

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

AUGUSTO FERON SOARES

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS COMO
INSTRUMENTO DE SUPORTE À REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA NO SISTEMA
DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE/SC

CURITIBA

2015

AUGUSTO FERON SOARES

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS COMO
INSTRUMENTO DE SUPORTE À REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA NO SISTEMA
DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE/SC

Monografia apresentada ao Departamento de Geomática do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Geotecnologias no curso de Especialização em Geotecnologias – Área de Concentração: Desenvolvimento e Implementação de Sistemas de Informações Geográficas.

Orientador: Prof^a. Dr^a Luciene S. Delazari

CURITIBA

2015

TERMO DE APROVAÇÃO

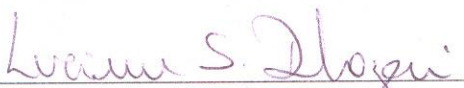
**Utilização de Sistemas de Informações Geográficas como instrumento de suporte à
redução re perdas de água no sistema de abastecimento público do Município de
Joinville / Sc**

por


AUGUSTO FERON SOARES

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geotecnologias, administrado no Departamento de Geomática do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, e aprovada pelos seguintes membros da banca:

Orientador:


Profa. Dra. Luciene Stamato Delazari

Membro :


Prof. Dr. Henrique Firkowski

Curitiba, 07 de agosto de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao corpo docente do Departamento de Geomática do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pelo conhecimento transmitido ao longo do curso.

À minha orientadora, Professora Luciene, pela atenção dispensada e pelas sugestões de melhorias.

Aos colegas de classe, pelas trocas de experiências, que proporcionaram um enriquecimento do conhecimento adquirido.

À minha avó Lurdes e minha tia Silvana, que me hospedaram em Curitiba nos dias de aula.

À minha futura esposa Franciele, pela compreensão e paciência.

À Companhia Águas de Joinville, pelo investimento em meu desenvolvimento e pela disponibilização de materiais de pesquisa e dos dados utilizados neste trabalho.

RESUMO

O presente estudo apresenta a utilização de Sistemas de Informações Geográficas como ferramenta de suporte às análises necessárias para um efetivo trabalho de controle e redução de perdas de água no sistema de abastecimento público do município de Joinville/SC. Inicialmente serão abordados alguns aspectos gerais sobre o problema do desperdício de água no Brasil, assim como uma descrição da situação encontrada no sistema analisado, operado pela Companhia Águas de Joinville. As análises são fundamentadas em dados geográficos e alfanuméricos reais disponibilizados pela empresa e contemplam diversas variáveis relacionadas tanto às perdas reais, como vazamentos, quanto às perdas aparentes, como desgaste dos hidrômetros, ligações clandestinas e fraudes. A metodologia baseia-se na construção de mapas temáticos e compilações de dados alfanuméricos, com o objetivo de auxiliar tomadas de decisões relacionadas a ações de combate às perdas. Ressalta-se que a principal pretensão do presente trabalho é expor as possibilidades de uso do SIG para o fim proposto, admitindo-se que o material produzido nem sempre considera todos os fatores que influenciam direta ou indiretamente nas perdas de água, mas podem servir como uma advertência para a necessidade da realização de estudos mais detalhados acerca de uma determinada variável. Com base nos resultados apresentados, conclui-se que o SIG possui um amplo potencial para ser utilizado como instrumento de apoio ao trabalho de controle e redução de perdas de água, pois através dele identificam-se concentrações espaciais dos principais fenômenos causadores do desperdício, propiciando uma maior assertividade das ações.

Palavras-Chave: perdas de água, Sistemas de Informações Geográficas, sistema de abastecimento de água, geoprocessamento.

ABSTRACT

This study presents the use of Geographic Information Systems as a support tool to the necessary analysis for the control and reduction of water losses in the public supply system of the municipality of Joinville/SC. Initially will be discussed some general aspects about the water waste problem in Brazil, as well as a description of the situation found in the analyzed system, operated by Águas de Joinville Company. The analyzes are based geographic and tabular data provided by the company and contemplate several variables related both physical losses, such as leaks, as the non-physical losses, such as wear of the hydrometers, clandestine connections and fraud. The methodology is based in the construction of thematic maps and tabular data compilations, with the aim of assist decision-making related to losses combat actions. It is emphasized that the main goal of this work is to expose the usage possibilities of GIS for the proposed order, admitting that the produced material not always consider all the factor that influence directly or indirectly the water losses, but can serve as warning for the need of conducting more detailed studies about a certain variable. On the basis of the results, it is concluded that GIS has a large potential to be used as a tool to support the work of control and reduction of water losses, because through it are identified spatial concentrations of the main phenomena causative of waste, providing a greater assertiveness of the shares.

Key Words: water losses, Geographic Information Systems, water supply system, geoprocessing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

QUADRO 1 – Índice de perdas de água na distribuição por estado e região.....	9
FIGURA 1 – Índice de perdas de água na distribuição por estado.....	10
QUADRO 2 – Caracterização geral das perdas.....	13
QUADRO 3 – Causa das perdas em cada etapa do sistema de abastecimento.....	15
FIGURA 2 – Macromedidor.....	17
FIGURA 3 – Hidrômetro.....	18
FIGURA 4 – Sistema de abastecimento setorizado.....	21
FIGURA 5 – Comparação entre as estruturas vetorial e matricial.....	24
FIGURA 6 – Localização do município de Joinville.....	29
FIGURA 7 – Estrutura do SIMGEO.....	32
FIGURA 8 – Diagrama de casos de uso.....	34
FIGURA 9 – Diagrama de classes.....	35
FIGURA 10 – Setores operacionais do sistema de abastecimento de água de Joinville.....	38
FIGURA 11 – Indicador “Perdas Totais” nos setores de operacionais do sistema de abastecimento do município de Joinville.....	42
FIGURA 12 – Indicador “Perdas litros/ligação/dia” nos setores de operacionais do sistema de abastecimento do município de Joinville.....	43
FIGURA 13 – Distribuição dos hidrômetros com a idade como fator de peso.....	45
FIGURA 14 – Oscilação de consumo em relação à média.....	47
FIGURA 15 – Concentração de ligações com variação de consumo igual a - 100%.....	48
FIGURA 16 – Concentração de ocorrências de consertos de vazamento nas redes de distribuição.....	49
QUADRO 4 – Trechos de rede com maior número de ocorrências de consertos de vazamentos.....	50
QUADRO 5 – Trechos de rede com maior índice de consertos por metro.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1	PERDAS DE ÁGUA.....	12
3.1.1	Causas das perdas	13
3.2	AÇÕES DE COMBATE ÀS PERDAS.....	15
3.2.1	Medição.....	16
3.2.1.1	Macromedição	17
3.2.1.2	Micromedição.....	18
3.2.2	Setorização.....	20
3.2.3	Cadastro	21
3.3	SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	22
3.3.1	Mapas temáticos	25
3.3.2	Outras experiências de uso do SIG para controle de perdas de água.....	26
4	DESCRIÇÃO DO USUÁRIO	29
5	METODOLOGIA.....	33
5.1	MATERIAIS	33
5.1.1	Modelagem da aplicação	34
5.1.2	Descrição das análises.....	37
6	MAPAS TEMÁTICOS.....	41
7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	52
7.1	ANÁLISES	52
7.2	CONCLUSÕES.....	54
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

As companhias de saneamento do Brasil, sejam públicas, privadas ou sociedades de economia mista, possuem desafios semelhantes para enfrentar, entre eles, a universalização da coleta e tratamento de esgoto e a redução das perdas de água.

Atualmente, com a crise de falta d'água afetando milhões de pessoas, principalmente na região sudeste do país, o problema das perdas de água se torna cada vez mais grave, na medida em que a água perdida poderia servir para atender a população desabastecida. Outro ponto relevante a ser observado é o prejuízo financeiro sofrido pelas empresas em decorrência das perdas de água, que também impacta na população, visto que parte deste ônus é repassada ao consumidor por meio dos reajustes tarifários.

Sobre os prejuízos financeiros, Coelho (1996) destaca que antes de chegar ao consumidor final, a água passa por processos de bombeamento, tratamento, armazenamento e distribuição, e todas estas operações exigem equipamentos e instalações caras, além de produtos químicos, energia elétrica e outros custos diretos e indiretos. O mesmo autor ainda complementa a questão afirmando que “uma empresa de água pode ser considerada uma indústria de beneficiamento de água e, como tal, necessita saber o que produziu e o que vendeu, de forma a poder racionalizar os seus custos operacionais” (1996, p. 25).

Além da questão do desabastecimento da população e dos prejuízos financeiros, as perdas de água também podem causar danos ambientais, pressupondo-se que um menor volume de água seria retirado dos rios caso as perdas fossem reduzidas. Por fim, ainda há um dano institucional, à medida em que a imagem das empresas é prejudicada pela exposição do problema.

De acordo com Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, o índice médio de perdas de água na distribuição nos sistemas de abastecimento do Brasil foi de 37,0% no ano de 2013 (BRASIL, 2013). No município de Joinville, no mesmo período, o índice de perdas na distribuição chegou a 46,9%. O Quadro 1 apresenta o Índice de Perdas na Distribuição por Estado e Região, e na Figura 1 observa-se a distribuição

espacial do índice por estado. O indicador, denominado pelo SNIS através do código IN049, compara o volume disponibilizado para a distribuição e o volume consumido.

Em função deste cenário, o tema vem sendo abordado cada vez mais pelos meios de comunicação e, conseqüentemente, a população se envolve e se informa mais sobre o assunto. Este contexto desfavorável faz com que as companhias de saneamento sofram uma grande pressão pela redução das perdas de água nos sistemas de abastecimento.

O presente estudo será desenvolvido com o intuito de expor as possibilidades da utilização de um Sistema de Informações Geográficas como ferramenta de suporte à redução das perdas de água.

Estado / Região	IN ₀₄₉ (%)
Acre	55,9
Amazonas	47,0
Amapá	76,5
Pará	48,9
Rondônia	52,8
Roraima	59,7
Tocantins	34,3
Norte	50,8
Alagoas	46,1
Bahia	41,6
Ceará	36,5
Maranhão	37,8
Paraíba	36,2
Pernambuco	53,7
Piauí	51,8
Rio Grande do Norte	55,3
Sergipe	59,3
Nordeste	45,0
Espírito Santo	34,4
Minas Gerais	33,5
Rio de Janeiro	30,8
São Paulo	34,3
Sudeste	33,4
Paraná	33,4
Rio Grande do Sul	37,2
Santa Catarina	33,7
Sul	35,1
Distrito Federal	27,3
Goiás	28,8
Mato Grosso do Sul	32,9
Mato Grosso	47,2
Centro-Oeste	33,4
Brasil	37,0

Quadro 1 – Índice de perdas de água na distribuição por Estado e Região.

Fonte: SNIS.

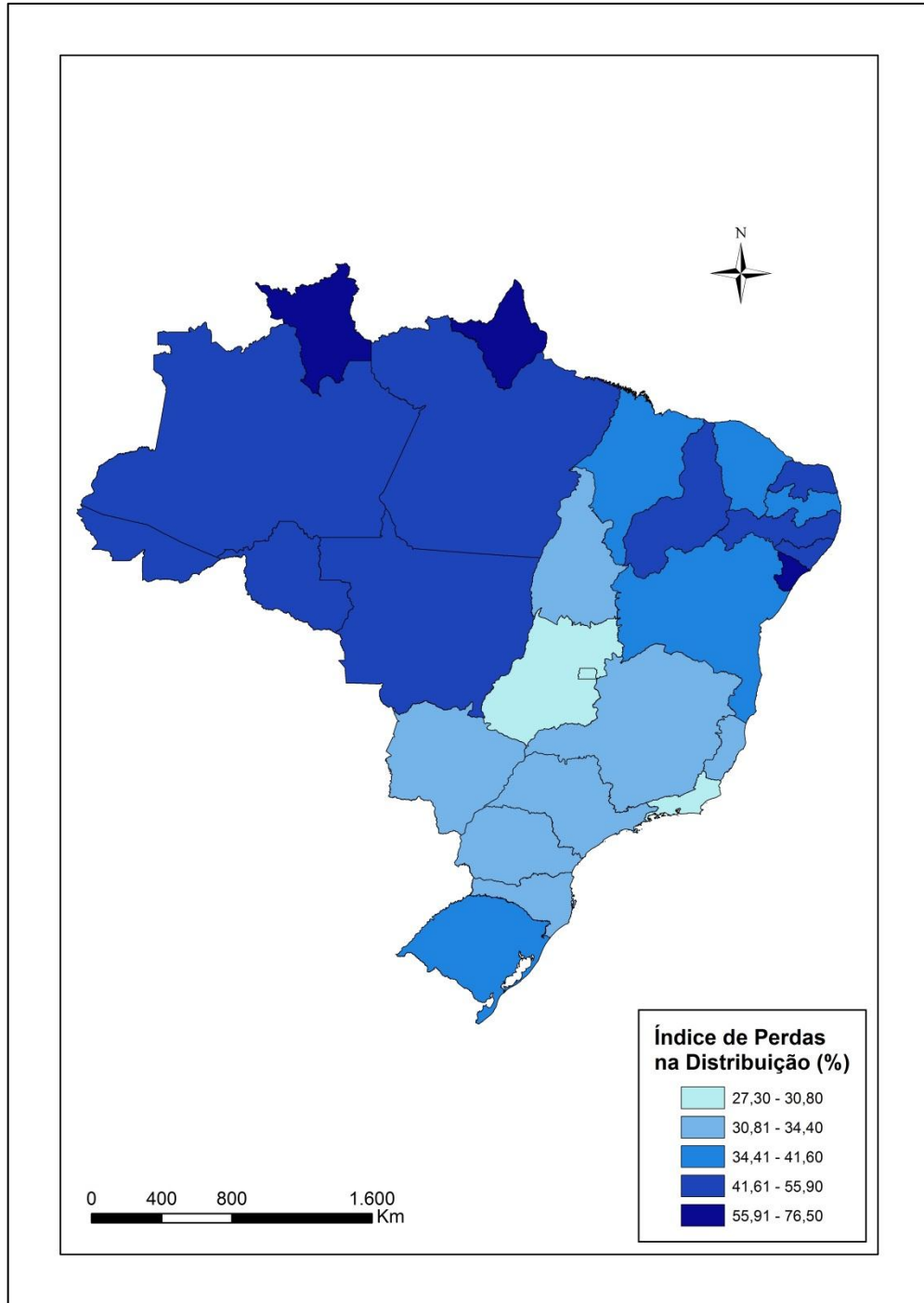


Figura 1 – Índice de perdas de água na distribuição por Estado.
Fonte: IBGE e SNIS, elaborado pelo autor.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Propor o uso do SIG para auxiliar o controle e redução de perdas de água no sistema de abastecimento público do município de Joinville.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Visualizar a distribuição espacial das perdas de água nos Setores Operacionais do sistema;
- Visualizar a distribuição espacial dos hidrômetros, classificando-os pela idade;
- Visualizar a distribuição espacial dos consertos de vazamentos na rede de distribuição e ramais prediais;
- Acompanhar a oscilação de consumo de cada unidade consumidora;
- Gerar informações que possibilitem análises relativas a substituições preventivas de hidrômetros e redes de distribuição de água;
- Subsidiar o setor de fiscalização com informações que possam auxiliar no direcionamento das equipes de campo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PERDAS DE ÁGUA

Conforme Coelho (1996), o termo “perdas de água” é um indicador que mede a eficiência operacional e comercial dos sistemas de abastecimento, expresso em porcentagem, e é dado pelo quociente entre o volume de água produzido menos o volume de água faturado, dividido pelo volume produzido. Já Miranda (2006, p. 791) alega que “as perdas de água em sistemas de abastecimento correspondem aos volumes não contabilizados, incluindo os volumes não utilizados e os volumes não faturados”.

