 - Índice de Consumo de Energia Elétrica nos setores de abastecimento estudados

No Mapa 11 são apresentados os índices de despesas com energia elétrica para os nove setores de abastecimento de água estudados, onde é possível constatar que o maior percentual desse índice ocorre nos setores 3 e 6.



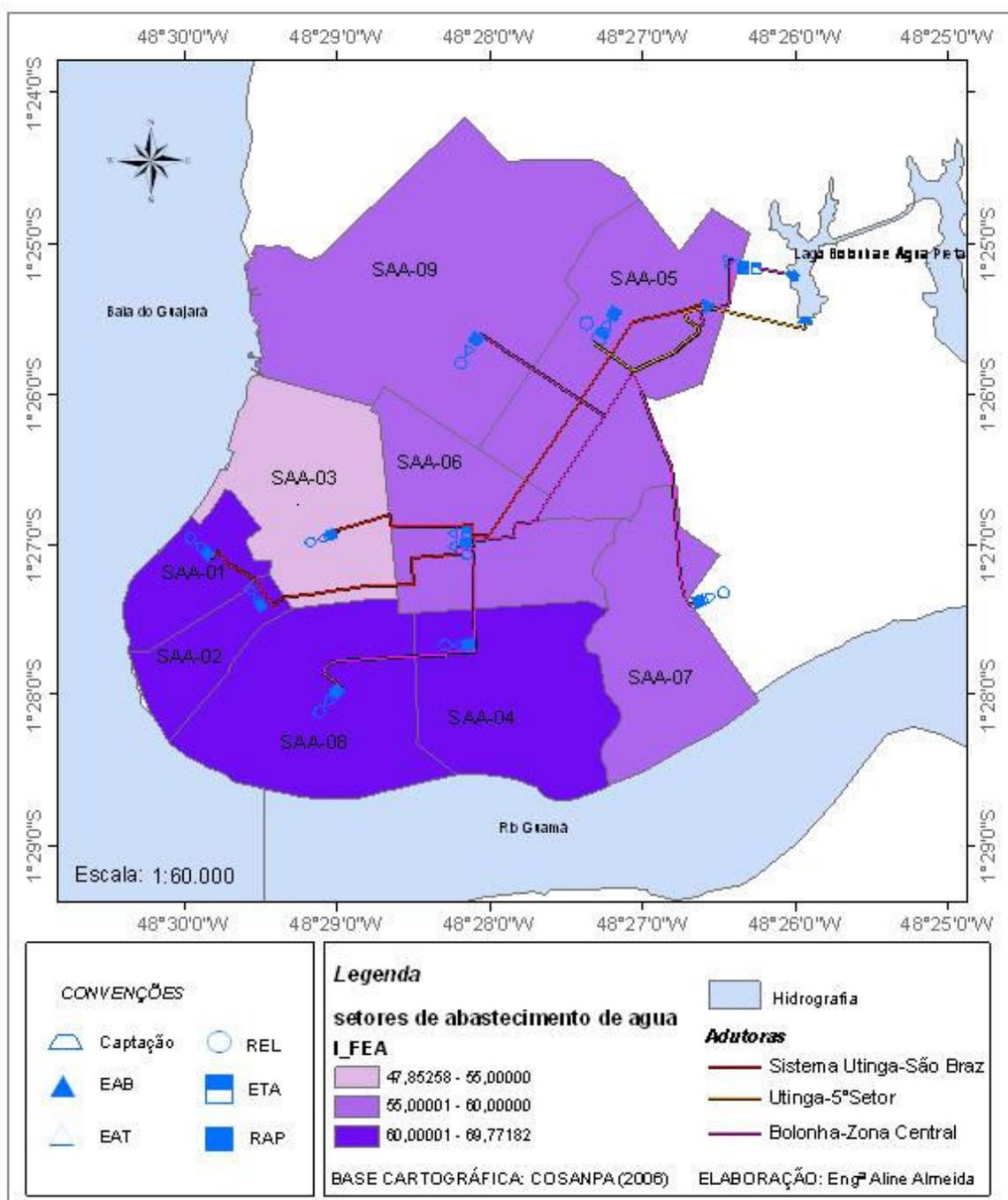
Mapa 11 - Índice de Despesas com Energia Elétrica nos setores de abastecimento estudados

No Mapa 12 são apresentados os índices de despesas de exploração por economia ativa para os nove setores de abastecimento de água estudados, onde é possível constatar que os setores 1 e 2 apresentam o maior percentual desse índice.



