

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

CAROLINE DUTRA

**AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS GUARANI E
SERRA GERAL NOS MUNICÍPIOS DE CAMBÉ, IBIPORÃ, LONDRINA E
TAMARANA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2013

CAROLINE DUTRA

**AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS GUARANI E
SERRA GERAL NOS MUNICÍPIOS DE CAMBÉ, IBIPORÃ, LONDRINA E
TAMARANA**

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

AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS GUARANI E SERRA GERAL NOS MUNICÍPIOS DE CAMBÉ, IBIPORÃ, LONDRINA E TAMARANA

por

Caroline Dutra

Monografia apresentada no dia 10 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, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dra. Alessandra Furtado da Silva

Prof.Dra.. Joseane Débora Peruço Theodoro

Profa. Dr. Maurício Moreira dos Santos
Orientador

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

Observação: este termo foi entregue impresso e assinado ao Professor Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Ambiental.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ser onipresente, e ter me concedido ótimos momentos, destacando a entrada e desenvolvimento no curso de Engenharia Ambiental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, onde tive a oportunidade de adquirir experiência, aprendizado e conhecer ótimas pessoas, entre amigos, professores e servidores.

Agradeço a minha família, por ter dado apoio para que eu realizasse o curso, principalmente aos meus pais Dulcineia Moitinho Dutra e Nilson Roberto Dutra, que tanto me ajudaram, e foram compreensivos em relação a importância do curso da minha vida.

Agradeço também aos amigos por serem grandes companhias, os quais me deram apoio, e proporcionaram-me muitas alegrias durante os anos de faculdade.

E por fim, agradeço a pessoa que foi fundamental ao desenvolvimento deste Trabalho: Professor Doutor Maurício dos Santos, o qual se demonstrou como um excelente orientador, desde o início até a data de entrega, apresentando pleno conhecimento sobre o tema, foi compreensivo em todas as fases do desenvolvimento do Trabalho, sempre ofereceu ajuda, recomendações e correções pertinentes as quais resultaram na melhor qualidade do Trabalho.

RESUMO

DUTRA, Caroline. Avaliação Hidroquímica dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral nos municípios de Cambe, Ibiporã, Londrina e Tamarana. 2013. 64p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

As águas subterrâneas geralmente apresentam boa qualidade por serem naturalmente filtradas pela porosidade das formações geológicas, assim, através de seu caminho, podem atingir zonas saturadas do subsolo e serem armazenadas em aquíferos. Como a água é uma substância muito reativa, ao infiltrar no meio poroso, solubiliza constituintes presentes nas formações geológicas, por isso as águas subterrâneas são frequentemente, consideradas ricas em sais minerais. Dentre outras vantagens, como a boa disponibilidade, a utilização das águas subterrâneas é uma importante alternativa ao saneamento e suprimento de demandas por águas para o abastecimento. Em Londrina e para os municípios que compõem a sua região metropolitana, predomina-se a captação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), seguido pelo Sistema Aquífero Guarani (SAG), o qual se encontra confinado em tal área. Dessa forma, a fim de se conhecer o padrão hidroquímico relacionado aos compostos iônicos dissolvidos nos sistemas aquíferos que abastecem os municípios de Cambé, Ibiporã, Londrina e Tamarana, criou-se um banco de dados sobre poços tubulares utilizados para suprir a demanda de água na área de estudo. A partir das informações coletadas, elaboraram-se os diagramas de Piper e Stiff, os quais permitem a classificação hidroquímica da água. De acordo com os resultados, as águas subterrâneas, de maneira geral, se distribuem nas classes das bicarbonatadas cálcicas/magnesianas, característica do SASG e bicarbonatadas sódicas, característica do SAG. Entretanto, verificou-se que na área de estudo, algumas águas de poços do SAG tinham características hidroquímicas de águas do SASG e vice-versa, fato que pode apontar a interconexão de aquíferos nas localidades decorrentes. Ao realizar análise espacial sobre a concentração dos compostos iônicos que se apresentaram predominantes nas análises, verificou-se que no SAG, os teores de sódio e alcalinidade total aumentaram de sul para norte e de oeste para leste, onde há maior nível de confinamento, o que é proporcional à dissolução e trocas iônicas ocorridas no aquífero.

Palavras chave: Aquífero, SAG, SASG, Hidroquímica.