As perdas de água em um sistema de abastecimento podem ser classificadas em dois tipos: as perdas reais (ou físicas) e as perdas aparentes, também conhecidas como não físicas ou comerciais.

As perdas reais são decorrentes principalmente de vazamentos na rede, que podem ser causados por tubulações e conexões envelhecidas e desgastadas ou por operações e manutenções mal executadas. Já as perdas aparentes são causadas por defeitos nos hidrômetros, erros de cadastro e ligações clandestinas ou fraudadas (GOMES, 2005).

Miranda (2006, p. 791) descreve as perdas reais como:

Os volumes decorrentes de vazamentos e extravazamentos nas unidades do sistema, desde a captação até a distribuição, mais os volumes utilizados de forma inadequada na operação de tais unidades, provocando consumos superiores ao estritamente necessário, dentre estes últimos destacando-se a descarga para limpeza de rede de distribuição e a lavagem de filtros em estações de tratamento de água.

As perdas aparentes são definidas pelo mesmo autor da seguinte forma:

Correspondem aos volumes decorrentes do uso por ligação clandestina (não cadastradas) e por *by-pass* irregular no ramal de ligações cadastradas (o chamado “gato”), mais os volumes não contabilizados devido a hidrômetros parados ou com submedição, fraudes em hidrômetros, erros de leitura e outros similares. (MIRANDA, 2006, p. 792).

Conforme a conceituação de Gonçalves e Alvim (2007, p. 13), as perdas reais correspondem a “toda água que vaza no sistema, não chegando às instalações

dos usuários” e as perdas aparentes “referem-se a toda água que não é medida ou que não tenha o seu uso definido”.

Nota-se que há uma diferença fundamental entre os dois tipos de perdas mencionados. Enquanto nas perdas reais a água é fisicamente perdida e não chega ao consumidor, nas perdas aparentes, a água é consumida, porém não gera o faturamento correspondente ao volume utilizado. A natureza distinta dos dois tipos de perdas mencionados reflete em diferentes características e efeitos, como pode ser observado no Quadro 2.

Item	Características Principais	
	Perdas Reais	Perdas Aparentes
Tipo de ocorrência mais comum	Vazamentos	Erro de medição
Custos associados ao volume de água perdido	Custo de produção da água tratada	Valor cobrado no varejo ao consumidor
Efeito no meio ambiente	Desperdício de recursos naturais e impactos ambientais devido à necessidade de ampliação da exploração dos mananciais	Não é relevante
Efeito na saúde pública	Riscos de contaminação	Não é relevante
ponto de vista empresarial	Perda de produto "industrializado"	Perda elevada de receita
Ponto de vista do consumidor	Imagem negativa da empresa, associada ao desperdício e ineficiência	Não é uma preocupação imediata
Efeitos finais no consumidor	Repasse de custos à tarifa e desincentivo ao uso racional de água	Repasse de custos à tarifa e incitamento ao roubo e a fraudes

Quadro 2: Caracterização geral das perdas.
Fonte: Gomes (2005, p 18.)

3.1.1 Causas das perdas

Conforme já demonstrado, as perdas de água em um sistema de abastecimento público, sejam reais ou aparentes, podem ser causadas por diversos

motivos, como vazamentos na rede de distribuição, defeitos nos hidrômetros e fraudes nas ligações.

Segundo Gonçalves e Alvim (2007, p. 13-14), as perdas reais são causadas por “rompimentos em adutoras, subadutoras, redes, ramais e conexões e às trincas estruturais e fissuras nas impermeabilizações de reservatórios”, já as perdas aparentes são decorrentes de “ligações clandestinas e/ou irregulares, fraudes nos hidrômetros, erros de micromedição e macromedição, política tarifária, erro cadastral [...], erro de leitura, etc”.

Coelho (1996) traz uma abordagem mais detalhada, descrevendo as principais causas em cada etapa do sistema, desde a captação da água, passando pelas redes de distribuição, até chegar ao consumidor final. Para o autor “as perdas num sistema de abastecimento de água podem acontecer nas seguintes partes: adução, tratamento, reservação, distribuição e unidades consumidoras” (COELHO, 1996, p. 27).

O Quadro 3, demonstra as principais causas das perdas de água nas diversas etapas de um sistema de abastecimento.

ETAPA		CAUSAS
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO		<ul style="list-style-type: none"> - Falhas na concepção de projeto - Mão de obra desqualificada na operação - Rachaduras e/ou impermeabilidade dos decantadores, reservatórios e demais unidades da ETA - Equipamentos inadequados
ADUÇÃO		<ul style="list-style-type: none"> - Efeito do tráfego de veículos - Acomodação do solo - Tubulações e acessórios de má qualidade - Altas pressões, choques e golpes de ariete - Assentamento imperfeito da tubulação e de seus componentes - Falhas na concepção de projeto - Manutenção ineficiente
RESERVAÇÃO		<ul style="list-style-type: none"> - Rachaduras e/ou impermeabilidade nas paredes dos reservatórios - Extravasamento devido a operação deficiente
REDES	DISTRIBUIÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> - Idem adução - Cadastro técnico deficiente
	RAMAIS PREDIAIS REGISTRADOS	<ul style="list-style-type: none"> - Idem distribuição - Padrão de ramais inadequado
	RAMAIS PREDIAIS CLANDESTINOS	<ul style="list-style-type: none"> - Cadastro de usuários deficiente - Falta de conscientização da população
UNIDADES CONSUMIDORAS		<ul style="list-style-type: none"> - Usuários sem hidrômetros - Submedição devido a falta de manutenção corretiva e preventiva dos hidrômetros - Submedição devido ao sobredimensionamento de hidrômetros - Desvio fraudulento do hidrômetro ou <i>by pass</i>

Quadro 3: Causas das perdas em cada etapa do sistema de abastecimento.

Fonte: Coelho (1996, p. 27-29), elaborado pelo autor.

3.2 AÇÕES DE COMBATE ÀS PERDAS

Ao observar o Quadro 3 nota-se uma variedade considerável de causas de perdas de água, fato que evidencia a dificuldade enfrentada no trabalho de redução e controle do desperdício. Para combater as perdas de água são necessárias várias ações buscando mitigar as causas.

De acordo com Gomes (2005, p. 19),

Um programa de combate às perdas físicas em sistemas de abastecimento de água pode ser resumido em três conjuntos de ações: controle e detecção de vazamentos através de campanhas de campo; controle de pressão em toda a rede; e melhoria dos materiais e equipamentos no sistema de distribuição [...] No que diz respeito às perdas aparentes, as ações de combate podem ser resumidas desta forma: melhoria no sistema de cadastro comercial; redução de erros dos equipamentos de medição (macro e micromedidores) e redução das fraudes.

Para Coelho (1996), as empresas devem seguir um plano global, o qual deve reunir uma série de programas dirigidos à redução e controle das perdas. Dentre os principais programas, segundo o autor estão: 1) macromedição, que consiste em conhecer os volumes produzidos e distribuídos no sistema; 2) micromedição, que permite conhecer os volumes consumidos pelos usuários; 3) cadastro de consumidores, que corresponde à manutenção de registros de dados sobre os usuários, ligações e outras informações comerciais, possibilitando o correto faturamento dos serviços prestados; 4) cadastro técnico, trabalhando de modo a buscar a unificação do cadastro técnico e comercial e manter a atualização de forma sistemática; 5) faturamento e cobrança, visando faturar e cobrar os serviços corretamente e em tempo hábil; e 6) comercialização, buscando um atendimento satisfatório aos clientes, baseando-se na transparência e no estabelecimento de um sistema tarifário justo.

3.2.1 Medição

Para se combater as perdas de água em um sistema de abastecimento é fundamental conhecer o volume desperdiçado. Este volume é calculado “pela diferença dos volumes disponibilizados (medidos pelos sistemas de macromedição) menos a soma dos volumes consumidos (medidos através dos micromedidores)”. (BRASIL DTA D2, 2003, p. 10).

Sá (2007) argumenta que o investimento em equipamentos de medição é imprescindível e, uma vez instalados tais aparelhos, requer-se a criação de um processo sistemático de acompanhamento das leituras, tanto de macromedidores, quanto dos micromedidores.

3.2.1.1 Macromedição

O termo macromedição refere-se ao ato de mensurar o volume disponibilizado para um sistema ou para uma determinada área do sistema.

Macromedição é o conjunto de medições realizadas no sistema público de abastecimento de água, desde a captação de água bruta até as extremidades de jusante da rede de distribuição. Como exemplos citam-se: medições de água bruta captada ou medições na entrada de setores de distribuição, ou ainda medições de água tratada entregue por atacado a outros sistemas públicos. (BRASIL DTA D2, 2003, p. 10).

“Os medidores envolvidos na macromedição são normalmente de maior porte que os usados na micromedição” (BRASIL DTA D2, 2003, p. 10), a Figura 2 mostra um macromedidor instalado no sistema de abastecimento de Joinville.



Figura 2: Macromedidor.
Fonte: Companhia Águas de Joinville

3.2.1.2 Micromedição

Assim como a macromedição, a micromedição também é fundamental, visto que o volume registrado nas unidades consumidoras é um dos componentes dos cálculos dos índices de perdas de água.

De acordo com Brasil DTA D3 (2003, p. 8),

Entende-se por micromedição a medição do consumo realizada no ponto de abastecimento de um determinado usuário, independente de sua categoria ou faixa de consumo. Basicamente a micromedição compreende a medição periódica do volume consumido utilizando hidrômetros.

O documento da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental também afirma que o “micromedidor é o termo tradicionalmente usado para o medidor que totaliza o volume fornecido aos usuários, base para a cobrança e faturamento, sendo normalmente denominado de hidrômetro” (BRASIL DTA D3, 2003, p. 8).

Rech (1999, p. 25) apresenta a seguinte definição de hidrômetro: “é um aparelho destinado a indicar e totalizar, continuamente, o volume de água que o atravessa”. A Figura 3 demonstra um hidrômetro instalado no sistema de Joinville.



Figura 3: Hidrômetro.
Fonte: Autor.

Segundo Sá (2007), a ausência de micromedição é uma das principais causas de perdas aparentes e, a partir da experiência de algumas empresas de saneamento, conclui-se que o consumo em áreas sem micromedição se limita à

capacidade de fornecimento de água do sistema, visto que nestes casos, o usuário não possui motivação para fazer um uso consciente da água, além disso, também não procede com a manutenção das instalações internas.

Coelho (1996) reforça a importância da micromedição ao declarar que os sistemas de abastecimento são projetados com base em uma estimativa de consumo *per capita* e, em locais com total ausência ou com insuficiência de micromedição, o volume *per capita* pode ser excedido em demasia, acarretando em um encurtamento do período de alcance do projeto, o que fatalmente leva a uma necessidade precoce de ampliação do sistema.

Alguns fatores responsáveis pelas perdas aparentes estão diretamente relacionados ao sistema de micromedição, pode-se citar a má instalação e o mal dimensionamento por exemplo, mas também destaca-se “hidrômetros parados, com cúpula riscada ou opaca – o que induz a erros de leitura – e medidores com o tempo de instalação vencido, levando a submedições superiores às normais” (SÁ, 2007, p. 38).

Visto a importância da micromedição na temática das perdas de água, é imprescindível que haja um programa de substituições preventivas dos hidrômetros, visando antecipar-se ao momento em que os medidores começam a apresentar submedições acima dos níveis aceitáveis. O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – (INMETRO), através do item 8.1 do Regulamento Técnico Metrológico anexo a Portaria número 29 de 07/02/1994 estabelece que devam ser efetuadas verificações periódicas nos hidrômetros em uso em intervalos não superiores a cinco anos.

Porém, na prática, conforme Brasil DTA D3 (2003), grande parte dos prestadores de serviço adotam critérios baseados em análise de custo/benefício, levando em consideração fatores como faixa de consumo, tempo de instalação, leitura máxima, entre outros.

Além da substituição preventiva, baseada em critérios pré-definidos, também recomenda-se a substituição denominada preditiva, a qual

é realizada a partir da desconfiança ou da predição de que um determinado medidor está começando a sofrer alteração em suas características metrológicas. Esta alteração é detectada pela área comercial durante o acompanhamento do consumo do usuário. (BRASIL DTA D3, 2003, p. 68).

Nielsen *et al.* (2003) propõem o estabelecimento de uma regra para as substituições preventivas dos hidrômetros, baseada na idade dos equipamentos,

juntamente com critérios técnicos e econômicos. Segundo os autores, o envelhecimento dos medidores se manifesta através de um progressivo aumento de medições incorretas.

A partir desta constatação, surge o seguinte questionamento: “Até quando se deve deixar o medidor envelhecer? [...] ou se deve esperar que ocorra alguma causa que determine a sua substituição ou troca por um medidor novo?” (NIELSEN *et al.* 2003, p. 68). Respondendo este questionamento, os autores argumentam que

Com o “envelhecimento” de um medidor se tem menores valores faturados e por outro lado a substituição tem um custo para o sistema de abastecimento de água; então se tem uma função econômica que deve ser otimizada e seu valor mínimo determinado. (por exemplo, o custo de ciclo de vida anual). (NIELSEN *et al.* 2003, p. 68).

Então, a regra para a substituição preventiva de hidrômetros proposta por Nielsen *et al.* (2003, p. 68) é a seguinte: “a troca ou substituição de um medidor instalado poderá ser feita no ano seguinte à aquele no qual o custo de vida anual é mínimo”.