Mapa 12 – Índice de Despesas de Exploração por Economia Ativa nos setores de abastecimento estudados

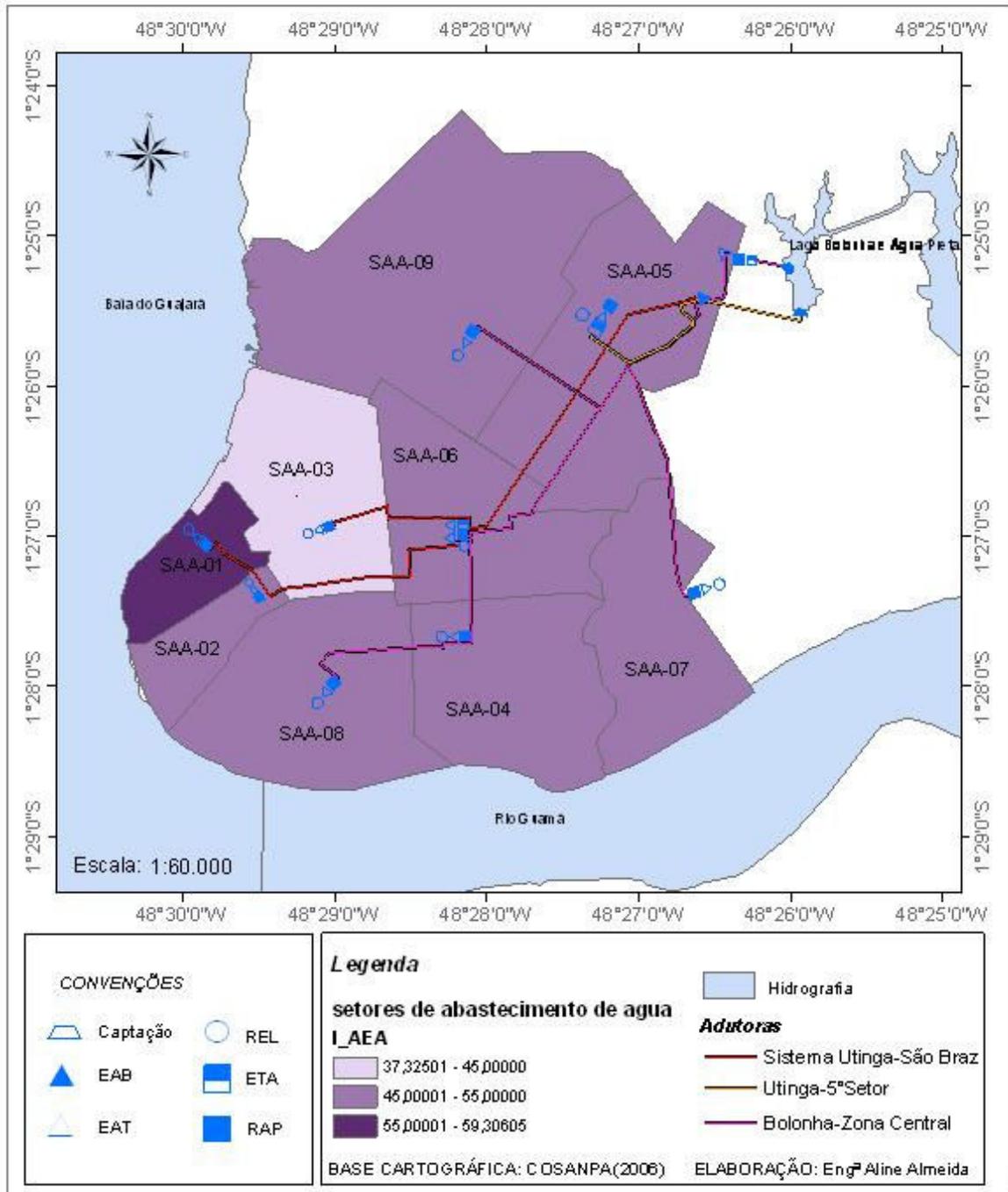
No Mapa 13 são apresentados os índices de faturamento por economia ativa para os nove setores de abastecimento de água estudados, onde é possível constatar que o maior percentual desse índice ocorre nos setores 1, 2, 4 e 8.



