

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

MARIANA MUNHOZ LARINI

**AVALIAÇÃO DO USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA
REGIÃO METROPOLITANA DE LONDRINA – PR E COMPARATIVO DA
UTILIZAÇÃO DOS MANANCIAIS SUPERFICIAIS PARA O
ABASTECIMENTO PÚBLICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2013

MARIANA MUNHOZ LARINI

**AVALIAÇÃO DO USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA
REGIÃO METROPOLITANA DE LONDRINA – PR E COMPARATIVO DA
UTILIZAÇÃO DOS MANANCIAIS SUPERFICIAIS PARA O
ABASTECIMENTO PÚBLICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos

LONDRINA

2013



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Avaliação do uso das águas subterrâneas na região metropolitana de Londrina – PR e comparativo da utilização dos mananciais superficiais para o abastecimento público

por

Mariana Munhoz Larini

Monografia apresentada no dia 11 de setembro de 2013 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Freres Stipp
(UTFPR)

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)

Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que fizeram parte deste trabalho. Desde aqueles que operaram de forma menos direta até os que estiveram envolvidos nos mínimos detalhes. Naturalmente, não será possível a referência a cada um que esteve envolvido nesta etapa da minha caminhada, e, desde já peço-lhes desculpas, mas é certa a minha gratidão e o meu estimo por estes.

Primeiramente, agradeço a Deus, por me dar força, paciência, dedicação, insistência, e não me deixar fraquejar diante de imprevistos durante a realização do trabalho.

Minha admiração e os meus sinceros e especiais agradecimentos ao Dr. Maurício Moreira dos Santos, pela constante e dedicada orientação e revisão criteriosa do trabalho.

Aos meus familiares que tanto amo e, principalmente à minha mãe, Doralice, pelo amor, carinho, compreensão, apoio incondicional, e a paciência durante toda minha formação acadêmica, principalmente nos momentos mais difíceis de minha graduação.

A minha amiga Caroline Dutra, obrigada pelo apoio e amizade.

A professora Ligia Flávia Antunes Batista, pela disponibilidade e assistência durante o desenvolvimento do meu trabalho, e a Adriana Borssoi, que, mesmo afastada da Universidade para realização de doutorado, disponibilizou de seu tempo para solucionar questões do trabalho.

A Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR dos municípios de Londrina - PR e Araçongas; ao Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto - SAMAE, de Ibiporã - PR e Jaguapitã - PR; e ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE, de Alvorada do Sul - PR, Pitangueiras - PR, Sertanópolis - PR e Jataizinho - PR, pelo gentil e atencioso atendimento, bem como pela prontidão e disponibilização dos dados necessários para a realização da monografia.

O meu caloroso e sincero agradecimento a todos!

RESUMO

LARINI, Mariana Munhoz. Uso das águas subterrâneas na região metropolitana de Londrina - PR. 2013. 125 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

Gerenciar os recursos hídricos, de modo a suprir as necessidades hídricas da sociedade, tanto em quantidade quanto em qualidade, tem sido objeto de estudo de grande parte de pesquisadores, e deve ser realizada através da sistematização do processo, diante da série de fatores envolvidos. Diante do exposto, e visando a análise do uso atual das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Londrina - PR (RML), foi realizada investigação criteriosa sobre as informações disponíveis relacionadas ao tema. Desta maneira, foram utilizados dados coletados em 631 poços tubulares profundos instalados nos municípios que compreendem a RML, para diversos tipos de usos, assim como informações cedidas pelas concessionárias públicas de serviço de água. Foi utilizado o sistema de informações geográficas (SIG) para armazenamento, manipulação, visualização e avaliação de dados espaciais. Aproximadamente 50% dos poços tubulares cadastrados, que apresentam informativos de tipos de uso, estão relacionados ao uso urbano. O consumo urbano, em termos volumétricos, representa cerca de 61% do total extraído, seguido pelos usos industrial, múltiplo e, outros usos, tais como aqueles destinados ao lazer, os quais representam 31,6%, 6,8% e 0,8%, respectivamente. O consumo *per capita* da região, referente ao censo populacional do ano de, gira em torno de 226,7 L/hab/dia. Por fim, foram realizados comparativos entre as informações concedidas pelas empresas de distribuição de água e aquelas inseridas no Plano Estadual de Recursos Hídricos do ano de 2010, referentes à vazão demandada e ao *consumo per capita* dos municípios que compreendem a RML entre o ano de 2004 e atualmente. Tais comparativos indicaram que, na maioria dos municípios, houve aumento do consumo *per capita*, bem como da vazão hídrica demandada pelos municípios, apesar de alguns municípios apresentarem diminuição de tais indicativos.

Palavras chave: Região Metropolitana de Londrina - PR (RML); Uso da Água; Sistema de Informação Geográfica (SIG); Gestão dos Recursos Hídricos.

ABSTRACT

LARINI, Mariana Munhoz. Use of groundwater in Metropolitan Region of Londrina - PR. 2013. 125 p. Course Conclusion Work. Federal Technological University of Paraná (UTFPR). Londrina. Londrina. 2013.

The management of groundwater resources needs a systemic analysis of variables to succeed. With the aim to evaluate the current usage of groundwater in the Metropolitan Region of Londrina - PR (RML) was conducted survey of information related to the theme. In this way, we used data collected from 631 drilling wells installed in the municipalities of RML for different types of uses, as well as information transferred by utilities public water service. We used a geographic information system (GIS) for the storage, manipulation, visualization and evaluation of spatial data. Approximately 50% of registered wells that present informative types of use, are related to urban use. Urban consumption in terms of volume, representing about 61% of the total extracted, followed by industrial uses, and multiple other uses, such as those intended for leisure, which represent 31.6%, 6.8% and 0, 8%, respectively. The per capita consumption in the region, referring to the population census of 2010, revolves around 226.7 L / person / day. Finally, comparisons were made between the information provided by the companies water distribution and those inserted in the State Water Resources Plan of 2010, regarding the flow demanded and consumption per capita of the counties that comprise the RML between 2004. These comparisons indicated that, in most municipalities, there was an increase in per capita consumption as well as the water flow demanded by municipalities, although some municipalities reduce those present indicative.

Keywords: Metropolitan Region of Londrina - PR (RML); Use of Water; Geographic Information System (GIS); Groundwater Resources Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região Metropolitana de Londrina - PR (RML). Modificado de IBGE, 2013. .	17
Figura 2 - Representação dos compartimentos do Paraná	29
Figura 3- Mapa de abrangência da Formação Serra Geral	35
Figura 4 - Afloramento de arenito da Formação Botucatu, com estratificação cruzada e fraturas	36
Figura 5 - Formação Pirambóia.....	38
Figura 6 - Mapa de distribuição das concentrações populacionais. Dados retirados de IPARDES (2013).	53
Figura 7 - Evolução da população rural na Região Metropolitana e no município de Londrina - PR, entre os anos 1980, 1991, 2000 e 2010.....	56
Figura 8 - Evolução da população urbana na Região Metropolitana e no município de Londrina - PR, entre os anos 1980, 1990, 2000 e 2010.....	57
Figura 9 - Taxa de urbanização nos municípios inseridos na RML. Dados retirados de IPARDES (2013).	59
Figura 10 - Evolução do PIB per capita (R\$) entre os anos de 2002, 2005 e 2010, por município.....	60
Figura 11 - Produto Interno Bruto (PIB) a preços correntes da RML (exceto Londrina - PR) e Londrina - PR, referentes aos anos de 2006, 2007, 2008, 2009 e 2010.....	61
Figura 12 - Distribuição percentual das atividades econômicas presentes na área de estudo, no ano de 2011. Retirado de IPARDES, 2012.....	63
Figura 13 - Evolução do total de estabelecimentos econômicos na RML (exceto Londrina - PR) e somente no município de Londrina - PR, nos anos de 2007, 2009 e 2011.	63
Figura 14 - Distribuição do PIB a Preços Correntes (1000 R\$) por municípios inseridos na área de estudo. Dados retirados do IPARDES (2013).	65
Figura 15 - Mapa de Localização dos poços cadastrados na área de estudo.....	68
Figura 16 - Quantidade de poços cadastrados em cada município pertencente à RML.	69

Figura 17 - Frequência relativa do total de poços cadastrados, por município.	70
Figura 18 - Número de poços cadastrados na RML em função da década de perfuração.	71
Figura 19 - Frequência relativa e acumulada do total de poços que apresentam data de perfuração, ao longo das décadas.	72
Figura 20 - Evolução das perfurações na área de estudo nas décadas de 1970 1980..	73
Figura 21 - Evolução das perfurações na área de estudo nas décadas de 1990 2000..	74
Figura 22 - Distribuição espacial dos poços para o uso industrial na área de estudo.	77
Figura 23 - Quantidade de poços para uso industrial, por município.	78
Figura 24 - Evolução das perfurações para o abastecimento industrial, separada por décadas, na região de estudo.	79
Figura 25 - Distribuição espacial dos poços para o uso público na área de estudo.	80
Figura 26 - Evolução das perfurações para o abastecimento urbano, separada por décadas, na região de estudo.	81
Figura 27 - Quantidade de poços para uso urbano, por município.....	82
Figura 28 - Distribuição espacial dos poços para o abastecimento múltiplo na área de estudo.	84
Figura 29 - Quantidade de poços destinados ao abastecimento múltiplo, por município.	85
Figura 30 - Evolução das perfurações para o abastecimento múltiplo, separada por décadas, na região de estudo.	86
Figura 31 - Distribuição espacial dos poços para Outros (Lazer, etc.) usos na área de estudo.	87
Figura 32 - Quantidade de poços destinados a outros usos da água, por município.	88
Figura 33 - Evolução das perfurações para outros usos da água, separada por décadas, na região de estudo.....	89
Figura 34 - Distribuição dos poços perfurados na área de estudo, separados por tipos de uso da água subterrânea.....	90
Figura 35 - Distribuição dos poços perfurados na área de estudo, separados por tipos de uso da água subterrânea.....	91

Figura 36 - Distribuição dos volumes captados anualmente na área de estudo, separados por tipos de uso da água subterrânea.	93
Figura 37 - Distribuição dos poços perfurados na área de estudo e o percentual de volume explotado anualmente, por tipos de uso da água subterrânea.	94
Figura 38 - Distribuição percentual dos municípios conforme tipos de captação de recursos hídricos.	97
Figura 39 - Distribuição, em volume anual (m ³ /ano), dos tipos de captação de recursos hídricos utilizados pelos municípios da área de estudo.	97
Figura 40 - Distribuição percentual dos volumes explotados por tipos de captação de recursos hídricos na área de estudo.	99
Figura 41 - Distribuição percentual de água extraída dos aquíferos Serra Geral e Guarani, por município.	101
Figura 42 - Distribuição percentual de água extraída, por manancial, na área de estudo.	102
Figura 43 - Consumo per capita (L/hab/dia) de água, por município.....	106
Figura 44 - Análise Descritiva dos valores de consumo per capita da área de estudo, nos anos de 2010 e 2012.	107
Figura 45 - Vazão demandada (L/dia) nos municípios da RML, exceto Londrina - PR, no ano de 2004 e atualmente.....	109
Figura 46 - Total da vazão demandada (L/dia) na região metropolitana e no município de Londrina - PR, no ano de 2004 e atualmente.....	110
Figura 47 - Consumo Per Capita (L/dia/hab) nos municípios da RML, no ano de 2004 e atualmente.....	111
Figura 48 - Análises estatísticas dos valores de Consumo Per Capita (L/dia/hab) nos municípios da RML, no ano de 2004 e atualmente.	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Populações dos municípios da área de estudo, segundo Contagem e Estimativa Populacional, nos anos de 2010 e 2012	52
Tabela 2 - População Total, Urbana e Rural dos Municípios da RML, 2010.....	55
Tabela 3 - Valor Adicionado Bruto a Preços Básicos, segundo Setores Econômicos, nos Municípios da RML – 2010.....	62
Tabela 4 - Percentual de poços que não apresenta indicativo de tipo de uso.	92
Tabela 5 - Volume total explorado por tipo de uso da água e total absoluto.....	94
Tabela 6 - Percentual do total explorado, por município, conforme tipo de uso da água.	100
Tabela 7 - Municípios e os respectivos mananciais explorados.....	102
Tabela 8 - Consumos per capita (L/dia/hab) referentes aos anos de 2010 e 2012 (estimativa), por município.	104

LISTA DE SIGLAS

ACP	Análise de Componentes Principais
AF	Análise Fatorial
ANA	Agência Nacional de Águas
CMNP	Companhia de Melhoramentos Norte do Paraná
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CTNP	Companhia Terras Norte do Paraná
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IAP	Instituto de Águas do Paraná
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
RML	Região Metropolitana de Londrina - PR
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SASG	Sistema Aquífero Serra Geral
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre

SUDERHSA

UGRHI

Saneamento

Superintendência de Desenvolvimento de
Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de
Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	12
2 – OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 – JUSTIFICATIVA	15
4 – REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1 REGIÃO METROPOLITANA DE LONDRINA - PR	16
4.2 GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS	18
4.2.1 Gestão dos Recursos Hídricos: Aspectos Legais e Institucionais	20
4.2.2 SIG e o Gerenciamento dos Recursos Hídricos	22
4.2.3 Gestão das Águas Subterrâneas	24
4.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA – SIAGAS	26
4.4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA	27
4.4.1 Geomorfologia	28
4.4.2 Clima	30
4.4.3 Solos	31
4.4.4 Geologia	33
4.4.4.1 Formação Serra Geral	33
4.4.4.2 Formação Botucatu	36
4.4.4.3 Formação Pirambóia	38
4.4.5 Sistemas Aquíferos	40
4.4.5.1 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)	40
4.4.5.2 Sistema Aquífero Guarani (SAG)	42
5 – MATERIAIS E MÉTODOS	46
5.1 MATERIAIS	46
5.2 ETAPAS DO TRABALHO E LEVANTAMENTO DE DADOS	47
5.3 USO DE SIG NO GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS	49
5.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	50
6 – RESULTADOS	51
6.1 ANÁLISE SÓCIO-ECONÔMICA DA ÁREA DE ESTUDO	51
6.1.1 Dinâmica Demográfica	51
6.1.2 População Urbana e Rural e Taxa de Urbanização na RML	54
6.1.3 Análise Econômica da RML	60
6.2 BANCO DE DADOS DE POÇOS E ANÁLISE DE USO DA ÁGUA	66
6.2.1 Evolução da Perfuração de Poços da RML	70
6.2.2 Análise de uso e exploração das águas na RML	74
6.2.2.1 Abastecimento Industrial	75
6.2.2.2 Abastecimento Urbano	79
6.2.2.3 Abastecimento Múltiplo	83
6.2.2.4 Outros (Lazer, Etc.)	86
6.2.3 Análise de Distribuição de Uso e Exploração das Águas da RML	89
6.2.3.1 Distribuição dos poços por tipos de uso da água	89
6.2.3.2 Estimativas de volume captado e sua distribuição por tipos de uso da água	92
6.2.4 Abastecimento Público das Águas da RML	95

6.2.4.1	Análise dos tipos de captação dos recursos hídricos na área de estudo	96
6.2.4.2	Análise da exploração dos recursos hídricos para uso público	103
6.3	COMPARATIVO DO USO PÚBLICO - 2004 E ATUALIDADE	108
7	– CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
8	– REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118

1 – INTRODUÇÃO

Segundo Teixeira (2008, p. 114): “A água é a substância mais abundante na superfície do planeta, participando dos seus processos modeladores pela dissolução de materiais terrestres e do transporte de partículas.” Essa substância participa do ciclo hidrológico, fenômeno este que está ligado à sua renovação, e que consiste, basicamente, no intercâmbio entre uma série de reservatórios, como oceanos, geleiras, rios, lagos, vapor de água atmosférica, água subterrânea e água retida nos seres vivos.

De acordo com Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (2006 apud MELLO, 2009, p. 14), da totalidade de água presente no planeta, somente 3% é de água doce, sendo que, desta fração, 2,7% faz referência às geleiras, vapor de água na atmosfera e a lençóis presentes em grandes profundidades. Diante destas constatações, aliadas ao fato de que apenas 0,3% do volume total de água existente no planeta pode ser aproveitada para o consumo humano (sendo que 0,29% provém de fontes subterrâneas), é percebida a importância das águas subterrâneas na manutenção da vida no planeta.

No Brasil, a distribuição de água doce é bastante desigual, onde 78% do volume de água do país estão localizados na Região Amazônica, que corresponde a 54,5% do território nacional e abriga apenas 5% da população. Nas demais regiões do país, que corresponde a 45,5% do território Brasileiro e que concentra 95% da população, encontram-se apenas 22% da totalidade de água doce do país (TUNDISI, 1999).

A desigual distribuição hídrica afeta o consumo *per capita*, bem como provoca a deterioração da qualidade da água para o consumo humano. Sendo assim, as extrações desmedidas dos corpos de água e a contaminação são os dois grandes problemas que têm ocupado as atenções dos governos nas últimas décadas. Dessa forma, de modo a evitar tais danos ou consequências, é necessário que seja implantada uma política de gestão de recursos hídricos e ambientais, bem como a conscientização da população a respeito da importância da preservação do meio ambiente (SANTOS, 2009).

Neste contexto, a gestão dos recursos hídricos está ligada não só aos aspectos físicos e ambientais, mas também econômicos, sociais, legais, políticos/institucionais e culturais, e a ausência de regulamentação dos recursos hídricos, associado à restrita integração destes com os diversos setores do planejamento municipal, podem provocar conflitos de interesses, trazendo prejuízos ambientais e ao desenvolvimento local (MARINATO, 2008).

Com relação à exploração dos recursos hídricos, merece menção a crescente utilização dos mananciais subterrâneos para suprir a demanda de água, tanto para o abastecimento público quanto para os diversos setores da economia. Este fato é decorrente das vantagens das águas subterrâneas em relação às águas superficiais, destacando-se sua qualidade, geralmente melhor graças à maior proteção natural dos aquíferos à contaminação.

O presente trabalho tem como escopo avaliar o uso atual das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Londrina – PR (RML), através do levantamento de dados a partir do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS e das de empresas responsáveis pela distribuição de água dos municípios, seguido da formulação de um banco de dados por meio do Sistema de Informação Geográfica - SIG. O trabalho também realizou um estudo comparativo entre o crescimento da exploração das águas subterrâneas e a atual utilização dos mananciais superficiais para a demanda crescente de água para os municípios da região.

2 – OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho de conclusão de curso possui como objetivo principal a avaliação do uso das águas subterrâneas na RML, apresentando o diagnóstico quantitativo sobre os volumes explorados atualmente, incluindo análise da atual utilização dos mananciais superficiais, com a identificação dos municípios, zonas e áreas da região de estudo com os maiores índices de exploração dos sistemas aquíferos identificados, bem como a proposição de medidas de controle para a gestão futura dos recursos hídricos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para tanto, vários estudos/levantamentos foram realizados, merecendo destaque:

- Elencar os poços tubulares profundos perfurados na RML para os mais diversos tipos de usos das águas subterrâneas;
- Formular um banco de dados através da aplicação de Sistema de Informação Geográfica (SIG);
- Levantar os dados de produção e consumo referente aos municípios inseridos na região de estudo;
- Levantar e analisar os dados sócio-econômicos e suas influências na demanda de água para RML;
- Analisar a produção do sistema de abastecimento público, tanto subterrâneos quanto superficiais, referente aos municípios inseridos na região de estudo;

3 – JUSTIFICATIVA

A RML apresenta um relevante setor industrial, bem como um setor agropecuário de grande importância dentro do país. Diante de tais aspectos, percebe-se o quanto necessária é a utilização de água de boa qualidade e quantidade em tal área. Em Londrina - PR, por exemplo, grande parte da água consumida é captada do Rio Tibagi, e tal município, pela intensa exploração dos recursos hídricos, já não tem tido a capacidade de suprir suas necessidades de abastecimento com tamanha vitalidade, especialmente nos períodos de estiagem prolongada. Assim, a adoção de meios como a exploração da água subterrânea para suprir a demanda de água tem aumentado (ALIEVI et al, 2012).

Diante do crescente uso de água subterrânea na área de uso, é evidente a necessidade de estudos e pesquisas abordando a maneira como tal recurso está sendo utilizado, de modo a ser possível o gerenciamento do mesmo, por meio de instrumentos ou ferramentas que se adequem ao ambiente apontado. Sendo assim, o presente trabalho pode ser tratado como um passo inicial para este gerenciamento, já que na literatura existe certa escassez de informações envolvendo o uso de águas subterrâneas em tal região.

4 – REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 REGIÃO METROPOLITANA DE LONDRINA - PR

Podemos definir Região Metropolitana como um arranjo político-administrativo legal de articulação de políticas públicas em âmbito regional que pressupõe a participação dos três entes federados e propõe a articulação dos mesmos, por meio da cooperação intergovernamental, para a elaboração e a execução das chamadas funções públicas de interesse comum, sua tarefa constitucionalmente definida (CASTRO, 2006).

A Região Metropolitana de Londrina - PR foi instituída pela Lei Complementar n.º 81, em 17 de junho de 1998, alterada pelas leis n.º 86, de 07/07/2000, e n.º 91, de 05/06/2002, sancionadas pelo governador Jaime Lerner, e era composta, inicialmente, pelas cidades de Londrina - PR, Bela Vista do Paraíso - PR, Cambé - PR, Ibiporã - PR, Jataizinho - PR, Rolândia - PR, Sertanópolis - PR e Tamarana - PR (PARANÁ, 1998).

Em 14 de julho de 2010, através da LC n.º 129, foram incluídos os municípios de Alvorada do Sul - PR e Assaí - PR. Já, em 2012 houve mais uma inclusão, desta vez de cinco municípios. Pela LC n.º 144 de 05/04 foram incluídas Jaguapitã - PR, Pitangueiras - PR, Sabáudia - PR e através da LC n.º 147 de 16/07 Florestópolis - PR e Porecatu - PR passaram a fazer parte da Região Metropolitana de Londrina - PR, num total de 16 cidades, que podem ser visualizadas na Figura 1 (PEREZ, 2012).

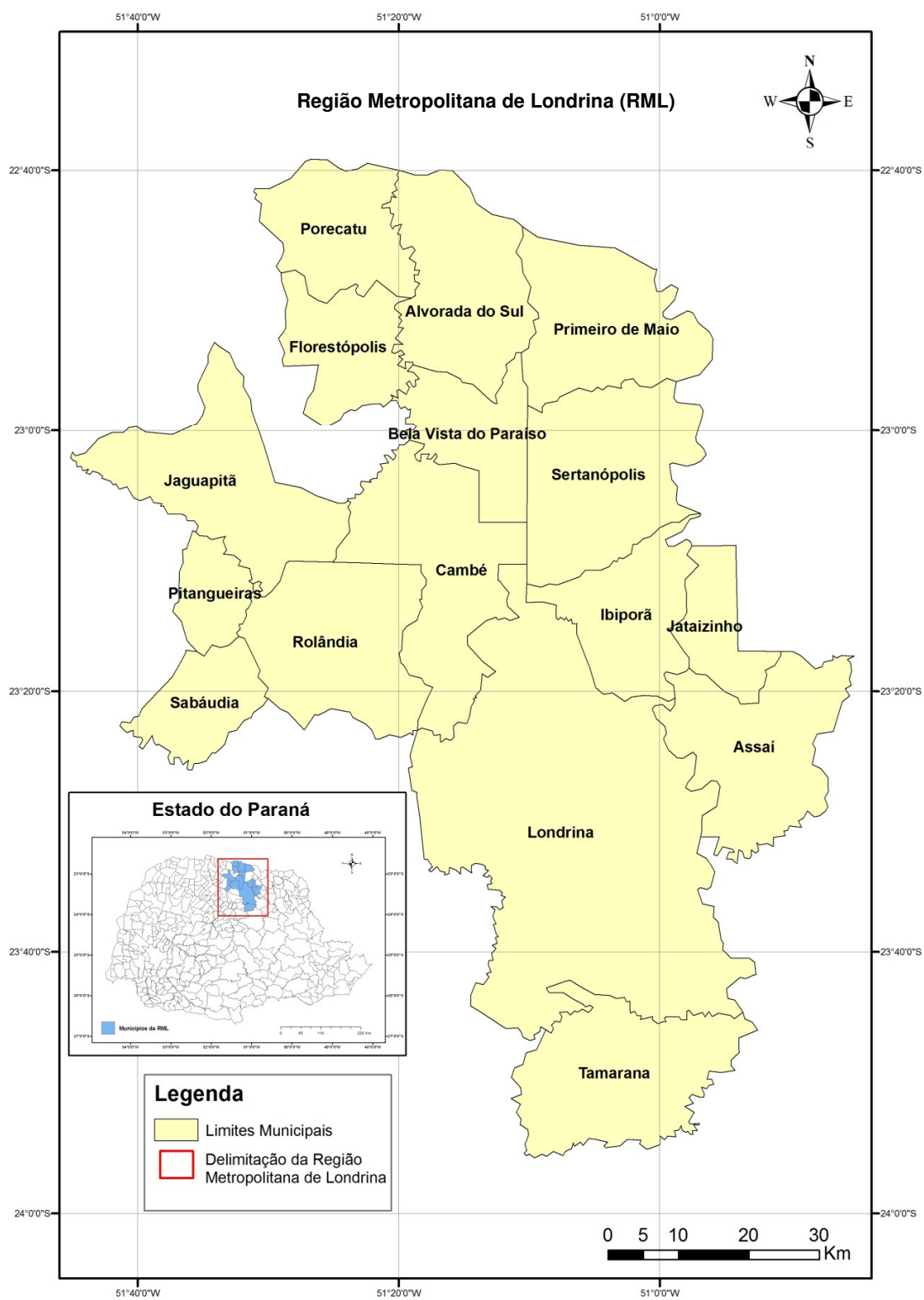


Figura 1 - Região Metropolitana de Londrina - PR (RML). Modificado de IBGE, 2013.

4.2 GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS

O conceito de gestão integrada de recursos hídricos surgiu em frente às complexas interações entre o recurso natural água, a vida e o desenvolvimento. Foi com base nessa problemática que o homem se viu diante da necessidade de considerar a água de forma mais ampla, e passou a ponderar a relação entre os aspectos de gestão e utilização dos recursos hídricos e o desenvolvimento econômico, social e ambiental de uma região (MARINATO, 2008).

Segundo Silva (2011), por originarem grandes volumes hídricos, a integração de águas superficiais e subterrâneas de áreas metropolitanas, até mesmo através de práticas de recarga artificial com excedentes de capacidade das estações de tratamento, necessitam de um grande trabalho de gerenciamento. Tal gerenciamento possui a função de bombear volumes hídricos em quantidades suficientes para atender ao consumo essencial nos picos sazonais de demanda, bem como em estágios de escassez relativa e em situações de emergência, providas de acidentes naturais, tais como avalanches, enchentes e outros tipos que reduzem a capacidade de sistema básico da metrópole.

De acordo com Cury (2006), São Paulo foi o primeiro estado brasileiro a produzir uma legislação própria de recursos hídricos e um sistema de recursos hídricos estadual, a partir de 1989. Essa legislação criou o sistema de recursos hídricos, e modernizou as antigas regiões de recursos hídricos, com a criação de 22 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI, bem como um sistema de comitês e órgãos coordenadores, financiadores e fiscalizadores para gerenciar os recursos hídricos.

Cada comitê formado fica responsável por reger as prioridades regionais segundo as diretrizes estaduais de recursos hídricos, porém, baseando-se nas necessidades regionais, sempre visando o desenvolvimento sustentável, sendo este conseguido através do gerenciamento integrado dos recursos hídricos da bacia em questão.

A gestão integrada, além de administrar os diversos usos da água, ainda se preocupa com outros elementos do ecossistema que interferem na disponibilidade hídrica (solo, vegetação, dentre outros), assim como outros aspectos do planejamento socioeconômico, dentro e fora da bacia. O interessante da gestão integrada é que ela permite uma articulação entre os responsáveis governamentais e não-governamentais por determinada bacia hidrográfica, e também permite o intercâmbio entre as diferentes políticas públicas que estão ligadas ao funcionamento da mesma, dentre as quais, leis sobre o uso do solo, as políticas habitacionais, as políticas agrícolas, os investimentos em geração de energia, etc. (BARBOSA, 2003).

Porém, o gerenciamento integrado, objetivando a prática do desenvolvimento sustentável, precisa vencer algumas barreiras, de modo a tornar concreta a gestão pública dos recursos hídricos por bacias hidrográficas. A primeira barreira a ser atravessada é a organização burocrática do Estado brasileiro, sendo esta realizada por meio de uma estrutura administrativa concentradora e autoritária, ainda arraigada ao aparelho estatal. Diante deste contexto, Cury (2006) ressalta que o gerenciamento integrado dos recursos hídricos, bem como o desenvolvimento sustentável, precisa de participação dos usuários na administração dos recursos naturais do País.

A interação das águas superficiais e subterrâneas é dinâmica e tem dupla via. Se as ligações entre os sistemas forem rompidas, pelo uso inadequado do solo e do ambiente, correr-se-á o risco de não se ter os rios perenizados nas secas ou as catástrofes aumentadas nas cheias (PROGRAMA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2001).

O desenvolvimento da gestão integrada das águas subterrâneas e superficiais exige a participação da sociedade. A sociedade precisa estar preparada para defender as águas e a qualidade de vida dentro de uma compreensão sistêmica e integrada. De acordo com o Programa de Águas Subterrâneas (2001), existem algumas ações prioritárias no que se referem à mobilização social para a gestão, tais como: estímulos aos Estados para a gestão integrada das águas; capacitação técnica para a sociedade civil, usuários, educadores, gestores privados e públicos; desenvolvimento de campanhas de informação e educação hidroambiental para mobilização de diversos

segmentos da população, e; desenvolvimento de campanhas de envolvimento e mobilizar a sociedade civil e setores usuários das águas subterrâneas.

Ainda com base nos desafios da gestão integrada de bacias hidrográficas, Barbosa (2003) afirma que uma das maiores dificuldades ocorre devido ao fato de que a extensão territorial de uma bacia envolve, muitas vezes, mais de uma jurisdição administrativa, seja ela um município, um estado ou um país.

4.2.1 Gestão dos Recursos Hídricos: Aspectos Legais e Institucionais

A Lei Federal 9.433, de 8 de Janeiro de 1997, que institui a Política e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos criou um marco para a questão do gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil. Tal lei dispõe que a água é um bem de domínio público, porém limitado, e que agrega valor econômico, tendo em vista a necessidade de cobrança pelo seu uso, em favor de sua preservação (BRASIL, 1997).

Para SANTOS (2009), só haverá consistência no gerenciamento dos Recursos Hídricos quando o mesmo se integrar ao gerenciamento de Recursos Naturais, dentro do Plano de Recursos Hídricos.

Quanto aos objetivos do Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, presentes no Art. 2º da Lei 9.433/97:

- I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 1997).

Ainda com relação à Lei 9.433/97 (Art. 5º),a PNRH possui alguns instrumentos, dentre eles os Planos de Recursos Hídricos: “planos diretores que visam a fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH e o gerenciamento dos recursos hídricos”; e o Sistema de Informações sobre Recursos

Hídricos: “sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão” (BRASIL, 1997).

A partir do ano de 2007, a Agência Nacional de Águas – ANA instituiu a Agenda Nacional de Águas Subterrâneas, centrada no fortalecimento da gestão integrada de águas subterrâneas e superficiais no País, voltada, sobretudo, a dotar os órgãos gestores de recursos hídricos estaduais de conhecimento hidrogeológico, técnico-gerecncial e de capacitação específica em águas subterrâneas, de forma que possam desempenhar adequadamente a gestão sistêmica e integrada desses recursos hídricos (SILVA, 2011).

O Art. 32 da Lei 9.433/97 dispõe os objetivos do SINGREH, e dentre eles está a coordenação da gestão integrada das águas, bem como a promoção da cobrança pelo uso dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

Vale ressaltar que o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) é o órgão mais expressivo da hierarquia do SINGREH, e possui algumas atribuições, dentre elas a promoção da articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos nacional, regional, estadual e dos setores usuários; deliberar sobre os projetos de aproveitamento de recursos hídricos; acompanhamento na execução e aprovar o PNRH; estabelecimento de critérios gerais para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos e para a cobrança pelo seu uso (SANTOS, 2009).

Para facilitar o processo de gestão, as águas subterrâneas possuem um enquadramento de acordo os tipos preponderantes da utilização do recurso.

A Resolução CONAMA n° 396, de 3 de abril de 2008, que dispõe sobre a Classificação e Diretrizes Ambientais para o Enquadramento das Águas Subterrâneas, divide as águas subterrâneas em cinco classes, bem como a chamada classe especial, como pode ser verificado abaixo:

- I - Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;
- II - Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem

tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

III - Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

IV - Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas Características hidrogeoquímicas naturais;

V - Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e

VI - Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso (CONAMA n° 396/2008).

4.2.2 SIG e o Gerenciamento dos Recursos Hídricos

Geoprocessamento é uma disciplina do conhecimento que faz uso de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Seu avanço tem influenciado outras áreas do conhecimento, como: cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional. O uso do geoprocessamento se intensificou com a consolidação da internet, a partir do fim dos anos 1990, e as grandes empresas passaram a fazer uso dessa ferramenta em larga escala. Acompanhando a evolução da Internet, o SIG passou a fazer parte do sistema WEB (TAMADA et al, 2009).

Os SIGs são sistemas de informação elaborados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos. Estes são coletados a partir de diversas fontes e armazenados nos chamados bancos de dados geográficos (CÂMARA et al, 1996).

Segundo Marques et al (2011), SIG é uma ferramenta que permite integração de dados de diversas fontes, manipulação de grande volume de dados e recuperação rápida de informações armazenadas, possibilitando a realização de análises espaciais e complexas.

Estes sistemas dão suporte de forma lógica à gestão e ao processo decisório das diferentes esferas de aplicação, permitindo, inclusive, a construção de indicadores, baseados em análises geográficas, e também realizam a coleta, o armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados. O uso desta tecnologia está relacionado ao planejamento ambiental, com forte adesão na gestão dos recursos hídricos (PINHEIRO et al, 2009).

A utilização de SIGs em recursos hídricos ocorre principalmente na gestão das águas superficiais, tratando das informações da rede hidrográfica e sua topologia, das bacias hidrográficas como unidade de planejamento, dos usuários dos recursos hídricos, das redes de monitoramento das águas superficiais etc (BARBOSA, 2008).