3.2.2 Setorização

Medir o volume de água perdido no sistema como um todo é importante para acompanhar a evolução do problema, mas pode não ser muito eficiente no que diz respeito às ações de combate ao desperdício, principalmente se o sistema em questão se estender por uma grande área. Setorizar o sistema em setores e subsetores facilita o diagnóstico e possibilita uma priorização de determinadas ações em locais mais críticos.

Conforme descrito por Gonçalves e Alvim (2007, p. 22),

a grande extensão das redes de distribuição de água com suas numerosas derivações e conexões necessita de uma setorização, ou seja, a sua divisão em setores e subsetores com a finalidade de se ter um melhor gerenciamento do sistema de água.

Sá (2007) alega que a setorização facilita a medição dos índices de perdas em cada setor, com a instalação de macromedidores nas tubulações que alimentam os setores, porém, é comum encontrar sistemas de abastecimento com pouca ou nenhuma setorização, principalmente em centros urbanos que experimentam um

crescimento populacional acelerado e, conseqüentemente, demandam constantes ampliações do sistema de distribuição. A Figura 4 ilustra esquematicamente um sistema de abastecimento setorizado.

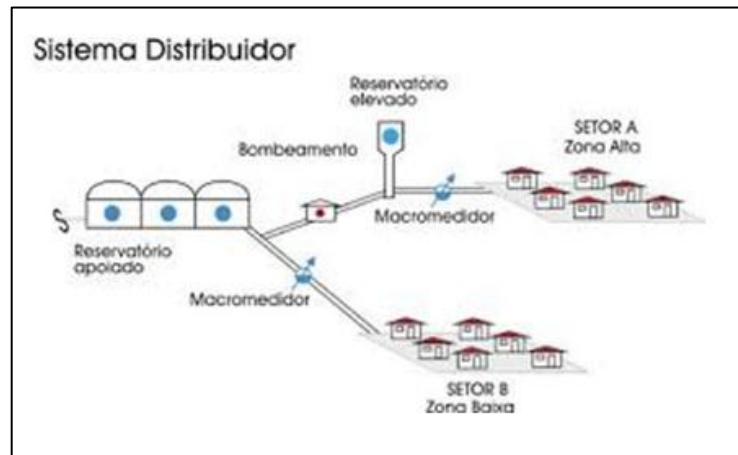


Figura 4: Sistema de abastecimento setorizado.
Fonte: Gonçalves e Alvim (2007, p. 22).

Gonçalves e Alvim (2007, p. 23) também destacam que os setores devem “ter macromedidores na entrada assim como hidrômetros para os consumidores finais, viabilizando assim a compatibilização entre a macromedição e a micromedição e, por consequência, índices de perdas confiáveis”. Conforme os mesmos autores, cada setor também pode ser dividido em subsetores.

3.2.3 Cadastro

Os dados cadastrais são indispensáveis para o trabalho de redução de perdas, pois eles subsidiam as análises que dão suporte às tomadas decisões que definem as ações de combate ao desperdício.

Geralmente os dados cadastrais são divididos em comerciais e operacionais. O primeiro grupo refere-se aos dados das ligações de água, dos clientes, dos imóveis, contendo informações de consumo, faturamento, tipo de uso da água, fontes alternativas de abastecimento e outras informações comerciais. Já o cadastro operacional (ou técnico) trata-se das informações a respeito das redes de distribuição de água e coleta de esgoto, contendo dados técnicos das tubulações e seus acessórios, como material, diâmetro, profundidade entre outros. Além de

informações alfanuméricas, é importante que estes dados também sejam apresentados espacialmente em uma base cartográfica georreferenciada.

Conforme Camargo (2000), o departamento de cadastro de uma empresa de saneamento é responsável pela atualização e manutenção dos dados, através de informações geradas por outros departamentos, como projetos, obras, operação e manutenção. Também é função da área de cadastro proporcionar que as diversas áreas da empresa tenham acesso às informações cadastrais.

Gonçalves e Alvim (2007) recomendam que seja estabelecida uma correspondência entre o cadastro técnico e o cadastro comercial e que a base de dados seja única e disponível para os setores da empresa segundo suas necessidades específicas.

3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

O Sistema de Informação Geográfica, comumente conhecido pela sigla SIG, é a principal ferramenta a ser utilizada no desenvolvimento do presente estudo. Câmara (1996, p. 21) sugere que os SIGs são,

sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la.

Complementando a definição apresentada acima, Camargo (1997, p. 6) afirma que os SIGs não estão relacionados apenas com dados geográficos. Para o autor, o SIG

é um ambiente computacional no qual dados espaciais representados por entidades gráficas podem ser relacionados entre si e com outros dados não espaciais como registros alfanuméricos de um banco de dados convencional e imagens *raster*.

Burrough (2000, p. 11-12) descreve o SIG e elenca três características básicas dos dados como segue abaixo.

SIG é um poderoso conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais do mundo real para um determinado conjunto de propósitos. Os dados geográficos (ou espaciais) representam fenômenos do mundo real em termos de (a) sua posição em relação a um sistema de coordenadas conhecido, (b) seus atributos que não estão relacionados com a posição (como cor, custo, pH, incidência de

doença, etc.) e (c) suas inter-relações espaciais que descrevem como eles são ligados entre si.

Analisando algumas definições de SIG, Câmara (1996, p. 22) destaca duas características importantes dos SIGs, são elas:

Primeiro, tais sistemas possibilitam a integração, numa única base de dados, de informações geográficas provenientes de fontes diversas tais como dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite e modelos numéricos de terreno. Segundo, SIGs oferecem mecanismos para recuperar, manipular e visualizar estes dados, através de algoritmos de manipulação e análise.

Os Sistemas de Informações Geográficas operam com bancos de dados geográficos, os quais diferem dos bancos de dados convencionais pelo fato de armazenarem dados espaciais.

Conforme Silva (2002, p. 18), um banco de dados é denominado geográfico “quando os dados a serem armazenados possuem características espaciais, ou seja, possuem propriedades que descrevem a sua localização no espaço e a sua forma de representação”.

Bonhan e Carter (*apud* , Buzolin, 2001, p. 17) afirmam que um banco de dados geográficos difere de um banco de dados convencional “já que contém a localização espacial de cada registro [...]. Ademais disso, em uma base de dados geográfica, é possível associar a informação alfanumérica à gráfica”.

Além dos dados não espaciais (também conhecidos como alfanuméricos ou tabulares), os sistemas de informações geográficas trabalham basicamente com dois tipos de estruturas de dados, a vetorial e a matricial, esta última por vezes denominada como *raster* ou ainda estrutura de tesselação.

Sobre a estrutura vetorial, Burrough (2000, p. 22) oferece a seguinte definição:

A estrutura de dados vetorial representa o espaço como uma série de entidades definidas por pontos, linhas ou polígonos, as quais são geograficamente referenciadas por coordenadas cartesianas. Entidades simples de pontos, linhas e polígonos são essencialmente representações estáticas de fenômenos em termos de coordenadas XY. São supostamente imutáveis, e não contêm qualquer informação sobre variabilidade temporal ou espacial.

Como visto na definição acima, a estrutura vetorial modela o espaço por meio de pontos, linhas ou polígonos. A seguir expõe-se o entendimento do autor a respeito destes três tipos de representações.

Uma entidade de ponto implica que as extensões geográficas do objeto são limitadas a um local que pode ser especificado por um par de coordenadas

XY [...]. Uma entidade de linha implica que a extensão geográfica do objeto pode ser adequadamente representada por pares de coordenadas que definem um traçado conectado no espaço, mas que não tem largura real, a menos que especificado em termos de um atributo anexado [...]. A definição do polígono implica que é uma representação homogênea de um espaço 2D [...]. (BURROUGH, 2000, p. 22-24, tradução nossa).

Com relação à estrutura matricial, Burrough (2000) afirma que é formada por conjuntos de células quadradas, triangulares ou hexagonais, que são organizadas de modo a formar representações geográficas utilizadas para descrever superfícies contínuas. O modelo mais utilizado na estrutura matricial é conhecido como *raster*, onde a superfície é dividida em células quadradas (conhecidas como *pixels*), quando a malha de células é usada para representar a variação de um atributo, cada célula possui um valor diferente para este atributo.

Segundo Burrough (2000), a estrutura matricial também pode ser empregada para representar as geometrias da estrutura vetorial (ponto, linha e polígono). “Um ponto vetorial pode ser representado por uma única célula; uma linha vetorial por um conjunto de células contíguas com largura de uma célula tendo o mesmo valor de atributo; um polígono vetorial por um conjunto de células contíguas tendo o mesmo valor de atributo” (BURROUGH, 2000, p. 25).

A Figura 5 mostra um comparativo entre as estruturas vetorial e matricial, segundo Burrough (2000).

VECTOR	Points	Lines	Areas	RASTER	Points	Lines	Areas
Feature data				Feature data			
Areal units				Areal units		-	
Networks				Networks	-	-	-
Sampling records				Sampling records		-	
Surface data				Surface data		-	
Label/text				Label/text	-	-	-
Symbols				Symbols			
Relations				Relations			

Figura 5: Comparação entre as estruturas vetorial e matricial.
Fonte: Burrough (2000, p. 27).

Para explicar a diferença entre as estruturas vetorial e matricial, Câmara (1996) alega que nos SIGs, o mundo real pode ser modelado segundo duas visões, que podem se complementar: o modelo de *campos* e o modelo de *objetos*. O modelo de campos “enxerga o mundo como uma superfície contínua, sobre a qual os fenômenos geográficos a serem observados variam segundo diferentes distribuições” (CÂMARA, 1996, p. 39). O modelo de objetos,

representa o mundo como uma superfície ocupada por objetos identificáveis, com geometria e características próprias. Estes objetos não são necessariamente associados a qualquer fenômeno geográfico específico e podem inclusive ocupar a mesma localização geográfica. Artefatos humanos (redes viárias, edificações) são tipicamente modelados como objetos. (CÂMARA, 1996, p. 39).

Conforme Câmara (1996, p. 40-41),

Campos são frequentemente representados no formato de tesselação ou matricial, ou seja, em uma matriz cujos elementos são unidades poligonais regulares do espaço (células) [...]. A cada célula corresponde um valor do campo representado (ou seja, não pode haver dois valores distintos para uma mesma célula). O valor associado a cada célula é considerado como válido para toda a região por ela representada, o que pode causar erros consideráveis dependendo da escala de obtenção dos dados coletados.

Em contrapartida, “um objeto geográfico é tipicamente representado no formato vetorial, ou seja, sua geometria é descrita utilizando pontos, linhas e polígonos [...]. Linhas são formadas por sequências de pontos; e polígonos [...] por sequências de linhas”. (CÂMARA, 2000, p. 41).

Conforme destacado por Camargo (1997) estes dois tipos de estruturas de dados não se anulam, podendo ser utilizados simultaneamente.

3.3.1 Mapas temáticos

Os mapas temáticos são produtos cartográficos que representam um determinado tema específico, este tipo de representação, que pode ser gerado através dos Sistemas de Informações Geográficas será amplamente utilizado no desenvolvimento deste trabalho, visto que permite a realização de análises que podem subsidiar e facilitar as tomadas de decisões relacionadas ao controle de perdas de água.

Duarte (1991, p. 23) alega que a cartografia temática,

se trata da parte da cartografia que diz respeito ao planejamento, execução e impressão de mapas sobre um fundo básico, ai qual serão anexadas informações através de simbologia adequada, visando atender as necessidades de um público específico.

Para Joly (1990, p. 74-75),

o objetivo dos mapas temáticos é o de fornecer, com o auxílio de símbolos qualitativos e/ou quantitativos dispostos sobre uma base de referência, geralmente extraída dos mapas topográficos [...] uma representação convencional dos fenômenos localizáveis de qualquer natureza e de suas correlações.

“Os mapas temáticos são inumeráveis, pois tocam a tudo aquilo que apresenta algum aspecto de repartição no espaço atual, passado ou futuro”. (Joly, 1990, p. 76).

De acordo com Duarte (1991), toda a diversificação imposta aos símbolos de modo a traduzir uma informação para a linguagem gráfica é denominada de variável visual. O autor enumera seis variáveis visuais, são elas: tamanho, cor, valor, forma, orientação e granulação.

A seguir, uma breve descrição de cada variável, segundo Duarte (1991). A variável *tamanho* diz respeito à variação da dimensão do símbolo, refletindo a grandeza dos componentes do mapa. A variável *cor* corresponde à sensação das pessoas ao perceber determinado comprimento de onda, implica tanto na diferença de cores, como nas variações de uma mesma cor através de hachuras. A variável *valor* trata da diversificação da tonalidade de uma cor, quando valores fortes e fracos são representados, respectivamente, por tons escuros e claros. A variável *forma* trata do feitio dos símbolos, podendo haver variações geométricas ou combinações de traços e figuras. A variável *orientação* corresponde à inclinação do traço, variando entre vertical, oblíqua e horizontal. Finalmente, a variável granulação é uma representação semelhante às hachuras, porém definida como a mesma repartição do preto no branco, sendo uma variável pouco utilizada.

3.3.2 Outras experiências de uso do SIG para controle de perdas de água

A utilização de Sistemas de Informações Geográficas no controle de perdas de água em sistemas de abastecimento público não é algo novo no Brasil, mesmo

assim, considera-se que ainda existem pontos a serem explorados envolvendo esta temática. Vejamos a seguir algumas experiências relacionadas ao uso de SIG, direta ou indiretamente, no combate às perdas.

O trabalho de Palini (2008) propõe um modelo de diagnóstico e controle de perdas físicas baseado na integração de um SIG com um modelo hidráulico desenvolvido para a rede de distribuição de uma área do município de Guarulhos/SP. A proposta é focada na demonstração da relação entre, pressão dinâmica, idade e tipo de material da tubulação e a ocorrência de perdas físicas no sistema de abastecimento estudado.

Santos (2007) investiga os níveis de perdas físicas do sistema de abastecimento de Rondonópolis/MT através de análises estatísticas e ferramentas de geoprocessamento, que permitiram a espacialização dos índices de perdas do sistema em questão.

Buzolin (2001) apresenta uma proposta de implantação de um SIG para sistemas de abastecimento de água em cidades de pequeno e médio porte, objetivando a criação de uma ferramenta de baixo custo para planejamento, definição de regras de operação, programa de redução de perdas e redução de custos operacionais.

Rocha (2007) busca demonstrar o potencial do SIG para a atualização e modernização das informações do sistema comercial da empresa responsável pelo sistema de abastecimento público do estado do Piauí. A autora alega que o SIG é um instrumento de apoio à tomada de decisão, planejamento de metas e gestão comercial e operacional. Neste caso, o estudo não é diretamente relacionado ao controle e redução de perdas de água, todavia, entende-se que a modernização do sistema comercial da empresa através do SIG, proporcionaria um melhor desempenho no combate ao desperdício.