ABSTRACT

DUTRA, Caroline. Hydrochemical evaluation of the Guarani Aquifer System and Serra Geral Aquifer System in municipalities of Cambé, Ibipora, Londrina and Tamarana. 2013. 64p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

The groundwaters generally present good quality because it is naturally filtered by the porosity of the geological formations. It can reach the subsoil saturated zones and be stored in aquifers. As water is a very reactive substance, while infiltrating the soil it can dissolve constituents that are presented in geological formations, thus, groundwater are often considered rich in minerals. Among other advantages, such as good availability, the use of groundwater is an important alternative to sanitation and water supply demands. In the city of Londrina – PR and its metropolitan area, it is predominated the uptake of groundwater from the Serra Geral Aquifer System (SGAS), followed by the Guarani Aquifer System (GAS), which is confined in the area. In order to determine the hydrochemical pattern related to the ionic compounds dissolved in the groundwater that supply the municipalities of Cambé, Ibiporã, Londrina and Tamarana, a database of wells which capture water from the SGAS and GAS, used to supply water for those municipalities, was created. From the information obtained, it elaborated Piper and Stiff Diagrams, which allow the hydrochemical classification of water. It was found that in the study area, the waters are divided into classes of calcic/magnesian bicarbonate, characteristic of SGAS waters and sodic bicarbonate characteristic of GAS water. It was verified that in the study area, waters from wells of GAS presented characteristics from SGAS waters and also the contrary, which may point interconnection of aquifers in the resulting localities. After performing spatial analysis on the concentration of ionic compounds that were predominant in the analysis, it was found that sodium concentration and total alkalinity increased from South to North and from East to West, where there is a higher level of containment, which is proportional to the dissolution and ion exchange occurring in the aquifer.

Keywords: Aquifer, GAS, SGAS, Hydrochemistry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo. Modificado de ITGC (2013)	16
Figura 2 – Ilustração apresentando as Bacias Hidrográficas do Estado do Paraná	17
Figura 3 - Mapa Apresentando a Rede Hidrográfica e Curvas de Nível Topográfico na área de Estudo. Modificado de ITGC (2013).....	18
Figura 4 - Localização da Bacia Sedimentar do Paraná	19
Figura 5 - Unidades aquíferas localizadas na área de estudo.....	21
Figura 6 - –Página Inicial do SIAGAS WEB.	29
Figura 7 - Interface do Software Qualigraf	32
Figura 8 - Disposição de Dados no Software Qualigraf.....	33
Figura 9 - Esquema de representação do Diagrama de Piper.	35
Figura 10 - Esquema de um Diagrama de Stiff.	36
Figura 11 - Localização dos Poços	40
Figura 12 - Diagrama de Piper apresentando os dados plotados de acordo com classificação hidroquímica.	42
Figura 13 - Localização dos Diagramas de Stiff	44
Figura 14 - Transceta A-B. Sentido aproximado sul-norte.	47
Figura 15 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transecta A-B.....	48
Figura 16 - Transectas C-D e E-F. Sentido aproximado: SW - NE	50
Figura 17- Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transecta C-D.	51
Figura 18 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transecta E-F	52
Figura 19 - Transecta G-H. Sentido aproximado sul-norte.....	53
Figura 20 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transecta G-H.	54
Figura 21 - Transecta M-N. Sentido oeste-leste.....	56
Figura 22 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transecta M-N.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transecta A-B.....	48
Tabela 2 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transecta C-D	51
Tabela 3 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transecta E-F	51
Tabela 4 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transecta G-H	54
Tabela 5 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transecta M-N	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. JUSTIFICATIVA	13
4. REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E AQUÍFEROS	14
4.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	14
4.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	19
4.3.1 Sistema Aquífero Guarani – SAG	20
4.4 HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	23
4.4.1 Classificação Hidroquímica.....	26
5. MATERIAIS E MÉTODOS	28
5.1 COLETA DE INFORMAÇÕES.....	28
5.1.1 Informações sobre Poços Tubulares na Área de Estudo	28
5.2 ANÁLISE HIDROQUÍMICA	31
5.2.1 Balanço Iônico.....	33
5.2.2 Diagrama de Piper	34
5.2.4 Análise Espacial da Distribuição Hidroquímica.....	36
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
6.1 OBTENÇÃO E VALIDAÇÃO DOS DADOS SOBRE OS POÇOS LOCALIZADOS NA ÁREA	38
6.1.1 Balanço Iônico.....	39
6.2 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA: DIAGRAMAS E GEORREFERENCIAMENTO	41
6.3.1 Diagrama de Piper	41
6.3.2 Diagrama de STIFF.....	43
6.4 ANÁLISE HIDROQUÍMICA ESPACIAL	45
6.4.1 Análise Hidroquímica Espacial - SAG.....	46
6.4.2 Análise Hidroquímica-Espacial – SASG	52
6.4.3 Análise Hidroquímica e Potabilidade	58
7. CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

Segundo Teixeira et al. (2000), os aquíferos são unidades rochosas ou de sedimentos, porosas e permeáveis que acumulam e transmitem volumes expressivos de água subterrânea sujeita à exploração pela sociedade. Bons aquíferos são aqueles que apresentam materiais com média a alta condutividade hidráulica, como rochas sedimentares, sedimentos inconsolidados, rochas vulcânicas, plutônicas e metamórficas com alto grau de fraturamento.