O ordenamento do uso dos recursos hídricos pode se efetivar a partir da utilização do SIG, que apresenta duas funcionalidades: a) de instrumento técnico de informação sobre o território, necessário para a ocupação racional e para o uso adequado da água, que provê informações integradas em uma base geográfica e classifica as bacias hidrográficas segundo suas potencialidades; e b) de instrumento político de regulação do uso dos recursos hídricos e do território como um todo, que permite integrar as políticas públicas em uma base geográfica, descartando o convencional tratamento setorizado e acelerando o tempo de sua execução e de sua eficácia (SANTOS et al, 2010).

Com a aplicação de SIG na gestão de recursos hídricos, duas questões surgiram: de um lado, a busca pela melhoria da dinâmica gerencial do uso da água, e de outro, o aumento de serviços gerado pelo desenvolvimento tecnológico. A junção desses pontos leva aos sistemas de informações sobre recursos hídricos (BARBOSA, 2008).

Durante a gestão de recursos hídricos, duas questões devem ser levadas em conta: primeiro, o diagnóstico ambiental, que aponta a verdadeira realidade do meio, e segundo, a definição de alternativas ou diretrizes, que visam minimizar ou solucionar as adversidades encontradas no diagnóstico. As informações obtidas são especializadas, comparadas umas com as outras, e então se dão os diagnósticos. A utilização de SIG e a automação desse processo agilizam e fornecem mapas, que são de fácil visualização e reprodução (SANTOS et al, 2010).

Um SIG está fundamentado em uma modelagem de dados georreferenciados, e tal modelagem é utilizada para a representação de realidades geográficas, através do

uso de feições vetoriais, altimétricas, células ou grids, dentre outros tipos de dados. Tais formatos e tipos de dados podem ser armazenados em arquivos isolados ou em banco de dados.

Segundo Esri (1999-2001 apud BARBOSA, 2008, p. 28), Geodatabase é um modelo de dados objeto-relacional, que permite o armazenamento de objetos ou feições inteligentes e melhora funcionalidades de edições desses objetos ou feições. Vale ressaltar que objetos ou feições inteligentes podem ter propriedades, comportamentos e relacionamentos com outros objetos ou feições.

O Geodatabase pode ser criado em uma estrutura “Personal” ou em uma estrutura Multiusuário. Um “Personal Geodatabase” utiliza o formato Microsoft JET e é armazenado em um arquivo do Microsoft Access.

4.2.3 Gestão das Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas devem ser usadas de forma adequada para que haja um determinado equilíbrio entre sua disponibilidade e demanda, de modo a reduzir os conflitos pelo seu uso. Porém, é imprescindível considerar a questão do uso do solo, ou mais precisamente, do ordenamento territorial urbano, de modo a afirmar que as gestões desses dois recursos são inseparáveis. Entretanto, esta gestão conjunta enfrenta dificuldades na adequação administrativa e institucional, diante da variedade de organismos que tratam desses recursos ambientais (AGUINAGA, 2007).

No Brasil, a exploração das águas subterrâneas ocorre desde a época colonial, e ainda hoje este recurso é altamente explorado. De acordo com IBGE (2000 apud VILLAR, 2010, p. 7), 62% dos 8.656 distritos abastecidos utilizam as águas subterrâneas, sendo que a extração realizada em 86% dos distritos é através de poços profundos e 14% em poços rasos ou escavados. Dos 1.192 distritos que não possuem sistema de abastecimento de água no país, 47% têm a água subterrânea como principal fonte, o que evidencia ainda mais a sua importância, e conseqüentemente a necessidade de sua gestão.

Com relação à crescente utilização das águas subterrâneas no Brasil, a ANA, declara:

A utilização das águas subterrâneas tem crescido de forma acelerada nas últimas décadas, e há indicações de que essa tendência deverá continuar, o que explica o crescimento contínuo do número de empresas privadas e órgãos públicos com atuação na pesquisa e captação dos recursos hídricos subterrâneos e do número de pessoas interessadas pelas águas subterrâneas tanto nos aspectos técnico-científicos e socioeconômicos como no administrativo e legal (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA -, 2009).

Há iniciativa do governo federal, chamada Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos – PROÁGUA Nacional -, cuja proposta é incluir um sistema de obtenção e adução de águas subterrâneas. O conhecimento de tal programa, pela sociedade, segundo Silva (2011), é um dos primeiros passos para a mesma interferir no processo governamental das políticas públicas na questão hídrica.

Segundo Cleary (1989), existem diversas razões para o uso de modelos matemáticos de água subterrânea, dentre elas a otimização do gerenciamento dos recursos hídricos de água subterrânea. Tais modelos alargam as informações, porém, não produzem números inquestionáveis, ou seja, eles apenas representam uma versão simplificada do que é um sistema complexo. Desta forma, os resultados provindos deles são imperfeitos. De qualquer modo, se usados em conjunto com experiências e com dados de campo, eles podem tornar decisões técnicas melhor do que seria possível através de outros meios. Eles são muito úteis quando muitas alternativas são comparadas dentro de uma mesma ideia, de modo que, enquanto os resultados numéricos de qualquer alternativa única podem não ser exatos, os resultados comparativos mostrando que uma alternativa é superior a várias outras são usualmente válidos.

Segundo Gorelick (1983, apud FREIRE, 2002, p. 6): “Os modelos são ferramentas de avaliação do impacto a longo prazo de retiradas sustentáveis de água, da interação água superficial-subterrânea e da migração de contaminantes químicos.” Utiliza-se da simulação para explorar problemas hidrogeológicos e prever impactos sobre sistemas de água subterrânea. Porém, ressalta-se a importância do uso da simulação associado à otimização.

Ainda de acordo com o mesmo autor, há uma classificação de modelos de gestão de água subterrânea, a qual os divide em duas categorias. “A primeira é aquela categoria que faz a distinção entre modelos em que a decisão da gestão é voltada essencialmente à hidráulica da água subterrânea e aqueles modelos cujas decisões buscam inspecionar políticas de avaliação como também políticas de distribuição de água.” A segunda categoria “engloba modelos que podem ser usados para inspecionar interações econômicas complexas, tais como a influência de instituições no comportamento de uma economia agrícola ou problemas complexos de distribuição de água superficial e subterrânea.” (FREIRE, 2002).

4.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA – SIAGAS

No que tange aos recursos hídricos superficiais, existe um Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos Superficiais, o qual gerencia uma base de dados gerada através da rede hidrometeorológica nacional. Já com relação aos recursos hídricos subterrâneos, por agregarem menor importância, e pelo fato de terem adquirido há tão pouco tempo dispositivos legais que delegassem competência para sua gestão e proteção, muitas vezes não se tem informações a respeito de sua exploração, captação, controle, proteção, usos e outorga, ou, em casos em que esses dados existem, eles pertencem a órgãos ou instituições científicas ou usuários, porém, sem apresentar uniformidade e, na ausência de um tratamento científico adequado que proporcione a preservação e a proteção desse recurso (PEIXINHO, 2012).

A Lei nº 8.970 de 28 de dezembro de 1994, transformou a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), sociedade de economia mista criada pelo Decreto-Lei nº 764, de 15 de agosto de 1969, em empresa pública, sob a forma de sociedade por ações, vinculadas ao Ministério de Minas e Energia. E diante do cenário caótico relacionado à captação de águas subterrâneas, houve a mobilização de diversos órgãos, da comunidade acadêmica, dos usuários e dos profissionais da área de águas subterrâneas, e o passo seguinte foi a criação de um Cadastro Nacional de

Poços de Água Subterrânea. E, em frente à missão do Serviço Geológico do Brasil – SGB, e para dar suporte ao cadastro, surgiu o SIAGAS (BRASIL, 1994).

Com a finalidade de dar suporte às análises de disponibilidades e demandas e à gestão dos recursos hídricos, e também fornecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos, determinou-se o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, através da lei Federal 9.433, de 8 de Janeiro de 1997, da Política e Sistema Nacional de Recursos Hídricos, que, por sua vez foi implantada frente aos desafios relativos à gestão dos recursos hídricos (NASCIMENTO et al, 2008).

O objetivo do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos é gerar dados, consisti-los e divulgá-los, sempre mantendo atualizadas as informações sobre as disponibilidades e demandas de recursos hídricos, e também oferecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos.

4.4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA

A RML está localizada ao norte do estado do Paraná, região sul do Brasil, sob as coordenadas geográficas de latitudes 23º 00' e 24º 00' sul e longitudes 51º 00' e 52º 30' oeste (rever Figura 1).

Alvorada do Sul - PR está situada a 320 metros de altitude, a 22º46'49" de latitude Sul, 51º13'52" de longitude Oeste, e possui 417,91 km² de área territorial; Assaí - PR está situada a 605 metros de altitude, a 23º22'24" de latitude Sul, 51º13'52" de longitude Oeste, e possui 440,012 km² de área territorial; Bela Vista do Paraíso - PR está situada a 590 metros de altitude, a 22º59'48" de latitude Sul, 51º11'26" de longitude Oeste, e possui 245,475 km² de área territorial; Cambé - PR está a 650 metros de altitude, a 23º16'33" de latitude Sul, 51º16'42" de longitude Oeste, e apresenta 496,122 km² de área territorial; Florestópolis - PR está situada a 515 metros de altitude, a 22º51'48" de latitude Sul, 51º23'14" de longitude Oeste, e possui 249,394 km² de área territorial; Ibiporã - PR está a 497 metros de altitude, a 23º16'09" de latitude Sul, 51º02'53" de longitude Oeste, e apresenta 298,870 km² de área territorial;

Jaguapitã - PR está situada a 610 metros de altitude, a 23°06'46" de latitude Sul, 51°31'55" de longitude Oeste, e possui 478,452 km² de área territorial; Jataizinho - PR está a 352 metros de altitude, a 23°15'15" de latitude Sul, 50°58'48" de longitude Oeste, e apresenta 1.651,977 km² de área territorial; Londrina - PR está a 585 metros de altitude, a 23°18'37" de latitude Sul, 51°09'46" de longitude Oeste, e apresenta 1.656,606 km² de área territorial; Pitangueiras - PR está situada a 660 metros de altitude, a 23°13'50" de latitude Sul, 51°35'08" de longitude Oeste, e possui 123,413 km² de área territorial; Porecatu - PR está situada a 420 metros de altitude, a 22°45'21" de latitude Sul, 51°22'45" de longitude Oeste, e possui 290,431 km² de área territorial; Primeiro de Maio - PR está situada a 330 metros de altitude, a 22°51'02" de latitude Sul, 51°01'42" de longitude Oeste, e possui 416,779 km² de área territorial; Rolândia - PR está a 730 metros de altitude, a 23°18'35" de latitude Sul, 51°22'09" de longitude Oeste, e apresenta 456,228 km² de área territorial; Sabáudia - PR está situada a 730 metros de altitude, a 23°19'03" de latitude Sul, 51°33'09" de longitude Oeste, e possui 190,984 km² de área territorial; Sertanópolis - PR está a 361 metros de altitude, a 23°03'31" de latitude Sul, 51°02'11" de longitude Oeste, e apresenta 503,947 km² de área territorial; Tamarana - PR está a 753 metros de altitude, a 23°43'24" de latitude Sul, 51°05'50" de longitude Oeste, e apresenta 469,401 km² de área territorial (IPARDES, 2012).

4.4.1 Geomorfologia

Segundo CARMELLO (2011^b), a RML possui as seguintes características geomorfológicas:

- **Unidade morfoestrutural:** Bacia Sedimentar do Paraná;
- **Unidades morfoesculturais:** Segundo e Terceiro Planaltos Paranaense;
- **Sub-unidades morfoesculturais:** Planalto de Ortigueira, Planalto de Santo Antônio da Platina, Planalto do Alto Ivaí, Planalto de Pitanga/Ivaiporã, Planalto do

Alto-Médio Piquiri, Planalto de Apucarana, Planalto de Londrina - PR, Planalto do Maringá, Planalto do Campo Mourão e Planalto de Paranavaí.

A RML está localizada no terceiro planalto paranaense, estendendo-se a oeste da Formação Serra Geral (formação geológica contínua), desde o Rio Grande do Sul até São Paulo (Figura 2).

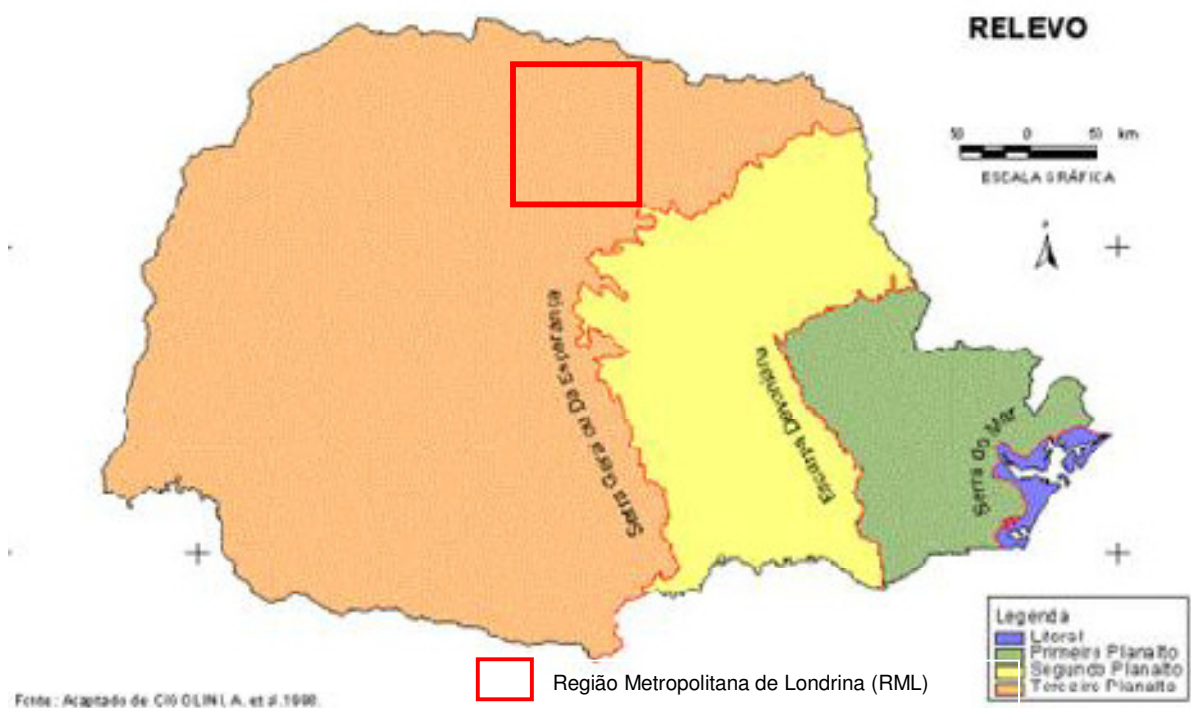


Figura 2 - Representação dos compartimentos do Paraná
Fonte: Carmello (2011^b).

O terceiro planalto representa o plano de declive que forma a encosta da escarpa da serra Geral do Paraná, sendo denominada serra da Boa Esperança, ou escarpa mesozóica. Esta escarpa é constituída por estratos do arenito São Bento Inferior ou Botucatu, com espessos derrames de lavas básicas muito compactas do trapp do Paraná, que na testa da escarpa apenas evidenciam espessuras de 50 a 200 metros, atingindo, entretanto mais para oeste 1.100 a 1.750 metros (MAACK, 2002, p. 420).

O relevo desta região apresenta uma uniformidade de áreas onduladas e chapadas de encostas suavizadas em grandes blocos seccionados pelos rios Tibagi, Ivaí, Piquiri e Iguaçu, que permeiam o planalto.

4.4.2 Clima

Há uma forte correlação entre o relevo e as atribuições climáticas da RML, afinal, valores altimétricos atuam como barreiras orográficas e reafirma a distribuição das chuvas. As massas de ar e os sistemas frontais geradores de chuva são conduzidos e barrados pelo relevo, na baixa troposfera, determinando tanto a quantidade quanto a intensidade das chuvas precipitadas sobre as vertentes destes relevos (Boin, 2002 apud CARMELLO, 2011^b, p. 35).

Segundo Nery et al (2000), grande porção da região Sul brasileira, onde está localizada a RML, localiza-se ao Sul do Trópico de Capricórnio, zona onde há predominância de características de um clima temperado. Nesta zona há Influência do sistema de circulação perturbada de Sul, responsável pelas chuvas, principalmente no verão e do sistema de circulação perturbada de Oeste, que acarreta chuva intensa, por vezes acompanhada de granizo, com ventos com rajadas de 60 a 90 Km/h.

Na região Sul do país, o inverno é frio e o verão, quente. Sua temperatura média anual situa-se entre 14° e 22°C. Já, acima de 1.100 metros de altitude, a temperatura média chega a 10°C (NERY et al, 2000).

Sobre a Região Sul do Brasil, há a predominância de três massas de ar da vertente atlântica da América do Sul: massa Equatorial atlântica (atua mais diretamente no verão); massa Tropical atlântica (age na área durante o ano inteiro); massa Polar atlântica (CARMELLO, 2011^a).

As oscilações da Frente Polar Atlântica atuam na formação de chuvas dessa região, de modo que no verão há maior evaporação por conta do movimento sazonal, que está, por sua vez, associado ao posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) em latitudes mais altas e a presença marcante dos sistemas equatoriais e tropicais na maior parte do território brasileiro. Com relação à precipitação, a porção serrana do terceiro planalto paranaense apresenta precipitação próxima dos 2.000 mm. Na porção central, a precipitação sofre uma redução para 1.000mm e para oeste volta a aumentar, para algo em torno de 1.500mm. No que diz respeito à

concentração de chuvas, no norte da região a mesma prevalece nos meses de novembro a janeiro (CARMELLO, 2011^b).

Em relação a Londrina - PR, seu clima de Londrina - PR é do tipo Cfa, de acordo com a classificação de Köppen. Esse clima é o chamado clima subtropical úmido, com chuvas em todas as estações, com a possível ocorrência de secas no período de inverno. A temperatura média do mês mais quente é, geralmente, superior a 25,5° C e a do mês mais frio, inferior a 16,4° C (PREFEITURA MUNICIPAL DE LONDRINA - PR, 2012).

Pólo de uma região essencialmente agrícola, Londrina - PR sempre foi beneficiada por um regime pluviométrico bem distribuído durante todo o ano, sendo raríssimos os períodos de grandes estiagens ou chuvas prolongadas. Segundo o IAPAR, a precipitação pluviométrica anual em 2007, foi de 1.566 mm, sendo janeiro, julho e dezembro, os meses mais chuvosos e junho, setembro, e agosto os meses mais secos (PREFEITURA MUNICIPAL DE LONDRINA - PR, 2012).

Há uma redução dos totais de chuva no período de inverno no Norte do Estado do Paraná, e essa é uma característica da transição entre a zona tropical e subtropical. Esta região, pela classificação de Köppen, se enquadra nos climas mesotérmicos, que ocorrem em parte da região Sudeste e no Sul do país (CARMELLO, 2011^b).

4.4.3 Solos

Assim como no clima, o relevo tem papel determinante também no desenvolvimento de tipos de solo, influenciando no escoamento das chuvas, tanto no sentido horizontal, como vertical (Garcia, 2004 apud CARMELLO, 2011^b, p. 36).

Segundo CARMELLO (2011^b), praticamente toda a extensão do terceiro planalto originou-se por vulcanismo fissural, originando espessas camadas de derrames de lavas, de modo a recobrir parte dos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

As rochas eruptivas básicas do terceiro planalto se decompõem em solos argilosos vermelhos muito coesos, denominados de terra roxa, ocupando o maior espaço do terceiro planalto. Porém, nos campos do terceiro planalto, tais solos são parcialmente muito ácidos. Como formas de relictos de um clima pleistocênico semi-árido, apresentam-se estéreis em certas zonas, principalmente onde a decomposição se dá em rochas ricas com base vítrea. Sendo assim, além da terra roxa laterítica influenciada pelo clima, apresentam-se solos mais antigos com incrustações de lateritos de textura esponjosa, que se estendem, além da superfície dos campos, também abaixo da terra roxa das matas pluviais-tropicais, como testemunhos climáticos de fases semi-áridas do terceiro planalto (MAACK, 2002).

Mais precisamente em Londrina - PR, “o solo é de origem basáltica, entretanto, conforme a sua localização, em topografia mais plana e acidentada, apresenta tipos de solos diferentes, conseqüentemente, de fertilidade variável” (PREFEITURA MUNICIPAL DE LONDRINA - PR, 2012).

O melhor solo de Londrina - PR é um dos mais férteis do mundo está na região setentrional do município, que se caracteriza por uma topografia mais plana. Aí, predominam os solos Terra Roxa Estruturada Eutrófica, Latossolo Roxo Eutrófico e, em menor quantidade, o Brunizen Vermelho e o Litólico Eutrófico. Aos primeiros, só se comparam os famosos Chernozem (solos negros) da Ucrânia.

Na região sul do Município, onde a topografia é mais acidentada, os solos são mais diversificados, mais ácidos e menos férteis, com a predominância do Brunizen Vermelho, Litossolo, Latossolo Roxo Distrófico e Terra Roxa Estruturada Eutrófica. Nesta região, o subsolo promete ser rico em minérios, conforme apontam as pesquisas que só agora tiveram início. É aí também que as condições de clima e solo começam a atrair os fruticultores, principalmente os de maçã e uva (PREFEITURA MUNICIPAL DE LONDRINA - PR, 2012).

É interessante frisar que tais solos possuem alto potencial agrícola, grande fertilidade natural. A única preocupação em torno deste solo está relacionada a erosão, correção e adubação para suprir o desgaste com sucessivos plantios.

4.4.4 Geologia

Pode-se afirmar que a constituição geológica da extensa região do terceiro planalto é relativamente simples. Sobre o pedestal areno-argiloso da escarpa mesozóica começam os depósitos eólicos do deserto mesozóico, os arenitos da Formação Botucatu, com paredes íngremes, protegidas pelos derrames de rochas básicas, tais como diabásios, meláfiros vesiculares, espelitos, toleitos, vitrófiros, com os lençóis finais de diabásio porfírico e augita-andesita-porfirito. Na base, o arenito Botucatu revela regionalmente um fácies fluvial-lacustre correspondente a fácies da Formação Pirambóia, do estado de São Paulo (MAACK, 2002).

A seguir, as formações que serão abordadas no presente trabalho:

4.4.4.1 Formação Serra Geral

Formação Serra Geral é a denominação utilizada para a sequência de derrames de lavas basálticas que ocorre no Terceiro Planalto Paranaense. A área de ocorrência destas rochas, em território Paranaense, é de aproximadamente 109.000 Km² (MANASSES, 2007).

Essa sequência de derrames ocorreu em condições não explosivas, e deu origem a extensos platôs, hoje profundamente dissecados pelos processos de intemperismo. Esse intenso magmatismo com manifestações intrusivas e extrusivas ocorreu em clima árido, de forma intermitente e assíncrona (SOUZA, 2004).

Segundo Manasses (2007), a Formação Serra Geral é composta essencialmente de rochas ígneas vulcânicas, como basaltos toleíticos e andesitos basálticos.

Apesar de a Formação Serra Geral ser reconhecida por apresentar rochas toleíticas, com grande variação química, ainda ocorre lavas de composição intermediária e ácidas. Esses “diferenciados ácidos” provavelmente emergiram a partir

de sistemas de fraturas crustais, concentrando-se próximos à área das atuais ocorrências, tendo sua maior viscosidade limitada a sua distribuição (SOUZA, 2004).

Com relação à geoquímica, existem dois grupos de rochas quimicamente distintos denominados alto titânio (ATi, $TiO_2 > 2\%$) e baixo titânio (BTi, $TiO_2 < 2\%$). As rochas do primeiro grupo mostram-se enriquecidas em Ba, K_2O , U, Sr, La, Ce, Ta, P_2O_5 , Hf, Zr, TiO_2 , e empobrecidas em Cs e Rb, se comparadas com aquelas do segundo grupo (MACHADO, 2009).

Em seguida, foi proposta uma nova classificação, levando em consideração os conteúdos e relações entre Sr, Ti, Y e Zr, tendo como resultado seis tipos magmáticos: Urubici e Pitanga (alto Ti), Paranapanema e Ribeira (Ti intermediário), Gramado e Esmeralda (baixo Ti), segundo Bittencourt (2008).

Quanto à espessura global dos derrames, Paisani et al(2008) afirma que a busca por esta definição enfrenta barreiras pela dificuldade de se saber se o limite máximo de exposição dos derrames corresponde a atual superfície topográfica.

A Figura 3 apresenta o mapa que mostra a abrangência do Grupo Serra Geral, evidenciando as ocorrências de diques intrusivos associados ao Arco de Ponta Grossa, desde a região litorânea.

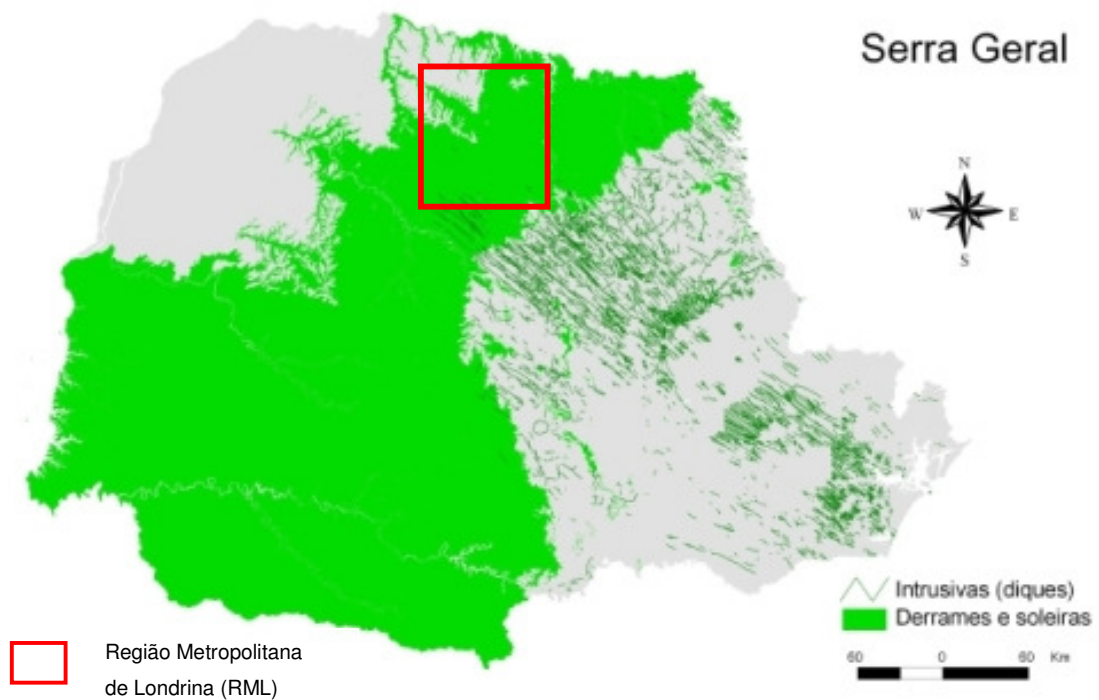


Figura 3- Mapa de abrangência da Formação Serra Geral
Fonte: MINEROPAR, 2013.

Segundo Silva (2007), as estruturas que compõe os derrames são: zonas de basalto vesicular e amigdaloidal, preenchidas principalmente por calcita, quartzo e Zéólitas; contatos interderrames (fendas de grande extensão lateral); áreas de basalto compacto, geralmente diaclasado, e tratos de base de derrame, com fraturas paralelas ao contato. Ocorrem também os diques e soleiras de diabásio, faixas fraturadas subhorizontais e subverticais, diques de arenito injetados, tufo vulcânicos.

A idade do conjunto das rochas vulcânicas, obtidas através do método K-Ar em rocha total e em feldspato e biotita, mostra distribuição, no tempo, de 115 a 135 milhões de anos. Assim sendo, pode ser esse magmatismo datado como neojurássico e o cretáceo, tendo as manifestações perdurado, em conjunto, pelo menos 20 milhões de anos (SOUZA, 2004).

4.4.4.2 Formação Botucatu

De acordo com Soares (1973), a Formação Botucatu possui contato basal com a Formação Pirambóia marcado por uma discordância regional; já o contato superior com a Formação Serra Geral é concordante e marcado pelo primeiro derrame vulcânico.

A Formação Botucatu é composta de arenitos quartzosos finos a grossos, bem selecionados e arredondados, com estratificações cruzadas de grande porte e fraturas, indicando deposição em ambiente eólico desértico, segundo Fernandes et al (2010), como pode ser visto na Figura 4. Para Caetano-Chang (2007), os arenitos constituintes desta formação são finos e médios, com frações subsidiárias de arenito muito fino e grosso, quartzosos e com marcante bimodalidade granulométrica dos estratos imposta por processos de avalanche (grainflow). Localmente, ocorrem arenitos conglomeráticos (Fácies Torrencial), que são frequentes no terço inferior da formação (SOUZA, 2004).



Figura 4 - Afloramento de arenito da Formação Botucatu, com estratificação cruzada e fraturas
Fonte: Manieri, 2010.

A grande ocorrência de depósitos de arenitos finos dispostos em sets de estratificação cruzada de porte denota o caráter monótono da Formação Botucatu, em termos faciológicos (GESICKI, 2007). Para Souza (2004), “é característica da Formação Botucatu a presença de estratificação de grande porte, correspondendo a um empilhamento de corpos prismáticos ou cuneiformes, achatados, podendo alcançar espessuras da ordem de 20 metros”.

A estratificação, marcada por lentes de fluxo granular relativamente delgadas (menos de 3 cm), seria representativa do avanço de dunas e draas em campo de dunas seco. Estratificação deformada e laminações cruzadas cavalgantes subcríticas são feições relativamente frequentes. De forma subordinada, mais tipicamente próximos ao contato basal da unidade, ocorrem arenitos com estratificação cruzada de ângulo baixo, que poderiam representar planícies ou depressões interdunas da fase de instalação do sistema deposicional eólico (GESICKI, 2007, p. 34).

Segundo Soares (1973 apud AZEVEDO, 1981, p. 32), na base do arenito Botucatu ocorre, geralmente, uma camada de arenito conglomerático, porém em zona de falha, não fornecendo a posição estratigráfica real do referido sedimento. Tais sedimentos indivisos são compostos por arenitos de granulação variando entre média a fina, com matriz síltico-argilosa em porcentagens variadas.

A Formação Botucatu é porosa e suas modificações diagenéticas referem-se à neoformação incipiente de argilominerais e precipitação de cimentos de quartzo e feldspato nas porções de maior soterramento da bacia. “Tal formação apresenta arcabouço aberto e feições de compactação física e química pouco a moderadamente eficiente” (GESICKI, 2007).

Sua espessura é variável, porém, inferior a 150 metros. Tal variação é em função da distribuição dos campos de dunas e de seu recobrimento através dos derrames basálticos da Formação Serra Geral (SANTOS, 2009).

Em relação à idade dessa formação, segundo Petri & Fúlfaro (1983 apud SOUZA, 2004), ela ocorreu no período compreendido entre o Neotriássico e o Neojurássico, devido às primeiras manifestações vulcânicas, que são datadas como Neojurássicas, e também pelo fato de os sedimentos do Grupo Rosário do Sul, correlacionáveis à Formação Pirambóia, conter fósseis Neotriássicos.

4.4.4.3 Formação Pirambóia

A Formação Pirambóia é composta de litologias quase exclusivamente arenosas, friáveis, num pacote de até 20 m de espessura que apresenta reduzida quantidade de afloramentos. Predominam arenitos muito-finos a finos, siltosos, brancos, com seleção regular e estratificações cruzadas acanaladas de baixo ângulo e sigmoidais, além de estratificações e laminações plano-paralelas (STRUGALE et al., 2004).

De acordo com Soares (1975 apud SOUZA, 2004, p. 18), tal formação é constituída por camadas predominantemente arenosas, com a ocorrência de clásticos finos, em repetição cíclica, demonstrando uma alternância, na vertical, da fácies fluvial de canal e de transbordamento. Na Figura 5, abaixo, tem-se a imagem de tal formação.



Figura 5 - Formação Pirambóia.

Fonte: Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, 2009

O sistema eólico úmido Pirambóia é caracterizado por fácies de lençóis de areia em planície de marés, fácies de campo de dunas costeiro inferior, com planícies interdunas alagadas, fácies de campo de dunas costeiro superior, com planícies

raramente inundadas, e fácies de planície aluvial, com desenvolvimento de rios entrelaçados e dunas. A umidade neste sistema deu-se em decorrência do nível freático elevado, provavelmente em virtude da proximidade à costa do sistema marinho coetâneo (grupo Passa Dois). O sistema eólico Botucatu é representado por fácies de campo de dunas seco (GESICKI, 2007, p. 33).

Segundo Giannini (2001 apud GESICKI, 2007, p. 33), a associação de campo de dunas costeiro, com interdunas alagadas, ocorre na porção inferior da Formação Pirambóia, sobreposta às fácies de lençóis de areia, e é caracterizado por sistema eólico bem desenvolvido, com depósitos eólicos de dunas e interdunas, além de depósitos suaquosos de canais efêmeros (*wadi*). A metade superior da Formação Pirambóia é particularizada por um campo de dunas com diminuição sensível da presença de água nos domínios interdunas.

Já, segundo Caetano-Chang (1997, 2002 apud BITTENCOURT, 2008), a porção inferior da Formação Pirambóia foi consolidada em condições de meta-saturação em areias, destacada pela faciologia onde há grande existência de depósitos de interdunas úmidas e de *overbank* e lençóis de areia com campos de dunas esparsos. As porções média e superior da formação possuem intenso aumento no suprimento de areias, com o desenvolvimento de *ergs* saturados dominantes.

Na Formação Pirambóia são encontrados horizontes de cimentação carbonática tardia, na interface de contato superior com a Formação Botucatu, e intercalações pelíticas no domínio inferior da unidade (GESICKI, 2007).