Assim como no trabalho citado anteriormente, Oliveira (2009) expõe o uso de SIG no controle de perdas de forma indireta, propondo uma ferramenta de suporte ao gerenciamento das redes de distribuição de água de uma área piloto na cidade de Goiânia/GO, baseada na aplicação de um SIG integrado a um modelo hidráulico. Conforme o autor, os resultados demonstraram que puderam ser produzidas informações para melhoria do conhecimento geral do sistema de abastecimento, situação que certamente contribui para a redução dos índices de perdas de água.

Filho (2004) apresenta o desenvolvimento de um aplicativo SIG com o objetivo de melhorar o gerenciamento das redes de abastecimento de água. A intenção é que o aplicativo determine quais válvulas devem ser acionadas no caso de vazamentos e manutenções na rede de abastecimento, e quais os consumidores serão afetados com estas manobras. O autor alega que um gerenciamento mais eficaz nas operações de fechamento e abertura das válvulas proporciona a redução do tempo total dos serviços de manutenção e conseqüentemente a redução das perdas de água.

4 DESCRIÇÃO DO USUÁRIO

A Companhia Águas de Joinville é uma sociedade de economia mista municipal criada em 2005 para assumir a concessão dos serviços públicos de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgoto no município de Joinville, localizado na região nordeste do estado de Santa Catarina (Figura 6). Até então, estes serviços eram prestados pela companhia estadual de saneamento, denominada CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento).

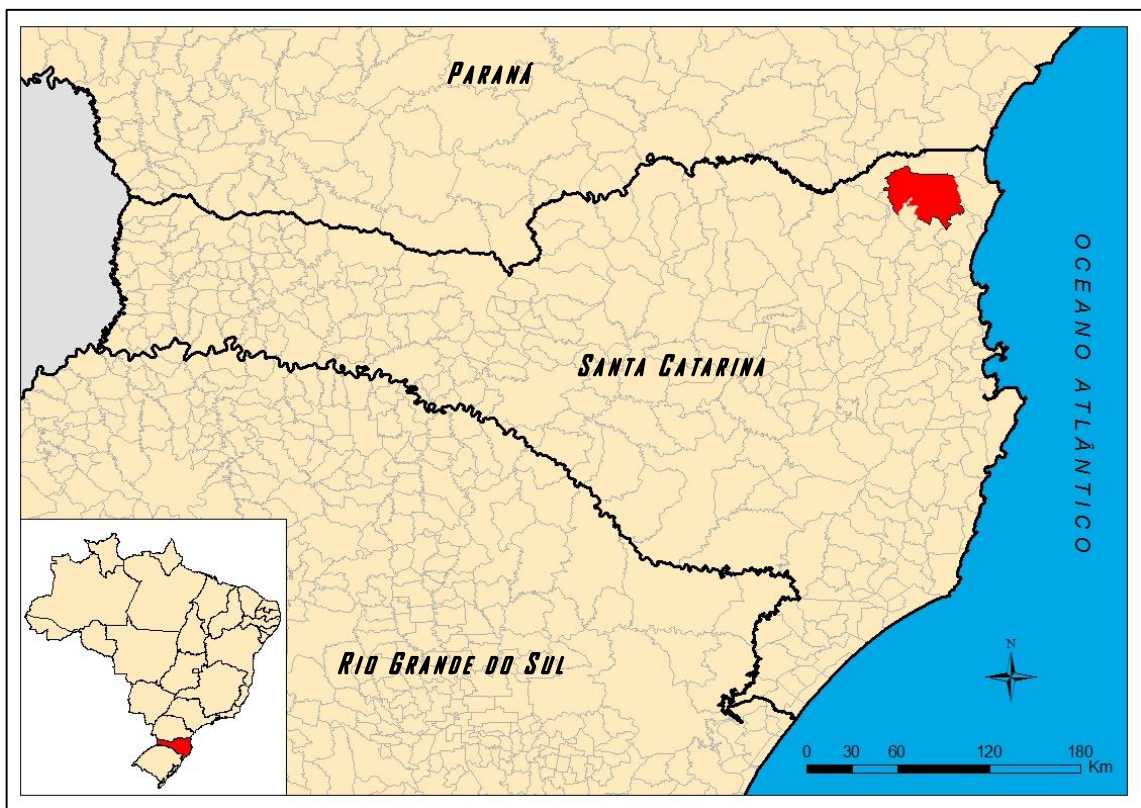


Figura 6 – Localização do município de Joinville.
Fonte: IBGE e EPAGRI, elaborado pelo autor.

Antes de descrever as atividades desenvolvidas pela empresa, é importante que sejam destacados alguns dados a respeito do município e da própria empresa, visando uma melhor compreensão do perfil e do volume dos dados que serão objeto do presente estudo.

O Censo Demográfico realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2010 constatou uma população de 515.288 habitantes no município de Joinville, o mesmo instituto estima uma população de 554.601

habitantes para o ano de 2014. A Companhia Águas de Joinville possui atualmente, cerca de 143.000 clientes cadastrados.

O sistema de abastecimento de água é composto por um total de 155.000 ligações de água (todas elas micromedidas), compreendendo ativas e cortadas, que são abastecidas por uma rede de adução e distribuição de água de aproximadamente 2.100 quilômetros de extensão. Já o sistema de coleta e tratamento de esgoto é constituído por cerca de 300 quilômetros de extensão de redes e emissários que coletam e transportam o esgoto de cerca de 30.000 ligações até as estações de tratamento.

O crescimento da população do município traz consigo a ampliação da demanda dos serviços prestados pela empresa, acarretando automaticamente no aumento do número de ligações de água e esgoto. Para acompanhar o crescimento da demanda, é preciso que o sistema seja readequado constantemente, ampliando a extensão das redes de distribuição de água e coleta de esgoto.

Tendo em vista que cada trecho de rede (seja de água ou de esgoto) e seus acessórios, cada cliente e cada hidrômetro possuem diversas informações a serem cadastradas nos bancos de dados (alfanumérico e espacial), percebe-se que o sistema operado pela Companhia Águas de Joinville possui um volume considerável de dados e que esse montante cresce na medida em que o sistema se desenvolve. Os dados, tanto alfanuméricos como espaciais, são parte fundamental na proposta de utilização de um Sistema de Informações Geográficas no processo de controle e redução das perdas de água.

Para um efetivo trabalho de redução de perdas em um sistema público de abastecimento de água é necessário que o volume de água perdido seja mensurado periodicamente. A medição é feita subtraindo-se o volume de água registrado nos hidrômetros individuais dos consumidores do volume total que saiu das estações de tratamento e entrou no sistema de distribuição, a diferença entre estes dois volumes é a quantidade perdida. Esses dados ficam armazenados em um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) *SQL Server*.

Vários fatores influenciam na variação do índice de perdas, como vazamentos na rede de distribuição, ligações clandestinas, fraudes nos hidrômetros, submedição, entre outros. A utilização de um Sistema de Informações Geográficas pode auxiliar no controle de alguns destes fatores, desde que as informações alfanuméricas, armazenadas no SGBD, possam ser vinculadas aos dados espaciais,

que se encontram armazenados em formato *geodatabase*, banco de dados espaciais nativo da plataforma ArcGIS, desenvolvida pela empresa estadunidense ESRI (*Environmental Systems Research Institute*).

A visualização da distribuição espacial de alguns fenômenos é fundamental para atingir os objetivos propostos. Deve-se ter a possibilidade de saber qual o volume perdido em cada um dos Setores Operacionais, a idade de cada hidrômetro e as regiões com concentrações de medidores antigos, a distribuição de ocorrências de consertos de vazamentos na rede de distribuição e de acompanhar a oscilação de consumo de cada consumidor.

Os dados alfanuméricos que poderão ser utilizados neste trabalho contemplam as informações comerciais referentes a cada ligação de água, como número da matrícula, situação atual da ligação, número do hidrômetro, consumo mensal e inscrição imobiliária do lote. Além dos dados comerciais das ligações, também serão disponibilizados dados alfanuméricos referentes aos volumes registrados nos macromedidores dos Setores Operacionais.

Com relação aos dados espaciais, a Companhia Águas de Joinville está inserida no Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas (SIMGEO), que é um banco de dados espaciais, onde cada órgão do município (Secretarias, Autarquias, Institutos, etc.) dispõe de um *geodatabase* com as suas respectivas informações. O banco de dados foi construído e estruturado com a assessoria de uma empresa especializada no ano de 2010.

O banco de dados do SIMGEO tem como função principal padronizar e compartilhar as informações geográficas do município entre as Secretarias. Porém, ressalta-se que para análises internas e específicas da Companhia Águas de Joinville, utiliza-se uma cópia armazenada em um *geodatabase* hospedado em servidor local.

Conforme mencionado, a estrutura do SIMGEO compreende um banco de dados geográficos, o qual é atualizado e utilizado constantemente por diversos setores do Município. O banco de dados fica hospedado em um servidor da Prefeitura de Joinville, administrado pelo Núcleo de Geoprocessamento da Secretaria de Administração e Planejamento (SAP). O organograma que representa a estrutura do SIMGEO, o qual é apresentado na Figura 7, prevê a subdivisão do sistema em núcleos elencados por afinidade de temas, onde cada ente se enquadra em pelo menos um deles.

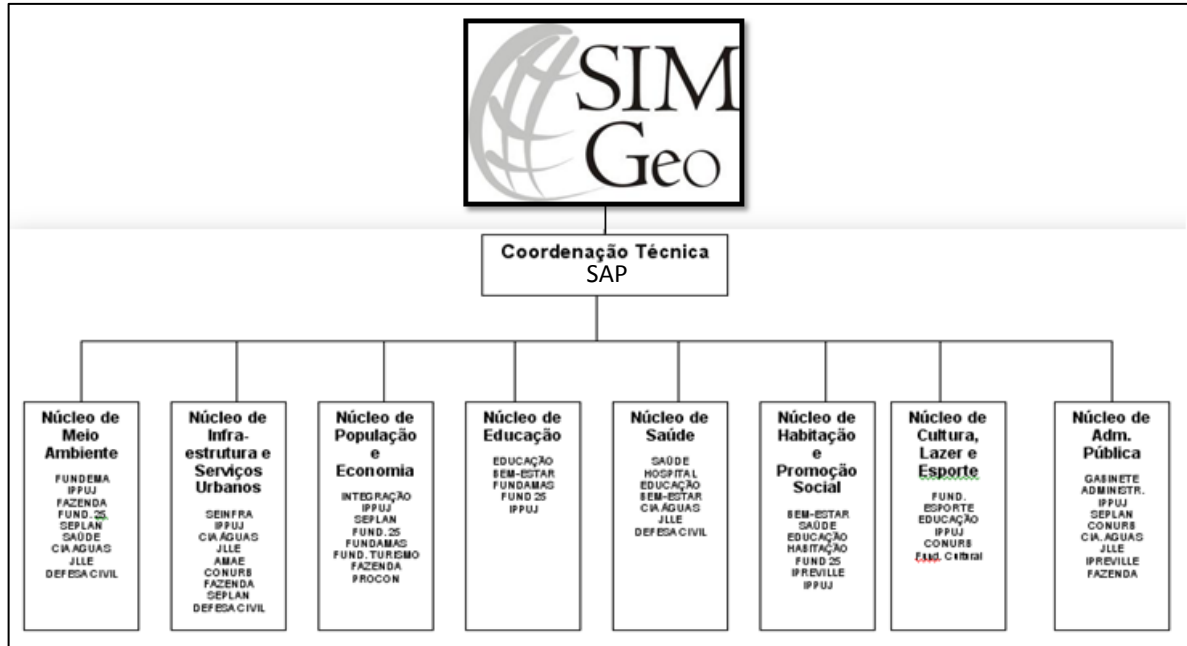


Figura 7: Estrutura do SIMGEO.

Fonte: Prefeitura de Joinville.

5 METODOLOGIA

A proposta do presente trabalho é apresentar as possibilidades de uso de um Sistema de Informações Geográficas para auxiliar no controle e redução de perdas de água do sistema de abastecimento público do município de Joinville, indicando possíveis análises dos dados disponíveis.

5.1 MATERIAIS

Todas as geometrias necessárias para o desenvolvimento do trabalho já se encontram armazenadas no banco de dados, com as tabelas de atributos devidamente preenchidas. Serão utilizados: sistema viário, malha de lotes, limites municipais, limites dos Setores Operacionais, hidrômetros, rede de distribuição de água e consertos de vazamento.

As informações espaciais referentes à base cartográfica são criadas, atualizadas e mantidas pela prefeitura do município de Joinville, enquanto as informações referentes ao sistema de abastecimento de água são de responsabilidade da Companhia Águas de Joinville.

Alguns dados alfanuméricos, como a matrícula e o número do hidrômetro, não se repetem em ligações diferentes, portanto, podem ser usados para a conexão com os dados espaciais que também possuem estes atributos. Outra opção é a utilização da inscrição imobiliária para o estabelecimento desta conexão, porém, este dado refere-se ao lote, que pode conter mais de uma ligação, logo, neste caso o relacionamento deve ter cardinalidade 1-n (um para muitos).

Para a realização de todas as análises e a produção de todos os mapas temáticos que serão apresentados, foram utilizados os *softwares ArcGIS for Desktop* (versão 10.3.1) e *Quantum GIS Desktop* (versão 2.2). Para a construção do diagrama de casos de uso e do diagrama de classes, foi empregado o *software Astah Community* (versão 6.8.0).

5.1.1 Modelagem da aplicação

No diagrama de casos de uso para a aplicação proposta (Figura 8), observa-se o papel de cada ator. A Prefeitura é responsável, através do SIMGEO, por fornecer os dados que compõem a base cartográfica, como o limite municipal, a malha de lotes e o sistema viário. O setor de cadastro da Companhia Águas de Joinville mantém atualizadas as informações referentes à rede de distribuição de água e seus acessórios, assim como os dados dos hidrômetros. O setor de manutenção da empresa consulta o cadastro da rede para a execução dos serviços e simultaneamente fornece as informações encontradas em campo para que o setor de cadastro alimente o banco de dados.

Paralelamente à atualização cadastral, o setor de cadastro também elabora mapas temáticos e levantamentos de dados alfanuméricos sobre elementos causadores de perdas. Cabe aos setores de fiscalização e de operação, analisar o material produzido e utilizá-lo para auxílio na tomada de decisões relativas às ações mitigadoras.