Mapa 13 - Índice de Faturamento por Economia Ativa nos setores de abastecimento estudados

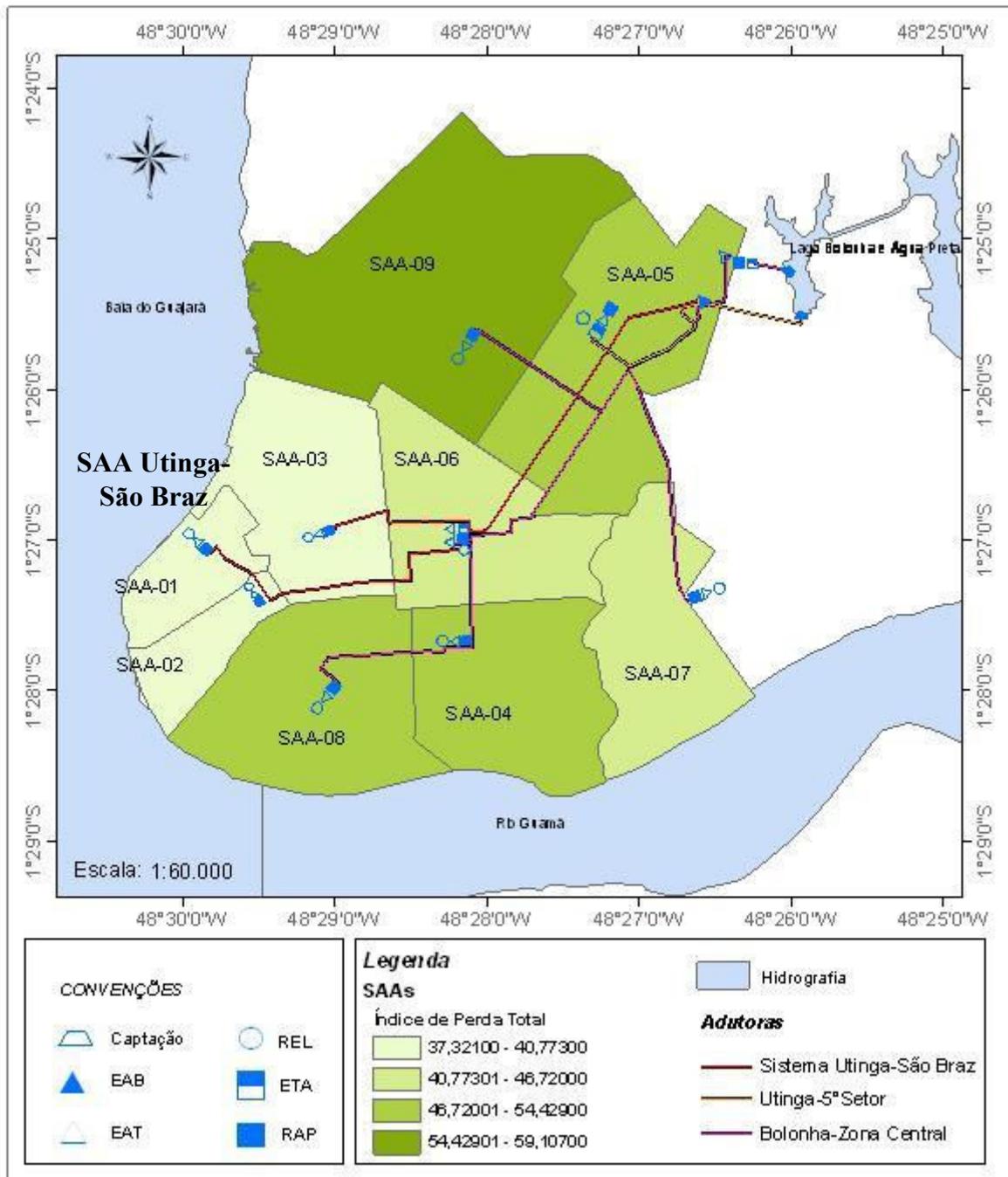
No Mapa 14 são apresentados os índices de arrecadação por economia ativa para os nove setores de abastecimento de água estudados, onde é possível

constatar que o setor 1 apresenta o percentual mais elevado e o setor 3 apresenta o menor percentual desse índice.