Quanto ao comportamento faciológico desta formação, há o reconhecimento de duas unidades dentro da mesma. A primeira é chamada de Membro Inferior, que apresenta litotipos mais argilosos, onde predominam as estratificações plano-paralelas e cruzada de pequeno porte. Vale ressaltar que as camadas de argila, folhelhos arenosos e sílticos são frequentes nesta unidade. Já, a segunda unidade é a denominada Membro Superior, que tem como particularidade a disposição dos bancos de arenitos, pouco a muito argilosos, com estratificação cruzada planar tangencial de médio a pequeno porte, sucedidas por bancos de arenitos muito argilosos, com estratificação plano-paralela, lamitos e argilitos arenosos, em uma evidente repetição cíclica (SOUZA, 2004).

Quanto à idade da Formação Pirambóia, “é atribuída ao intervalo de tempo entre o Tirássico Superior e o Jurássico Inferior” (SOUZA, 2004).

4.4.5 Sistemas Aquíferos

De acordo com a SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), aproximadamente 16% do abastecimento de água do estado do Paraná é realizado através de captação de aquíferos.

A região de Londrina - PR apresenta duas formas de ocorrência de águas subterrâneas: o aquífero freático, que se relaciona à zona saturada da camada de solo e rocha alterada e as zonas aquíferas da Formação Serra Geral, que correspondem às rochas basálticas propriamente ditas (SANTOS, 2009).

Dentre os aquíferos utilizados para abastecimento de água na área de estudo, estão os seguintes:

4.4.5.1 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) corresponde ao aquífero constituído pelas rochas ígneas da Formação Serra Geral. Tal aquífero ultrapassa os limites do Estado do Paraná, abrangendo os estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, São Paulo e Mato Grosso, bem como a Argentina, Paraguai e Uruguai. A sua área de ocorrência, no Estado do Paraná, está restrita ao 3º Planalto Paranaense com uma área aproximada de 110.000 Km². A espessura máxima dessa formação, no Estado do Paraná, é de 1.400 metros, e ocorre na região de Alto Piquiri (SOUZA, 2004).

O SASG é constituído por rochas originalmente impermeáveis. Porém, sob a ação de eventos tectônicos e do próprio resfriamento dessas rochas ígneas, criou-se

uma porosidade e uma permeabilidade secundárias que possibilita a circulação e o armazenamento de água nessas estruturas (SOUZA, 2004).

Desta maneira, esse sistema aquífero se caracteriza por apresentar uma condutividade hidráulica muito variável, complexa e de difícil avaliação, e descontinuidades físicas, que diminuem com a profundidade notadamente a partir de 90 m, possivelmente devido a compressão dos sistemas de fraturas pela pressão resultante do maciço sobreposto (MANASSES, 2007).

As rochas vulcânicas observadas estão vinculadas a um processo de extravasamento fissural caracterizado por uma série de episódios magmáticos, intensamente vinculados aos campos tensoriais, e fenômenos endógenos que culminaram na desagregação do Gondwana (MACHADO et al., 2009).

Com relação a sua hidrodinâmica, no estado do Paraná, existem diferenciações na produção nas Unidades Serra Geral Norte e Sul. Ao norte, a vazão média é de 18 m³/hora, enquanto que para a porção sul são significativamente são de 10 m³/hora (MOURÃO, 2009).

A classe hidroquímica dominante da água do SASG, segundo Filho et al. (2003), é considerada como sendo bicarbonatada cálcica, porém, há também a ocorrência de águas bicarbonatadas cálcicas sódicas. Celligoi e Duarte (1994 apud Souza, 2004, p. 29) afirmam, com base em estudos realizados no Serra Geral na região de Londrina – PR, a tipologia Bicarbonatada Cálcica para tais águas, relacionando esse fato com a mineralogia e natureza química dessas rochas.

Ao contrário dos sistemas aquíferos sedimentares, os quais possuem uma certa homogeneidade física, o sistema Serra Geral se constitui em um meio aquífero de condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas, já que apresenta características litológicas de rochas cristalinas (CELLIGOI e DUARTE, 1994).

Para Ruegg (1975 apud SOUZA, 2004, p. 28), há uma diferenciação das rochas efusivas, de modo a coexistirem séries distintas que abrangem basaltos alcalinos, basaltos toleíticos, andesitos, latíandesitos e riolitos.

Segundo Machado et al. (2009), de modo geral, a Formação Serra Geral é composta por três litotipos distintos: basaltos e andesitos, riolitos e riolitos do tipo Palmas (ATP), eriodacitos e quartzolitos do tipo Chapecó. Quantitativamente, as

rochas básicas-intermediárias representam 97% de todo volume magmático observado, e as rochas ácidas dos tipos Palmas e Chapecó representam, respectivamente, 2,5 e 0,5% do volume.

No que se refere ao monitoramento das águas do aquífero, o mesmo possui 10 pontos de monitoramento, sendo analisados 40 parâmetros físico, químicos e biológicos e, localmente, substâncias tóxicas orgânicas das águas. Por fim, em relação ao número de poços que captam água do aquífero, existem cerca de 2.500 poços cadastrados no Banco de Dados Hidrogeológicos da SUDERHSA (estado do Paraná) na Unidade Serra Geral Norte e 550 poços na Unidade Sul. Os bancos de dados do SIAGAS-CPRM possuem cerca de 21.000 cadastrados nos domínios desse aquífero (MOURÃO, 2009). Vale ressaltar que os dados acerca dos poços localizados na região estudada, serão retirados deste último sistema, para posteriores avaliações no presente trabalho.

4.4.5.2 Sistema Aquífero Guarani (SAG)

Considerado uma das maiores reservas de água subterrânea do mundo, o Sistema Aquífero Guarani (SAG) estende-se desde a Bacia Sedimentar do Paraná até a Bacia do Chaco-Paraná. Está localizado no centro-leste da América do Sul, entre o 12º e o 35º de latitude Sul e o 47º e o 65º de longitude Oeste, subjacente a quatro países do Mercosul: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. Possui dimensão aproximada de 1,2 milhões de quilômetros quadrados, sendo que 840 mil km² estão distribuídos em oito estados brasileiros: MS (213.200 km²), RS (157.600 km²), SP (155.800 km²), PR (131.300 km²), GO (55.000 km²), MG (51.300 km²), SC (49.200 km²) e MT (26.400 km²), (SILVA, 2011).

O SAG possui relevante importância como fonte hídrica de alta qualidade para o abastecimento de água potável, bem como para o aproveitamento de seu grau geotérmico (FILHO et al, 2003).

O SAG é caracterizado pelas duas formações que apresentam propriedades distintas. Tais particularidades estão relacionadas a propriedades granulométricas,

texturais e mineralógicas, que levarão a características hidrogeológicas também distintas. Uma das formações deste sistema é a chamada Fácies Flúvio – Lacustre (Formação Pirambóia), a base do mesmo, e caracteriza-se por heterogeneidades litológicas, granulométricas e texturais. Tais heterogeneidades são evidenciadas pela alternância de níveis argilosos que interferem na relação permeabilidade vertical/permeabilidade horizontal. A outra formação do sistema é a denominada Fácies Eólica (Formação Botucatu), o topo do SAG, a qual é caracterizada pelas homogeneidades litológicas, granulométricas e texturais, o que faz com que haja m expressivas permeabilidades vertical e horizontal (SOUZA, 2004).

O sistema aquífero não se distribui de forma homogênea em toda a sua extensão de ocorrência. Segundo Filho et al. (2003), prevalecem várias intrusões de rochas básicas e intermediárias, o que compartimenta o aquífero, em maior parte nas áreas onde há influência das grandes estruturas regionais. De acordo com Gesicki (2007), a qualidade do SAG depende das características sedimentares dos arenitos, que por sua vez, têm dependência com as condições deposicionais, modificações diagenéticas, compartimentação tectônica e, por fim, da interação das águas de infiltração com a rocha e das condições climáticas reinantes na área de recarga.

Apresentado como um dos maiores reservatórios subterrâneos do mundo, a exploração da água através de poços profundos possibilita a extração por unidade de captação de até 780.000 L/h, surgente, a exemplo do poço perfurado em Ibiporã - PR, no Estado do Paraná-Brasil (FILHO et al, 2003), um dos municípios pertencentes à área de estudo do presente trabalho.

Os arenitos reservatório do SAG são confinados pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e por rochas sedimentares triássicas e jurássicas de baixa permeabilidade. Os reservatórios triássicos possuem origem flúvio-lacustre/eólico, e são influenciados por altos níveis de argilidade, que interferem em sua eficiência hidráulica. Os arenitos do Jurássico possuem origem eólica, e apresentam-se nos melhores reservatórios em praticamente toda a Bacia, com boa maturidade textural e composicional (FILHO et al, 2003).

Devido às dificuldades de perfuração nos tipos de rochas e grandes profundidade no centro da bacia sedimentar em que se encontram as reservas, nem

todas as regiões de abrangência desse sistema aquífero exploram suas águas com mais intensidade. “Ele é mais aproveitado em regiões de maior facilidade de perfuração das rochas do tipo fissural, encontradas na Serra Geral, e cenozóica, no litoral” (SILVA, 2011).

O Aquífero Guarani dispõe de uma área de recarga de 150.000 km², cujo potencial de recarga natural é de 160 Km³/ano (5.000 m³/s). Contudo, apenas uma parcela das reservas reguladoras torna-se passível de exploração, sob condições naturais (AMANTHEA, 2004).

No que se refere aos aspectos estruturais do SAG, o mesmo possui diversos condicionantes estruturais, dentre eles os depocentros da Formação Serra Geral, a ativação de sistemas de falhas, os soerguimentos nas bordas e a ativação dos arcos de Rio Grande e Ponta Grossa. Já no que diz respeito aos regimes hidrológicos, estes são distintos entre os compartimentos do aquífero, provocando uma segmentação no padrão de fluxo a partir das zonas de recarga nas bordas norte e nordeste da Bacia, com descarga principal a sudoeste (FILHO et al, 2003).

De acordo com Silva (2011), dentre os países de sua área de abrangência, o Brasil, diferentemente dos demais, é o que mais intensivamente utiliza as águas do aquífero Guarani para variados fins. Com objetivo de abastecimento público, os primeiros poços profundos perfurados no aquífero localizaram-se no estado de São Paulo. No Brasil, o uso das águas do Guarani é destinado, na maior parte, ao abastecimento humano (70%); em segundo lugar, ao setor industrial (25%); os restantes 5% são usados na irrigação, no hidrotermalismo de lazer recreativo e terapêutico, segundo Silva (2011).

A população brasileira presente na área em que se situa o Guarani se beneficia diretamente de tal reservatório de água natural para várias finalidades e necessidades. No Brasil, o estado do Paraná é o segundo em habitantes sobre a área do aquífero, com 5,7 milhões de pessoas, em 326 municípios. Vale destacar que o Paraná está entre os três estados brasileiros que se destacam pelo uso doméstico da água (SILVA, 2011).

A distribuição da população residente, na área de ocorrência do SAG, é bastante diferente. A maior população residente sobre o SAG é a brasileira, com

aproximadamente 90% do total. No Brasil, a distribuição da população na área de ocorrência do SAG não é uniforme, variando de 2,5 habitantes por km² no Estado do Mato Grosso a 118,6 habitantes por km² no Estado de São Paulo (Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do SAG, 2009).

No que se refere ao manejo adequado dos recursos hídricos disponíveis no SAG, são necessários, segundo Silva (2011): levantamentos de dados socioeconômicos, de produção dos sistemas de abastecimentos públicos municipais e de informações de poços em atividade na região ocupada pelo aquífero, bem como uma avaliação do uso atual e potencial das águas do SAG, identificando as regiões com riscos de superexploração e de contaminação.

Vale ressaltar que, em 2001, o Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (Samae), de Ibiporã – PR realizou a perfuração de dois poços para a captação de água do SAG. O resultado levou a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) a executar dois poços no mesmo sistema aquífero: um em meados de 2002, na região leste de Londrina - PR, contígua a Ibiporã - PR e outro no final de 2003, na região norte (AMANTHEA, 2004). Vale destacar que, no presente trabalho, ambas as companhia serão contatadas, a fim de fornecer dados relacionados à distribuição de água aos municípios da região estudada.

5 – MATERIAIS E MÉTODOS

Na execução do atual trabalho, alguns materiais e métodos foram utilizados, como serão descritos a seguir.

5.1 MATERIAIS

Como material cartográfico e de sensoriamento remoto, foi utilizada a base cartográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Malha municipal digital do Brasil: situação em 2007 - IBGE (2007) na escala de 1:2.500.000.

Os mapas temáticos apresentados no corpo do trabalho estão representados no Sistema de Coordenadas Geográficas *South_American 1969* (SAD 69), tendo como referência geodésica *South American Datum 1969*, elipsóide de referência 1967, meridiano central de -51,50 e paralelo padrão de -24,75.

Com a finalidade de digitalizar os mapas e realizar o tratamento digital dos dados, foram utilizados os seguintes programas computacionais e suas funcionalidades: *ArcGIS ArcView GIS 9.3* (*Environmental Systems Research Institute, Inc.*) – *ArcGIS Desktop 10 Free Trial* – avaliação espacial da informação e gerenciamento do sistema de informação geográfica; *Microsoft Excel 2007* (*Microsoft Corporation*) - organização da informação (planilhas, tabelas, gráficos e etc.) e análises estatísticas; e *BIOESTAT 5.0* – análise estatística.

Foram consultados materiais para o levantamento de dados referentes ao sistema de abastecimento de água nos municípios da área de estudo, por meio de consulta ao SIAGAS – CPRM – Serviço Geológico do Brasil e às concessionárias públicas de serviço de água.

CPRM é o nome de fantasia do Serviço Geológico do Brasil, advindo da razão social Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, existente desde 1969. Dentre as ações que compõem o escopo da área de atuação da CPRM estão os levantamentos

hidrogeológicos, realizados em duas vertentes. A primeira, com atividades focadas em águas subterrâneas, e a segunda, em águas superficiais. Em relação às águas profundas, a CPRM dispõe do SIAGAS, sistema com cadastro de poços e fontes desse bem mineral de todo o Brasil, e realiza levantamentos hidrogeológicos regionais em várias escalas. Tal dispositivo foi utilizado para o levantamento de dados relacionados ao uso de águas subterrâneas pela RML.

5.2 ETAPAS DO TRABALHO E LEVANTAMENTO DE DADOS

A primeira etapa realizada e a ser completada durante a construção do trabalho foi a busca literária a respeito da área de estudo, bem como sobre os aspectos que permeiam o gerenciamento de recursos hídricos, de maneira geral, estando inserida nesta busca a investigação dos aparatos legais envolvidos, e também uma pesquisa em torno do funcionamento e uso do SIAGAS.

Após a investigação bibliográfica, foi realizado o levantamento de dados, sendo este realizado através de consulta ao SIAGAS, e às empresas municipais que realizam a distribuição de água aos municípios envolvidos.

O SIAGAS apresenta uma ferramenta de pesquisa, através da qual é possível buscar informações sobre os poços registrados em determinada região pesquisada. As informações apresentadas são divididas em categorias, como “Dados Gerais”, “Dados Construtivos”, “Dados Geológicos”, “Dados Hidrogeológicos”, “Dados sobre Teste de Bombeamento” e “Análises Químicas”.

As informações coletadas são relativas aos Dados Gerais (Nome do Poço, Data de Instalação, Proprietário, Natureza do Poço, Uso da Água, Cota do Terreno, Localidade, UTM (Norte/Sul), UTM (Leste/Oeste), Latitude (GGMMSS), Longitude (GGMMSS), Bacia Hidrográfica, Sub-bacia Hidrográfica); Dados Geológicos (Tipo de Formação); Testes de Bombeamento (Nível Estático (m), Nível Dinâmico, Vazão após Estabilização (m³/h); e às Análises Químicas (Data de Coleta).

O campo identificado como Nome do Poço é destinado ao código indicado a cada poço, sendo este único e exclusivo, e usado no reconhecimento dos poços durante realização de pesquisas, consultas e incorporações de informações.

As empresas de distribuição de água que atendem os municípios que fazem parte da RML são: SANEPAR (Assaí - PR, Bela Vista do Paraíso - PR, Cambé - PR, Florestópolis - PR, Londrina - PR, Porecatu - PR, Primeiro de Maio - PR, Rolândia - PR, Sabáudia - PR e Tamarana - PR); SAMAE (Ibiporã - PR e Jaguapitã - PR); e SAAE (Alvorada do Sul - PR, Jataizinho - PR, Pitangueiras - PR e Sertanópolis - PR). Durante a consulta a estas empresas, foram levantados dados relativos ao controle da produção, extração e consumo de águas subterrâneas e superficiais, bem como os dados referentes aos poços utilizados para o abastecimento dos municípios.

As informações sócio-econômicas e demográficas foram levantadas a partir do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2013), em referência ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2010 (IBGE, 2010), de modo a obter os dados mais recentes sobre populações (1981, 1990, 2000 e 2010), Produto Interno Bruto (a Preços Correntes e Per Capita) e atividades econômicas dos municípios que compreendem a RML. Utilizou-se, também, a estimativa populacional referente ao ano de 2012, elaborada pelo IBGE, já que o último censo demográfico até o presente momento ocorreu no ano de 2010.

Os dados foram registrados em planilhas do programa Microsoft Excel, de modo a organizar as informações obtidas e se realizarem os gráficos para posteriores análises. A principal função do banco de dados é otimizar a exportação dos dados para o *ArcGIS*, software responsável pela visualização e integração espacial dos dados. Vale destacar que os dados foram tratados em dois grupos distintos: o primeiro refere-se às características sócio-econômicas e demográficas, e o segundo, ao uso das águas subterrâneas na RML, primeiramente avaliados os dados obtidos pelo SIAGAS, e em seguida, aqueles concedidos pelas concessionárias públicas de serviço de água. Por fim, como última etapa do presente trabalho, realizou-se análise comparativa de vazão demandada (L/dia) e consumo *per Capita* (L/dia/hab) entre os dados apresentados em um Projeto do IAP (IAP, 2010) e aqueles obtidos pelas empresas de distribuição de água.

5.3 USO DE SIG NO GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

O presente trabalho utilizou-se do *software ArcGIS* para implementação do SIG como instrumento para obter análises relativas ao gerenciamento de recursos hídricos do SAG. Este instrumento auxilia, primeiramente, na geração, utilização, integração e análise de informações georreferenciadas e/ou dados sócio-econômicos da área estudada e, em seguida, na representação cartográfica dos resultados obtidos.

Por meio de tais técnicas, foi possível o armazenamento, processamento, visualização (através da construção de mapas temáticos) e análise de dados georreferenciados. Em seguida, foram organizados projetos de banco de dados, capazes de potencializar a exportação das informações.

Após a estruturação do Banco de Dados dos poços tubulares profundos em planilhas do *Microsoft Excel*, as informações contidas no mesmo foram introduzidas em tabelas constituídas de campos específicos para o gerenciamento das informações (Personal Geodatabase), de modo a modelar os dados.

Os campos específicos criados em tais tabelas foram àqueles relacionados aos dados utilizados para a confecção dos mapas temáticos, tais como: volume total consumido (m^3 /ano), consumo de águas subterrâneas (m^3 /ano), consumo de águas superficiais (m^3 /ano), consumo por manancial explorado (m^3 /ano), consumo por aquífero explorado (m^3 /ano), concentração populacional, população urbana, taxa de urbanização, consumo *Per Capita* (L/dia/hab) de recursos hídricos, PIB a Preços Correntes (1000 R\$), dentre outros, para cada município que compõe a RML.

Para a delimitação e a digitalização dos municípios inseridos na RML, utilizou-se como base cartográfica mapa com os limites geográficos dos municípios do estado do Paraná, de acordo com a última atualização definida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, no ano de 2007 (IBGE, 2013).

Para a importação das coordenadas geográficas referentes aos poços cadastrados e inseridos na área de estudo para o ambiente SIG em *ArcGIS*, foi necessário os seguintes procedimentos metodológicos:

- Primeiro, utilização do programa SPLINK (2013) (*software* livre), para conversão de coordenadas planas UTM (Universal Transverso de Mercator), como apresentadas pelo SIAGAS, em coordenadas geográficas DMS (Graus, Minutos e Segundos), como estabelecido pela base cartográfica digital utilizada no presente trabalho;
- Segundo, foi necessária nova conversão, desta vez da extensão *.txt*, como é apresentado pelo SPLINK, para *.dat*, como é reconhecido pelo sistema de georreferenciamento do *ArcGIS*, de modo que os pontos representativos das coordenadas geográficas dos poços tubulares pudessem ser visualizadas nos mapas temáticos criados em ambiente SIG.

Os mapas temáticos confeccionados em ambiente SIG tiveram como objetivo metodológico a geração de um instrumento que contemple as principais informações disponíveis de interesse ao planejamento dos recursos hídricos, e que possam ser representadas espacialmente.

No presente trabalho, foram utilizadas diferentes representações cartográficas para representar os resultados obtidos, dentre eles: Mapas Corocromáticos, os quais possuem dados geográficos e utilizam diferenças de cor na implantação zonal, para representar dados qualitativos; Mapas Coropléticos, cuja representação são de fenômenos quantitativos e são ordenados em classes (ARCHELA, 1999)

5.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

O tratamento estatístico dos parâmetros relacionados ao uso atual das águas subterrâneas da RML foi realizado com auxílio do programa Excel e do *software* de bioestatística BIOESTAT 5.0, utilizando-se conceitos básicos da estatística descritiva e análise de correlação.

6 – RESULTADOS

6.1 ANÁLISE SÓCIO-ECONÔMICA DA ÁREA DE ESTUDO

Este tópico analisa os aspectos de caráter sócio-econômico da região que contempla a área de estudo. O ajustamento e o complemento da análise sócio-econômica trazem uma abordagem enfocando os municípios em sua dinâmica demográfica.

6.1.1 Dinâmica Demográfica

A análise da dinâmica demográfica foi retirada do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2012) e tem como fonte principal a última Contagem da População realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, no ano de 2010, e a População Estimada para o ano de 2012, também realizada pelo mesmo órgão. A Tabela 1 mostra tais resultados. A população estimada será usada de forma mais consistente adiante, na análise da exploração dos recursos hídricos para uso público.

Tabela 1 - Populações dos municípios da área de estudo, segundo Contagem e Estimativa Populacional, nos anos de 2010 e 2012

Municípios (PR)	População 2010	População 2012	Taxa de crescimento (%)
Alvorada do Sul	10.283	10.439	1,52
Assaí	16.354	16.099	-1,56
Bela Vista do Paraíso	15.079	15.087	0,05
Cambé	96.733	98.024	1,33
Florestópolis	11.222	11.076	-1,30
Ibiporã	48.198	49.111	1,89
Jaguapitã	12.225	12.421	1,60
Jataizinho	11.875	11.958	0,70
Londrina	506.701	515.707	1,78
Pitangueiras	2.814	2.874	2,13
Porecatu	14.189	13.934	-1,80
Primeiro de Maio	10.832	10.848	0,15
Rolândia	57.862	59.139	2,21
Sabáudia	6.096	6.200	1,71
Sertanópolis	15.638	15.713	0,48
Tamarana	12.262	12.647	3,14

Retirado de IPARDES, 2013.

Org: LARINI, M. M

Para uma melhor análise da concentração e da distribuição geográfica dos contingentes populacionais, foi construído um mapa temático, dividido em classes, com o total da população (ano 2010) por município, permitindo a rápida visualização dos vetores de concentração populacional (Figura 6).

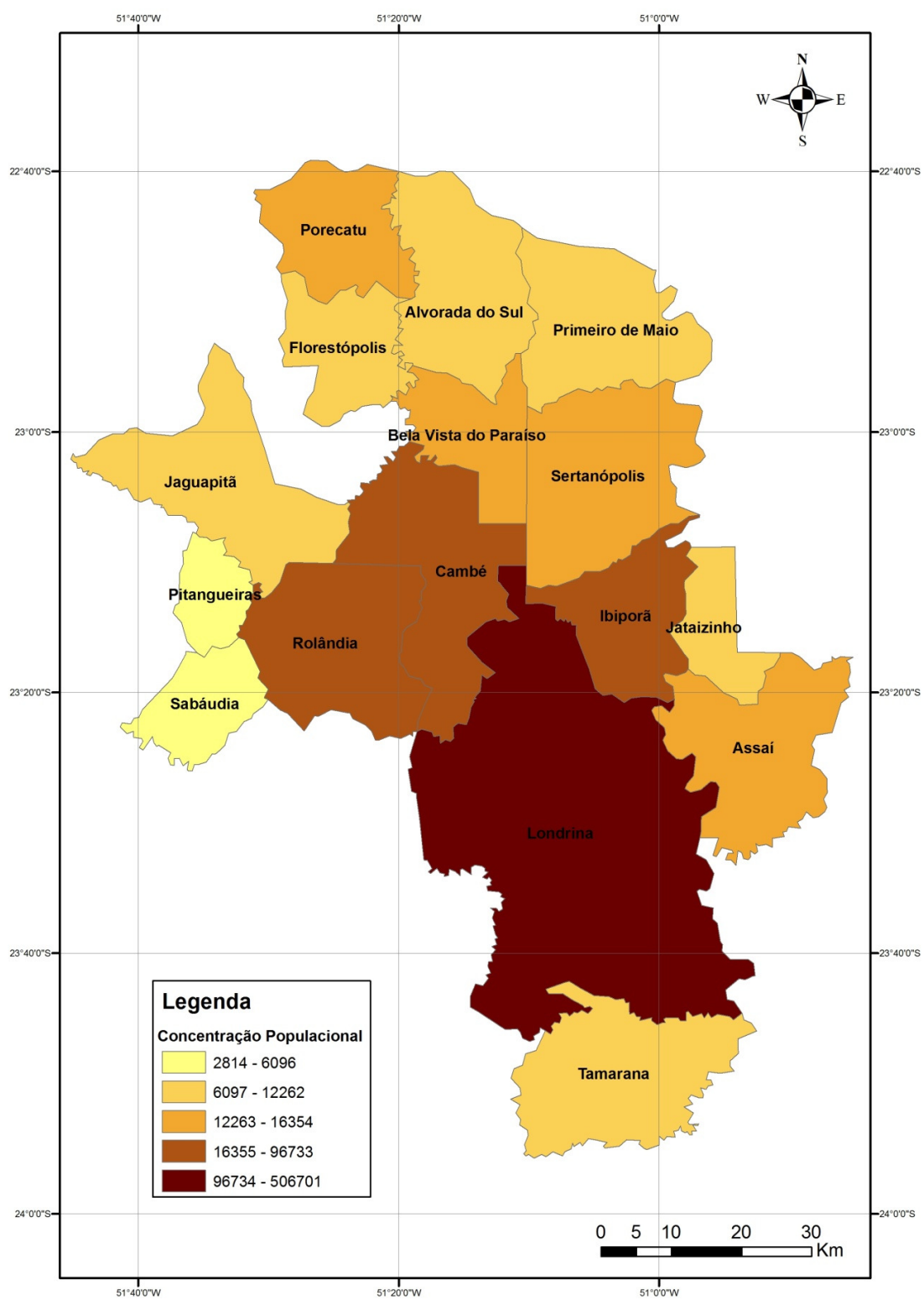


Figura 6 - Mapa de distribuição das concentrações populacionais. Dados retirados de IPARDES (2013).

Constata-se que o município de Londrina - PR apresenta quase 60% de toda a população da RML, o que é um número altíssimo, visto que são 16 municípios que formam tal configuração. Cambé - PR e Rolândia - PR vêm a seguir, com 11,40 e 6,82% do total da população da área, respectivamente.

Segundo a definição apresentada pelo IBGE (2013), municípios com até 100 mil habitantes são considerados cidades pequenas, de 100 a 500 mil, cidades médias, e mais de 500 mil habitantes, grandes cidades. Sendo assim, percebe-se que, na área de estudo, somente Londrina - PR é uma cidade grande, e os outros 15 municípios são cidades pequenas, com menos de 100 mil habitantes.

6.1.2 População Urbana e Rural e Taxa de Urbanização na RML

Neste item é apresentado diagnóstico situacional da dinâmica demográfica envolvendo as populações rural e urbana na área de estudo. É importante destacar tal dinâmica, já que, quanto maior a concentração urbana e a migração do campo para as cidades, maiores serão os conflitos pela gestão dos recursos hídricos, dada a consequente pressão sobre a disponibilidade de infra-estrutura urbana. A Tabela 2 apresenta a população total, urbana e rural dos municípios que abrangem a RML.

Tabela 2 - População Total, Urbana e Rural dos Municípios da RML, 2010.

Município (PR)	Total	Urbana	% Urbana	Rural	% Rural
Alvorada do Sul	10.283	7.338	71,36	2.945	28,64
Assaí	16.354	13.587	83,08	2.767	16,92
Bela Vista do Paraíso	15.079	14.196	94,14	883	5,86
Cambé	96.733	92.952	96,09	3.781	3,91
Florestópolis	11.222	10.544	93,96	678	6,04
Ibiporã	48.198	45.895	95,22	2.303	4,78
Jaguapitã	12.225	10.380	84,91	1.845	15,09
Jataizinho	11.875	11.053	93,08	822	6,92
Londrina	506.701	493.520	97,40	13.181	2,60
Pitangueiras	2.814	2.040	72,49	774	27,51
Porecatu	14.189	11.442	80,64	2.747	19,36
Primeiro de Maio	10.832	10.083	93,09	749	6,91
Rolândia	57.862	54.749	94,62	3.113	5,38
Sabáudia	6.096	5.097	83,61	999	16,39
Sertanópolis	15.638	13.711	87,68	1.927	12,32
Tamarana	12.262	5.858	47,77	6.404	52,23

Retirado de IPARDES, 2012.Org: Larini, M. M.

A análise da Tabela 2 mostra que a maioria dos municípios que compreendem a RML possui acima de 80% de sua população residente na área urbana. Somente Alvorada do Sul- PR, Pitangueiras - PR e Tamarana - PR apresentam relação inferior à indicada. Um fato que se destaca entre estes municípios é que a população da cidade de Tamarana - PR apresenta-se em maior quantidade residente em áreas rurais.

A fim de se avaliar as dinâmicas demográficas rural e urbana, foram construídos os gráficos das Figuras 7 e Figura 8, baseadas nos últimos censos (1980, 1991, 2000 e 2010) (IPARDES, 2013). Destaca-se que as populações da região metropolitana apresentadas nas figuras estão excluídas aquelas do município de Londrina - PR.

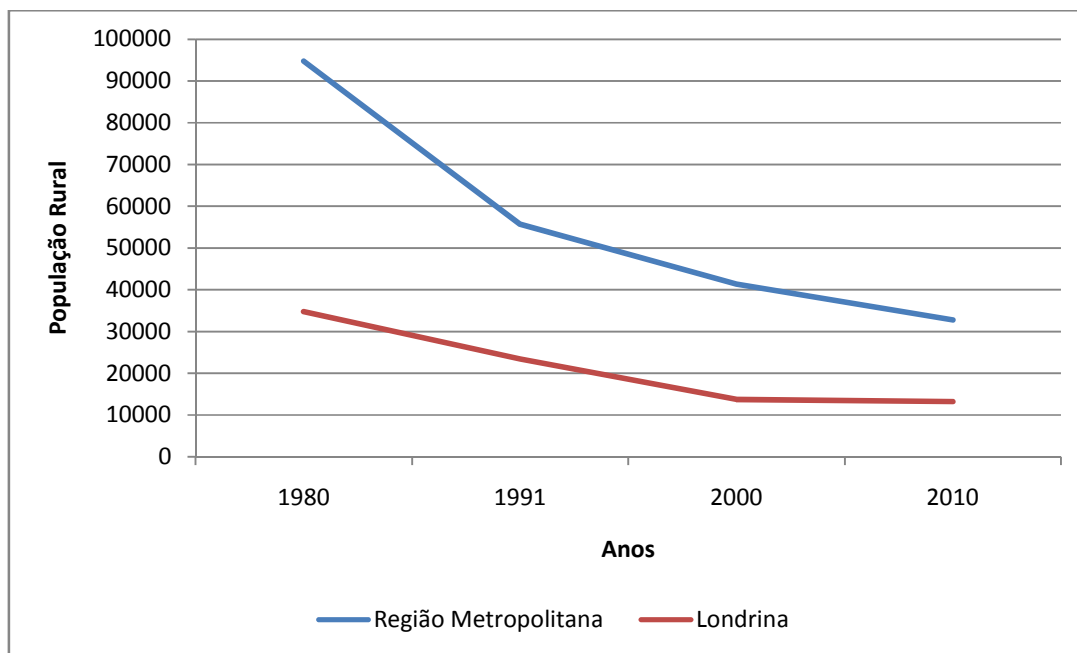


Figura 7 - Evolução da população rural na Região Metropolitana e no município de Londrina - PR, entre os anos 1980, 1991, 2000 e 2010.

A Figura 7 mostra a contínua diminuição da população rural no período amostrado. Em 1980, a população rural total da região metropolitana era de 94.749 habitantes e, no ano 2010, esta população declinou para 32.737, uma queda que representou diminuição no total absoluto de 62.012 pessoas, em 30 anos. Para o município de Londrina - PR, a evolução da população rural, durante o período representado, comportou-se de modo diferenciado, mostrando contínuo declínio até o ano de 2000 e, a partir daí, houve uma constância no número de habitantes até o ano 2010. A população, que contava com 34.765 habitantes, no de 1980, passou a 13.181 pessoas, indicando uma queda de 21.584 pessoas entre os anos amostrados.