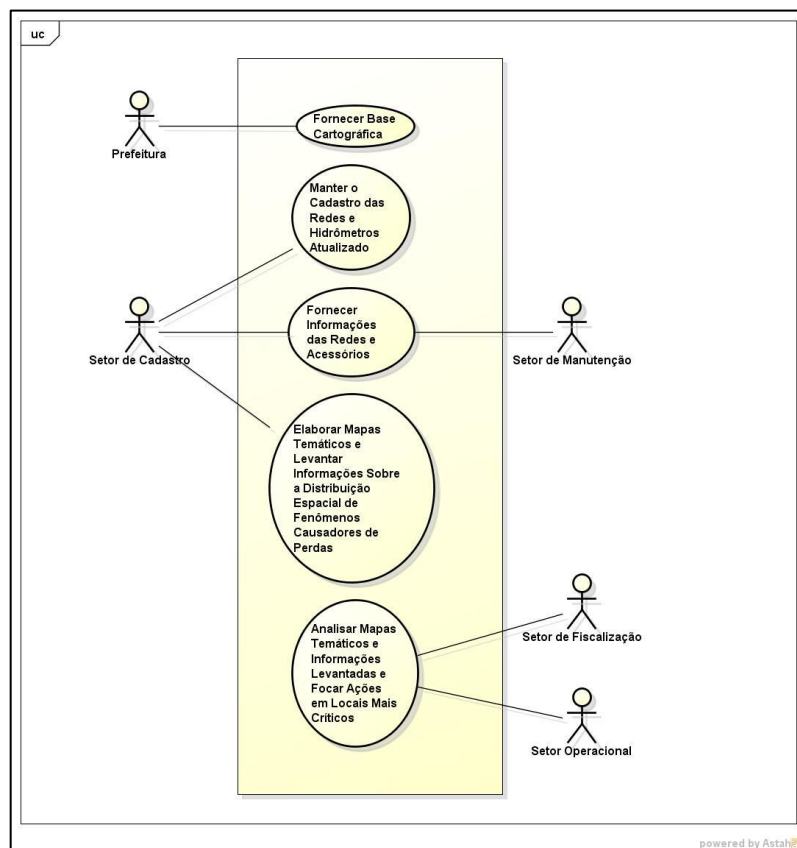


Figura 8 – Diagrama de casos de uso.
Elaborado pelo autor.

A Figura 9 demonstra o diagrama de classes para as análises propostas. O diagrama ilustra cada elemento componente do SIG, os campos constantes nas tabelas de atributos, o tipo de dado de cada campo, a primitiva gráfica que representa cada um deles, assim como as ligações entre os elementos.

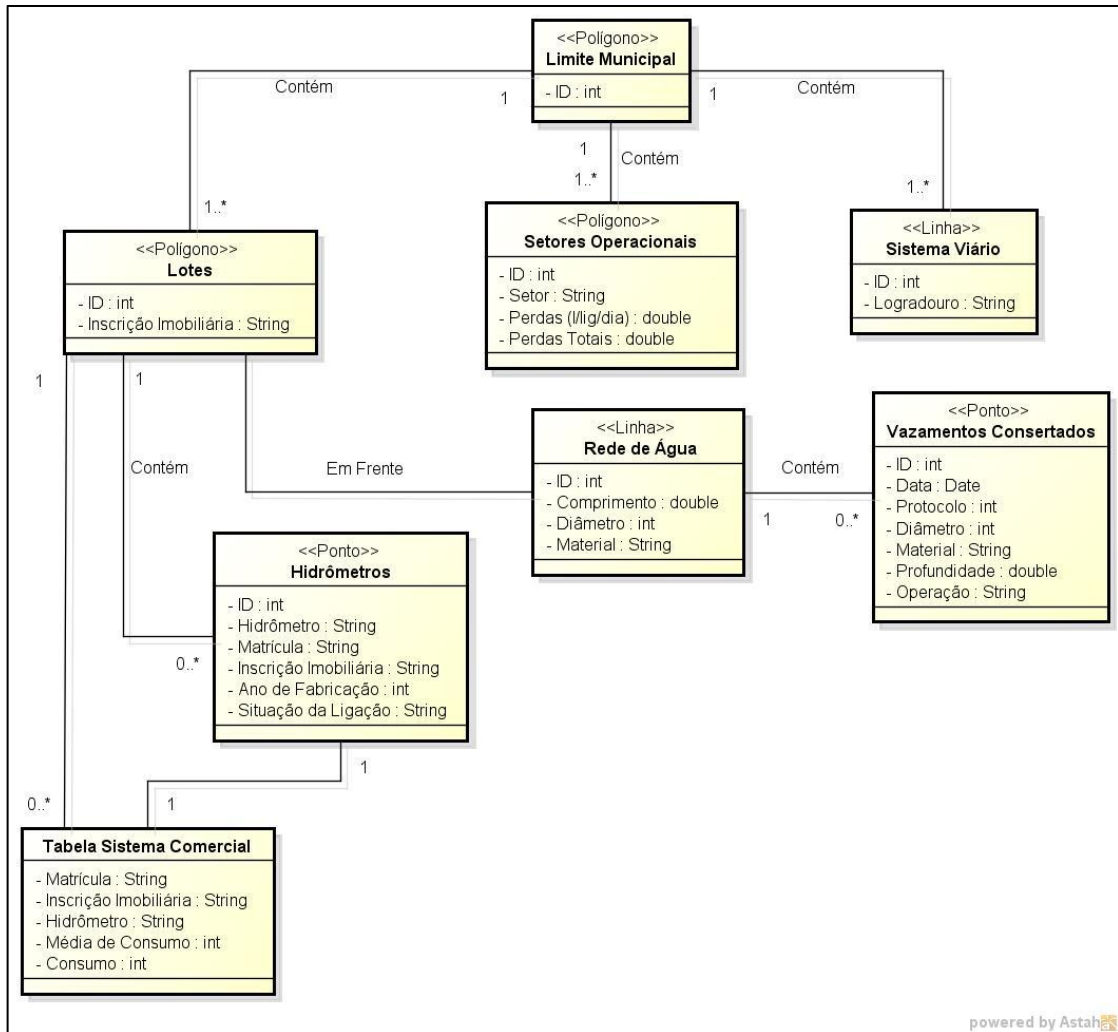


Figura 9 – Diagrama de classes.
Elaborado pelo autor.

O elemento *Limite Municipal* é representado por um polígono e não possui nenhum dado em sua tabela de atributos, pois serve somente para delimitar a área do município, correspondente à área de atuação do SIG. O *Limite Municipal* contém três classes: Sistema Viário, Setores Operacionais e Lotes.

O sistema viário é representado pela primitiva linha e ilustra o eixo central das ruas, a tabela de atributos possui apenas o campo *Logradouro*, que indica o nome da rua.

Os Setores Operacionais, representados pelo elemento de mesmo nome, são representados por polígonos que delimitam a área de cada setor, e a tabela de atributos deste elemento é composta pelos campos *Setor*, que armazena o seu nome, além de *Perdas (l/lig/dia)* e *Perdas Totais*, correspondentes aos indicadores das perdas. Estes índices são atualizados mensalmente.

Por fim, os lotes são representados por polígonos, e esta classe possui apenas o campo *Inscrição Imobiliária* em sua tabela. Esse dado é utilizado para o estabelecimento de um relacionamento com o elemento *Tabela Sistema Comercial*, que é um conjunto de dados alfanuméricos extraído do sistema comercial da Companhia Águas de Joinville, em formato de tabela, e armazena informações de todas as ligações de água do sistema de abastecimento.

Os campos da tabela, além da inscrição imobiliária, são: *Matrícula*, número que identifica a ligação de água no sistema, *Hidrômetro*, correspondente à identidade de cada medidor, *Média de Consumo*, informa a média de consumo dos últimos doze meses, e *Consumo*, que indica o consumo do último mês.

Os outros elementos do diagrama de classes são: Hidrômetros, Rede de Água e Vazamentos Consertados.

O primeiro está contido nos lotes e também apresenta um relacionamento com a tabela através do campo *matrícula*. A tabela de atributos tem os campos *Hidrômetro*, *Matrícula*, *Inscrição Imobiliária* (do lote em que está inserido), *Ano de Fabricação* e *Situação da Ligação*, que indica se a ligação está ativa ou cortada. A primitiva gráfica que o representa é o ponto.

A classe *Rede de Água* está em frente aos lotes, é ilustrada por linhas e possui os campos *Diâmetro* e *Material* em sua tabela de atributos. Finalmente, a rede de água contém a classe *Vazamentos Consertados*, que é representada por pontos e possui em sua tabela de atributos os campos *Data*, *Protocolo* (número de identificação da ordem de serviço), *Diâmetro*, *Material* e *Profundidade* (informações da rede consertada), e *Operação*, que indica se o conserto foi realizado em uma rede distribuição ou em um ramal predial.

Todos os elementos geométricos possuem em suas respectivas tabelas de atributos, além dos campos já mencionados, o campo *ID*, referente ao número identificador de cada feição.

5.1.2 Descrição das análises

Para se iniciar um trabalho de controle de perdas de água em um sistema de distribuição, é preciso medir o volume que está sendo desperdiçado. Quanto mais setorizado for o sistema, maior a facilidade em tomar as ações corretivas e preventivas, pois se sabe em quais lugares o desperdício é maior.

Atualmente, o sistema de abastecimento de Joinville possui 14 Setores Operacionais, sendo que 8 deles encontram-se em plena operação e em condições técnicas de se saber o volume exato de água disponibilizado para os consumidores da área. O índice de setorização atual é de cerca de 65% das ligações totais. Na Figura 10 visualiza-se a distribuição destes setores.

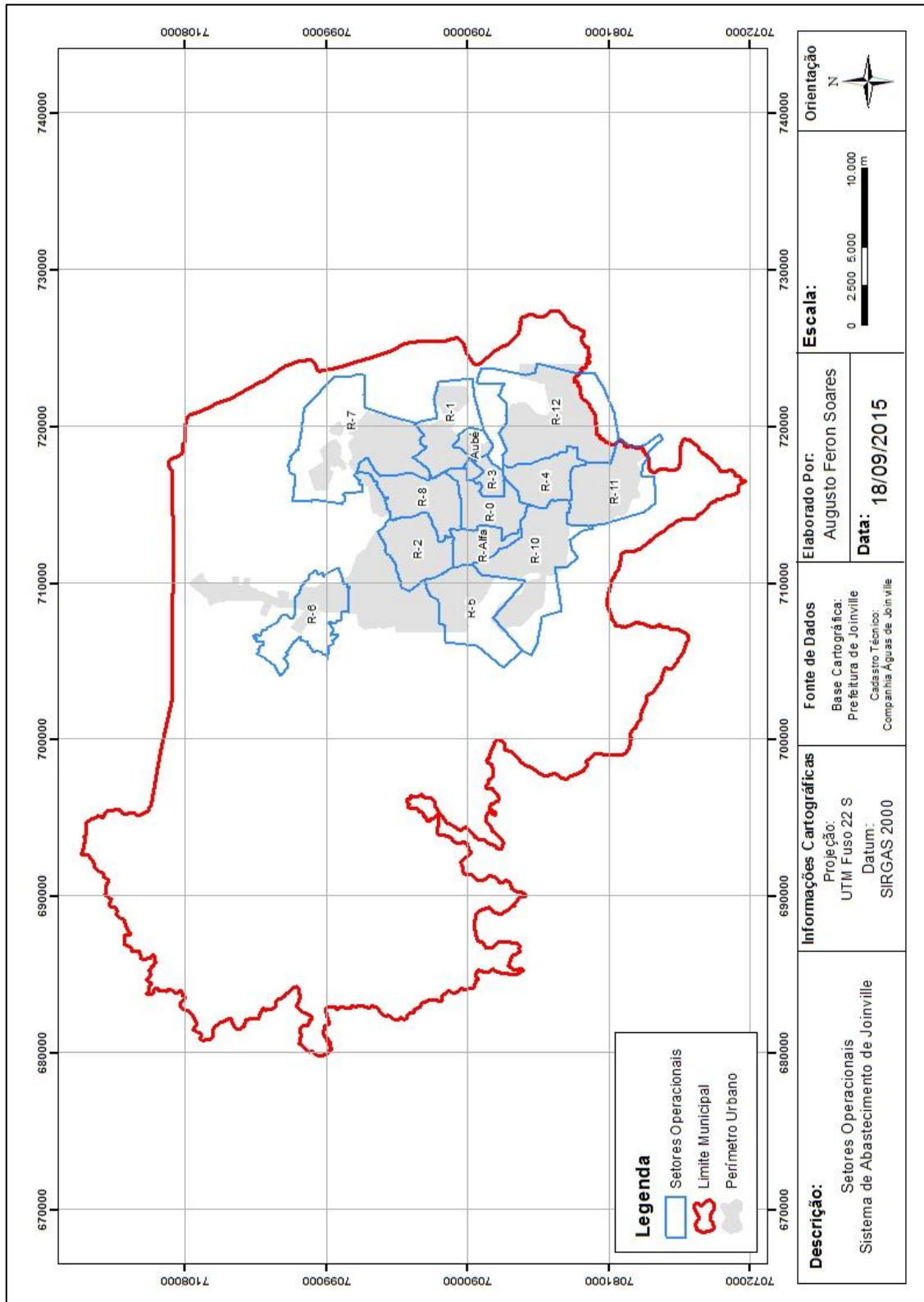


Figura 10 – Setores Operacionais do sistema de abastecimento de água de Joinville.
Fonte: Prefeitura de Joinville e Companhia Águas de Joinville, elaborado pelo autor.

Cada Setor Operacional possui a rede de distribuição isolada do restante do sistema, toda a água que abastece um setor passa por somente uma tubulação

principal, equipada com um macromedidor. Desta forma, as perdas são calculadas pela subtração do volume medido nos hidrômetros individuais do volume total disponibilizado.

Tendo o conhecimento dos índices de perdas em cada um dos Setores Operacionais, o trabalho se direciona para uma próxima etapa, que consiste na análise da distribuição espacial dos fenômenos que causam as perdas.

Existem diversos fatores que influenciam, direta ou indiretamente, em maior ou menor grau, nas perdas de água em um sistema de abastecimento, no entanto, o presente estudo propõe a análise de três destes fatores: desgaste dos hidrômetros baseado na idade dos aparelhos, vazamentos na rede de distribuição de água, e oscilação de consumo das ligações individuais.

Com relação às perdas comerciais causadas pela submedição dos hidrômetros, destaca-se que se trata de um problema que não ocorre somente pela idade do equipamento, mas também por outros fatores como volume registrado, pressão da água, mau dimensionamento e má instalação. A sugestão aqui apresentada é de se analisar apenas a idade como um ponto de partida para um estudo mais aprofundado, se for o caso. Esta análise será realizada através da distribuição dos hidrômetros, classificados por método coroplético, de acordo com o ano de fabricação do equipamento.

Um dos principais fatores causadores de perdas físicas em um sistema de abastecimento são os vazamentos, que podem ocorrer em grandes adutoras, na rede de distribuição ou nos ramais prediais, que são mangueiras de pequeno diâmetro responsáveis por interligar a rede de distribuição às unidades consumidoras.