Mapa 14 - Índice de Arrecadação por Economia Ativa nos setores de abastecimento estudados

É importante observar que a espacialização permite que o gestor tenha rápida identificação (visual) do SAA de melhor ou pior desempenho. Como exemplo, pode ser mostrado o Mapa 15, em que é possível perceber que o sistema Utinga - São Braz apresentou a menor perda total de água.



Mapa 15 - Índice de Perda Total nos SAAs estudados

## 6 CONCLUSÕES

O trabalho foi baseado na **adoção** de valores operacionais, comerciais e de despesas de exploração e na utilização dos reais limites e unidades de SAA, tendo como finalidade avaliar o uso da ferramenta SIG em uma simulação **fictícia** do desempenho dos SAAs, mais especificamente, na espacialização de resultados.

Assim, com o trabalho foi possível concluir que:

- A proposta de utilização de SIG para espacialização, armazenamento e controle dos dados de SAAs possibilita conhecer e analisar espacialmente o desempenho de SAAs.
- A organização e espacialização de dados facilita a tomada de decisão nas concessionárias de saneamento, além de ajudar a evitar e reduzir gastos, pois com o uso do SIG é possível a realização do monitoramento dos dados dos sistemas.
- O cálculo do balanço hídrico do SAA possibilita o conhecimento do volume perdido de água em cada unidade, e o cálculo dos índices permite a análise do desempenho de cada SAA.
- Além disso, a determinação das despesas de exploração e a avaliação do desempenho comercial, em relação ao faturamento e arrecadação dos SAAs, poderão auxiliar os gestores na elaboração do planejamento e na tomada de decisão.
- A utilização de SIG para o cadastro de dados dos SAAs possibilitou a realização do cruzamento e espacialização desses dados, permitindo a avaliação dos SAAs, auxiliando no combate às perdas de água e excessos nas despesas dos sistemas, favorecendo o controle operacional e prevenindo problemas.

Desse modo, a espacialização de informações de desempenho é recomendada para o planejamento e tomada de decisão, sendo uma importante ferramenta para os gestores, técnicos e colaboradores de empresas de saneamento.

## REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, N. C.; FRANCO, S. C. C. S. de; ISHMITZU, Luciana Kanashiro. Otimização dos processos de manobra com apoio de tecnologia SIG – sistema de informações geográficas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25, 2009, Recife. **Anais...** Recife: ABES, 2009. 1 CD-ROM.

ABIKO, Alex Kenya; ALMEIDA, Marco Antonio Plácido de; BARREIROS, Mario Antônio Ferreira. **Urbanismo: história e desenvolvimento**. São Paulo: Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1995.

ALEGRE, H. et al. **Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil e Instituto Regulador de Águas e Resíduos. [s. l: s. n], Séries Guias Técnicos, n. 1. 2004.

ALEGRE, Helena. **Indicadores de desempenho de sistemas de abastecimento de água**. Trabalho em curso no âmbito da IWSA. Disponível em: <<http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/138.pdf>>. Acesso em: 26 ago 2009.

ANDREOLI, C. V.; LEITE, B. Z. Relação entre o consumo de produtos químicos e a qualidade da água distribuída em diversos sistemas de tratamento de água do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005. **Anais:** Rio de Janeiro, ABES, 2005.