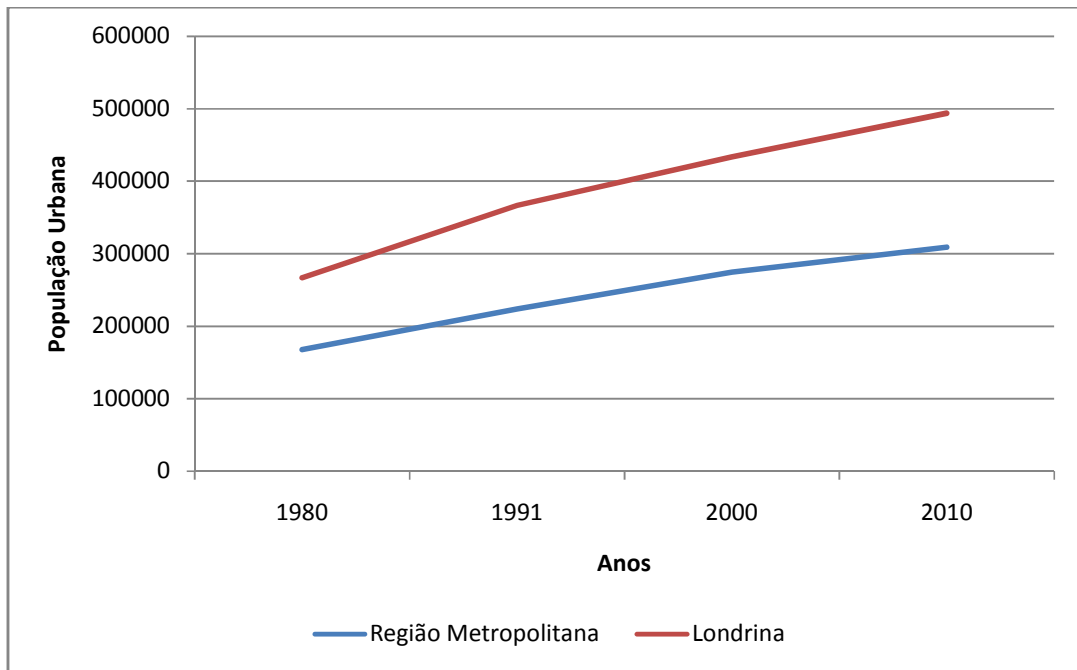


Figura 8 - Evolução da população urbana na Região Metropolitana e no município de Londrina - PR, entre os anos 1980, 1990, 2000 e 2010.

A Figura 8 revela que, tanto para a soma da população urbana dos municípios inseridos na RML quanto para o município de Londrina - PR, houve a ascensão no número total dos habitantes para o período amostrado. Ao final de 2010, essa ascensão significou, em números absolutos, um incremento de 141.297 de pessoas que passaram a viver em zonas urbanas em toda a região metropolitana, constituindo um acréscimo de 84,3% no número total de habitantes, ao se comparar ao Censo Demográfico de 1980, perfazendo, no final do período amostrado, um total populacional de 308.925.

Já para o município de Londrina - PR, o crescimento foi praticamente o mesmo, em termos percentuais, de 84,9%, ou um acréscimo de 226.589 pessoas que passaram a viver em áreas urbanas, ou seja, um total de 493.520 habitantes em 2010, contra 266.931 habitantes que viviam em 1980. Esses números explicam, em parte, a tendência de maior declínio nos números populacionais das áreas rurais de localidades inseridas na RML, significando uma maior migração do campo para as cidades ao longo dos últimos três períodos intercensitários.

A partir dos dados do IBGE retirados do IPARDES, para o ano 2010, construiu-se um mapa temático com a distribuição espacial do percentual das taxas de urbanização nos municípios da área de estudo (Figura 9). A concentração urbana influencia diretamente no tipo de uso que se dá aos recursos hídricos, de modo que altas taxas de urbanização pressionam o estado a investir em políticas de infraestrutura urbana e, em grande parte, no sistema de abastecimento público de água.

A Figura 9 enfatiza o que foi mostrado na Tabela 2, ou seja, a população da maioria dos municípios está inserida na área urbana, com isolados municípios apresentando população distribuída mais uniformemente entre a área urbana e rural.

Os municípios mais urbanizados são Londrina - PR, Cambé - PR e Ibiporã - PR. Tal fato comprova o fato de que Cambé - PR é um dos municípios da RML onde há grande proporção de residentes na zona urbana devido à concentração industrial, sendo que a cidade é colocada como segundo município da região em termos número de habitantes no núcleo urbano (PIRES, 2006).

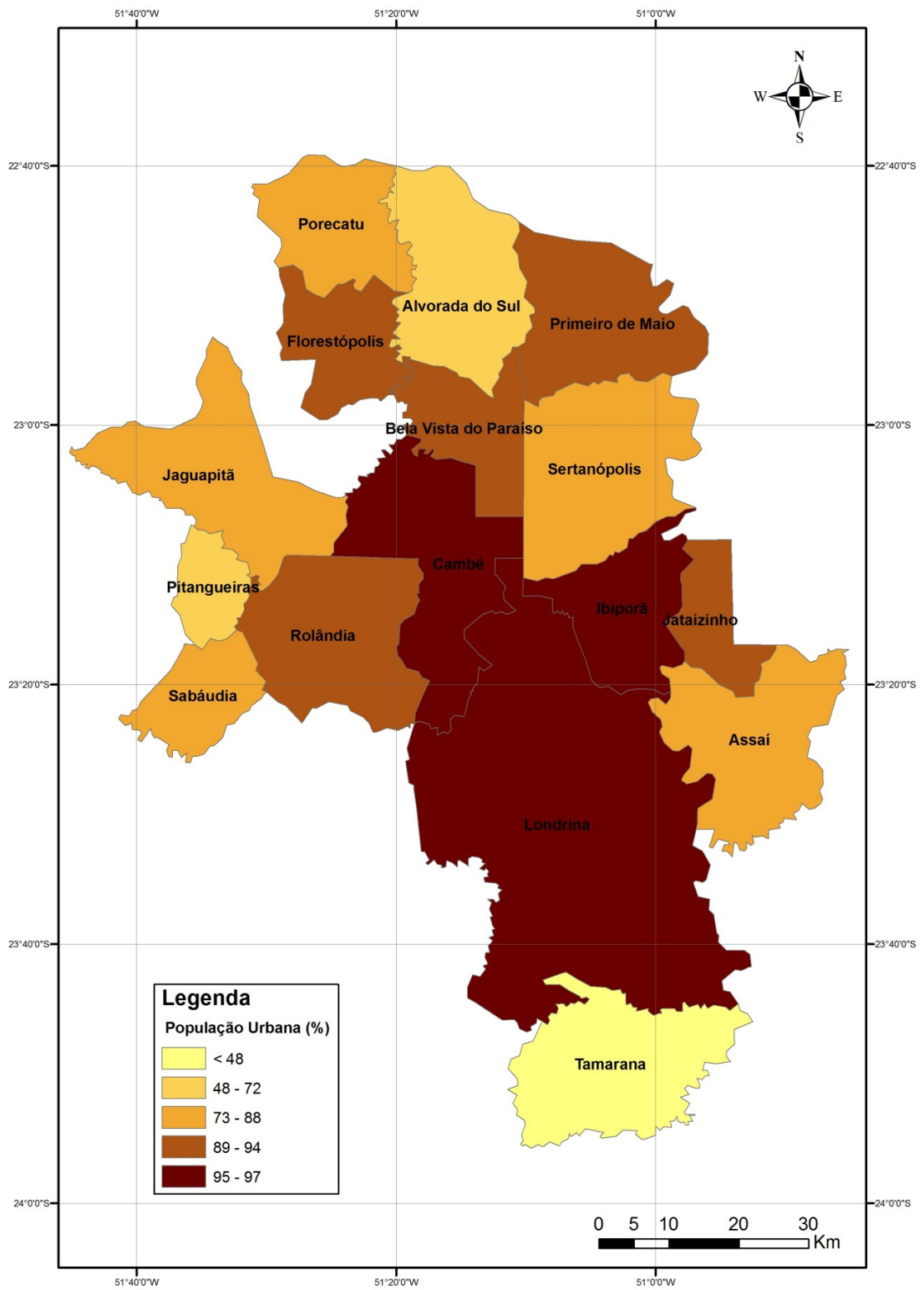


Figura 9 - Taxa de urbanização nos municípios inseridos na RML. Dados retirados de IPARDES (2013).

6.1.3 Análise Econômica da RML

Neste subitem é destacada a evolução dos resultados do Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* (em reais R\$) dos municípios da RML, nos anos de 2002, 2005 e 2010, tendo como base os dados divulgados pelo IBGE, e extraídos do IPARDES (2013). O gráfico da Figura 10 indica tal evolução.

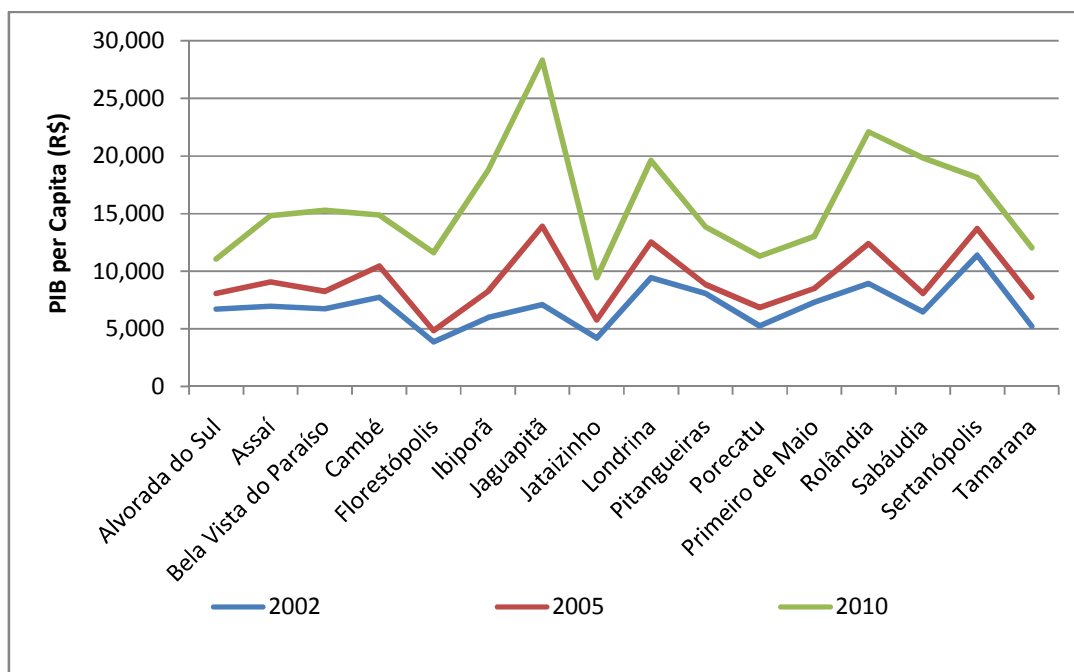


Figura 10 - Evolução do PIB *per capita* (R\$) entre os anos de 2002, 2005 e 2010, por município.

Por meio da Figura 10, percebe-se que em todos os municípios da RML houve um incremento no PIB *per capita*, sendo que os que mais se destacaram foram Jaguapitã - PR, Londrina - PR, Rolândia - PR e Sertãoópolis - PR, que obtiveram um grande acréscimo de tal valor entre 2002 e 2010.

A partir de dados do Perfil da Região Metropolitana de Londrina - PR (2012, ano base 2011), construiu-se o gráfico representado na Figura 11, a qual indica a soma do PIB a preços correntes dos municípios que compreendem a RML, exceto a cidade de

Londrina - PR, e o comparativo com os dados referentes somente a Londrina - PR, nos anos de 2006 a 2010.

Percebe-se que o município de Londrina - PR apresenta valores de PIB a preços correntes superiores à soma do PIB dos outros 15 municípios que compreendem a RML, em todos os anos avaliados.

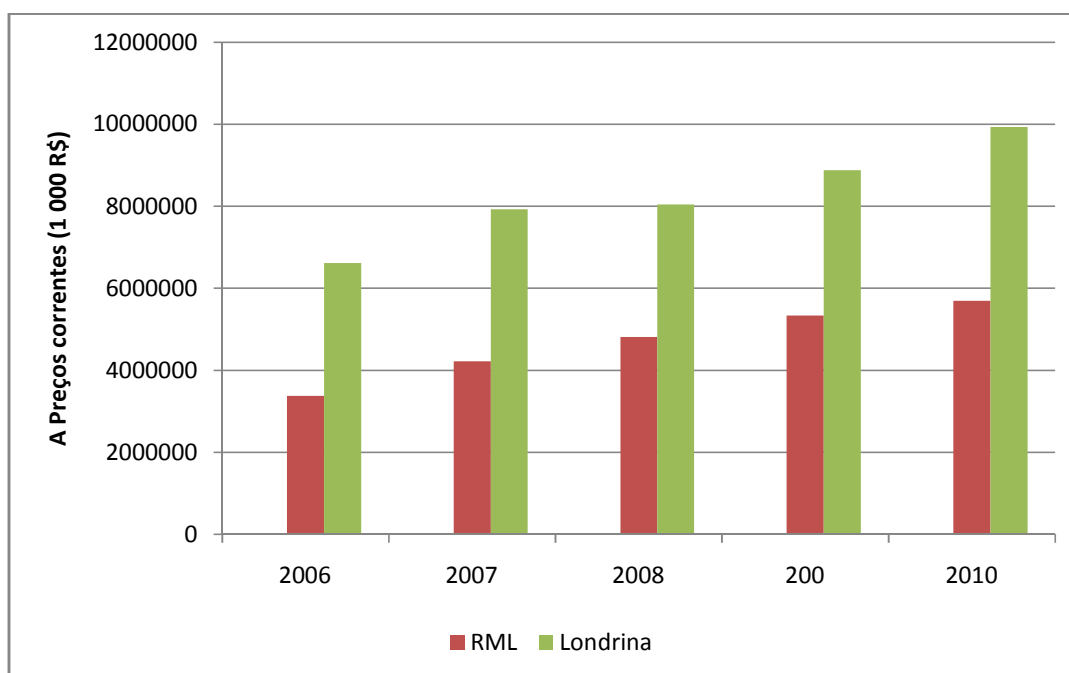


Figura 11 - Produto Interno Bruto (PIB) a preços correntes da RML (exceto Londrina - PR) e Londrina - PR, referentes aos anos de 2006, 2007, 2008, 2009 e 2010.

A Figura 11 indica que há um crescimento na soma do PIB dos municípios analisados, bem como no município de Londrina - PR. Porém, nota-se que, entre os anos de 2007 e 2008 houve um crescimento pouco significativo para a cidade de Londrina - PR.

A Tabela 3, retirada do Perfil da Região Metropolitana de Londrina - PR - 2012 (PEREZ, 2012), indica o valor adicionado bruto a preços básicos que compõem o cálculo do PIB nos municípios que compreendem a RML, segundo serviços econômicos. Estes são: Agropecuária, Indústria e Serviços.

Tabela 3 - Valor Adicionado Bruto a Preços Básicos, segundo Setores Econômicos, nos Municípios da RML – 2010

Municípios (PR)	Valor adicionado bruto a preços básicos (R\$ 1.000,00)			
	Agropecuária	Indústria	Serviços	Total
Alvorada do Sul	31.606	7.303	69.129	108.038
Assaí	41.737	47.373	134.169	223.279
Bela Vista do Paraíso	24.906	19.585	166.081	210.573
Cambé	61.817	408.867	827.048	1.297.732
Florestópolis	25.641	38.891	58.953	123.485
Ibiporã	28.824	183.019	584.968	796.811
Jaguapitã	41.760	162.075	113.225	317.060
Jataizinho	12.351	26.702	64572	103.626
Londrina	134.787	1.677.508	6.462.315	8.274.610
Pitangueiras	17.494	2.464	17.536	37.494
Porecatu	16.334	30.965	103.743	151.042
Primeiro de Maio	32.992	10.242	89.455	132.688
Rolândia	51.595	492.602	612.425	1.156.621
Sabáudia	19.505	20.048	67.651	10.7204
Sertãoópolis	36.808	56.294	165.969	259.072
Tamarana	48.624	18.876	70.373	137.873

Fonte: PEREZ, 2012

A Figura 12 apresenta a porcentagem de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços, em relação ao total, nos municípios que compõem a RML, referente ao ano de 2011. Nota-se que em grande parte dos municípios a maior parte das atividades econômicas está voltada ao comércio. Em segundo lugar, tem-se os serviços, e, por último, as indústrias. Os municípios de Cambé - PR e Sabáudia - PR se destacam por apresentarem quantidades mais significativas de atividades industriais, se comparadas ao total de atividades.

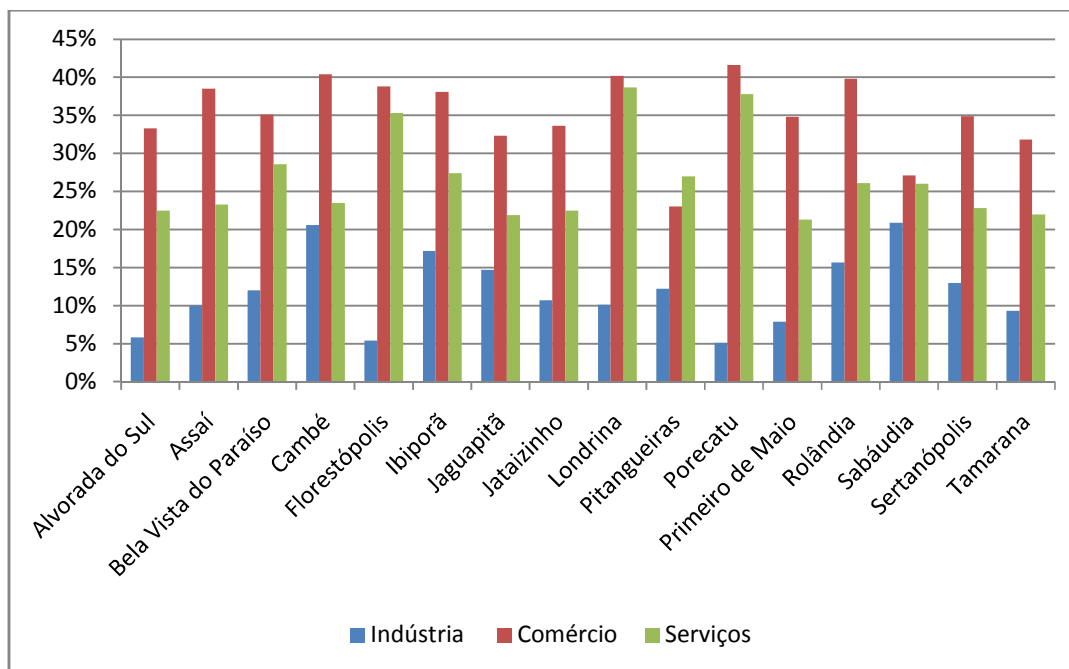


Figura 12 - Distribuição percentual das atividades econômicas presentes na área de estudo, no ano de 2011. Retirado de IPARDES, 2012

Os gráficos da Figura 13 mostram a evolução do número de estabelecimentos presentes na RML, e em Londrina - PR, respectivamente, nos anos de 2007, 2009 e 2011. Vale ressaltar que os dados da RML estão sem a presença do município de Londrina - PR.

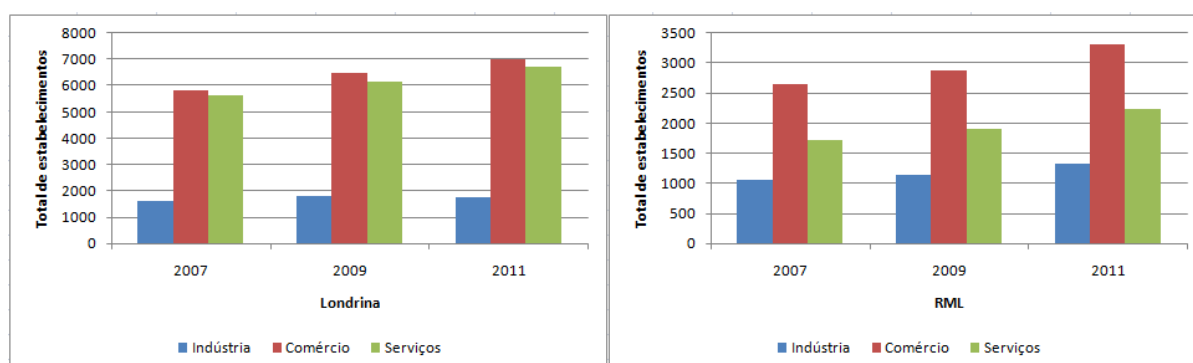


Figura 13 - Evolução do total de estabelecimentos econômicos na RML (exceto Londrina - PR) e somente no município de Londrina - PR, nos anos de 2007, 2009 e 2011.

Percebe-se que o município de Londrina - PR detém a maior parte dos estabelecimentos econômicos da RML, durante todo o período analisado.

A Figura 14 permite melhor compreender a realidade econômica da área de estudo, correspondente ao ano de 2010, mostrando a distribuição espacial, por município, da soma total do PIB para este último ano de levantamento.

Sem dúvida, os fatores econômicos têm influência direta sobre alguns dos aspectos sociais mais relevantes, como nas concentrações populacionais e nas taxas de urbanização, e, conseqüentemente, na maior demanda por recursos hídricos. O mapa da Figura 14 comprova, em grande parte que o PIB é um fator determinante de atração populacional, já que as classes mais elevadas de soma total do PIB coincidem, na maioria dos casos, com os mesmos municípios que possuem elevados números populacionais, conforme pode ser visto na Figura 6.

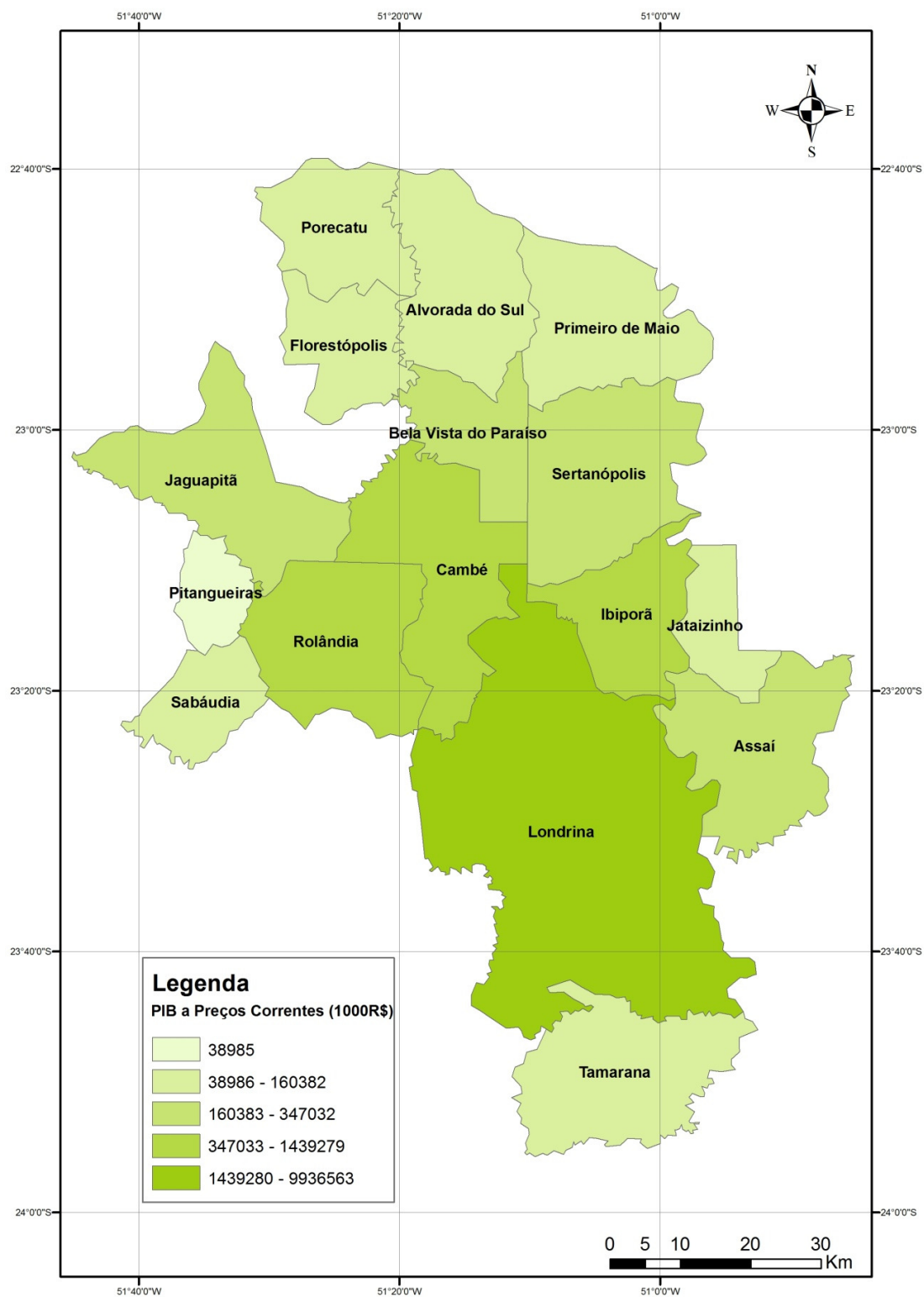


Figura 14 - Distribuição do PIB a Preços Correntes (1000 R\$) por municípios inseridos na área de estudo. Dados retirados do IPARDES (2013).

6.2 BANCO DE DADOS DE POÇOS E ANÁLISE DE USO DA ÁGUA

A seguir será apresentado o mapeamento dos poços cadastrados e um panorama analítico e estimado dos volumes extraídos de águas subterrâneas na área de estudo, segundo dados do SIAGAS, bem como avaliação sobre a captação das águas superficiais e subterrâneas a partir de informações concedidas pelas concessionárias responsáveis pelo abastecimento do setor público municipal da RML.

Para o gerenciamento dos recursos hídricos é necessário a existência de um banco de dados confiável. Nesse sentido, a principal barreira para o desenvolvimento do conhecimento hidrogeológico e gestão dos recursos hídricos é a ausência de um banco de dados completo, que seja constantemente atualizado e que esteja disponível ao público.

O estudo do uso atual das águas subterrâneas foi baseado nos dados de poços tubulares profundos cadastrados nos municípios que compreendem a RML. O banco de dados da pesquisa foi composto por meio de consulta aos cadastros de poços tubulares profundos pertencentes ao SGB - CPRM, de modo que, em tal compilação foram cadastrados 631 poços tubulares profundos perfurados na área compreendida pela RML para os mais diversos tipos de usos da água, os quais podem ser visualizados na Figura 15.

Como esperado, a maior concentração dos poços se dá no município de Londrina - PR, mais precisamente na Região Norte (onde se encontra a maior parte da malha urbana do município). Verificando a relação número de poços por km², nota-se que Londrina - PR apresenta o maior quociente, com aproximadamente 0,188 poços/km², seguida de Rolândia - PR e Cambé - PR, respectivamente com 0,00015 e 0,00012 poços/km².

Alievi (2012), em seu estudo intitulado “inventário das áreas de concentração de poços tubulares na zona urbana de Londrina - PR e implicações ambientais”, identificou as áreas com as maiores concentrações de poços, dentre elas a área de maior verticalização, onde os poços são utilizados por condomínios prediais verticalizados situados na área central de Londrina - PR, mais especificamente num sentido N-S ao

longo da Avenida Higienópolis, em uma área delimitada ao Norte pela Avenida Leste-Oeste e ao Sul-Oeste pela avenida Juscelino Kubitschek, caracterizada por uma concentração de prédios comerciais e, principalmente, residenciais.

Outra área identificada pelo autor é aquela em que há elevada atividade industrial no município. Ele encontrou elevada quantidade de poços desde áreas que abastecem indústrias de bebidas até fábricas de vestuário, bem como indústria alimentícia, entre outras.

Por fim, o autor ainda sinalizou outra área com intensa concentração de poços tubulares, esta situada nas áreas periféricas da cidade, com grande quantidade de condomínios horizontais, mais precisamente na zona da malha urbana de Londrina – PR.

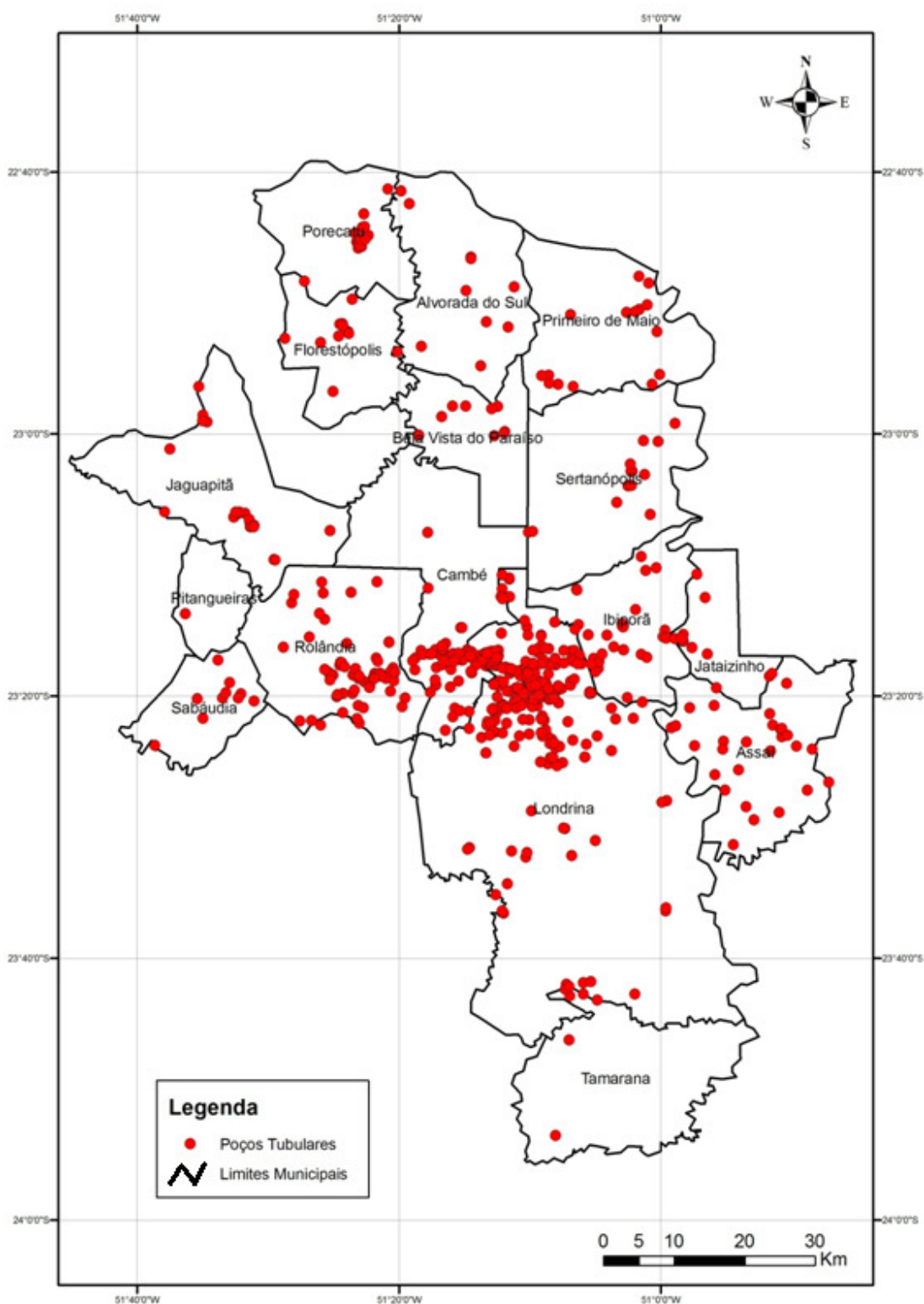


Figura 15 - Mapa de Localização dos poços cadastrados na área de estudo.

Com base nos dados levantados, foi gerado um gráfico (Figura 16) indicando a quantidade de poços perfurados em cada município compreendido na área de estudo, do qual comprova-se, mais uma vez, que o município de Londrina - PR abrange a grande maioria dos poços perfurados na RML, contando com quase 50% do total de poços cadastrados.

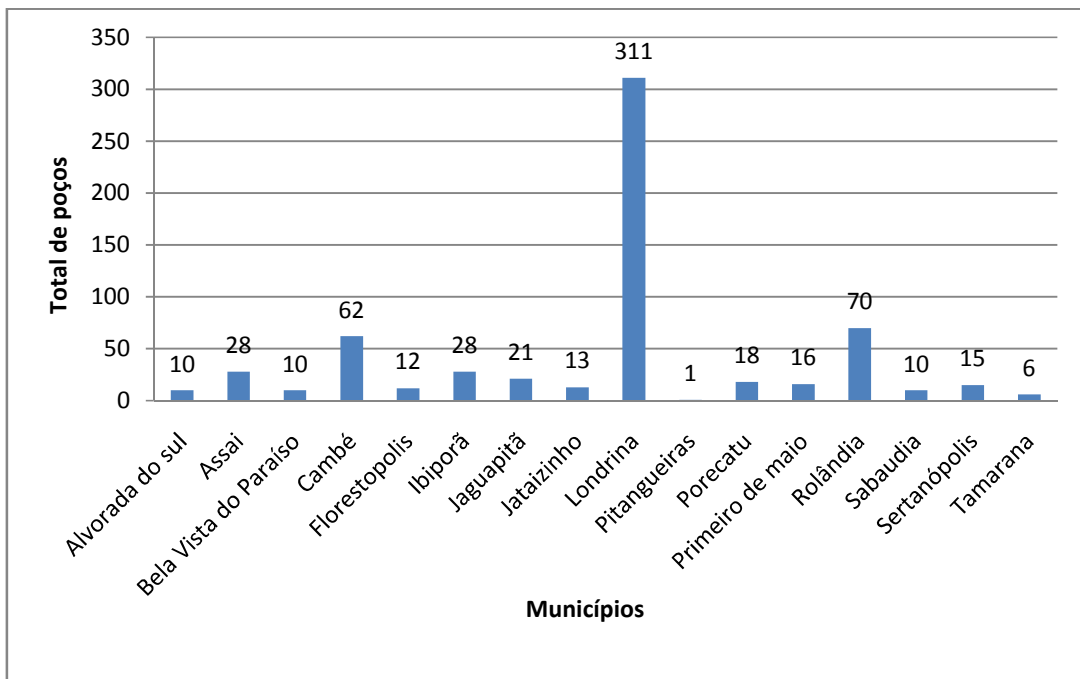


Figura 16 - Quantidade de poços cadastrados em cada município pertencente à RML.

A Figura 17 indica a porcentagem de poços perfurados em cada município, em relação ao total de poços cadastrados. Após Londrina - PR, os municípios que apresentam maior quantidade de poços perfurados são Rolândia - PR, Cambé - PR, Assaí - PR e Ibiporã - PR, respectivamente. Porém, em quantidades bastante inferiores à verificada no município de Londrina - PR.