Diariamente, as equipes de manutenção executam em média 25 consertos de vazamentos no sistema de abastecimento do município de Joinville. Cada conserto executado coincide com uma ordem de serviço do sistema comercial, que ao ser encerrada, insere no banco de dados as seguintes informações de localização: rua, número do imóvel em frente, número do hidrômetro mais próximo, posição na rua (calçada, terço ou meio).

A partir das informações de localização extraídas do sistema comercial, o setor de cadastro da Companhia Águas de Joinville cadastra cada conserto no SIG, insere um ponto na camada vetorial Vazamentos Consertados na base cartográfica,

no local indicado pela equipe de manutenção e preenche a tabela de atributos com os dados do conserto.

Através da espacialização destes consertos, é possível se fazer uma análise crítica e gerar mapas temáticos, sugerindo ao setor operacional possíveis substituições de redes e ramais onde nota-se uma recorrência de consertos de vazamentos.

Paralelamente à submedição dos hidrômetros, outros fatores determinantes para as perdas aparentes são as ligações clandestinas e fraudes nas ligações, que fazem com que os hidrômetros não registrem o real volume consumido. Estes tipos de irregularidades são combatidos principalmente através de denúncias e fiscalizações rotineiras, que encontram algumas anormalidades aleatoriamente, com um baixo índice de assertividade.

Porém, o SIG pode auxiliar no direcionamento das equipes de fiscalização para regiões que apresentam uma maior concentração de unidades com oscilações de consumo que possam levantar alguma suspeita.

A proposta aqui apresentada sugere a classificação coroplética das ligações de acordo com uma escala de variação do volume consumido em relação à sua própria média de consumo. Entende-se, por exemplo, que se uma unidade consumiu 12m³ de água no mês de janeiro e 6m³ no mês de fevereiro, esta ligação apresentou uma oscilação de consumo negativa de 50%.

Ao se observar uma concentração espacial de ligações com oscilação de consumo negativa, pode-se chegar a algumas conclusões: a primeira delas é que há um agrupamento de fraudes e ligações clandestinas, outra hipótese é de que exista um grande desvio irregular de vazão, provocado por uma fraude, que esteja causando uma redução da pressão à jusante do sistema, fazendo com que as unidades vizinhas consumam menos água, ou ainda, existe a possibilidade daquela região ter sofrido desabastecimento por problemas operacionais durante alguns dias do mês de medição.

Das três hipóteses sugeridas acima, a terceira pode ser confirmada através de consultas ao setor operacional ou ao histórico de reclamações de falta d'água dos clientes da região. Descartando-se esta possibilidade, a área torna-se um alvo em potencial para o trabalho das equipes de fiscalização.

6 MAPAS TEMÁTICOS

Conforme proposto neste trabalho, os mapas temáticos terão um papel fundamental no auxílio ao controle e redução das perdas de água. Através deles se tem a possibilidade de fazer uma análise de onde as perdas estão mais concentradas e quais são os principais motivos que estão causando estas perdas.

Os primeiros mapas a serem avaliados ilustram os índices de perdas de água em cada Setor Operacional; destaca-se que somente os setores que estão em operação atualmente serão considerados nestes mapas.

Existem alguns tipos de indicadores utilizados para o acompanhamento das perdas de água em um sistema de abastecimento. No presente estudo, serão apresentados dois deles, o Índice de Perdas Totais e Índice de Perdas “litros/ligação/dia”. O primeiro é calculado através da seguinte fórmula:

$$P = \frac{(VD - VM)}{VD}$$

onde VD é igual ao volume disponibilizado em metros cúbicos (volume registrado no macromedidor) e VM é o volume micromedido em metros cúbicos (soma dos volumes registrados em todos os hidrômetros). Este indicador representa a porcentagem perdida em relação ao volume total disponibilizado para determinada região. O segundo índice é resultado da fórmula

$$P = \frac{(VD - VM).1000}{(LA.CL)}$$

onde VD e VM referem-se, respectivamente, aos volumes disponibilizado e micromedido em metros cúbicos, LA corresponde ao número de ligações ativas de água e CL é o ciclo de leitura, ou seja, a quantidade de dias levada em consideração na medição dos volumes disponibilizado e micromedido. Este índice reflete a quantidade de litros perdidos diariamente por cada ligação de água.

As Figuras 11 e 12 demonstram a distribuição das perdas de água nos Setores Operacionais pelos índices de “perdas totais” e “litros/ligação/dia”,

respectivamente. Ambos os mapas foram confeccionados através do *ArcGIS*, empregando o método das quebras naturais para classificar os Setores Operacionais de acordo com a série de dados dos campos Perdas Totais e Perdas (l/lig/dia), respectivamente.

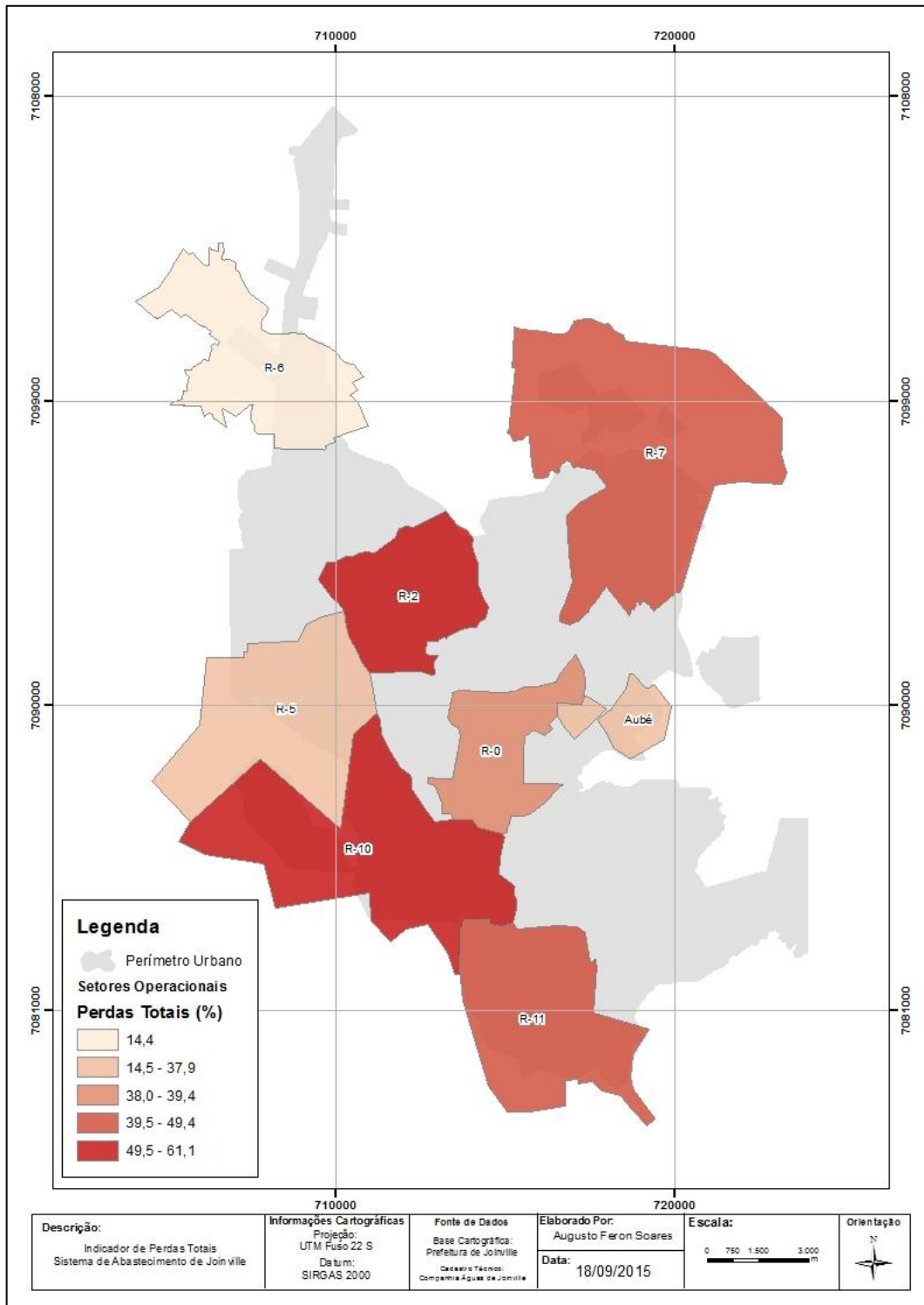


Figura 11 – Indicador “Perdas Totais” nos Setores Operacionais do sistema de abastecimento do município de Joinville.

Fonte: Prefeitura de Joinville e Companhia Águas de Joinville, elaborado pelo autor.

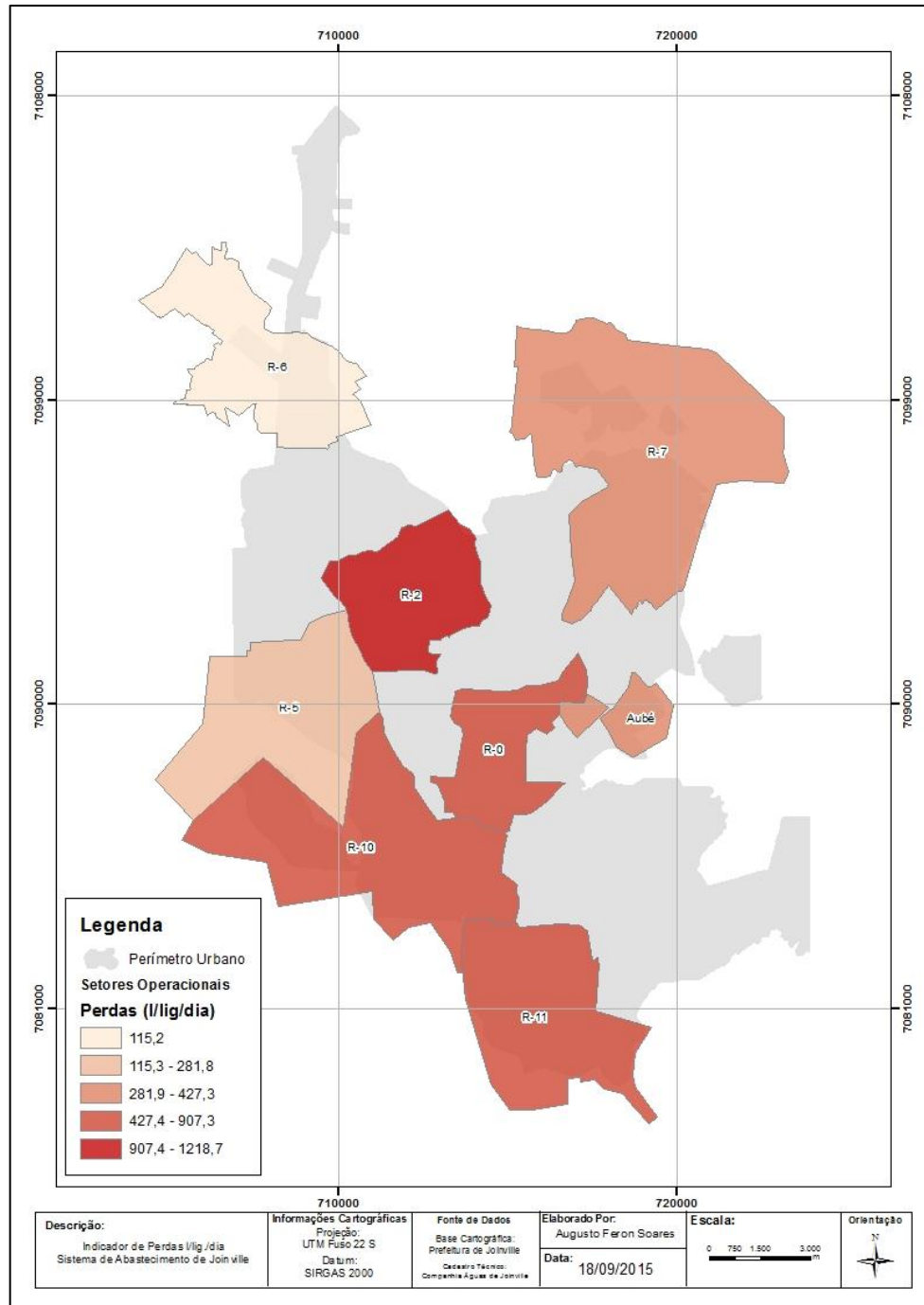


Figura 12 – Indicador “Perdas litros/ligação/dia” nos Setores Operacionais do sistema de abastecimento do município de Joinville.

Fonte: Prefeitura de Joinville e Companhia Águas de Joinville, elaborado pelo autor.

Após verificarem-se os índices de perdas nos Setores Operacionais, inicia-se a busca pelos motivos que podem estar ocasionando estes prejuízos. O primeiro fenômeno a ser investigado será a submedição dos hidrômetros, que pode ser causada pela idade avançada dos medidores.

Uma simples classificação coroplética dos dados por idade seria inviável, visto que os hidrômetros são representados por mais de 140.000 pontos. A

representação ficaria extremamente confusa e a interpretação seria prejudicada, uma vez que a diferenciação visual da distribuição das classes seria praticamente impossível. Logo, optou-se pela utilização de uma ferramenta de interpolação, gerando um arquivo matricial como produto final, a partir do arquivo vetorial de pontos dos hidrômetros (Figura 13).

Este mapa foi produzido através do uso da ferramenta *Heatmap* do *Quantum GIS*. Conforme mencionado, esta ferramenta cria um arquivo raster a partir de um arquivo vetorial de entrada, este arquivo raster possui valores diferentes nas células de acordo com a proximidade dos pontos em relação aos outros, de modo que os maiores valores são atribuídos nos locais onde a densidade dos pontos é maior.

Um dos parâmetros que podem ser definidos na configuração do *Heatmap* é o raio, em metros, referente à distância de influência ao redor de cada ponto. Raios maiores resultam em uma maior homogeneidade dos valores das células, enquanto raios menores evidenciam maiores variações na densidade dos pontos.

Outro parâmetro importante é a possibilidade de escolha de um campo da tabela de atributos do arquivo vetorial como fator de peso, utilizando os valores encontrados neste campo. Por exemplo, um ponto com valor '2' no campo escolhido, terá o dobro do peso de um ponto com valor '1' no mesmo campo. Caso não seja indicado nenhum campo como fator de peso, todos os pontos terão pesos iguais, sendo a localização (coordenadas XY), o único critério para a atribuição dos valores das células do arquivo raster.