ANTENUCCI, J. C. et al. **Geographic Information System: a Guide to the Technology**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

BARRETO, Gilberto Caldeira. **Avaliação da operação e determinação das perdas de água e de energia elétrica no 3º Setor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belém**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Sistema Nacional de Informações**

**sobre Saneamento:** diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Brasília, 2007. 1 CD-ROM.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental; Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Curso de capacitação à distância em gestão eficiente de água e energia elétrica em saneamento.** Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento:** diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Brasília, 2005. 1 CD-ROM.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água:** documento técnico de apoio: DTA A2. Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água. Brasília, 2004.

BRASIL. **Decreto no 82.587, de 6 de novembro de 1978.** 1978. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D82587.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D82587.htm)>. Acesso em: 20 jul. 2009.

CAMARGO, Marcos Ubirajara de Carvalho. **Sistema de informações geográficas como instrumento de gestão e saneamento.** Rio de Janeiro: ABES, 1997.

CARTOGRAFIA. **MapInfo Desktop Mapping.** Disponível em: <<http://www.cartografia.eng.br/academico/apend3.asp>>. Acesso em: 28 out. 2009.

COSTA, F. R. **Curso de ARC Gis.** Marabá: [s. n], 2008. 112 p. Apostila.

DORCA, Cristiano C.; LUVIZOTTO JR., Edevar; ANDARADE, José Geraldo P. **Aspectos da implantação de um SIG em pequenos e médios abastecimentos de água.** Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica e Saneamento da UFPB. Disponível em: <[http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/trabalhos/A06\\_19.pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/trabalhos/A06_19.pdf)>. Acesso em: 28 out 2009.

DEMERS, M. N. **Fundamentals of Geographic Information Systems.** 2 th. ed. J. Wiley & Sons, 2003. 636 p.

FERREIRA, Cristiano Dorça. **Análise da aplicação dos sistemas de informações geográficas como instrumento de gestão dos sistemas de abastecimento de água.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

FERNANDES, Marcos. **Sistema de abastecimento público de água.** Notas de Aula. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande: 2009. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/A61.html>>. Acesso em: 14 jun. 2009.

FOOTE, Kenneth E.; LYNCH, Margaret. **The Geographer's Craft Project.** Departamento de Geografia da Universidade do Texas em Austin. Disponível em: <[http://www.embrageo.com.br/downloads/artigo\\_sig.pdf](http://www.embrageo.com.br/downloads/artigo_sig.pdf)>. Acesso em: 14 nov. 2009.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento.** 3. ed. rev. Brasília, 2004. 408p.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano.** Belo Horizonte: UFMG, 2006.

INFO ESCOLA. **Softwares de Geoprocessamento.** Disponível em: <<http://www.infoescola.com/geografia/softwares-de-geoprocessamento/>>. Acesso em: 28 out 2009.

INTERGRAPH. **GeoMedia.** Disponível em: <<http://www.intergraph.com/cgi/products/productFamily.aspx?family=10&count ry=>>>. Acesso em: 28 out. 2009.

INSTITUTE OF INTERNATIONAL EDUCATION. **Água e energia** [S.l: s.n.], 2007. Apostila.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.** Rio de Janeiro, 2002.

JUNQUEIRA, R. F.; LAUTENSCHLAGER, S. R.; PAREDES, E.A. Aplicação de SIG na gestão da manutenção de redes de Distribuição de água. In: Congresso Brasileiro de

Engenharia Sanitária e Ambiental, 25., 2009, Recife. **Anais ...** Recife: ABES, 2009. 1 CD-ROM.

KORTE, G. **The GIS book**. 3 ed. Santa Fé: On World Press, 1994.

Lambert, Alan. **International report on water losses management and techniques**. IWA Conference. 2001. Berlin, Alemanha.

LAMBERT, A.; WIRNER, W. **Losses from water supply systems: standart terminology and recommended performance measures**. U.K: International Water Association, 2000. p.4-7.

MACHADO, Maria Adelaide; FERNANDES, Luís Filipe. **Cálculo do balanço hídrico e indicadores de desempenho de perdas de água em 3 subsistemas da rede de abastecimento de santa marta de penaguão**. Disponível em: <<http://www.ualg.pt/5cigpa/comunicacoes/Balan%C3%A7o%20H%C3%ADdrico%20e%20Indicadores%20de%20desempenho%20de%20perdas%20de%20C3%A1gua.doc>>. Acesso em: 21 jul 2009.