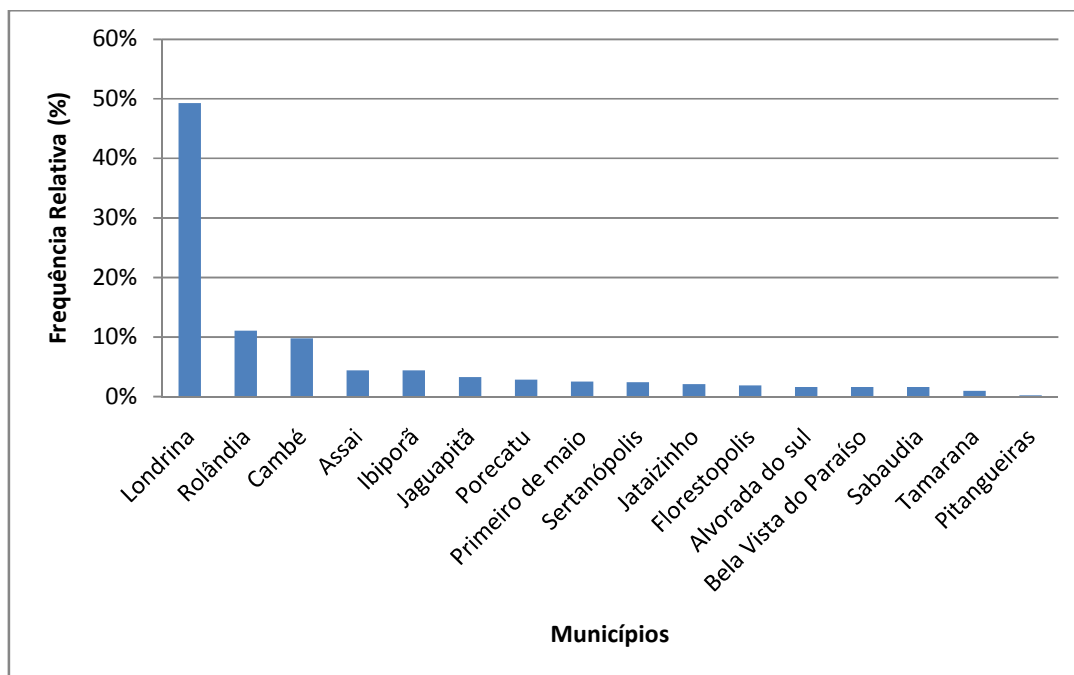


Figura 17 - Frequência relativa do total de poços cadastrados, por município.

6.2.1 Evolução da Perfuração de Poços da RML

Com base nos dados cadastrais levantados através do SIAGAS para a área de estudo, verificou-se que a data de perfuração do poço mais antigo remonta à década de 50, mais precisamente ao ano de 1951. Porém, vale destacar que, nas décadas de 50 e de 60, foram perfurados apenas um poço, ambos no município de Porecatu - PR. A Figura 18 mostra a quantidade de poços que apresentam data de perfuração em função da década em que foram perfurados. Nota-se que houve um aumento do número de poços perfurados ao longo do período amostrado, bem como o número de poços perfurados durante as décadas de 50 e 60 e de 90 e 2000 estão bastante próximos.

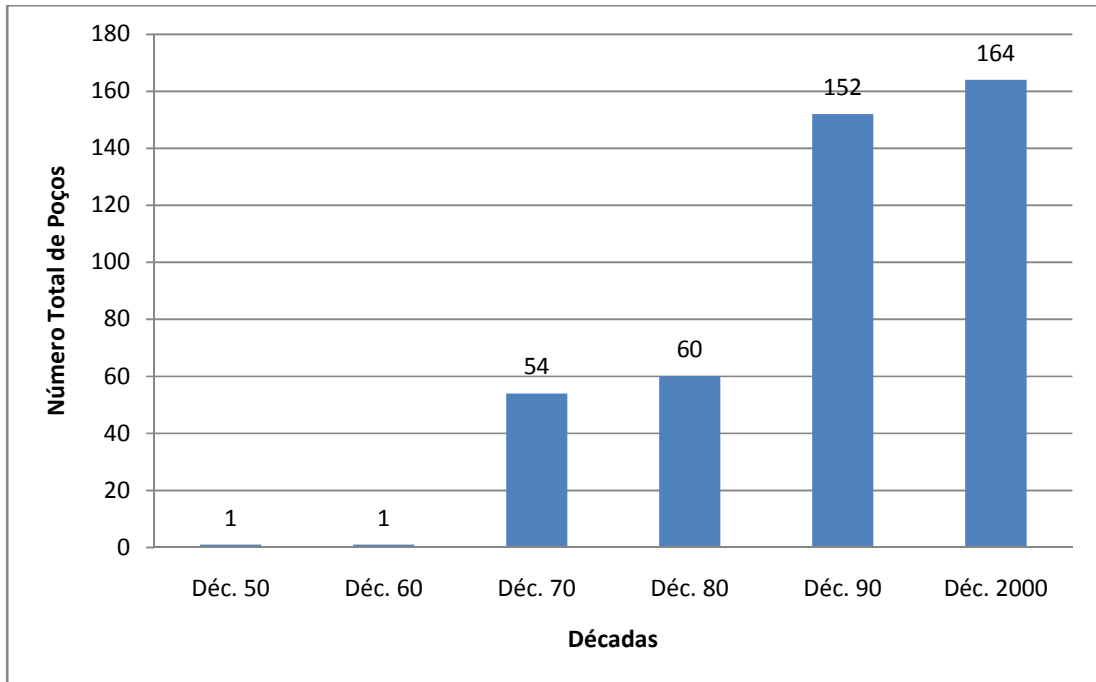


Figura 18 - Número de poços cadastrados na RML em função da década de perfuração.

Considerando que o banco de dados oficial esteja desatualizado (o poço com data de coleta de análises mais atual data do dia 02 de março de 2009 – vale ressaltar que existe somente um poço com data de perfuração em referência ao ano de 2009, os restantes são referentes ao ano de 2008), aliado ao fato de que, dos 631 poços cadastrados, 432 (68,5% do total cadastrado) informam a data de perfuração, é possível prever que a evolução na perfuração dos poços não tenha ocorrido de maneira tão fiel da apresentada acima, embora, a partir dos números apresentados, seja possível considerar uma boa relação do universo amostral.

Destaca-se ainda, o fato de que a data de perfuração utilizada em 132 dos 432 poços foi à data de coleta das análises químicas, considerando que na fase de obtenção da outorga do poço, é necessário que haja os resultados de tais análises, e, sendo assim, a data de coleta coincide ou é bastante próxima à data de perfuração. Com base nisso, foi gerado o gráfico que apresenta a porcentagem de poços perfurados nas referidas décadas, em relação ao total de poços com o informativo da data de perfuração, e, em seguida, o gráfico que apresenta a frequência acumulada do total de poços cadastrados com data de perfuração, ao longo do tempo (Figura 19).

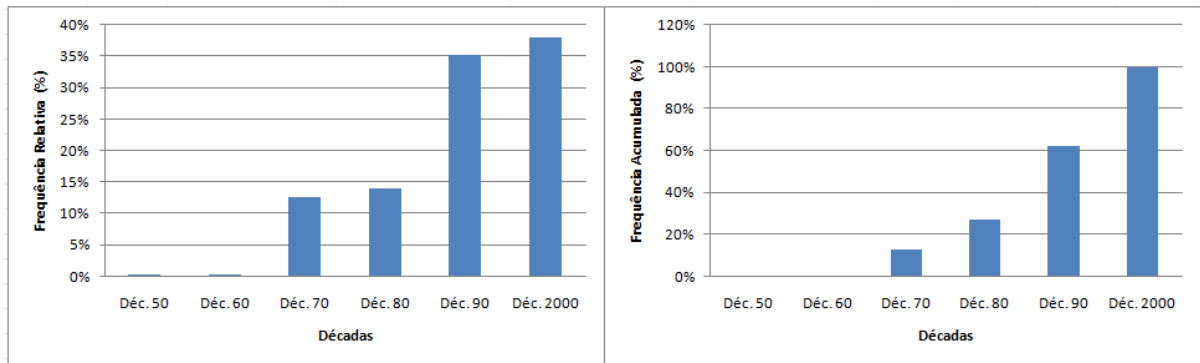


Figura 19 - Frequência relativa e acumulada do total de poços que apresentam data de perfuração, ao longo das décadas.

Também, segundo a evolução das perfurações, é possível traçar um perfil histórico de distribuição espacial dos poços tubulares profundos ao longo das últimas décadas na área de estudo. Para tanto, foram elaborados mapas com as fases de perfuração, desde a década de 1970 até 2000 (Figura 20 e 21). Não foram construídos mapas para as décadas de 1950 e 1960, pois, como já citado acima, em ambas as décadas foram perfurados apenas 1 poço.

A partir dos mapas, percebe-se que durante as décadas de 1970 e 1980 a maior parte dos poços perfurados estava concentrada nos municípios de Londrina - PR e Cambé - PR. Já, nas décadas de 1990 e 2000 a quantidade de poços perfurados praticamente triplicou em relação às décadas anteriores. Quanto à localização, nota-se que em tais décadas houve um grande número de poços perfurados no município de Rolândia - PR, e no município de Londrina - PR os poços continuaram sendo instalados, em sua maior parte, na região norte do município, devido à malha urbana estar distribuída nessa zona.

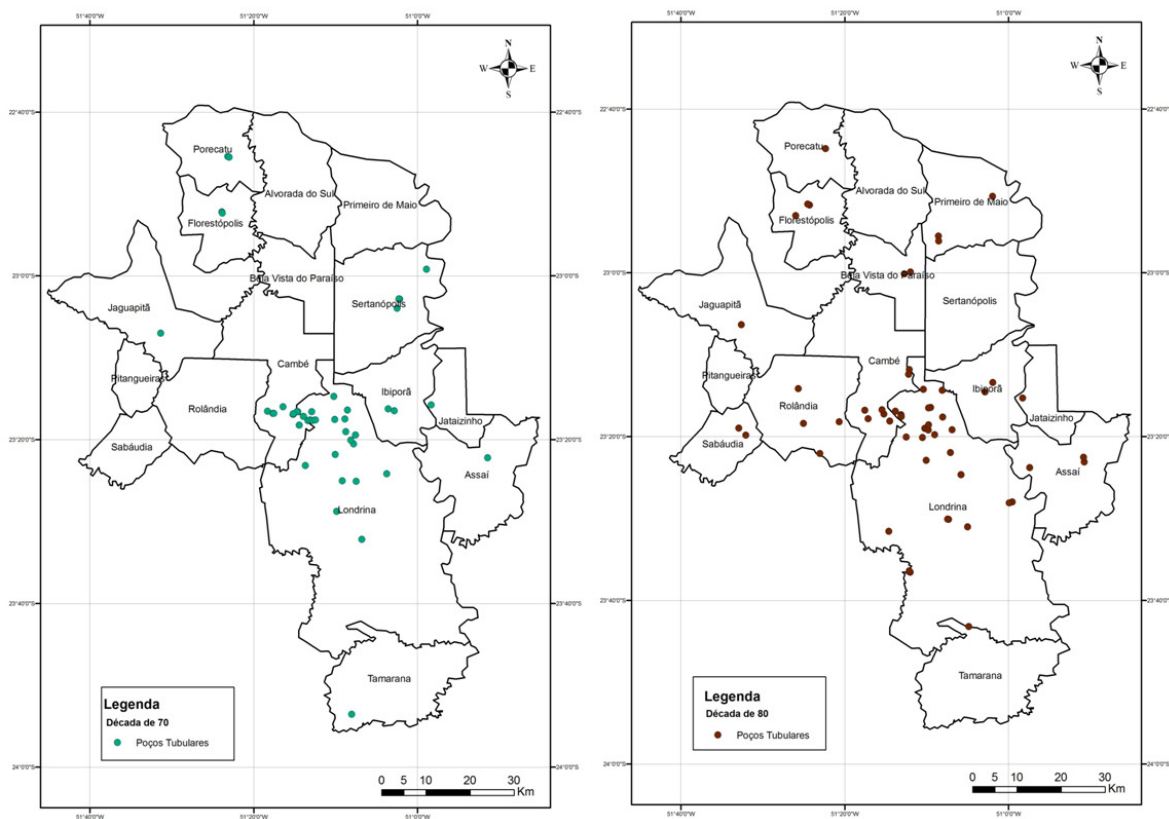


Figura 20 - Evolução das perfurações na área de estudo nas décadas de 1970 e 1980.

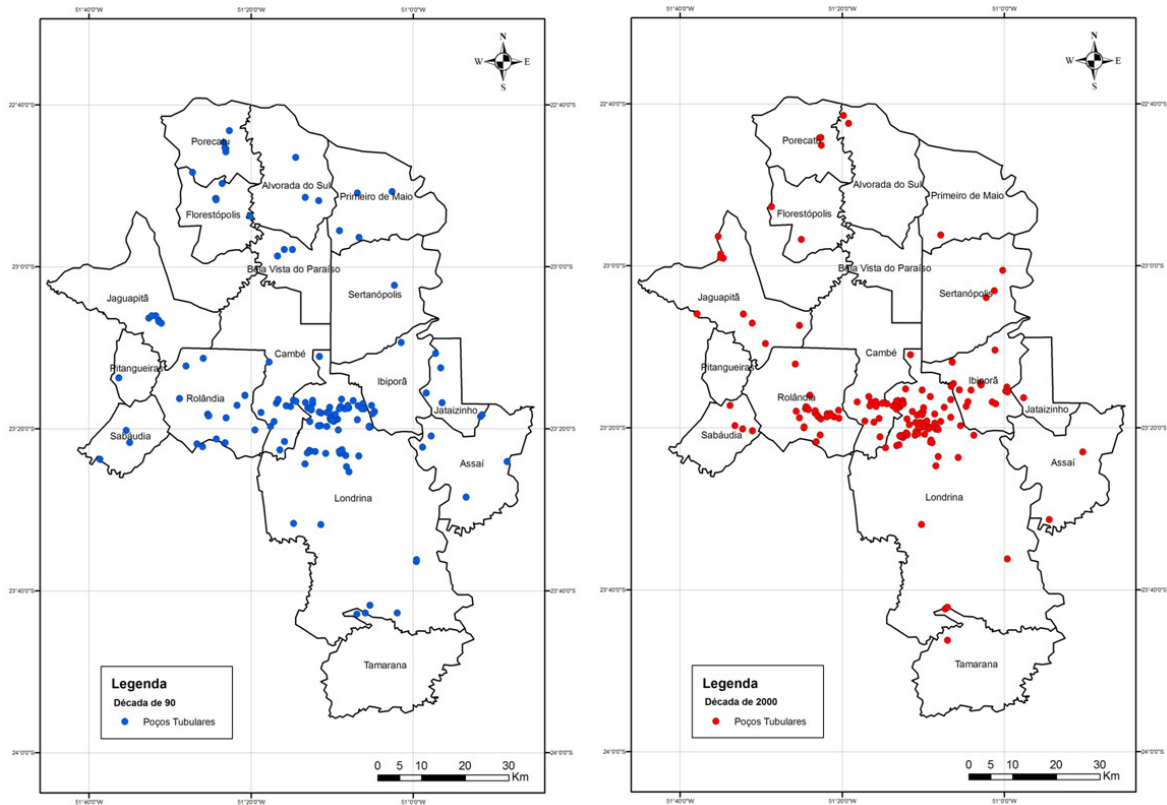


Figura 21 - Evolução das perfurações na área de estudo nas décadas de 1990 2000.

6.2.2 Análise de uso e exploração das águas na RML

No que se refere à tipologia do uso das águas, os poços foram classificados no presente trabalho de forma idêntica à encontrada no SIAGAS: Abastecimento industrial, múltiplo, urbano e outros (lazer, etc.). O cálculo volumétrico foi obtido segundo as vazões horárias informadas nos cadastrados consultados. Para a estimativa diária, foi considerado um período médio de operação do poço, de 16 horas, - baseado no período considerado por Santos (2009) em estimativa volumétrica dos poços envolvidos em seu projeto - o qual foi multiplicado pela soma total da vazão de cada tipo de uso. Para as estimativas mensal e anual procedeu-se de maneira semelhante.

Importante salientar que existe a possibilidade de os valores de vazão apresentar deficiências quanto à representatividade estatística dos poços utilizados, pela maneira

como foram calculados. A vazão informada muitas vezes não representa aquela que é, de fato, utilizada, e o banco de dados apresenta-se deficiente, sendo que, dos 631 poços cadastrados, 262 não apresentam valor de exploração.

Porém, o universo amostral dos poços cadastrados é o que melhor representa as informações atualmente disponíveis, e, embora haja problemas de consistência e integração de informações dos bancos de dados, estas estimativas são as que melhor representam a realidade atual de exploração na RML.

Nos itens abaixo, constam os gráficos indicando a quantidade de poços encontrados em cada município, bem como gráficos que representam a evolução das perfurações dos poços, segundo os tipos de usos identificados durante o levantamento. Porém, é importante destacar que, em muitos dos municípios apresentados na avaliação, existe a possibilidade de a quantidade de poços destinados a tais fins ser maior que a registrada, ou muitos deles apresentarem certos tipos de uso os quais não foram cadastrados, já que, dos 631 poços levantados, 448 não apresentam indicativo de tipo de uso. Desta maneira, durante as análises de frequência, os tipos de usos foram comparados uns aos outros com base no total de poços que apresentam informações quanto ao tipo de uso.

6.2.2.1 Abastecimento Industrial

A categoria abastecimento industrial está relacionada às atividades que utilizam água subterrânea em seu sistema de produção.

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico (2008/2009), os primeiros centros industriais foram implantados na década de 1970 no município de Londrina - PR. Nesta mesma época, aconteceu a ampliação na prestação de serviços como educação, sistema de abastecimento de água, coleta de esgoto, pavimentação, energia elétrica, comunicação, assim como a criação do Parque Arthur Thomas, a construção da nova Catedral e do Ginásio de Esporte Moringão, entre outras obras.

Diante destas constatações, fica clara a disposição dos poços tubulares destinados ao uso industrial na RML, apresentada na Figura 22 (com grande concentração no município de Londrina - PR), bem como o porquê de a quantidade de poços instalados na área de estudo ter aumentado após a década de 1970.

Para o uso industrial, foram encontrados 49 poços tubulares, estando os mesmos presentes em 8 dos 16 municípios que compreendem a RML.

Mesmo apresentando número menor de poços, a Figura 22 assemelha-se ao mapa de perfuração dos poços referente à década de 1970 (Figura 20). Este fato ocorre devido à distribuição geográfica das perfurações que se encontram nas mesmas áreas e principais cidades.

No cálculo da vazão anual das águas para o uso industrial, encontrou-se que o conjunto destes poços exploram a vazão total estimada de $6,1 \times 10^6$ m³/ano, com vazão média de 31,2 m³/h e máximo de 125 m³/h e mínimo de 1 m³/h.

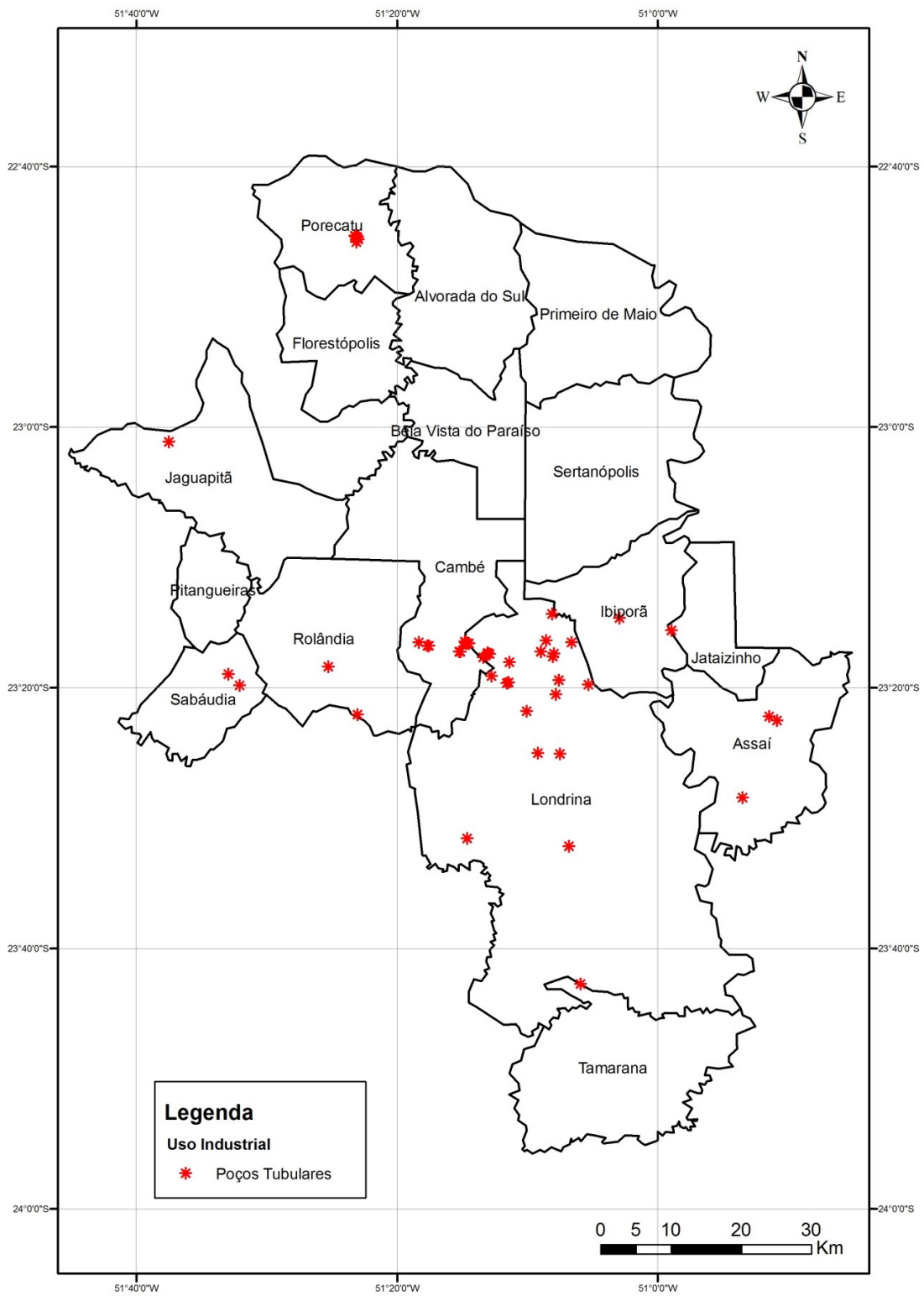


Figura 22 - Distribuição espacial dos poços para o uso industrial na área de estudo.

Visando identificar os municípios que apresentam poços destinados ao uso industrial, foi gerado o gráfico mostrado na Figura 23, o qual apresenta a quantidade de poços utilizados para fins industriais em cada município onde são encontrados. Percebe-se que Londrina - PR, possivelmente por apresentar maior quantidade de poços cadastrados, apresenta também a maior quantidade (mais da metade do total) de poços destinados ao abastecimento industrial.

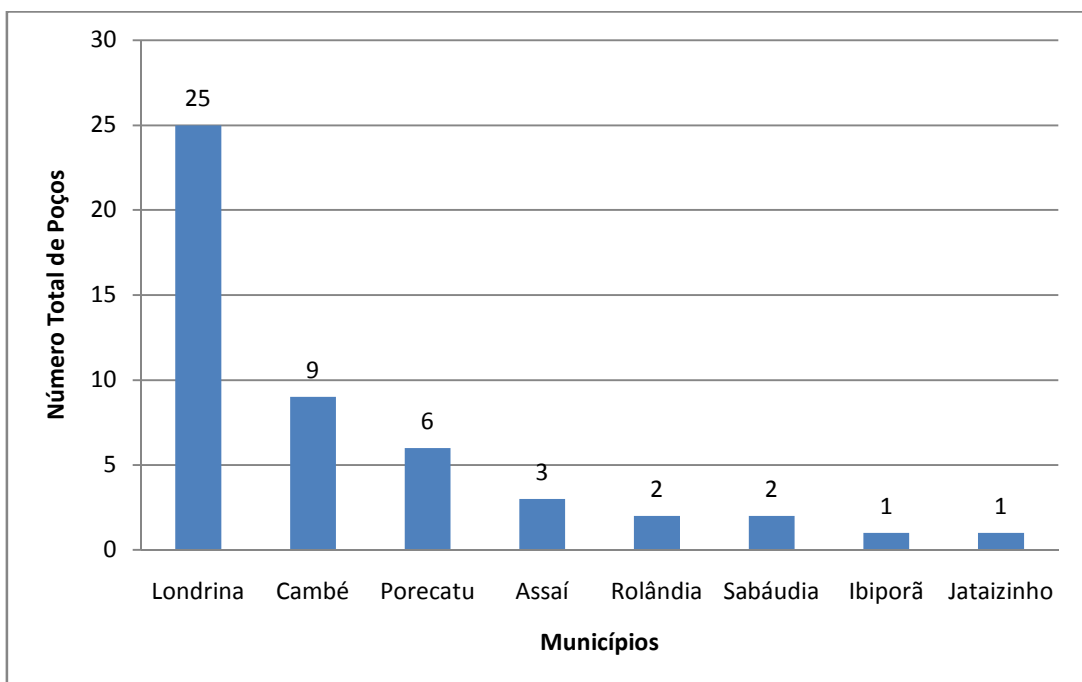


Figura 23 - Quantidade de poços para uso industrial, por município.

A evolução das perfurações dos poços destinados ao abastecimento industrial pode ser visualizada na Figura 24, onde é evidenciada a quantidade de poços perfurados ao longo das décadas. Percebe-se que as décadas cujos números de poços perfurados se apresentaram mais elevados foram as de 1970 e 1990, enquanto a década de 2000 apresentou uma diminuição deste número. Um dos possíveis motivos por tal decaimento é a desatualização do SIAGAS.

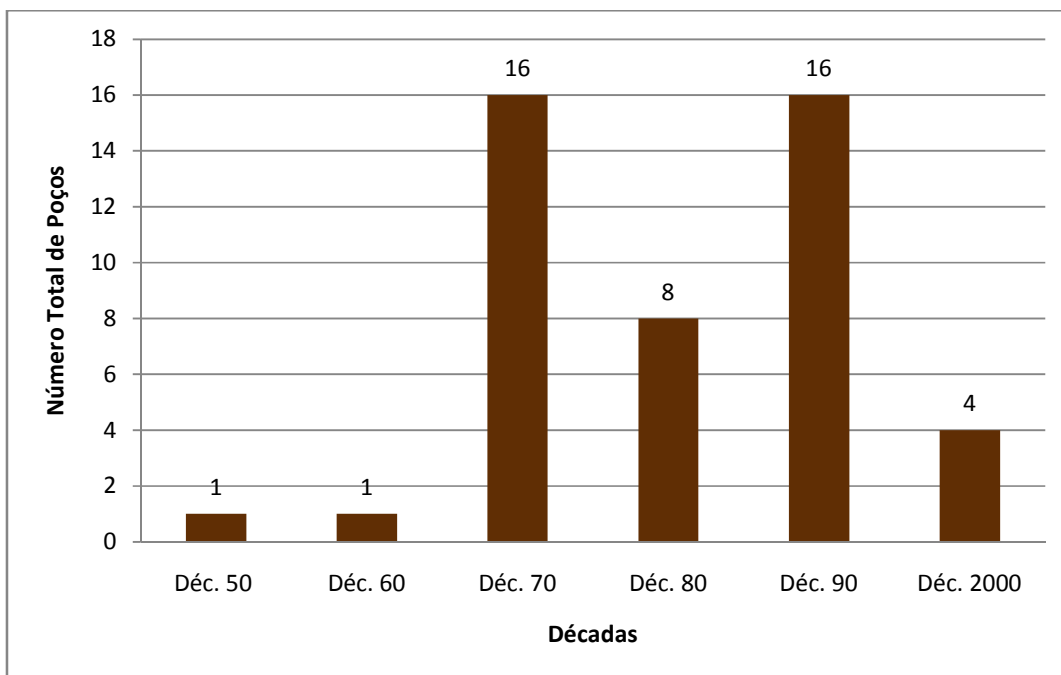


Figura 24 - Evolução das perfurações para o abastecimento industrial, separada por décadas, na região de estudo.

Vale frisar que, dentre os 49 poços associados ao uso industrial, 3 não apresentam data de perfuração, razão pela qual estão identificados 46 poços no gráfico acima.

6.2.2.2 Abastecimento Urbano

Considerando que o abastecimento urbano seja toda a água subterrânea captada para o consumo humano de núcleos urbanos atendidos pelas distribuidoras públicas e/ou privadas de serviço de água.

Dentre os poços tubulares profundos cadastrados, 92 são utilizados para abastecimento urbano e sua distribuição espacial na área de estudo é apresentada na Figura 25.

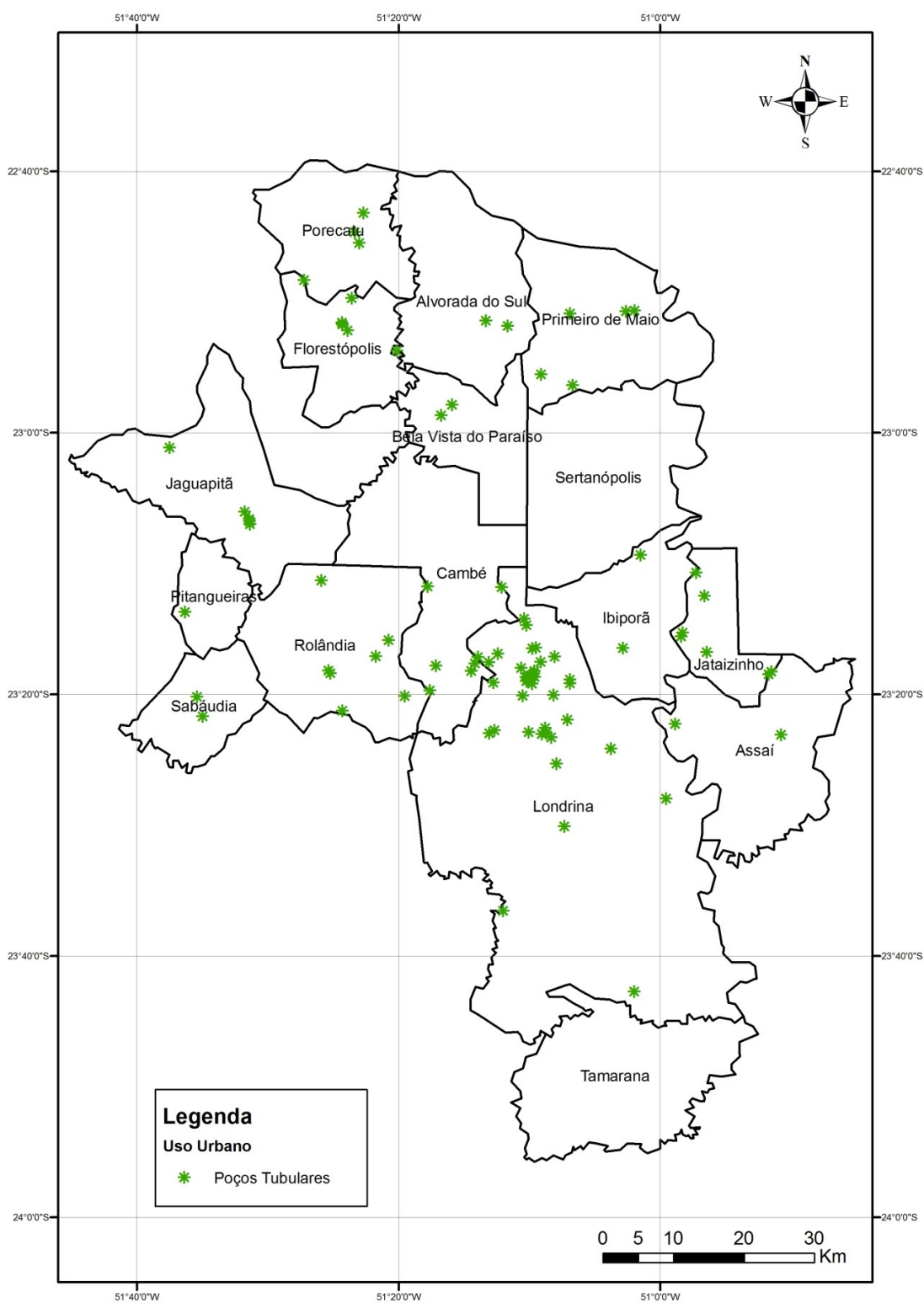


Figura 25 - Distribuição espacial dos poços para o uso público na área de estudo.

Vale destacar que, dentre os tipos de uso encontrados, o destinado ao abastecimento urbano é o que apresenta maior número de poços tubulares.

Os dados cadastrais indicam que a vazão dos poços para o abastecimento urbano opera em extração média de 26,1 m³/h, com valor máximo de 178 m³/h e mínimo de 2 m³/h; o volume total estimado é de 1,1x10⁷ m³/ano.

Comparando-se a localização geográfica dos poços destinados ao abastecimento urbano com aqueles destinados ao uso industrial, nota-se que esta ocorre de forma diferenciada. No caso do abastecimento industrial, a maior parte dos poços está concentrada no município de Londrina - PR, com isolados poços instalados nos municípios restantes (muitos dos quais sem nenhum poço perfurado). Já, no abastecimento urbano, os poços foram instalados de maneira mais difusa entre os municípios compreendidos pela RML, e em maior quantidade.

A evolução das perfurações dos poços destinados ao abastecimento urbano é apresentada na Figura 26. Em um destes poços não há a indicação da data de perfuração, portanto, no gráfico abaixo constam 91 poços.