Para a construção do mapa demonstrado na Figura 15, o campo *Idade* da tabela de atributos do arquivo vetorial Hidrômetros foi utilizado como fator de peso. O raio escolhido foi de 500 metros, entendendo-se que mostra o nível de detalhes desejado, em comparação com outras tentativas com distâncias diferentes.

Ao configurar a simbologia com cores mais saturadas em células de valores maiores, identificam-se facilmente as áreas com maior densidade de um fenômeno, neste caso, a concentração de hidrômetros com idade avançada.

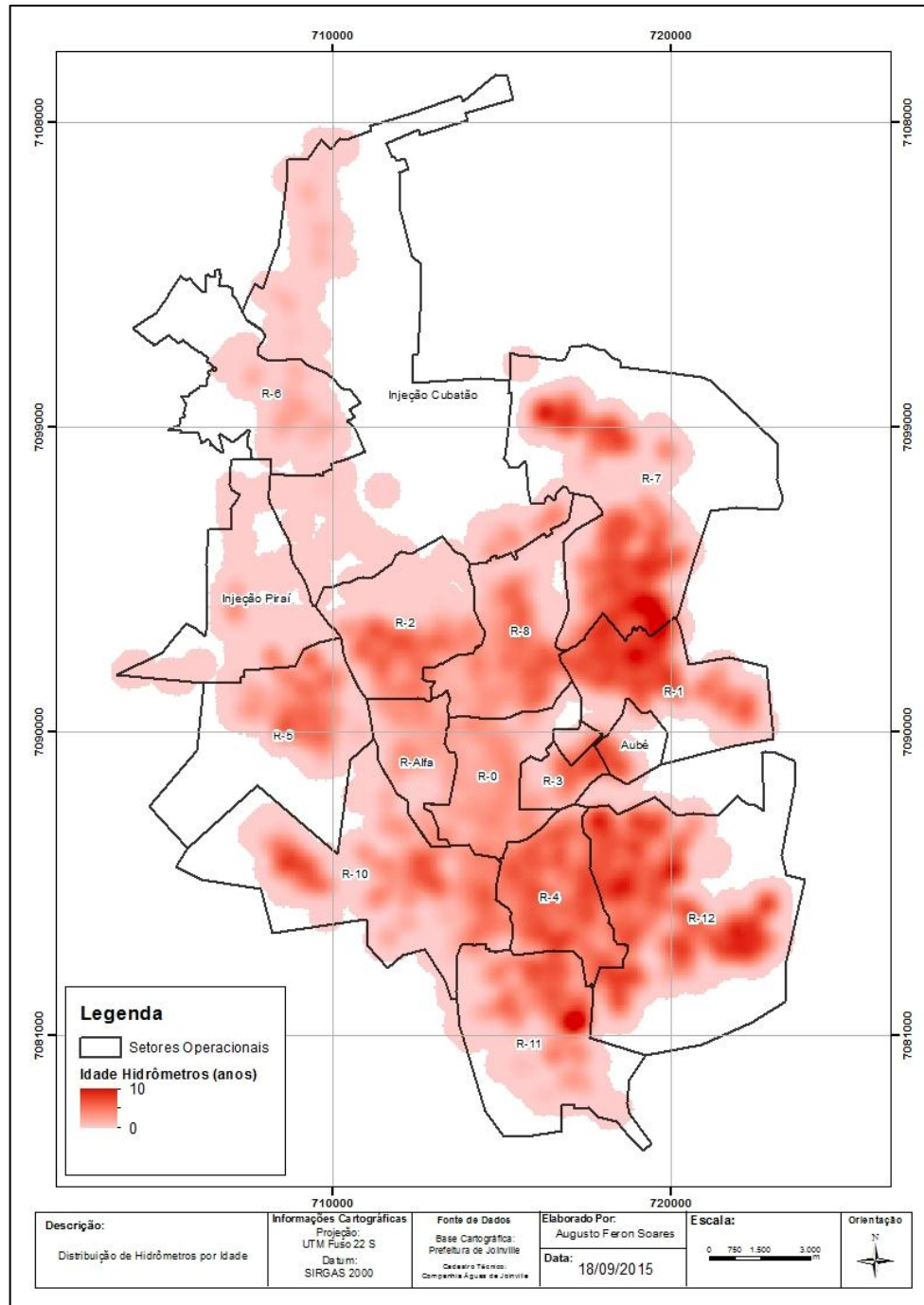


Figura 13 – Distribuição dos hidrômetros com a idade como fator de peso.
 Fonte: Companhia Águas de Joinville, elaborado pelo autor.

Ainda no tocante às perdas aparentes, quando a água é consumida, mas não é faturada, o próximo elemento a ser analisado é a oscilação de consumo das ligações, que pode indicar possíveis focos de ligações clandestinas e fraudes. A Figura 14 demonstra, em suas áreas mais escuras, os pontos onde há uma maior concentração de ligações com uma queda de consumo no mês de referência, neste caso maio de 2015, em relação à sua própria média dos 12 meses anteriores.

Aprofundando ainda mais a avaliação desta variável, recomenda-se restringir a série de dados a apenas um determinado intervalo de oscilação de consumo, de modo que a visualização de uma alta concentração de ligações com oscilação negativa não seja prejudicada pela presença de outras ligações com variação positiva a sua volta. Na Figura 15, foram levadas em consideração apenas as ligações com oscilação de consumo igual a -100% no mês de referência, ou seja, hidrômetros que não registraram qualquer consumo no mês de maio de 2015.

Os dois mapas abaixo foram construídos através da ferramenta *Heatmap* do *Quantum GIS*, ambos com raio de 1.000 metros, no primeiro (Figura 14), o valor da variação de consumo em relação à própria média foi utilizado como fator de peso. O segundo (Figura 15), foi baseado na distribuição espacial dos pontos que representam os hidrômetros com variação de consumo igual a -100%.

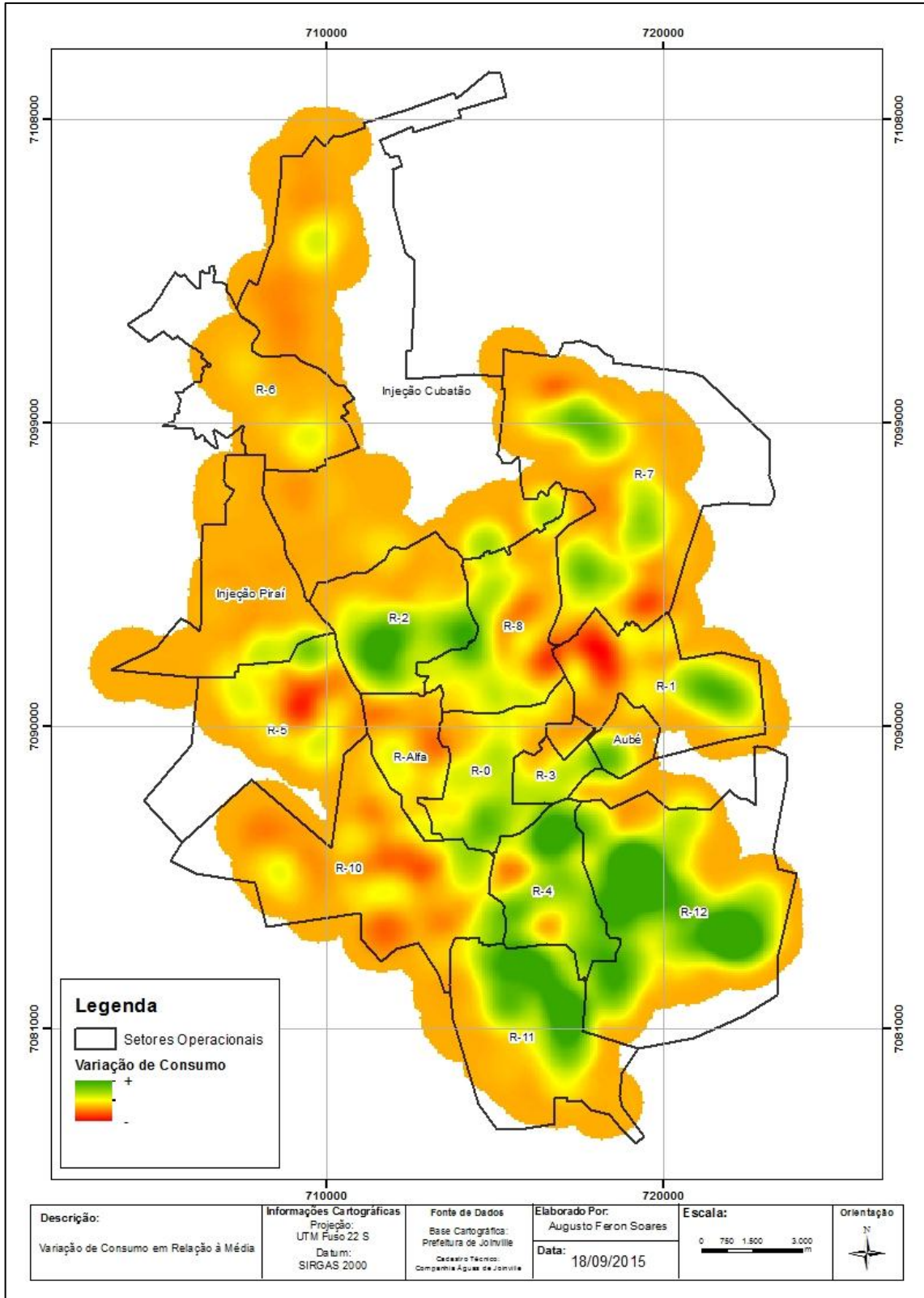


Figura 14 – Oscilação de consumo em relação à média.
 Fonte: Companhia Águas de Joinville, elaborado pelo autor.

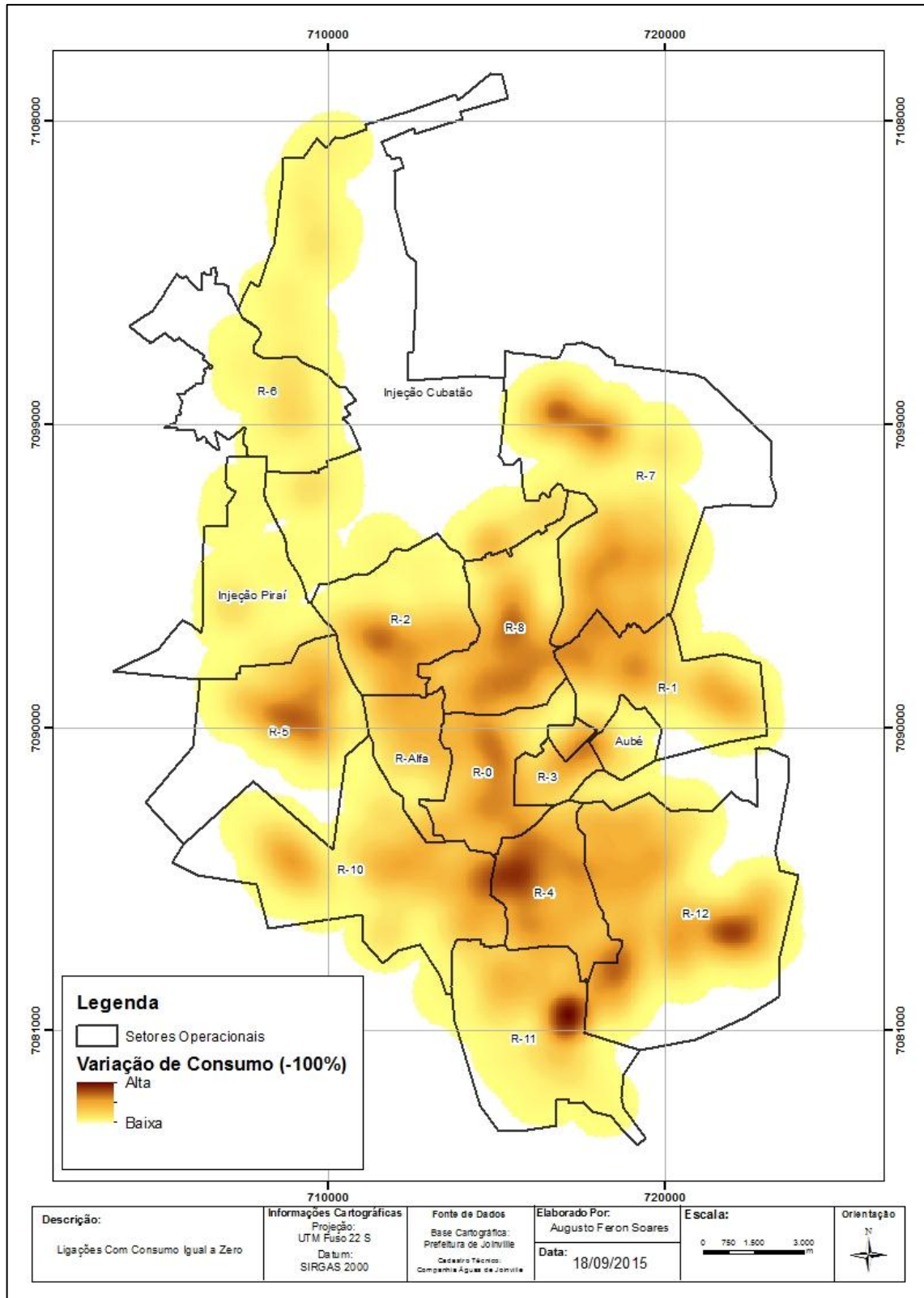


Figura 15 – Concentração de ligações com variação de consumo igual a -100%.
Fonte: Companhia Águas de Joinville, elaborado pelo autor.

Passando para a análise das perdas reais, aquelas em que a água é fisicamente perdida e não chega ao consumidor final, verifica-se a distribuição dos

consertos de vazamentos executados na rede de distribuição e nos ramais prediais. A Figura 16, que foi feita através da ferramenta *Heatmap* do *Quantum GIS*, com raio de 1.000 metros, mostra a concentração dos pontos que representam estes consertos.