MANANCIAIS. Água: Abastecimento no Brasil. Disponível em: <<http://www.mananciais.org.br/site/agua/abastecimento>>. Acesso em: 14 jun. 2009.

MÜHLHOFER, Stefan Igreja; SILVA, Cintya Skowronska. **A utilização de geoprocessamento como ferramenta para manutenção preventiva em redes de água e esgoto**. [S.L.], 2009.

PEREIRA, J. A. R. et al. Gestão do Lodo de Fossa Séptica. In: ANDREOLI, Cleverson Vitório (Org.). **Lodo de Fossa Séptica: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. v. 1, p. 283-326.

PENA, D. S.; ABICALIL, M. T. **Saneamento: os desafios do setor e a política de saneamento**. In: IPEA. **Infraestrutura : perspectivas de reorganização**. Brasília, 1999. p. 107-137. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/pub/infraestrutura/saneamento/san\\_parte4.pdf](http://www.ipea.gov.br/pub/infraestrutura/saneamento/san_parte4.pdf)>. Acesso em: 6 maio 2006.

PONTÍFICE UNIVERSIDADE CATÓLICA. **Sistemas de Informações geográficas**. Certificado digital n. 0116476\CA. Rio de Janeiro, 2007. Notas de aula.

PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR SANEAMENTO. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos** - 2008. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2010.

REIS, C. P.; GONÇALVES, J.; RODRIGUES, P. Information systems for distribution management: Nacional report Portugal. **Water Supply**, v. 16, n. 1-2, 1998.

REZENDE, S. C.; HELLER, L. **O saneamento no Brasil: políticas e interfaces**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2002. 310 p.

RIDOLPHO, C. F.; DIAS, A. L. A.; ABRAHÃO, N. C.; RODRIGUES, J. C. Ações para redução de perdas com a utilização de sistema de informações geográficas (SIG) em área de válvula redutora de pressão. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25., 2009, Recife. **Anais ...** Recife: ABES, 2009.

ROSA, Roberto. **Sistema de Informação Geográfica**. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia. Uberlândia, 2004.

SANTOS, R. M. et al. **Indicador de abastecimento de água para avaliação da evolução do fornecimento de água para a cidade de aquidauana/MS**. [s.l: s.n], 2009. 14 p.

SANTOS, Aline C. P. A. **Sistemas de Informações Geográficas no Monitoramento e Recuperação de Vazamentos em Redes de Distribuição de Água**. 2008. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

SANTOS, A. C. P. A. et al. Aplicação de Sistema de Informação Geográfica no Planejamento e Gestão de Controle Operacional do 3º Setor do Sistema de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belém. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 13., 2008, Belém. **Anais...** Belém: ABES, 2008a.

TIBÚRCIO, Eulimar Cunha. **Desenvolvimento de uma interface em SIG para suporte ao dimensionamento hidráulico de Sistemas de Abastecimento de Água**.

2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Curso de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

\_\_\_\_\_. **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**. São Paulo: ABES, 2001.

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE. **Sistema de Informação Geográfica e Geoprocessamento**. estudo dirigido em SIG. Disponível em: <<http://www.professores.uff.br/cristiane/Estudodirigido/SIG.htm>>. Acesso em: 14 nov. 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. Grupo de pesquisa Hidráulica e Saneamento. **Projeto de rede coletora de esgoto sanitário**. Belém, 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. Grupo de pesquisa Hidráulica e Saneamento. **Diagnóstico do Sistema de Abastecimento de Água de Marabá**. Relatório 2. Belém, 2009a.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. Grupo de pesquisa Hidráulica e Saneamento. **Diagnostico da Rotina Operacional e Determinação de Indicadores de Avaliação do Desempenho do Tratamento da Água Bruta da ETA Bolonha 2003**. Belém, 2003.

VONDEROHE, A. P. et al. **Adaptation of Geographic Information System Transportation**. [s. l]: National Academic Press, 1993.

WERDINE, Demarcus. **Perdas de água em sistemas de abastecimento**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia, Universidade federal de itajubá, Itajubá, 2002.