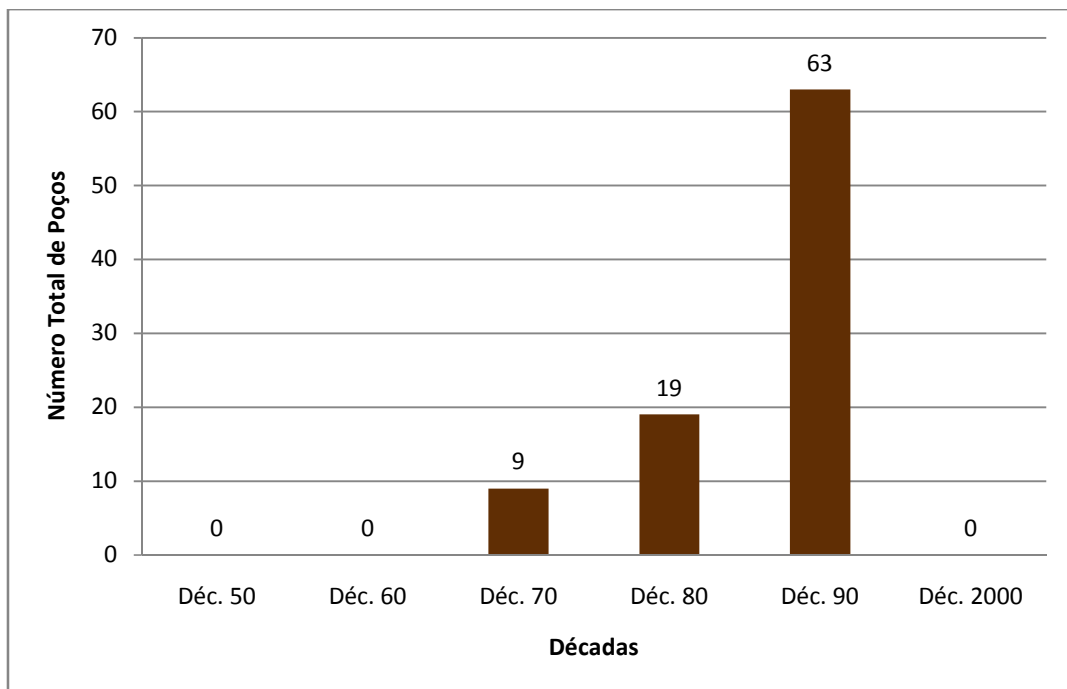


Figura 26 - Evolução das perfurações para o abastecimento urbano, separada por décadas, na região de estudo.

Nota-se que, para o uso urbano, a maior parte dos poços foi perfurada na década de 1990, e que não ocorreram perfurações na década de 2000. Vale destacar que, dentre os 164 poços identificados na área de estudo que foram perfurados na década de 2000 (Figura 18), somente 4 apresentam informativo de tipo de uso, e, conforme apresentado na Figura 24, são destinados ao abastecimento industrial.

Dentre os municípios inseridos na área de estudo, que apresentam poços destinados ao abastecimento urbano, somente Sertanópolis - PR e Tamarana - PR não estão incluídos. É possível que existam poços destinados a tal fim nestes municípios, visto que, dentre os 15 apresentados em Sertanópolis - PR, 8 não apresentam o indicativo de tipo de uso, e, no município de Tamarana - PR, nenhum dos 6 poços cadastrados informam a finalidade do abastecimento. A Figura 27 identifica a quantidade de poços destinados ao uso urbano em seus respectivos municípios. Percebe-se que, assim como para o uso industrial, Londrina - PR apresenta a maior quantidade de poços destinados ao abastecimento urbano.

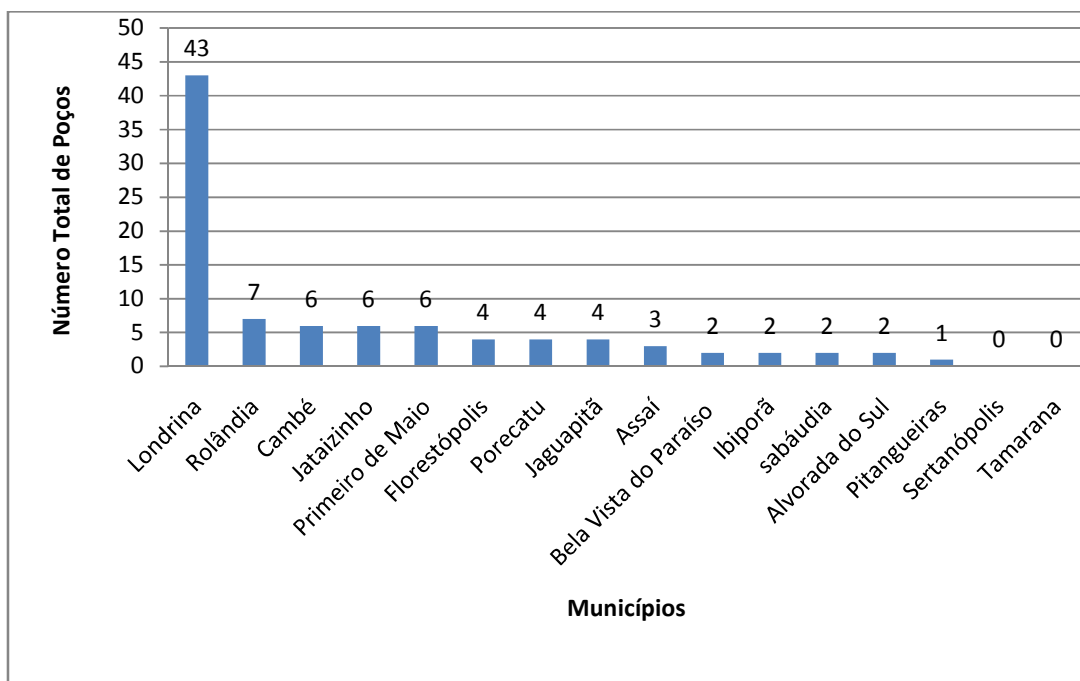


Figura 27 - Quantidade de poços para uso urbano, por município.

Destaca-se que o município de Pitangueiras - PR possui apenas 1 poço cadastrado no SIAGAS, e que o mesmo apresenta-se destinado ao uso urbano.

6.2.2.3 Abastecimento Múltiplo

Considera-se o uso múltiplo como aquele destinado ao abastecimento humano e industrial, geração de energia, pesca e aquicultura, recreação e turismo, irrigação e navegação.

A Figura 28 indica a localização dos poços destinados ao abastecimento múltiplo instalados na área de estudo. Verifica-se que grande parte dos poços associados a tal uso está instalada nos municípios de Londrina – PR, Ibiporã – PR e Sertanópolis - PR.

O volume total explotado estimado para o uso múltiplo é de $1,31 \times 10^6$ m³/ano. O conjunto dos poços apresenta vazão média de 16,3 m³/h, valor máximo de 50 m³/h e vazão mínima de 2 m³/h.

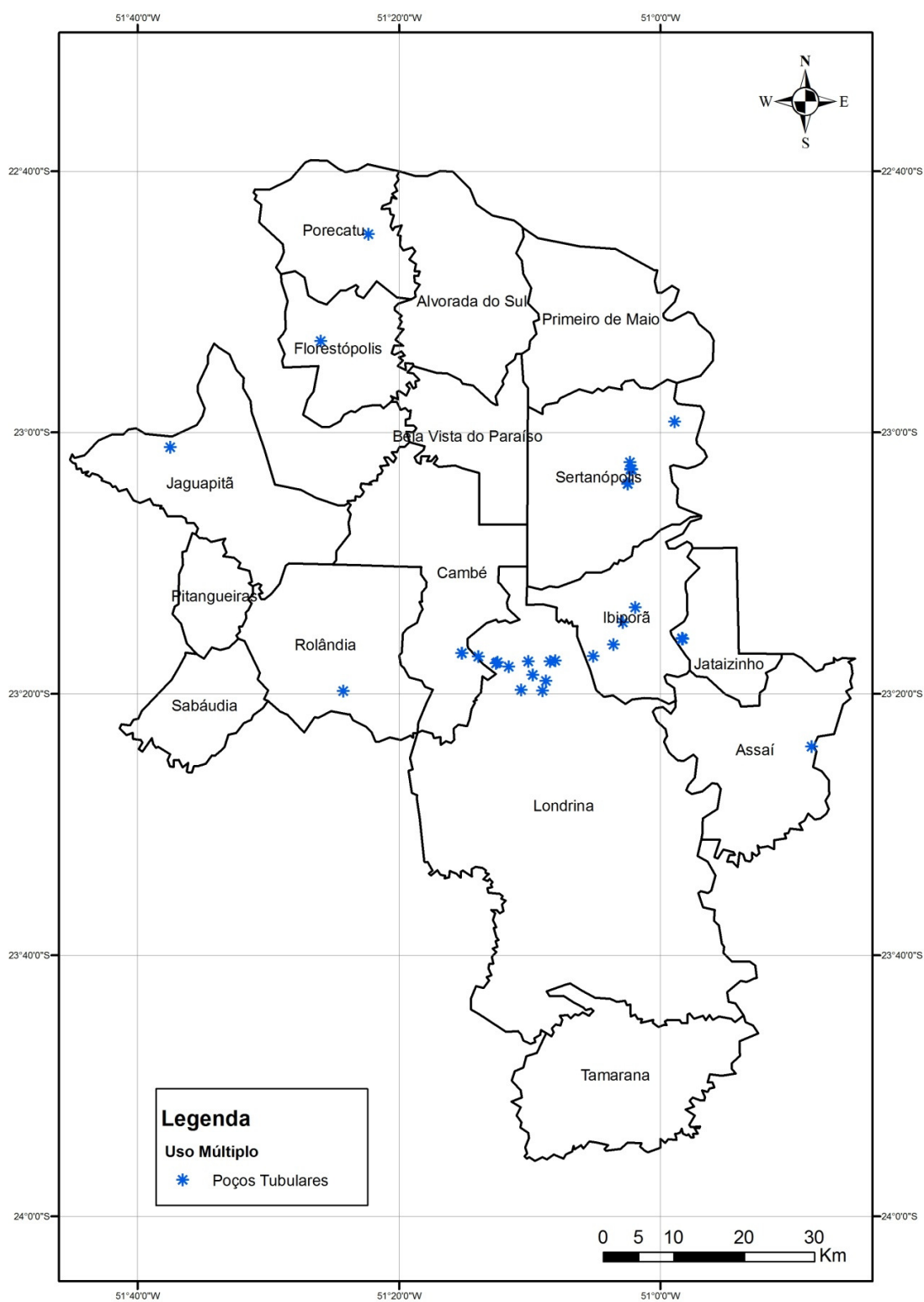


Figura 28 - Distribuição espacial dos poços para o abastecimento múltiplo na área de estudo.

Dentro do uso múltiplo da água, está aquele destinado à irrigação, e este merece cuidado, em se tratando da sustentabilidade dos recursos hídricos, já que, conforme o tipo de cultura, as áreas irrigadas demandam grandes quantidades de água na produção agrícola, com destaque para os meses mais secos. Porém, de acordo com Santos (2009), o uso dos mananciais superficiais para irrigação é, em grande parte, superior ao subterrâneo. Talvez este seja o motivo de a quantidade e a vazão estimada dos poços destinados ao abastecimento múltiplo ser inferior àqueles destinados aos usos industrial e urbano.

A figura 29 indica a quantidade de poços destinados a tal uso nos municípios da RML em que estão presentes, contabilizando, no total, 36 poços.

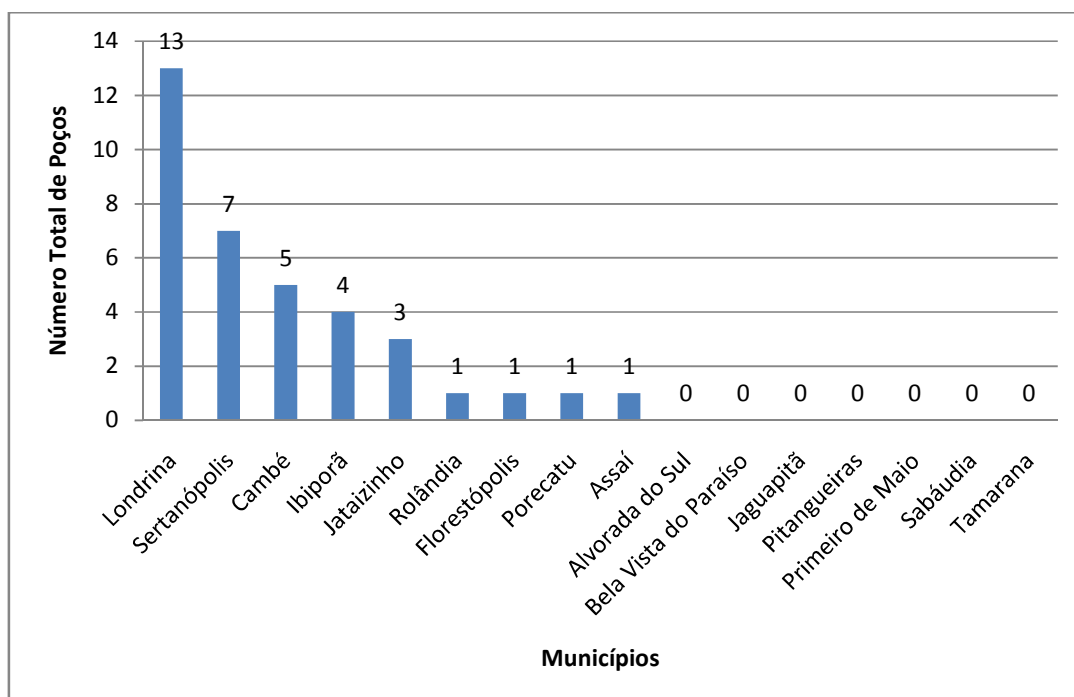


Figura 29 - Quantidade de poços destinados ao abastecimento múltiplo, por município.

Da totalidade de poços associados ao uso múltiplo, 32 apresentam data de perfuração, e estão apresentados na figura 30, que indica a evolução da perfuração dos mesmos.

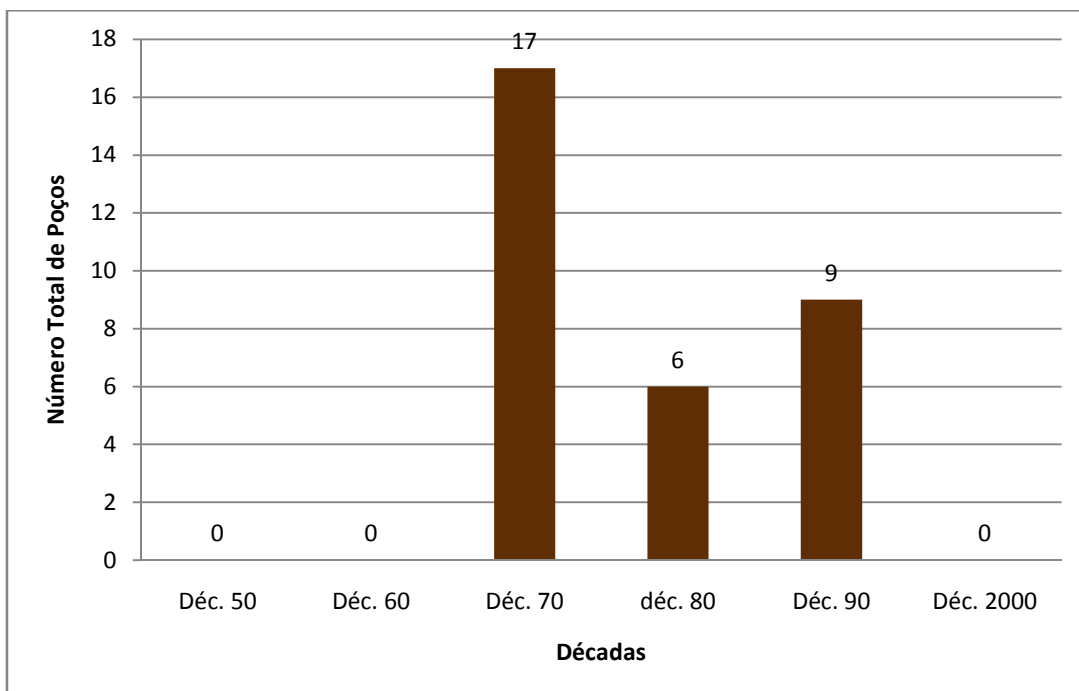


Figura 30 - Evolução das perfurações para o abastecimento múltiplo, separada por décadas, na região de estudo.

Assim como o observado no uso industrial, a quantidade de poços destinados ao abastecimento múltiplo perfurados na década de 1970 também foi elevada.

6.2.2.4 Outros (Lazer, Etc.)

O uso da água subterrânea para a recreação envolve os poços cadastrados que abastecem áreas ou propriedades destinadas ao lazer humano.

Essa tipologia é a que possui a menor quantidade de poços cadastrados, totalizando uma vazão estimada de $1,6 \times 10^5$ m³/ano. Os dados estatísticos indicam vazão média de 9,3 m³/h, com vazão máxima de 12 m³/h e mínima de 6m³/h.

A Figura 31 identifica a localização geográfica dos poços tubulares associados a tais usos.

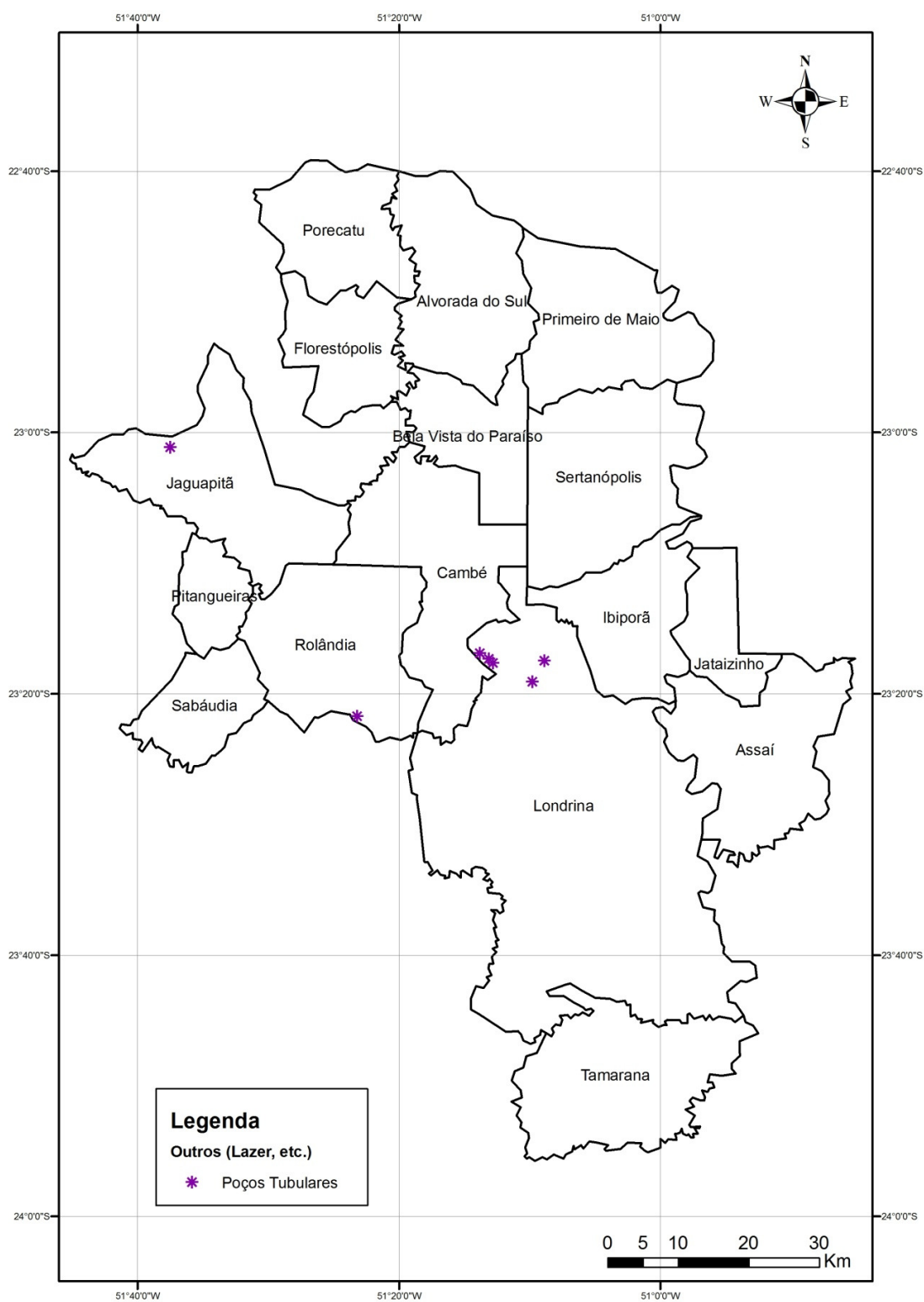


Figura 31 - Distribuição espacial dos poços para Outros (Lazer, etc.) usos na área de estudo.

Como pode ser visto na Figura 31, na área de estudo foram encontrados somente 7 poços destinados a este fim. A Figura 32 indica em quais municípios estão instalados tais poços.

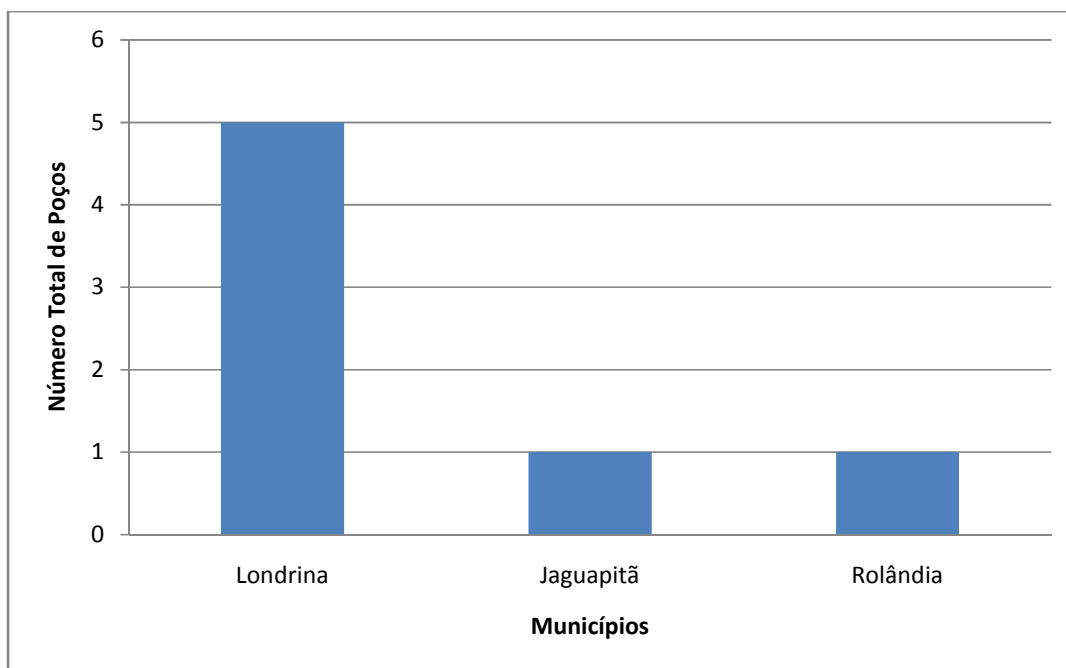


Figura 32 - Quantidade de poços destinados a outros usos da água, por município.

A figura 33 indica a quantidade de poços perfurados durante as décadas de 1970 a 1990. Nota-se que o número de perfurações manteve-se constante ao longo das mesmas, com 2 perfurações por década.

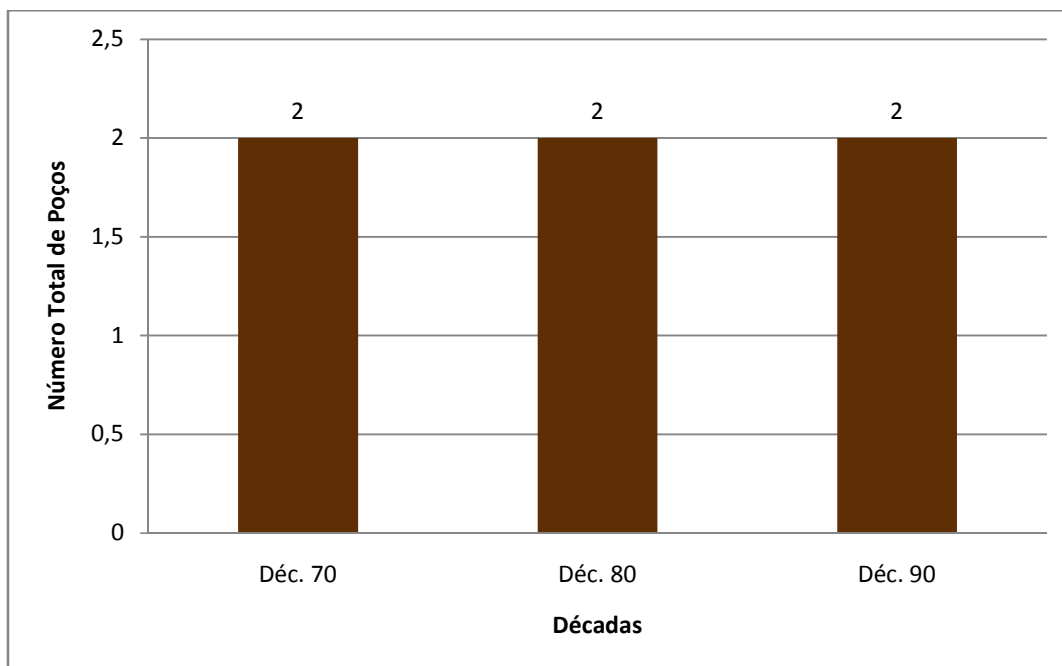


Figura 33 - Evolução das perfurações para outros usos da água, separada por décadas, na região de estudo.

6.2.3 Análise de Distribuição de Uso e Exploração das Águas da RML

Neste item, apresenta-se uma breve análise estatística, primeiro enfocando a distribuição dos poços por tipo de uso da água subterrânea, seguido da distribuição das estimativas de vazão calculadas.

6.2.3.1 Distribuição dos poços por tipos de uso da água

A Figura 34 indica a distribuição dos poços tubulares profundos presentes na área de estudo, segundo os diferentes tipos de uso da água.

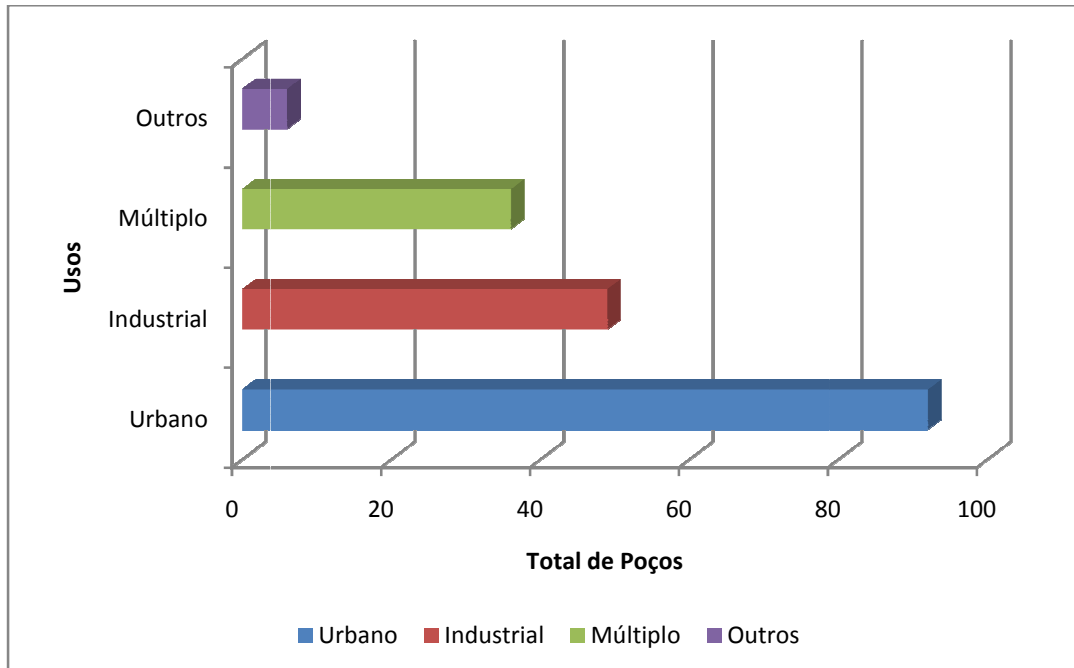


Figura 34 - Distribuição dos poços perfurados na área de estudo, separados por tipos de uso da água subterrânea.

A maior parte dos poços perfurados na RML e cadastrados no SIAGAS é utilizada para a extração de água para abastecimento urbano; representa um total de 92 poços, equivalente a 50,3% dos poços que apresentam indicativo de tipo de uso.

O uso industrial vem a seguir, com 49 poços (26,8%), seguido pelo uso múltiplo, com 36 poços cadastrados ou 19,7%, e, por último, outros usos (lazer, etc), com 6 poços ou apenas 3,3% do total cadastrado.

A partir da quantidade de poços destinados a cada tipo de uso, foi gerado o mapa da Figura 35, a qual identifica os tipos de uso abrangentes em cada município da região de estudo que apresentava tal informação no cadastro levantado.

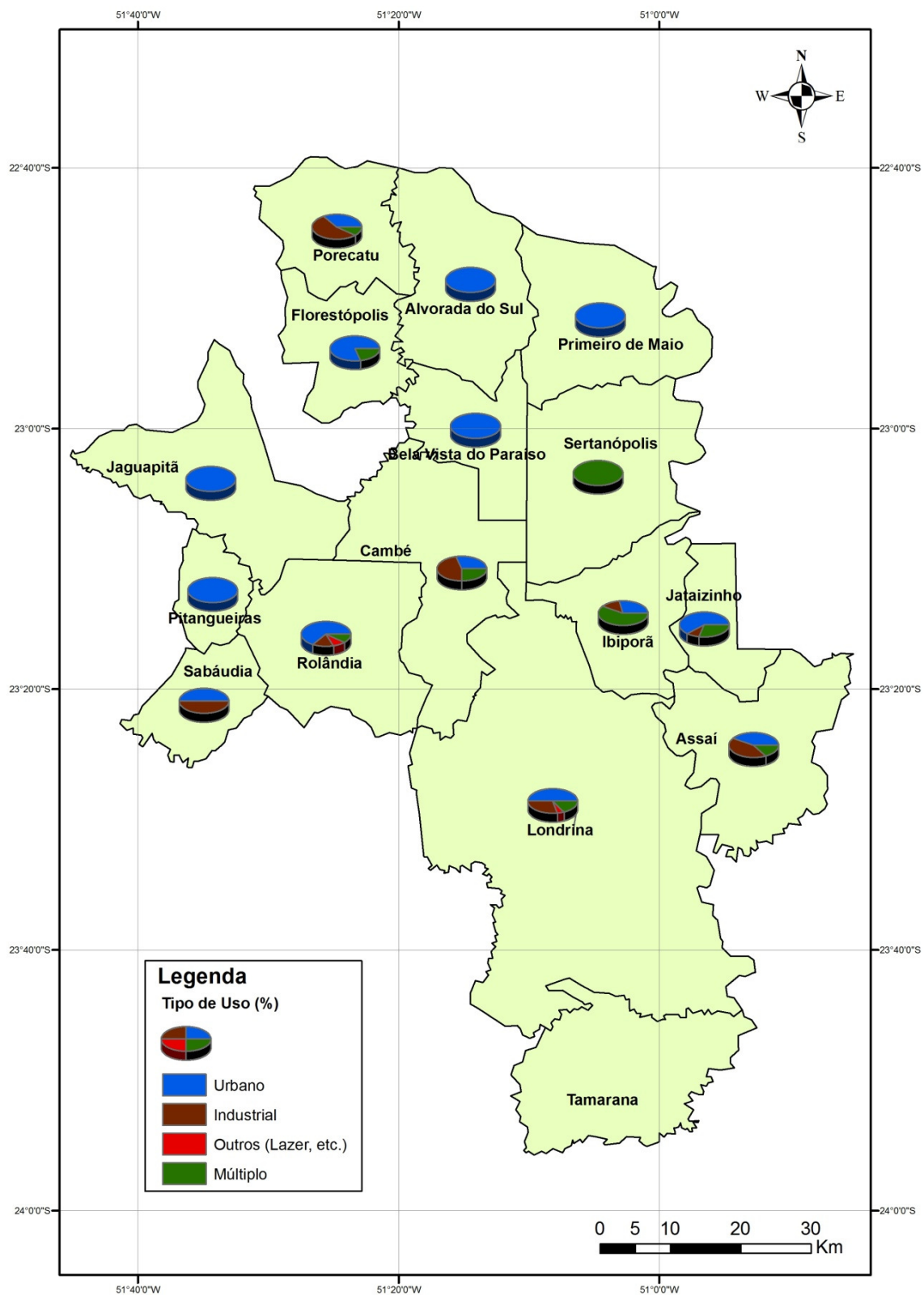


Figura 35 - Distribuição dos poços perfurados na área de estudo, separados por tipos de uso da água subterrânea.

Ao observar a Figura 35, comprova-se o que foi concluído Figura 34, ou seja, os usos dos poços, segundo as tipologias, seguem a mesma sequência, de forma decrescente: urbano, industrial, múltiplo e outros (lazer, etc.).

Visando a identificação do percentual de poços que não apresentam indicativo de tipo de uso, foi construída a Tabela 4.

Tabela 4 - Percentual de poços que não apresenta indicativo de tipo de uso.

Município (PR)	Não Determinado (%)
Alvorada do sul	80,0
Assai	75,0
Bela Vista do Paraíso	80,0
Cambé	67,7
Florestópolis	58,3
Ibiporã	75,0
Jaguapitã	81,0
Jataizinho	23,1
Londrina	72,3
Pitangueiras	0,0
Porecatu	38,9
Primeiro de maio	62,5
Rolândia	84,3
Sabaudia	60,0
Sertanópolis	53,3
Tamarana	100,0

6.2.3.2 Estimativas de volume captado e sua distribuição por tipos de uso da água

Em termos volumétricos, o uso urbano mais uma vez se destaca na RML. Em termos percentuais, estima-se que 60,8% do total do volume explotado anualmente na área de estudo seja para este fim. Porém, vale lembrar que 41,5% do total de poços levantados não apresentam volumes de captação (Figura 36).

Os usos industrial e múltiplo vêm a seguir, representando respectivamente 31,6% e 6,8% do volume total explorado anualmente. Em contrapartida, o volume captado destinado a outros usos possui apenas 0,8% do total explorado.