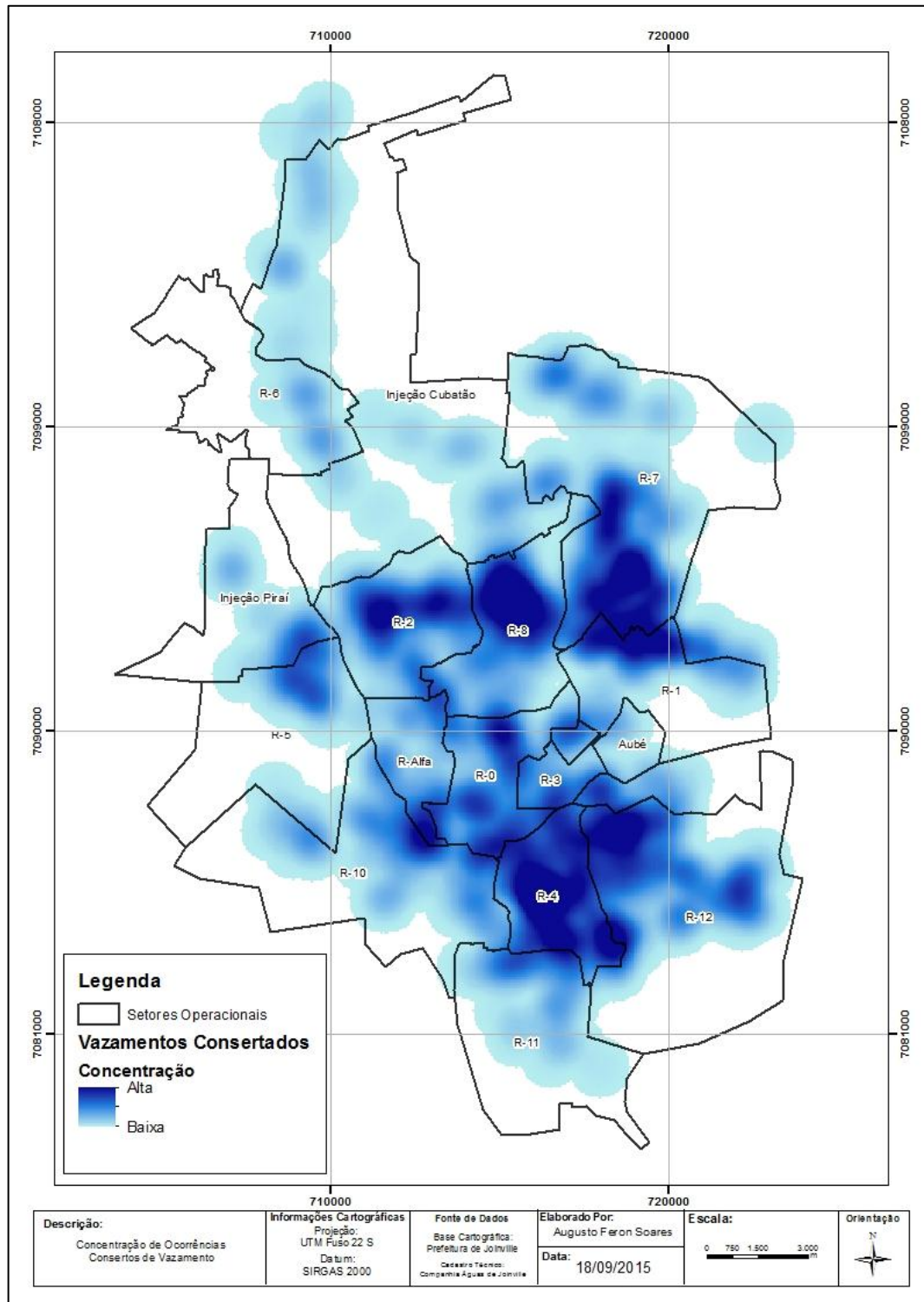


Figura 16 – Concentração de ocorrências de consertos de vazamento nas redes de distribuição e ramais prediais.

Fonte: Companhia Águas de Joinville, elaborado pelo autor.

Além da distribuição das ocorrências, também se pode avaliar a lista dos trechos de rede com maior número consertos executados. Essa avaliação é possível por meio da utilização da ferramenta *Spatial Join* do *ArcGIS*, de modo que a tabela de atributos dos Vazamentos Consertados absorva o campo *ID* da tabela Rede de Água, de acordo com a relação topológica estabelecida entre as duas classes, visto que as linhas que representam as redes de água contêm os pontos que ilustram os consertos de vazamentos. O Quadro 4 apresenta os trechos de rede com maior número de consertos executados.

Número do Trecho	Ocorrências de Vazamentos
6835	4
7505	4
14076	4
592	3
1017	3
6670	3
7521	3
9312	3
10287	3
11843	3
11930	3
13815	3

Quadro 4 – Trechos de rede com maior número de ocorrências de consertos de vazamentos.

Fonte: Companhia Águas de Joinville, elaborado pelo autor.

Com o objetivo de tornar esta análise ainda mais refinada, estabeleceu-se um índice que retrata a quantidade de vazamentos por metro em cada trecho. O índice é obtido através da divisão do valor encontrado no campo Vazamentos Consertados pelo comprimento do trecho. A lista dos trechos com os maiores índices pode ser visualizada no Quadro 5.

Número do Trecho	Consertos por Metro
10287	0,083
991	0,062
14702	0,046
14295	0,041
6670	0,038
13422	0,036
7397	0,034
8340	0,034
11078	0,032
6419	0,029
5325	0,029
14704	0,027

Quadro 5 – Trechos de rede com maior índice de consertos por metro.
Fonte: Companhia Águas de Joinville, elaborado pelo autor.

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após expostas as sugestões acima de análise dos dados disponíveis, verificam-se alguns fatores a respeito das perdas de água no sistema de abastecimento público do município de Joinville. Visando uma melhor organização desta seção do trabalho, a discussão será inicialmente segmentada de acordo com a ordem da apresentação das Figuras e Quadros da seção anterior. Posteriormente, baseando-se nas constatações das análises de cada variável, será construída uma conclusão geral sobre as perdas de água no sistema como um todo.

7.1 ANÁLISES

A primeira análise a ser feita foi a simples visualização dos índices de perdas de água ao longo dos Setores Operacionais atualmente em operação, foram expostos dois tipos de indicadores: perdas totais e litros por ligação por dia.

O primeiro ilustra uma simples relação entre o volume perdido e o volume disponibilizado e indicou que o setor denominado *R-10* alcançou o pior índice do mês de referência. O segundo indicador demonstra a quantidade de litros desperdiçados diariamente em cada ligação de água, neste caso, revelou-se que o setor *R-2* obteve o pior resultado do período.

Nota-se que de acordo com o tipo de indicador levado em consideração, as posições dos setores no *ranking* de perdas podem sofrer alterações. Na situação analisada, entende-se que o indicador de litros por ligação por dia reflete um resultado mais coerente, uma vez que estabelece um valor proporcional ao número de ligações existentes na área do Setor Operacional.

Após a visualização dos indicadores de perdas, volta-se para a proposição dos possíveis fatores que estejam causando o desperdício. O primeiro fator a ser examinado é a submedição, que ocorre pelo desgaste dos hidrômetros e causa perdas aparentes. Conforme já mencionado anteriormente, a proposta é observar

apenas a idade dos medidores. A Figura 15 evidencia que os setores *R-7*, *R-1* e *R-12* são os mais prejudicados por esse fator, seguidos pelo setor *R-4*.

As fraudes e ligações clandestinas compõem outra variável que contribui para o aumento das perdas comerciais, a identificação destas irregularidades sem que haja uma denúncia é complexa, visto que grande parte delas não pode ser vista a olho nu, uma forma de tentar encontra-las é através do monitoramento do consumo dos usuários.

A Figura 16 retrata a oscilação de consumo em relação à própria média da ligação nos últimos doze meses. Locais do mapa com tom mais escuro, como nos setores *R-1* e *R-5*, representam uma concentração de ligações com uma variação negativa de consumo em relação à própria média. Já a Figura 17 ilustra apenas a distribuição das ligações com variação de consumo igual a -100%, mostrando uma grande quantidade de ligações nesta situação no setor *R-4* e uma forte concentração em uma pequena área do setor *R-11*.

Ao direcionar a análise para as perdas reais, avalia-se a distribuição dos consertos de vazamento nas redes de distribuição e ramais prediais do sistema. Conforme a Figura 18, que expõe as maiores concentrações de consertos executados, os setores mais atingidos no período verificado foram o *R-7*, o *R-8* e o *R-4*.

Paralelamente à verificação da concentração dos consertos, é possível que se estabeleça uma ordem sequencial dos trechos de rede que mais tiveram vazamentos, com o intuito de atuar na substituição preventiva destas redes, os trechos de rede mais problemáticos são visualizados no Quadro 4.

Aprofundando ainda mais a avaliação das redes com maior número de consertos, sugere-se a apreciação da relação entre a quantidade de vazamentos e o comprimento do trecho, chegando-se a um índice que representa o número de consertos por metro. Esse índice manifesta um resultado mais coerente, visto que revela o problema em sua real proporção, evitando um tratamento generalizado para casos diferentes. O índice de consertos por metro é ilustrado no Quadro 5.

7.2 CONCLUSÕES

Depois de feitas as avaliações individuais de cada análise proposta, é possível se formular uma conclusão geral, baseada nos resultados obtidos. A primeira observação a se destacar é que os fatores foram examinados em toda a extensão do sistema de abastecimento, e não apenas nas áreas operacionalmente setorizadas atualmente. Setores que ainda não estão em operação, como o *R-4*, por exemplo, apresentaram resultados ruins.

O fato de algumas áreas ainda não estarem devidamente setorizadas, não significa que serão ignoradas, as sugestões de ações de combate às perdas serão direcionadas para os principais focos de desperdício, independentemente se estiverem dentro ou fora de Setores Operacionais em funcionamento.

Observa-se que os setores *R-10* e *R-2*, apesar de serem os que apresentam os maiores índices de perdas, não aparecem entre os mais prejudicados nas análises isoladas de cada fator, esta constatação reforça a suposição de que as perdas de água são efeito da soma de uma série de variáveis, o que torna muito complexo o trabalho de redução do desperdício.

Visto a complexidade do problema e a grande quantidade de variáveis que podem influenciar no resultado, entende-se que as análises tendem a ficar mais assertivas se fragmentadas nos setores operacionais ao invés de contemplar todo o sistema. A escala cartográfica necessária para ter a visualização do sistema completo pode ocultar detalhes importantes e comprometer a análise.

Por fim, verifica-se que todos os objetivos específicos apontados no início do trabalho foram alcançados, visto que os mapas temáticos produzidos permitiram a visualização da distribuição espacial das variáveis estudadas. Os mapas, juntamente com os dados alfanuméricos obtidos, também proporcionaram critérios mais coerentes para subsidiar tomadas de decisões referentes a substituições preventivas de redes e hidrômetros, assim como um direcionamento mais eficaz da equipe de fiscalização, podendo aumentar o índice de assertividade.

Da mesma forma, entende-se que o objetivo geral do trabalho também foi atingido, pois foram expostas várias sugestões de como um Sistema de Informações Geográficas pode ser útil na busca pela redução das perdas de água no sistema de abastecimento público do município de Joinville. Logicamente, o SIG não pode ser a

única ferramenta a ser empregada, mas o seu uso oferece uma importante base de dados, tanto espaciais como alfanuméricos, que pode servir de suporte a ações preventivas e corretivas, ou alertar para a necessidade de se elaborar um estudo mais detalhado acerca de algum elemento específico.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2013**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014.

_____. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água: Micromedição – Documento Técnico de Apoio D3**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2003. Disponível em <<http://www.pmss.gov.br/index.php/biblioteca-virtual/167-documentos-tecnicos-de-apoio-dta>>. Acesso em 18/08/2015.

_____. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água: Macromedição – Documento Técnico de Apoio D2**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2003. Disponível em <<http://www.pmss.gov.br/index.php/biblioteca-virtual/167-documentos-tecnicos-de-apoio-dta>>. Acesso em 18/08/2015.

BURROUGH, Peter A.; MCDONNELL, Rachael A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University, 2000.

BUZOLIN, Oswaldo J. **Sistematização para a gestão de abastecimentos urbanos de água com o auxílio do SIG**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CÂMARA, Gilberto. et al. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. São José dos Campos: INPE, 1996.

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

COELHO, Adalberto Cavalcanti, 1946. **Medição de água: política e prática**. Recife: Comunicarte, 1996.

D'ALGE, Júlio César Lima. Cartografia para geoprocessamento. In: CÂMARA, Gilberto. et al. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

DUARTE, Paulo A. **Cartografia básica**. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1988.

_____. **Cartografia temática**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1991.

_____. **Fundamentos de cartografia**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 2002.

FILHO, M. B. B. B.; SÁ, L. A. C. M.; GOMES, H. P. **Utilização de SIG no monitoramento de avarias em redes de abastecimento de água**. In: Seminário Hispano-Brasileiro sobre sistemas de abastecimento urbano de água, 4. 2004, João Pessoa. Anais... 2004.

GOMES, Helber P. **Eficiências hidráulica e energética em saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

GONÇALVES, E.; ALVIM, Paulo R. A. **Guias práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água**. Brasília: Ministério das Cidades, SNSA, 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Arquivos vetoriais**. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 09 nov. 2014.

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Portaria n. 29, de 7 de fevereiro de 1994 e Regulamento Técnico Metrológico Anexo.

JOLY, Fernand. **A cartografia**. Campinas, SP: Papirus, 1990.

MIRANDA, Ernani C. de. Gerenciamento de perdas de água. In: HELLER, Léo.; PÁDUA, Valter L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p.789-809. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

NIELSEN, Milton J. et al. **Medição de água – estratégias e experimentações**. Curitiba: Sanepar, 2003.

OLIVEIRA, R. M.; FORMIGA, K. T. **Uso de sistemas de informações geográficas na operação de sistemas de distribuição de água**. In: Simpósio brasileiro de recursos hídricos, 18. 2009, Campo Grande. Anais... 2009.

PALINI, Luis J. **Perdas físicas de água em sistemas de abastecimento: método de diagnóstico, controle e redução através de sistemas de informações geográficas**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RECH, Antônio L. **Água, micromedição e perdas**. São Paulo: Scortecci, 1999.

ROCHA, E. C. O.; VIEIRA, V. C. B.; CARNEIRO, E. L. N. C. **Uso de sistema de informações geográficas na atualização e modernização da área comercial da companhia de saneamento Águas e Esgotos do Piauí/AS**. In: Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 13. 2007, Florianópolis. Anais... INPE, 2007, p. 3081-3087.

SÁ, Clarissa C. de. **A importância da micromedição no combate às perdas de água – estudo da hidrometração da Companhia Águas de Joinville**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, Jeater W. M. C. **Aplicação do geoprocessamento na avaliação e espacialização das perdas físicas de água do sistema de abastecimento público de Rondonópolis – MT**. Rev. Sociedade e Natureza, Uberlândia, n. 19, dez. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-45132007000200004&script=sci_arttext>. Acesso em 15/08/2015.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO/PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Base Cartográfica do Município de Joinville.** Joinville, 2010. Executado Por: Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento, ano de 2010.

SILVA, Rosângela. **Bancos de dados geográficos: uma análise das arquiteturas dual (SPRING) e integrada (Oracle Spatial).** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-31102002-103811/en.php>>. Acesso em 14/08/2015.