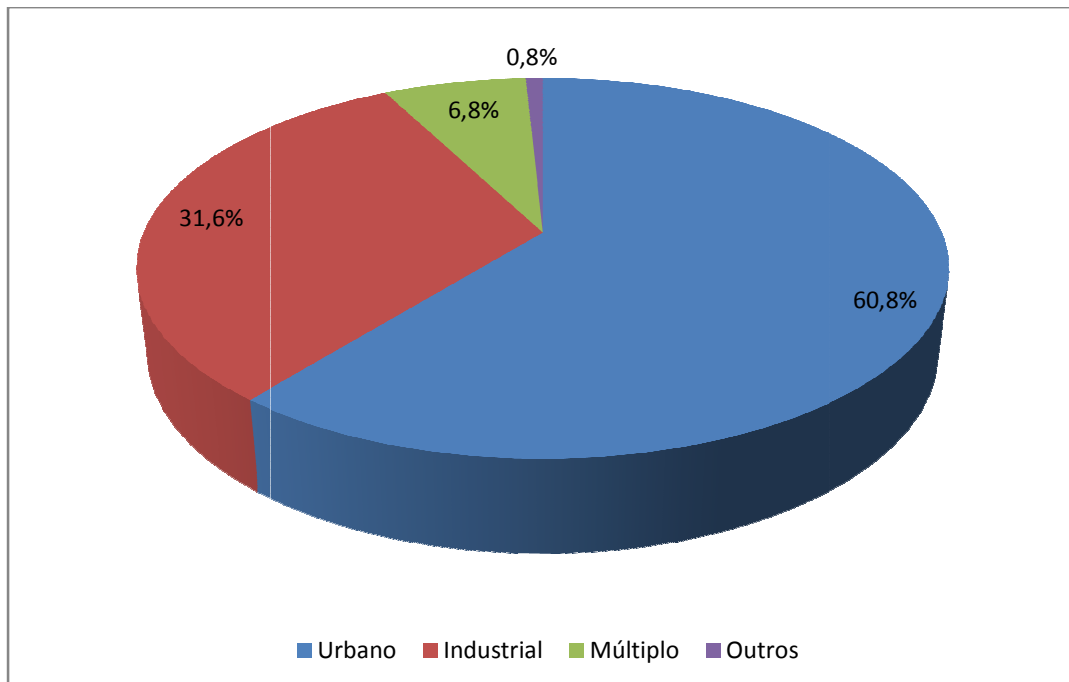


Figura 36 - Distribuição dos volumes captados anualmente na área de estudo, separados por tipos de uso da água subterrânea.

De modo a realizar uma comparação entre a distribuição dos poços e o percentual do volume estimado explorado por ano na RML, por tipos de uso, foi gerado o gráfico apresentado na Figura 37.

A análise da Figura 37 mostra que a quantidade de volume explorado por tipo de uso difere do número total de poços cadastrados e associados a tais usos. Como exemplo, tem-se que o percentual de poços destinados ao uso industrial está muito próximo ao de poços cadastrados para o uso múltiplo, porém, ao avaliar a soma dos volumes explorados, os percentuais possuem grandes discrepâncias, com o abastecimento industrial apresentando 31,6% do total explorado e o uso múltiplo, 6,8%.

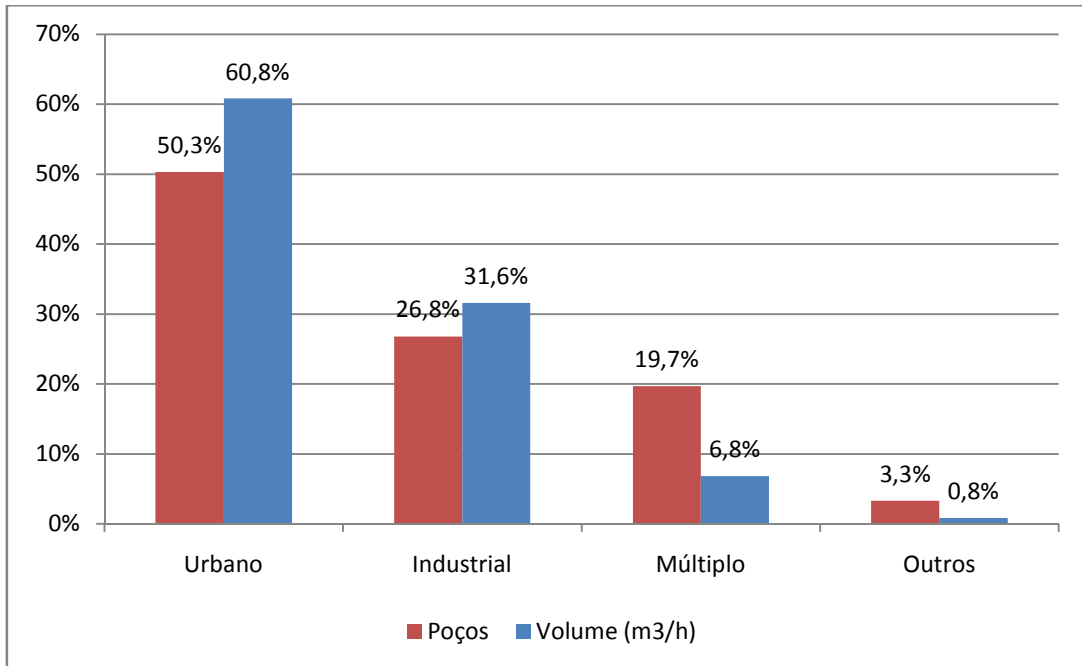


Figura 37 - Distribuição dos poços perfurados na área de estudo e o percentual de volume explorado anualmente, por tipos de uso da água subterrânea.

Diante deste fato, é importante observar que a produtividade do poço está atrelada a seu perfil construtivo, dependente da escolha do perfurador, da qualidade dos serviços prestados pela empresa de perfuração, dentre outros fatores.

A Tabela 5 apresenta a distribuição das estimativas dos volumes totais explorados, de acordo com os tipos de uso da água subterrânea e valor total.

Tabela 5 - Volume total explorado por tipo de uso da água e total absoluto.

Tipos de Uso	Total de Exploração			
	m ³ /h	m ³ /dia	m ³ /mês	m ³ /ano
Urbano	2.040	32.640	979.200	11.750.400
Industrial	1.060	16.960	508.800	6.105.600
Múltiplo	228	3.648	109.440	1.313.280
Outros	28	448	13.440	161.280
Total	3.356	53.696	1.610.880	19.330.560

O uso urbano destaca-se como o maior destino da exploração das águas da RML, voltado principalmente para o abastecimento de condomínios residenciais e propriedades privadas. Em segundo, tem-se o uso industrial, que apresenta consideráveis volumes para atender à crescente demanda industrial; em seguida vem o uso múltiplo, e, por fim, o uso para outros fins, como o lazer, que representam 0,8% do volume anual para a área de estudo, com um total de $1,6 \times 10^5$ m³/ano.

6.2.4 Abastecimento Público das Águas da RML

Para um diagnóstico mais preciso sobre o consumo de água na área de estudo, foi realizado levantamento de dados sobre o sistema de abastecimento de água nos municípios da área de estudo, por meio de consulta às concessionárias públicas de serviço de água, dentre elas a SANEPAR, a SAMAE e a SAAE. Porém, vale constar que as empresas responsáveis pela distribuição de água dos municípios de Assaí - PR e Pitangueiras - PR não permitiram a divulgação de tais informações.

Com base nisto, foi realizada uma busca através de órgãos estaduais que disponibilizassem informações a respeito do abastecimento de água em tais municípios, e encontrou-se a Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos (2010), elaborado pelo Instituto de Águas do Paraná (IAP) em conjunto com a Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA).

Os dados apresentados em tal projeto foram retirados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento, e são referentes ao ano de 2004. Levando em conta que tais dados estão desatualizados, multiplicou-se o consumo *per capita* apresentado no Plano pela população apresentada no último Censo Populacional, referente ao ano de 2010, a fim de obter a vazão diária consumida por tais municípios. Em posse de tais dados, foi possível estimar o volume anual consumido pelos municípios de Assaí - PR e Pitangueiras - PR. Ainda com base no Plano, foram utilizadas as porcentagens de água subterrânea e superficial exploradas pelos referidos municípios.

Importante destacar que no caso dos municípios de Londrina - PR e Rolândia - PR, os seus respectivos distritos estão incluídos nas análises dos mapas e tabelas apresentados nos próximos itens. Em Rolândia - PR, existem dois distritos: São Martinho e Nossa Senhora Aparecida (Bartira). Já, na cidade de Londrina - PR, são 14 distritos: Guaravera, São Luiz, Taquaruna, Guaracá Poço, Irerê, Paiquerê, Espírito Santo, Recanto do Salto, Bom Tempo, Maravilha, Regina, Selva, Warta e Lerrovile.

6.2.4.1 Análise dos tipos de captação dos recursos hídricos na área de estudo

Dentre os 16 municípios analisados, 9 são abastecidos exclusivamente a partir de captação subterrânea, e o restante através de captação mista.

Quase 60% dos municípios da área de estudo utilizam somente o tipo subterrâneo de captação para abastecimento público de suas áreas urbanas (Figura 38). Esses números ressaltam a importância do uso sustentável destes mananciais para a conservação da qualidade de vida das populações e das próximas gerações (SANTOS, 2009). A Figura 38 indica, em termos percentuais, a quantidade de municípios que se abastecem exclusivamente com água subterrânea e aqueles que se abastecem com água mista (superficial + subterrânea).

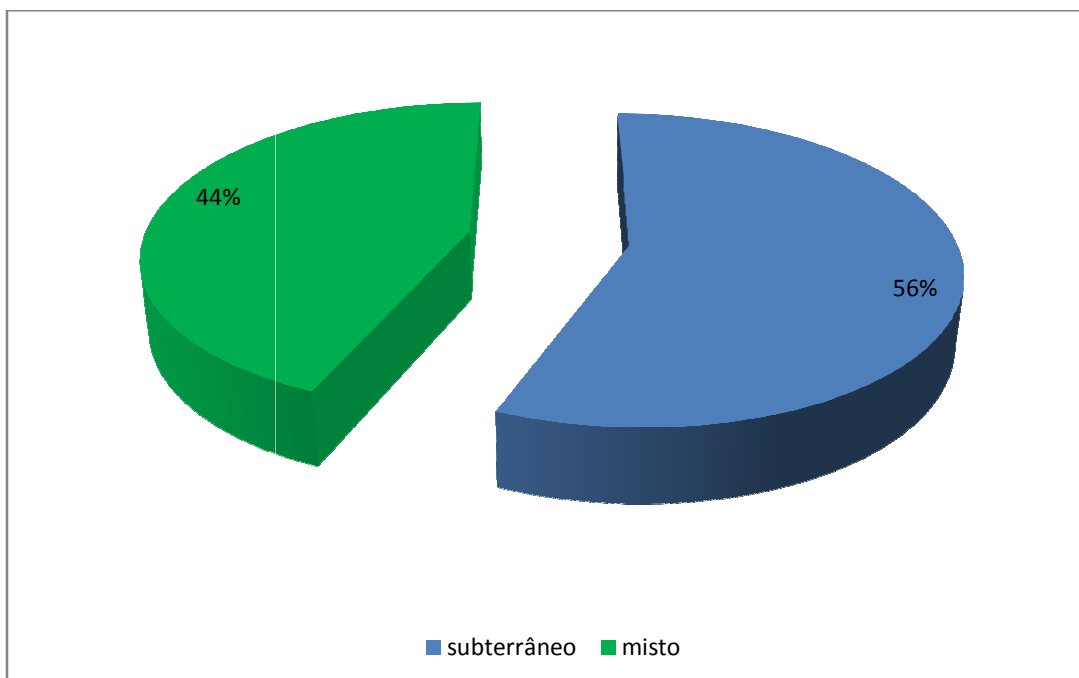


Figura 38 - Distribuição percentual dos municípios conforme tipos de captação de recursos hídricos.

Visando identificar a quantidade extraída de águas superficial e subterrânea na área de estudo, foram gerados os gráficos da Figura 39, os quais indicam a quantidade, em termos volumétricos (m^3 /ano) e percentuais, extraída segundo cada tipo de uso.

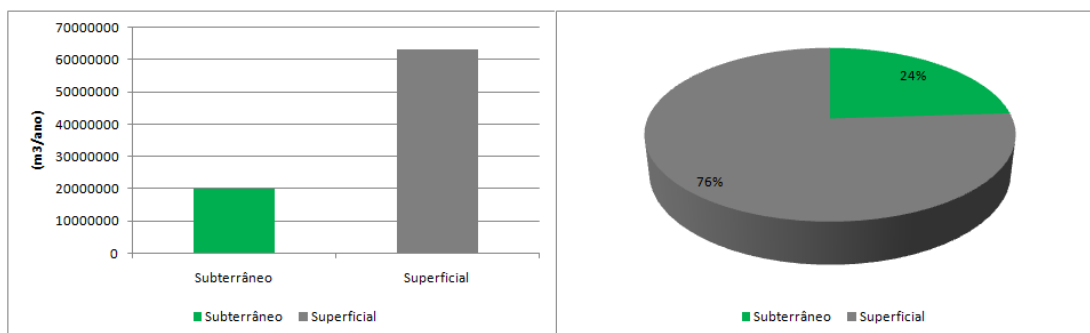


Figura 39 - Distribuição, em volume anual (m^3 /ano), dos tipos de captação de recursos hídricos utilizados pelos municípios da área de estudo.

A análise da Figura 39 mostra que, apesar de a maioria dos municípios serem abastecidos exclusivamente com água subterrânea, ao se comparar o total retirado de fontes superficiais e subterrâneas, nota-se que o primeiro é bastante superior ao segundo.

Diferente da Figura 39, os gráficos da Figura 40 foram construídos considerando cada município compreendido pela área de estudo, baseando-se nos volumes captados (m^3 /ano) de águas subterrâneas e superficiais.

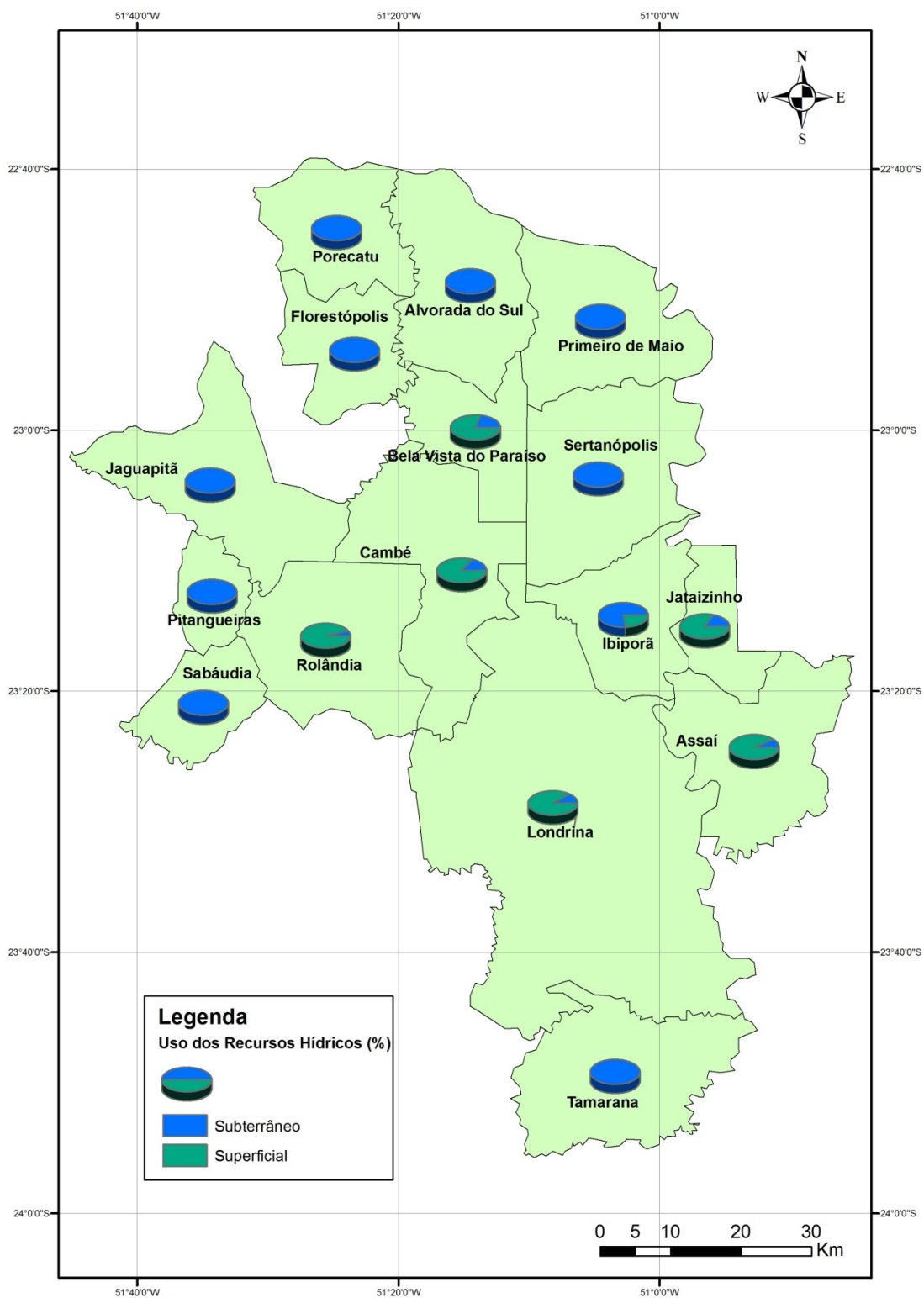


Figura 40 - Distribuição percentual dos volumes explorados por tipos de captação de recursos hídricos na área de estudo.

Ao analisar os municípios que são abastecidos por meio de captação mista, verifica-se que 86% deles apresentam 80% ou mais do total de água relacionada à captação superficial. Tal fato pode ser verificado na Tabela 6, a qual indica o percentual de captação subterrânea e superficial, com base nos valores extraídos (m³/ano), por município.

Tabela 6 - Percentual do total explorado, por município, conforme tipo de uso da água.

Município (PR)	Captação Subterrânea (%)	Captação Superficial (%)
Alvorada do Sul	100,00	0,00
Assaí	8,00	92,00
Bela Vista do Paraíso	20,00	80,00
Cambé	14,72	85,28
Florestópolis	100,00	0,00
Ibiporã	76,92	23,08
Jaguapitã	100,00	0,00
Jataizinho	16,78	83,22
Londrina	11,83	88,17
Pitangueiras	100,00	0,00
Porecatu	100,0	0,00
Primeiro de Maio	100,00	0,00
Rolândia	8,80	91,20
Sabáudia	100,0	0,00
Sertanópolis	100,0	0,00
Tamarana	100,0	0,00

As águas subterrâneas utilizadas na área de estudo são extraídas dos sistemas aquíferos Serra Geral (SASG) e Guarani (SAG). O gráfico da Figura 41 indica as porcentagens de água explorada nos referidos aquíferos, em relação ao total de água (subterrânea + superficial) utilizada para o abastecimento de cada município da RML.

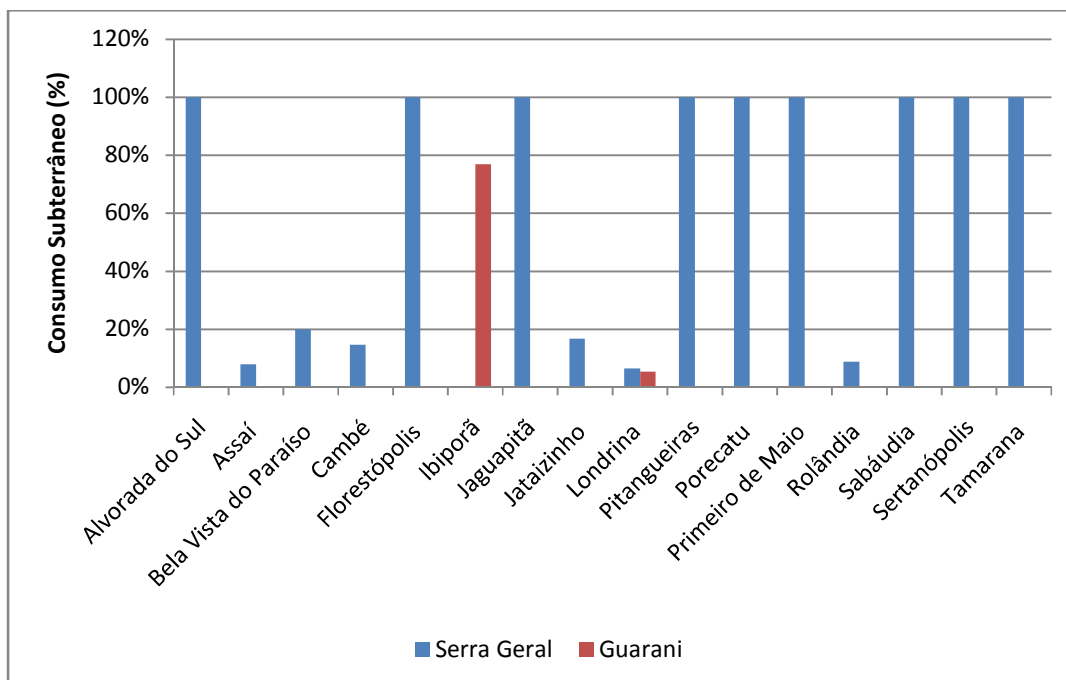


Figura 41 - Distribuição percentual de água extraída dos aquíferos Serra Geral e Guarani, por município.

Percebe-se que apenas dois municípios (Ibiporã - PR e Londrina - PR) consomem água extraída do SAG, e vale destacar que o consumo de água subterrânea da cidade de Ibiporã - PR é fornecido exclusivamente pela exploração desse manancial. Já, no município de Londrina - PR, a extração de água subterrânea é bastante semelhante entre os dois mananciais subterrâneos. Porém, em relação ao total de água consumida pelo município, a porcentagem de captação subterrânea é bastante inferior à superficial (Tabela 6).

Com relação aos distritos de Rolândia - PR, ambos possuem dois poços para extração de água subterrânea, tendo como fonte o SASG. Em tais distritos, não há extração de água superficial. Já, com relação aos distritos de Londrina - PR, esses captam exclusivamente água subterrânea, sendo que 13 deles extraem do SASG, e somente um (Lerrovile), explora o SAG.

A extração da água superficial pela RML é realizada através dos seguintes mananciais, segundo informações das empresas de distribuição de água dos respectivos municípios: Ribeirões Ema e Jaú, Guarazinho, Jacutinga, Cafezal e rio

Tibagi, utilizados pelos municípios de Rolândia - PR, Bela Vista do Paraíso - PR, Ibiporã - PR, Cambé - PR, Jataizinho - PR e Londrina - PR. No caso de Assaí - PR, os mananciais de abastecimento público são o Rio Jataizinho - PR, que abastece cerca de 55% da população assaiense, e as minas Kamogawa e Akagui, que contribuem com os demais 45%. A Tabela 7 indica os municípios e os respectivos mananciais explorados, e a Figura 42 expressa a porcentagem de água extraída dos referidos mananciais, em relação ao total de água consumida, em cada município que se abastece de água superficial.

Tabela 7 - Municípios e os respectivos mananciais explorados.

Municípios (PR)	Mananciais
Assaí	Rio Jataizinho e Minas Amogawa e Akagui
Bela Vista do Paraíso	Ribeirão Guarazinho
Cambé	Rio Tibagi e Ribeirão Cafezal
Ibiporã	Ribeirão Jacutinga
Jataizinho	Rio Tibagi
Londrina	Rio Tibagi e Ribeirão Cafezal
Rolândia	Ribeirões Ema e Jaú

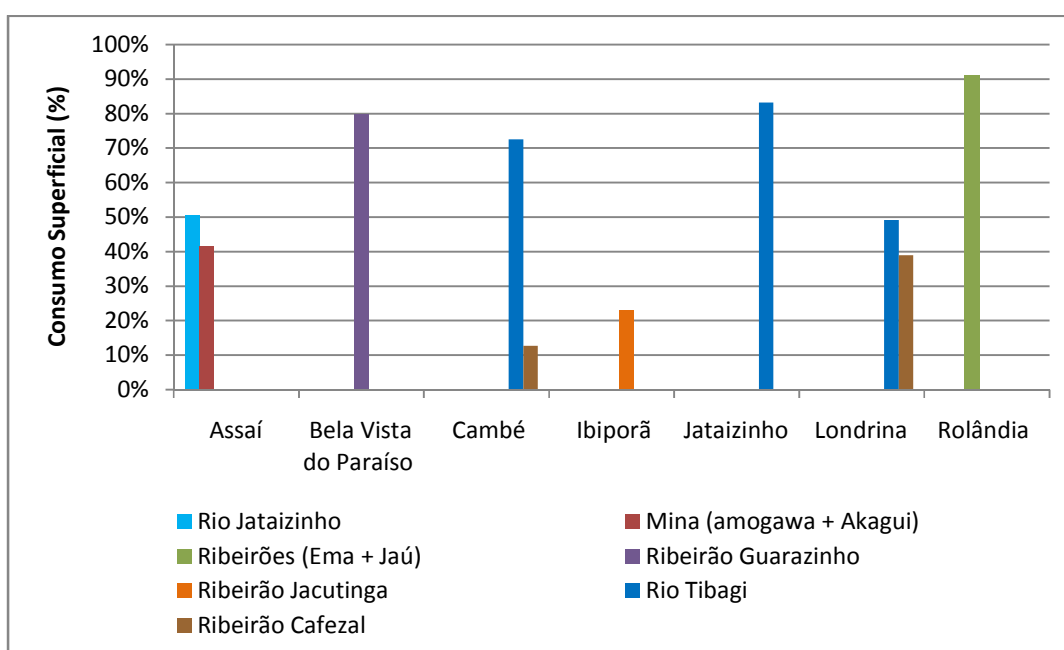


Figura 42 - Distribuição percentual de água extraída, por manancial, na área de estudo.

Nota-se que Assaí - PR, Londrina - PR e Cambé - PR utilizam-se de dois mananciais para a extração superficial, e o restante dos municípios que realizam este tipo de uso se abastecem de apenas um manancial. Percebe-se que, apesar de a minoria dos municípios realizarem captação mista, aqueles que a praticam retiram grande quantidade de água superficial, como pode ser tanto na Tabela 6 quanto na Figura 42.

6.2.4.2 Análise da exploração dos recursos hídricos para uso público

Através das informações fornecidas pelas empresas responsáveis pela distribuição de água dos municípios que compreendem a RML, foi possível a construção da Tabela 8, a qual identifica a quantidade média de água consumida, por habitante (*per capita*), em cada município, nos anos de 2010 (último censo populacional realizado pelo IBGE até a presente data) e 2012, sendo que neste ano tal consumo foi calculado através da estimativa populacional realizada pelo mesmo órgão. O cálculo para se chegar a tal resultado foi baseado na divisão do total de água consumido em um dia pelo número de habitantes daquele município.

Tabela 8 - Consumos *per capita* (L/dia/hab) referentes aos anos de 2010 e 2012 (estimativa), por município.

Municípios (PR)	Consumo per capita - 2010	Consumo per capita – 2012
Alvorada do Sul	457,07	450,23
Assaí	170,85	173,56
Bela Vista do Paraíso	165,79	165,71
Cambé	244,08	240,87
Florestópolis	166,55	168,74
Ibiporã	269,72	264,71
Jaguapitã	212,68	209,32
Jataizinho	291,44	289,41
Londrina	298,90	293,68
Pitangueiras	155,49	152,24
Porecatu	260,13	264,89
Primeiro de Maio	288,90	288,48
Rolândia	217,93	213,23
Sabáudia	106,96	105,16
Sertanópolis	223,81	222,75
Tamarana	96,26	93,33

Dados retirados de SAAE, SAMAE e SANEPAR, 2013. Org: Larini, M. M.

Comparando-se os resultados obtidos através do censo e da estimativa, percebe-se que os valores de consumo *per capita* apresentam baixa variação. Constata-se, também, que o acréscimo populacional no município de Bela Vista do Paraíso - PR apresentou-se tão baixo que provocou mudanças centesimais na variação de seu consumo *per capita* entre os anos de 2010 e 2012. Por fim, observa-se que o consumo por habitante no município de Florestópolis – PR aumentou, fato este inesperado, considerando que a população estimada para o ano de 2012 em tal município diminuiu (Tabela 1), e levando em conta que a tendência da diminuição do número de população levaria a um declínio do consumo per capita.

A Figura 43 mostra o consumo *per capita* (L/dia/hab) de água pelos municípios que abrangem a área de estudo através da gradação de cores e intervalos de consumo apresentados na legenda do mapa.

Para de chegar aos valores apresentados no mapa, dividiu-se os volumes explotados total/dia, em litros, pelas populações dos municípios no ano de 2010. No mapa não foi considerado o consumo referente ao ano de 2012, já que, como

apresentado na Tabela 8, a diferença entre os consumos é mínima, em todos os municípios. Sendo assim, a configuração do mapa não seria alterada de um ano para o outro.

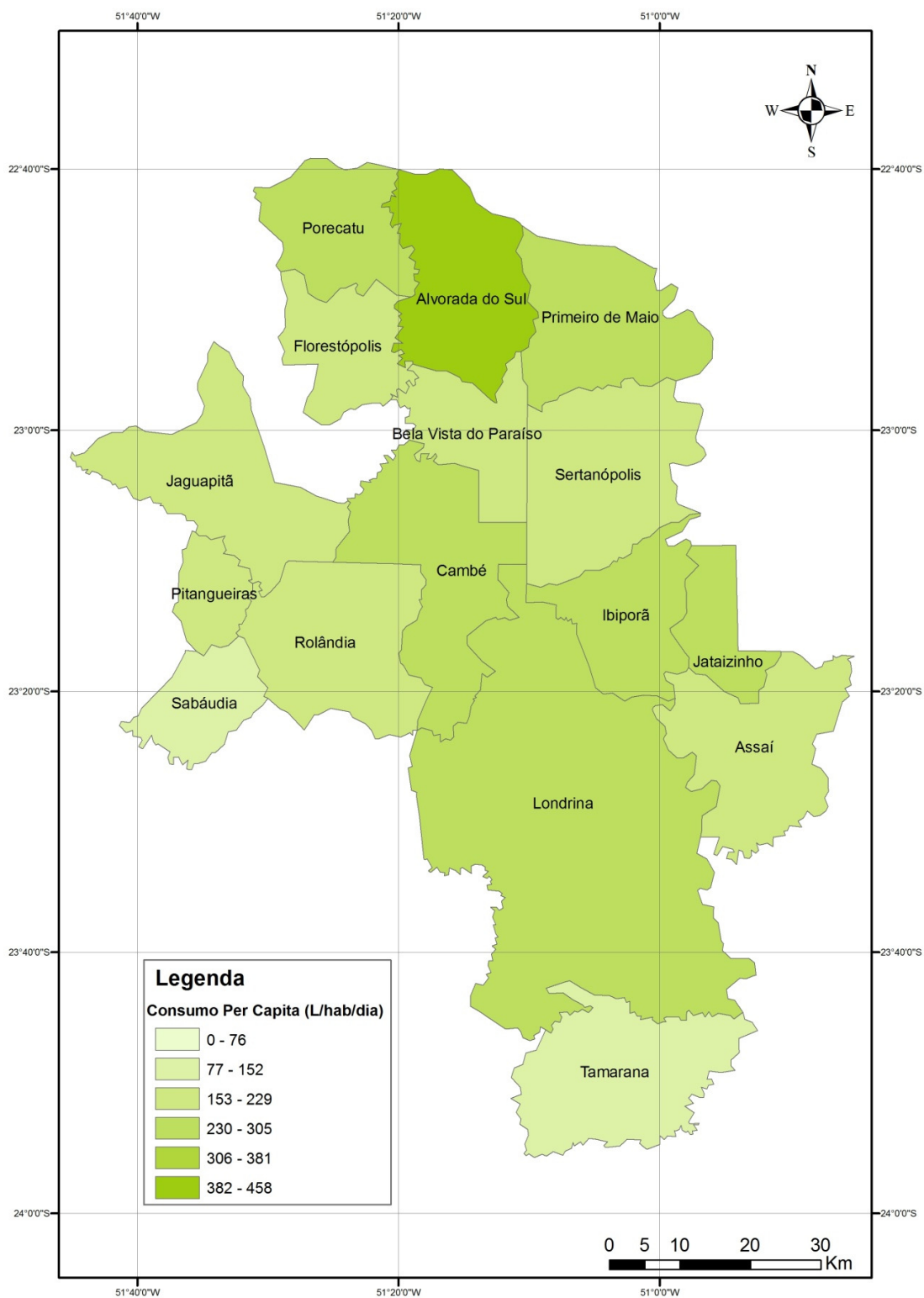


Figura 43 - Consumo per capita (L/hab/dia) de água, por município.

Analisando os consumos referentes aos anos de 2010 e 2012, tem-se que os usos médios *per capita* para o abastecimento público na área de estudo são, respectivamente, de 226,06 e 224,25 litros por habitante por dia, como podem ser vistos na Figura 44, a qual apresenta a análise descritiva dos dados presentes na Tabela 7. Tais avaliações foram realizadas através do software de bioestatística BIOESTAT 5.0, e os dados assinalados são os mais relevantes para a análise dos dados, com destaque para os altíssimos desvios padrão, de 88,33% e 87,05%, para os anos de 2010 e 2012, respectivamente.

Tamanho da amostra =	16	Tamanho da amostra =	16
Mínimo	96.0000	Mínimo	93.0000
Máximo	457.0000	Máximo	450.0000
Amplitude Total	361.0000	Amplitude Total	357.0000
Mediana	220.0000	Mediana	217.5000
Primeiro Quartil (25%)	165.7500	Primeiro Quartil (25%)	167.2500
Terceiro Quartil (75%)	273.7500	Terceiro Quartil (75%)	270.0000
Desvio Interquartilico	108.0000	Desvio Interquartilico	102.7500
Média Aritmética	226.0625	Média Aritmética	224.2500
Variância	7801.7958	Variância	7579.1333
Desvio Padrão	88.3278	Desvio Padrão	87.0582
Erro Padrão	22.0819	Erro Padrão	21.7646
Coefficiente de Variação	39.07%	Coefficiente de Variação	38.82%
Assimetria (g1)	0.9299	Assimetria (g1)	0.8811
Curtose (g2)	1.9625	Curtose (g2)	1.8662
Média Harmônica =	194.6628	Média Harmônica =	192.9039
N (média harmônica) =	16	N (média harmônica) =	16
Média Geométrica =	210.3350	Média Geométrica =	208.6599
N (média geométrica) =	16	N (média geométrica) =	16
Variância (geom.) =	1.0719	Variância (geom.) =	1.0723
Desvio Padrão (geom.) =	1.4916	Desvio Padrão (geom.) =	1.4934

Figura 44 - Análise Descritiva dos valores de consumo per capita da área de estudo, nos anos de 2010 e 2012.

Percebe-se, através da Figura 44 que as diferenças nas análises estatísticas são pequenas, o que já seria esperado, já que em apenas dois anos a porcentagem populacional, e conseqüentemente a quantidade hídrica consumida, não apresenta um

acrécimo expressivo. Um exemplo desta pequena variação são os resultados das médias aritméticas dos consumos *per capita* obtidos através do censo populacional (2010) e da estimativa (2012), sendo estes de 226,06 e 224,25 L/hab/dia.

6.3 COMPARATIVO DO USO PÚBLICO - 2004 E ATUALIDADE

A seguir será apresentado um comparativo dos dados referentes às vazões demandadas (L/dia) e Consumos *per Capita* (L/dia/hab) entre o ano de 2004 (IAP, 2010) e a atualidade.

A Figura 45 indica o comparativo entre a vazão demandada (L/dia) nos municípios da Região Metropolitana entre os anos de 2004 e a atualidade. Porém, vale ressaltar que o município de Londrina - PR, por demandar de quantidades imensamente superiores de recursos hídricos, se comparado aos demais municípios, não foi considerado nesta análise.

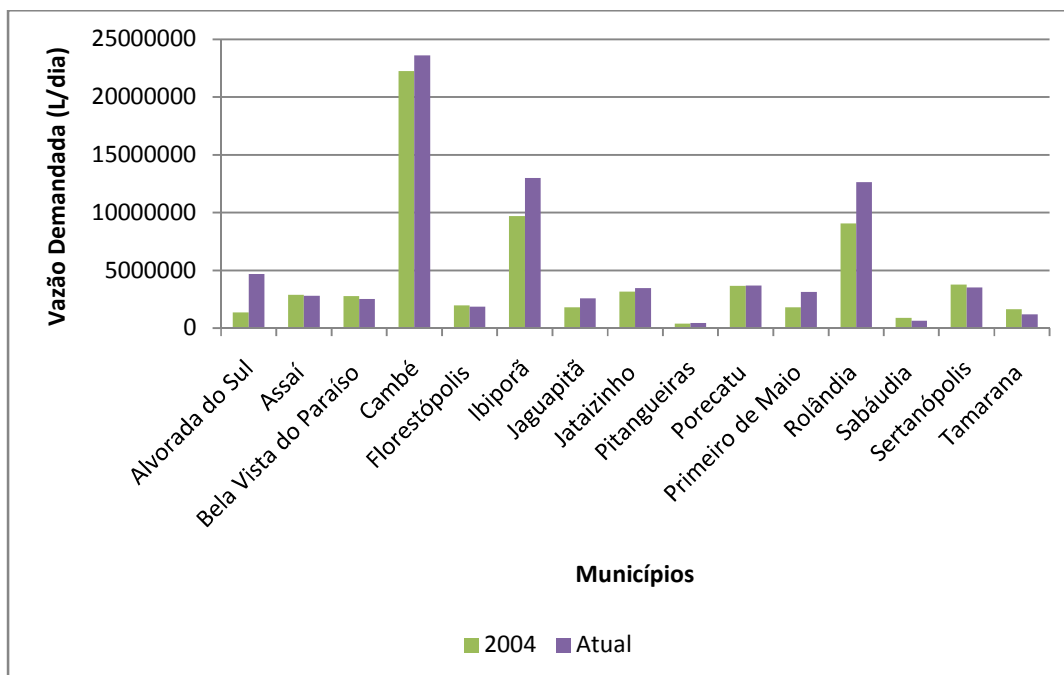


Figura 45 - Vazão demandada (L/dia) nos municípios da RML, exceto Londrina - PR, no ano de 2004 e atualmente.

Nota-se que os municípios de Cambé - PR, Ibiporã - PR e Rolândia - PR apresentam as maiores vazões diárias demandadas, em litros, tanto no ano de 2004, como atualmente. Com relação à evolução da demanda por água o município de Rolândia - PR, apresentou o maior crescimento entre o período avaliado, seguido de Alvorada do Sul - PR e Ibiporã - PR. Porém, observou-se que nos municípios de Assaí - PR, Bela Vista do Paraíso - PR, Florestópolis - PR, Sabáudia - PR, Sertanópolis - PR e Tamarana - PR houve decréscimos da vazão demandada. Algumas hipóteses que poderiam explicar tal fato (que não seria o esperado, já que com o decorrer do tempo a tendência é o aumento da população nos municípios), são:

- 1) Desvios ou exageros nas informações fornecidas pelas concessionárias de distribuição de água referente à atualidade ou passado;
- 2) Considerações realizadas no Projeto elaborado pelo IAP em parceria com a SEMA que não foram inseridas nos dados fornecidos pelas empresas de distribuição de água;

3) Realmente houveram diminuições nas demandas por recursos hídricos em tais municípios, principalmente com relação a diminuição de perdas no sistema de distribuição e;

4) Incremento do abastecimento autônomo particular através da utilização/perfuração de poços para suprir a demanda de água

Na Figura 46 está indicada a soma da vazão demandada (L/dia) pelos municípios da região metropolitana e a vazão requerida (L/dia) pelo município de Londrina - PR. Comprova-se que Londrina - PR requer de quantidade imensamente superior aos outros municípios da RML, já que, conforme visto na Figura 46, tal quantidade ultrapassa a soma dos volumes requeridos pelo restante dos municípios.

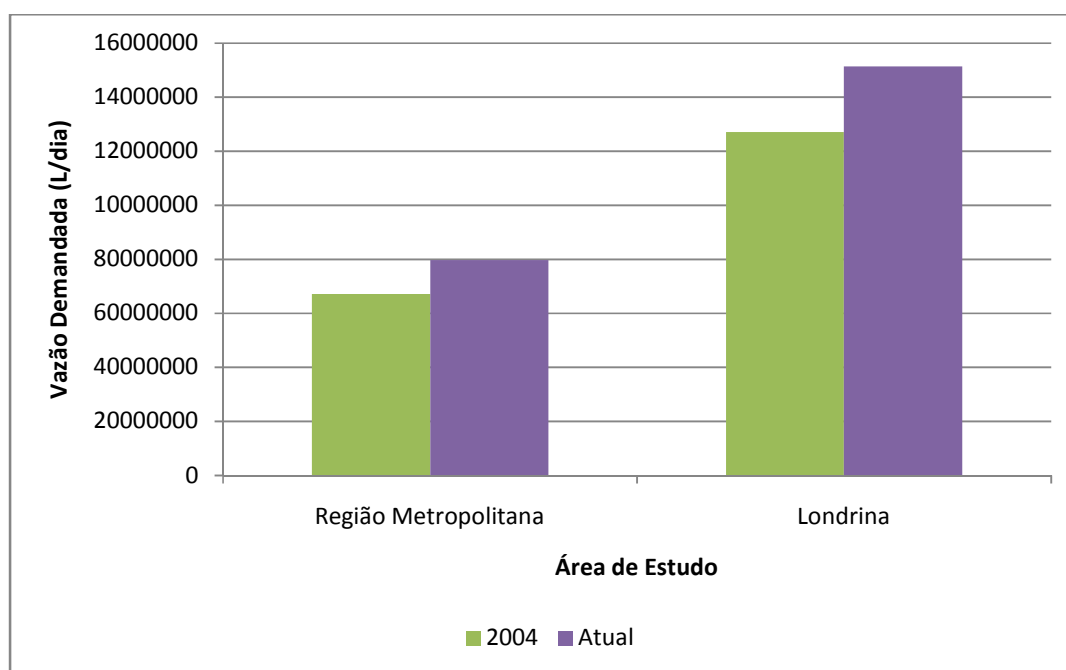


Figura 46 - Total da vazão demandada (L/dia) na região metropolitana e no município de Londrina - PR, no ano de 2004 e atualmente.

Percebe-se que, embora muitos dos municípios da RML tenham apresentado uma diminuição da vazão demanda de recursos hídricos, no geral, apresentou-se uma elevação do volume requerido pelos municípios que compreendem tal região. O mesmo

ocorreu com o município de Londrina - PR, o qual apresentou um acréscimo de 16,06% de sua demanda por recursos hídricos, em relação ao ano de 2004.

A Figura 47 indica a evolução do consumo *per capita* (L/dia/hab) entre os municípios da RML, entre os anos de 2004 e atualmente.

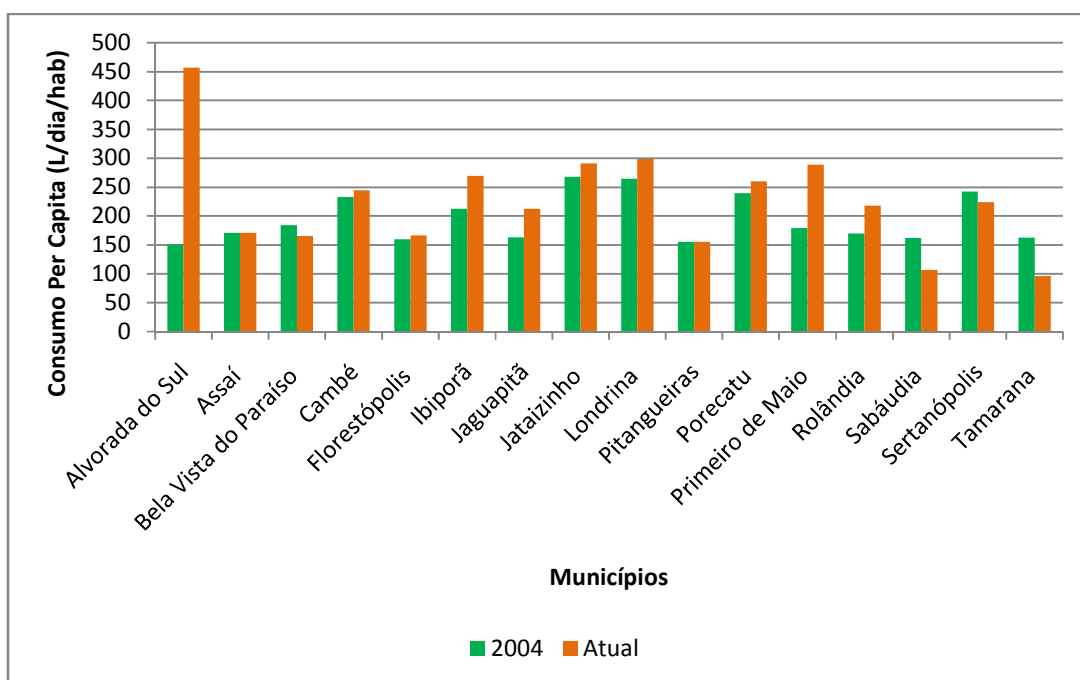


Figura 47 - Consumo Per Capita (L/dia/hab) nos municípios da RML, no ano de 2004 e atualmente.

Verifica-se que o município de Alvorada do Sul - PR apresentou o maior acréscimo em seu consumo *per capita* entre o período analisado, com um incremento de 67% do seu valor no ano de 2004. Verifica-se Bela Vista do Paraíso - PR, Sertãoópolis - PR, Sabáudia - PR e Tamarana - PR apresentaram redução do consumo *per capita*. Reduções em tais municípios já eram esperadas, desde que tais municípios apresentaram redução nos volumes demandados em tais períodos, como pode ser visualizado na Figura 45.

No geral, houve aumentos bastante plausíveis de consumo *per capita* entre os municípios que compreendem a RML.

Através do BIOESTAT 5.0, foi realizada a análise estatística dos dados referentes ao consumo *per capita* referente aos anos de 2004 e os da atualidade. Abaixo, segue a Figura 48, a qual indica o comparativo entre tais análises.

Tamanho da amostra =	16	Tamanho da amostra =	16
Mínimo	150.8000	Mínimo	96.2600
Máximo	267.9800	Máximo	457.0700
Amplitude Total	117.1800	Amplitude Total	360.8100
Mediana	175.0350	Mediana	220.8700
Primeiro Quartil (25%)	162.2950	Primeiro Quartil (25%)	166.3600
Terceiro Quartil (75%)	234.6175	Terceiro Quartil (75%)	274.5150
Desvio Interquartilico	72.3225	Desvio Interquartilico	108.1550
Média Aritmética	194.8019	Média Aritmética	226.6600
Variância	1709.3635	Variância	7784.3888
Desvio Padrão	41.3444	Desvio Padrão	88.2292
Erro Padrão	10.3361	Erro Padrão	22.0573
Coefficiente de Variação	21.22%	Coefficiente de Variação	38.93%
Assimetria (g1)	0.7111	Assimetria (g1)	0.9243
Curtose (g2)	-1.1452	Curtose (g2)	1.9468
Média Harmônica =	187.4285	Média Harmônica =	195.3802
N (média harmônica) =	16	N (média harmônica) =	16
Média Geométrica =	190.9543	Média Geométrica =	210.9980
N (média geométrica) =	16	N (média geométrica) =	16
Variância (geom.) =	1.0181	Variância (geom.) =	1.0714
Desvio Padrão (geom.) =	1.2254	Desvio Padrão (geom.) =	1.4895

Figura 48 - Análises estatísticas dos valores de Consumo Per Capita (L/dia/hab) nos municípios da RML, no ano de 2004 e atualmente.

Os dados mais relevantes a respeito de tais análises foram a média aritmética e o desvio padrão. Nota-se que, no ano de 2004, a média de consumo *per capita* girava em torno de 194,8 L/dia/hab, e atualmente, tal valor é de 226,7 L/dia/hab. Percebe-se que houve um aumento de tal média, já que, no geral, o valor do consumo *per capita* dos municípios aumentou. Tal aumento é perfeitamente compreensível, já que, com o passar dos anos, a tendência é que existam aumentos tanto populacional quanto dos recursos hídricos, variáveis consideradas no cálculo do consumo *per capita*.

Com relação ao desvio padrão, este aumentou consideravelmente de 2004 para a atualidade. Passou de 41,3 para 88,2%, o que significa que a variação entre os valores de consumo *per capita*, entre os municípios, aumentou entre os períodos amostrados.

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação realizada para o presente trabalho, obtidas através de levantamentos, análises e sistematização de dados referentes ao uso de águas subterrâneas e superficiais na RML, resultaram em um importante estudo, em alguns aspectos inéditos, sobre importantes aspectos ligados aos recursos hídricos utilizados pelos municípios que compreendem a RML, especialmente os subterrâneos.

Em número de municípios, a maioria daqueles que compreendem a RML, mais precisamente 56%, são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas. Em nenhum deles, o abastecimento é realizado somente através de captação superficial. Os outros 44% realizam captação de água subterrânea e superficial (abastecimento misto).

Na área de estudo, em termos volumétricos, o consumo de água extraída de fontes superficiais é superior ao subterrâneo. Percentualmente, 76% do abastecimento de águas dos municípios da RML é realizado através da captação de mananciais superficiais. Em números, são 2.000.4021,2 m³ de recursos hídricos extraídos, anualmente, a partir de fontes subterrâneas, contra 6.501.632,23 m³ captados anualmente de fontes superficiais.

Com relação à evolução das perfurações, dentre os poços da RML que foram cadastrados no SIAGAS, o mais antigo foi instalado em 1951 e foi o único registrado pelo sistema. Na década seguinte, também foi levantado somente um poço instalado na região. A partir da década de 1970, o número de perfurações cresce fortemente até a década de 2000. Tal evolução indica que o uso dos sistemas aquíferos como fonte de abastecimento, sendo que na maioria dos municípios é a única, é crescente, diante de suas vantagens em relação às águas superficiais, tanto em termos de qualidade (proteção natural dos aquíferos à contaminação), como pelo fator econômico (baixos custos de exploração).

A avaliação da concentração populacional possibilitou a identificação e comprovação dos municípios com maior demanda hídrica. Muitos destes municípios

são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas, o que pode indicar, para futuros estudos, uma situação de superexploração.

Com relação à distribuição espacial dos poços na área de estudo, notou-se maiores concentrações na região norte do município de Londrina - PR, devido à grande concentração urbana nessa zona, bem como nas zonas sul das cidades de Cambé - PR e Rolândia - PR, relacionadas às atividades industriais situadas nessas localidades em ambos os municípios.

Segundo Pires (2006), Cambé - PR é o município mais industrializado da RML, contando com indústrias químicas, mecânicas, de matéria plástica, de produtos alimentares e de bebidas, dentre outras. E a concentração dos poços, portanto, deve-se a tais indústrias, e pelo fato de o município ser um dos mais urbanizados da RML, como já foi constatado.

As áreas mais com maiores concentrações populacionais e as mais urbanizadas, como Londrina - PR, Ibiporã - PR, Cambé - PR e Rolândia - PR, apresentam maiores demandas por recursos hídricos.

Um total de 631 poços foram cadastrados, e com relação ao uso dado ao recurso hídrico captado, verifica-se uma destinação principal para o abastecimento urbano, que consome cerca de 61% do volume total explorado, seguido pelo uso industrial, que consome cerca de 32%, contra 6,% destinado ao uso múltiplo e, por último, com 0,8%, para outros usos.

A análise dos dados sobre o abastecimento público para todos os tipos de captação dos municípios inseridos na área de estudo, indicam o consumo *per capita* de 226,7 litros de água por habitante por dia ($0,226 \text{ m}^3/\text{hab./ano}$), ou seja, um volume diário aproximado de 231.276 m^3 , ou o volume total de $8,3 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}$. Em média, o consumo *per capita* diário das águas subterrâneas dos diferentes aquíferos na área de estudo atinge 147,6 L/hab, enquanto o uso superficial é de 180,7 L/dia/hab. A soma total do volume explorado pelos mananciais subterrâneos atinge a média diária de $5,55 \times 10^4 \text{ m}^3$ ou $2,00 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}$.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), cada pessoa necessita de $3,3 \text{ m}^3/\text{pessoa/mês}$ que corresponde a cerca de 110 litros de água por dia para atender as necessidades de consumo e higiene. Mas, tem sido relatado no Brasil,

que o consumo por pessoa pode chegar a mais de 200 litros/dia (PRADO, 2008). Dentre os municípios que abrangem a RML, Sabáudia - PR é o que mais se aproxima do consumo preconizado pela ONU, com um consumo *per capita* médio de 106,98 L/hab/dia.

O volume hídrico retirado dos municípios que realizam o abastecimento de água exclusivamente a partir de fontes subterrâneas representa 9,4% do total de recursos hídricos consumidos pela RML.

Com base no que foi apresentado, foi possível elaborar algumas recomendações relacionadas ao uso dos recursos hídricos na RML, como descrito a seguir.

Coletar informações junto às principais organizações localizadas na região metropolitana, semelhante ao que foi feito no presente trabalho, e posteriormente a criação de um programa de sistema de dados integrado e de fácil acesso, tanto para os usuários quanto para os gestores, que possibilitem a análise das demandas de água para os mais diversos tipos de usos; prospectar variações de cenário, incluindo o estudo da expectativa de crescimento da pressão sobre os recursos hídricos no curto, médio e longo prazos, decorrente dos investimentos econômicos previstos e do adensamento demográfico; pesquisar sobre possíveis inovações tecnológicas e mudanças de hábitos, analisando a incorporação de fontes alternativas de abastecimento, como a reciclagem, bem como avaliar a possibilidade de se criar uma sobretaxa, através da via da regulação pró-ativa, proibindo a instalação de empreendimentos de uso intensivo de água na área quando necessário; o controle do balanço hídrico e da demanda de extração das águas dos sistemas aquíferos utilizados, colocando em destaque propostas que visem aos seus usos sustentáveis; e, por fim, a participação dos municípios envolvidos, amparados em um zoneamento ambiental em áreas com tendências de superexploração e vulneráveis à contaminação.

Com relação ao SIAGAS, este se mostrou uma ferramenta bastante eficiente, embora apresente alguns pontos que merecem ser revistos, como por exemplo, a quantidade de dados informados nos poços cadastrados. Verificou-se, no presente trabalho quantidades bastante significativas de ausência de dados, tais como “Data de Perfuração” e “Vazão após estabilização”, informações preciosas para as análises a

serem realizadas durante a pesquisa. O fato de o sistema não estar completamente atualizado também é uma questão a ser pontuada, já que, ao se basear nas informações presentes em tal dispositivo, as pesquisas tornam-se carentes de dados atualizados, como foi o caso deste trabalho.

Porém, esse dispositivo também se mostra como um importante sistema de informações para estudantes, perfuradores de poços, gestores e profissionais que lidam com recursos hídricos e meio ambiente, pesquisadores e usuários de água, o que mostra outro ponto positivo do sistema, o acesso livre ao público. De modo geral, tal sistema foi a base para a presente pesquisa, e se apresentou de maneira satisfatória no fornecimento dos dados analisados.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUINAGA, Karyn F. S. **Análise Jurídica da Gestão das Águas Subterrâneas no Município de Manaus**. 2007. 141 f. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Direito Ambiental, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus. 2007.

ALIEVI, Alan A.; PINESE, José Paulo P.; CELLIGOI, André. Inventário das Áreas de Concentração de Poços Tubulares na Zona Urbana de Londrina - PR e Implicações Ambientais. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.6, n.13, p.77-92, set./dez. 2012.

AMANTHEA, Nelson R. **De Volta Para o Futuro: o Aquífero Guarani como Alternativa Viável ao Desenvolvimento da Região de Londrina - PR**. 2004. 287 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós Graduação em Administração, Universidade Estadual de Londrina - PR e Universidade Estadual de Maringá, Londrina - PR. 2004.

ANA (Agência Nacional de Águas). **Águas Subterrâneas**. 2009. Disponível em:<http://www.uniagua.org.br/public_html/website/estudo_aguas_subterraneas.pdf>. Acessado em: 22 fev. 2013.

ARCHELA, R. S. Imagem e representação gráfica. **Revista Geografia**, Londrina - PR, jan./jun.1999. V.8, n.1, p.5-11.

AZEVEDO, Anna A. B; PRESSINOTTI, Márcia Maria N.; MASSOLI, Marcos. Estudos Sedimentológicos das Formações Botucatu e Pirambóia na Região de Santa Rita do Passa Quatro, SP. **Revista IG**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 31-38, jan./jun.1981.

BARBOSA, Hélio B. **O Desafio da Gestão Integrada: Recursos Hídricos na grande São Paulo**. 2003. 2003. 83 f. Dissertação (Pós-Graduação em Políticas de Governo) – Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo. 2003.

BARBOSA, Sérgio A. **Aplicação de Sistemas de Informações Geográficas em Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos**. 2007. 68 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2008.

BITTENCOURT, Alexander. **Estudo sobre a Tipologia das Águas e Distribuição Espacial do Sistema Aquífero Guarani no Extremo Oeste do Estado do Paraná.** 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2008.

BRASIL. Lei nº 8.970 de 28 de dezembro de 1994. **Transforma a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) em empresa pública e dá outras providências.** 1994.

BRASIL. - Lei Federal 9.433 de 8 de Janeiro de 1997. **Política e Sistema Nacional de Recursos Hídricos** – “Lei das águas”. MMA/SRH – Movimento de Cidadania pelas Águas. Brasília, 1997.

CAETANO CHANG, M. R. **A Formação Pirambóia no centro-leste do Estado de São Paulo.** Concurso (Livre-Docente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

CÂMARA, Gilberto et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** Rio de Janeiro, 1996.

CARMELLO, Vinicius. Vulnerabilidade Agrícola da Produção de Soja na Região Metropolitana de Londrina – PR: Análise da Safra de 2005/06. **Revista Geográfica de América Central Número Especial EGAL**, Costa Rica, v. 2, n. 47, p. 1-16, II Semestre 2011^a.

CARMELLO, Vinicius. **Vulnerabilidade Agrícola da Produção de Soja em Cinco Municípios da Região Metropolitana de Londrina – PR.** 2011. 79f. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Geografia – Universidade Estadual de Londrina - PR, Londrina, 2011^b.

CASTRO, Henrique R. **A Região Metropolitana na Federação Brasileira:** estudo de caso de Londrina - PR, Paraná. 2006. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Política) – Instituto de Filosofia e Ciências Sociais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006.

CELLIGOI, André; DUARTE, Uriel. Aspectos Hidrogeoquímicos da Formação Serra Geral em Londrina – PR – In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUA SUBTERRÂNEAS, 8., Recife, 1994. **Anais...**Recife: ABAS, 1994. p. 425 – 433.

CLEARY, Robert W. **Princeton Groundwater, INC.** 1989. Disponível em: <http://www.clean.com.br/Menu_Artigos/cleary.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2013.

CONAMA (2005) Resolução nº 357. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente. Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> >. Acesso em: 23 fev. 2013.

CONAMA (2008) Resolução Conselho nº 396. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente. Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562f>>. Acesso em: 18 abr. 2013.

CURY, José Flávio. **A gestão integrada de Bacias Hidrográficas**: a abertura de uma oportunidade para o desenvolvimento sustentável do Alto Paranapanema. 2005. 350 f. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais e Urbanas) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

FERNANDES, Amélia J. et al. Estratigrafia dos Derrames de Basaltos da Formação Serra Geral (Ribeirão Preto – SP) Baseada na Geologia Física, Petrografia e Geoquímica. **Revista do Instituto de Geociências**– USP. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 10, n. 2, p. 73-99, julho 2010.

FILHO, Ernani F. R. et al. Sistema Aquífero Guarani – Considerações Preliminares sobre a Influência a do Arco de Ponta Grossa no Fluxo das Águas Subterrâneas. **Revista Águas Subterrâneas**, n. 17, p. 91-112, Maio 2003.

FRANÇA, Marianne S. **Análise Estatística Multivariada dos Dados de Monitoramento de Qualidade de Água da Bacia do Alto Iguaçu**: Uma Ferramenta para a Gestão de Recursos Hídricos. 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2009

FREIRE, Cleuda C. **Modelo de Gestão para a Água Subterrânea**. 2002. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e

Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2002.

FRESCA, Tânia Maria. Deslocamentos Pendulares na Região Metropolitana de Londrina – PR: Uma Aproximação. **Geo UERJ** - Ano 14, v. 1, n. 23, p 167-191, 1º semestre de 2012.

GESICKI, Ana Lúcia D. **Evolução Diagenética das Formações Pirambóia e Botucatu (Sistema Aquífero Guarani) no Estado De São Paulo**. 2007. 175 f. Dissertação (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

GUEDES, Hugo A. S. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.5, p. 558-563, maio de 2012

IAP – INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos**. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Regiões de influências das cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 18 julh. 2013. IBGE, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha municipal digital do Brasil: situação em 2007**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm>. Acesso em: 21 jun. 2013. IBGE, 2013.

IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Informações sobre Censos Demográficos de 1980; 1991; 2000 e 2010; PIB a Preços Correntes (1000R\$) 2010; PIB Per Capita (1,00R\$) de 2002; 2005 e 2010; População Estimada (IBGE) 2012**; Disponível em: <<http://www.ipardes.pr.gov.br/imp/index.php>>. Acesso em: Janeiro, Fevereiro, Março, Junho, Julho e Agosto de 2013. IBGE, 2013.

MAACK, Reinhard. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3ª. Ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002. 400p. (Brasil diferente).

MACHADO, Fábio B. et al. Geologia e Litogeoquímica da Formação Serra Geral nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 523-540, 2009.

MANASSES, Fábio; FILHO, Ernani F. R.; BITTENCOURT, André V. L. Estudo Hidrogeoquímico da Formação Serra Geral na Região Sudoeste do Estado do Paraná. **Águas Subterrâneas**, v.21, n.02, p.49-58, 2007.

MANIERI, Daiany D. **Comportamento Morfoestrutural e Dinâmicas das Formas de Relevo da Bacia Hidrográfica do rio São Pedro – Faxinal – PR**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em geografia, Universidade Estadual de Maringá. 2010.

MARINATO, Cristina F. **Integração ente a Gestão de Recursos Hídricos e a Gestão Municipal Urbana**: Estudo da Inter-Relação entre Instrumentos de Gestão. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2008.

MARQUES, Érika A. T.; CUNHA, Maristela C. C.; MELO, Ivan D. F. Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na Gestão de Recursos Hídricos. **Revista Gestão Pública**: Práticas e Desafios, Recife, v. 2, n.4,p. 24-37,jun.2011.

MELLO, Marcia P. M. **Qualidade da água subterrânea em poços do assentamento Nova Amazônia (RR)**: influência dos agentes impactantes. 2009. 63 f. Monografia (Especialização) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista. 2009.

MINEROPAR- Serviço Geológico do Paraná. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br>>. Acesso em: 16 fev. 2013.

MONTEIRO, Adson B. et al. Análise Estatística Multivariada de Dados Hidroquímicos do Aquífero Cabeças-Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba – PI. Anais: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS e XVII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, São Luís, 2010. **Anais...**São Luís, 31 ago—3 set. 2010. 19 p. P. 1-19.

MOURÃO, Maria Antonieta A. **Implantação de Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas**. 2009. Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/publique/media/proposta_monitoramento_CPRM_2009.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2013.

NASCIMENTO, Flávia M. F. et al. **Sistema de Informações de Água Subterrânea – SIAGAS Histórico, Desafios e Perspectivas**. In: XV CONGRESSO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. 2008.

NERY, Jonas T.; FERREIRA, José H. D.; MARTINS, Maria de Lurdes O. F. 2000. **Relação de parâmetros meteorológicos associados a anos de El Niño e La Niña no Estado do Paraná**. Apontamentos nº 95. Maringá: EDUEM, 64p.

PAISANI, Julio César et al. **Características Geológicas da Formação Serra Geral na Área Drenada pelo Rio Marrecas (SW Paraná)**: Fundamentos para a Análise Geomorfológica. Geografia - v. 17, n. 2, jul./dez. 2008 – Universidade Estadual de Londrina - PR, Departamento de Geociências.

PARANÁ. Lei Complementar nº 81, de 17 de junho de 1998. **Institui a Região Metropolitana de Londrina - PR, constituída pelos municípios que especifica**. Curitiba, PR, 1998.

PEIXINHO, Frederico Cláudio.; OLIVEIRA, José Emílio C.O. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS – As suas Funcionalidades e Importância no Contexto das Políticas Públicas**. 2012.

PEREZ, João Carlos Barbosa. **PERFIL DO MUNICÍPIO DE LONDRINA - PR – 2012 (Ano-Base 2011)**, 2012. Disponível em: <http://www1.londrina.pr.gov.br/dados/images/stories/Storage/sec_planejamento/perfil/regiao_metropolitana/perfil_regiao_metropol_ldna_2012_versao_final.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2013.

PINHEIRO, Mariana R. C. et al. Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ. Anais XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal, Brasil. **Anais...Natal**: INPE, 25-30 abril 2009. p. 4247-4254.

PIRES, Sandra R. A. et AL. Região Metropolitana de Londrina - PR. Caracterização e Indicadores Sociais. 2006. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/ssrevista/cv8n2_sandra2.htm>. Acesso em: 23 jul. 2013.

Plano diretor: Município de Assaí - PR. 2010. Disponível em: <http://assai.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1694&Itemid=649>. Acesso em: 19 julh. 2010.

Plano Municipal de Saneamento Básico Londrina - PR. **Relatório de Diagnóstico da Situação do Saneamento**. 2008/2009.

PRADO, N. Brasil ultrapassa meta da ONU para a água. Rede de tecnologia social – RTS, 2008. Disponível em: <<http://www.rts.org.br/noticias/destaque-2/brasil-ultrapassa-meta-da-onu-para-a-agua>>. Acesso em: 14/08/2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LONDRINA - PR. **Dados Geográficos**. Disponível: <http://www.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=40&Itemid=58>. Acesso em: 12 Jan. 2012.

Programa de Águas Subterrâneas. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2001. 21p. ; il.

Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. **Síntese Hidrogeológica do Sistema Aquífero Guarani**. 2009. Disponível em: <www.creasp.org.br/biblioteca/.../sag_sintese.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2013.

SANTOS, Maurício M. **Gerenciamento de recursos hídricos Subterrâneos: uso atual e potencial do sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo (SP)**. 2009. 224 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2009.

SANTOS, Maurício M.; CHANG, Maria Rita C.; KIANG, Chang H. Utilização de SIG na Avaliação do Uso da Água do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, São Luís. 2010.

SILVA, Alessandra. B. **Conectividade e Compartimentação Magnética-estrutural dos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani na Região Central do Estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. 2007.

SILVA, Paulo C. A. **Reserva hídrica: Aquífero Guarani e seu uso sustentável**. Monografia (especialização) - Curso em Legislativo e Políticas Públicas, Câmara dos Deputados, Centro de Formação, Treinamento e Aperfeiçoamento (Cefor), 2011.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 03 julh. 2013.

SOARES, P. C. **O Mesozóico gondwânico no Estado de São Paulo**. Tese (doutorado em geologia). Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro – SP, 1973.

SOUZA, Adalberto A. **Caracterização da Bacia do Rio Iguaçu, a Jusante do Município de Reserva do Iguaçu, como Área de descarga do Aquífero Guarani**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. 2004.

SPLINK - Species Link - Dados e Ferramentas. **Conversor**. Disponível em: <<http://splink.cria.org.br/conversor>>. Acesso em: 24 junh. 2013.

STRUGALE, Michael et al. Compartimentação Estrutural das Formações Pirambóia e Botucatu na Região de São Jerônimo da Serra, Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 3, p. 303-316, setembro de 2004.

TAMADA, Mariela M. et al. Uso do Sistema de Informação Geográfica como Ferramenta Auxiliar para Tomada de Decisão: Aplicação à Pecuária Leiteira. In: VI CONGRESSO VIRTUAL BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO. 2009.

TEIXEIRA, Wilson et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008. 557 p.

TUNDISI, José G. **Limnologia no século XXI: perspectivas e desafios**. Instituto Internacional de Limnologia, São Carlos, SP, 24 p., 1999.

VILLAR, Pilar Carolina. Gestão das águas subterrâneas e o Aquífero Guarani: desafios e avanços. In: V ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, Florianópolis, 2010. **Anais...** Florianópolis, 2010. 13 p. P 1-13.