A utilização das águas subterrâneas para abastecimento público é uma importante alternativa para suprir a demanda da sociedade pelo recurso, pois a água captada em aquíferos, geralmente, apresenta boa qualidade e disponibilidade, além de satisfazer necessidades relacionadas à sazonalidade dos mananciais superficiais, ou mesmo a ausência desses, em determinadas regiões.

Em Londrina, e sua região metropolitana, a captação de água subterrânea para abastecimento público é realizada, atualmente, pela - Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR (Cambé e Londrina) e o SAMAE Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto, a partir da exploração regulamentada do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e Sistemas Aquíferos Guarani (SAG).

Em relação ao padrão hidroquímico, de modo geral, as águas subterrâneas apresentam concentrações de sais minerais superiores às das águas superficiais, pois durante o processo de lixiviação nos solos e rochas, a água que infiltra o reservatório subterrâneo, enriquece-se com sais minerais em solução, uma vez que os componentes mineralógicos das rochas são dissolvidos e mobilizados (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

Logo, a água subterrânea adquire características relacionadas às concentrações dos minerais dissolvidos, sendo esses, componentes da litologia local, e é classificada quanto ao padrão hidroquímico, identificado através de análise.

Para caracterização hidroquímica dos aquíferos, pode-se empregar ferramentas gráficas, como os diagramas, que permitem facilitar o entendimento da distribuição das concentrações de cátions e ânions contidos nas amostras analisadas, o que possibilita

identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos das águas subterrâneas.

Assim, o presente estudo possui como hipótese, a partir de estudos que visarão a caracterização hidroquímica das águas subterrâneas captadas na região de Londrina, identificar ou não a interconexão química/hidráulica entre os aquíferos SAG e SASG na área de estudo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal do presente trabalho constitui na avaliação e caracterização hidroquímica dos sistemas aquíferos utilizados para suprirem a demanda de água dos municípios de Cambé, Ibiporã, Londrina e Tamarana, e a partir desses resultados, analisar a possível influência hidrodinâmica de interconexão entre os SASG e SAG.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Em face ao objetivo principal do presente projeto, alguns objetivos específicos podem ser elencados:

- levantamento e construção de um banco de dados georreferenciado com os dados de análises químicas de água subterrâneas a partir de dados cadastrais;
- caracterizar o padrão hidroquímico das águas subterrâneas utilizadas para suprir a demanda de água nos municípios de Cambé, Ibiporã, Londrina e Tamarana;
- georreferenciar as diferentes caracterizações hidroquímicas na área de estudo, e assim verificar a relação das águas analisadas com as formações geológicas locais;
- verificar a ocorrência de anomalias na caracterização hidroquímica realizada, como pontos de confluência entre os diferentes sistemas aquíferos e possíveis fontes de contaminação.
 - análise espacial hidroquímica das águas subterrâneas inseridas na área de estudo.

3. JUSTIFICATIVA

Em vista da importância das águas subterrâneas para o abastecimento público, assim como sua boa qualidade e quantidade disponível, este estudo foi realizado a fim de se conhecer o padrão hidroquímico dos sistemas aquíferos explorados para suprir parcialmente a demanda de água nos municípios de Cambé, Ibiporã, Londrina e Tamarana.

A escolha desses municípios para o presente trabalho está relacionada com a localização estratégica, ou seja sua localização no entorno da Região Metropolitana de Londrina (RML), o que permite a análise espacial do estudo hidroquímico realizado para as águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani.

Além disso, no âmbito ambiental, deve ser considerado a relevância do padrão hidroquímico das águas subterrâneas tendo em vista a sua vinculação à composição mineralógica da rocha e às relações com o meio físico e humano do entorno no âmbito das bacias hidrográficas. Logo, o estudo busca classificar as águas analisadas quanto a sua composição química e avaliar sua qualidade ao abastecimento público.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Este item contém levantamento conceitual sobre os temas abordados neste trabalho, desde definições até os aspectos envolvidos nas análises, permitindo maior entendimento/compreensão dos estudos realizados para o alcance dos objetivos propostos, além de comparações referenciais científicas dos resultados obtidos.

4.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E AQUÍFEROS

Este estudo foi fundamentado na análise hidroquímica das águas subterrâneas, estas se constituem, conceitualmente, na parcela da precipitação que infiltra no solo e/ou formações geológicas, através da porosidade dos mesmos, sendo armazenadas abaixo da superfície do terreno, atingindo zonas saturadas e formando, dessa maneira, os aquíferos. Assim, as águas subterrâneas compreendem uma etapa do ciclo hidrológico, assim como do balanço hídrico.

Os aquíferos são meios porosos capazes de armazenar e transmitir água através de seus espaços vazios intergranulares que formam os solos, sedimentos inconsolidados e/ou rochas sedimentares. As águas subterrâneas também podem ser armazenadas em fraturas, porções onde as rochas se romperam devido ao resfriamento do magma em rochas ígneas, à movimentação da crosta terrestre e ação do processo de intemperismo químico e físico (IRITANI e EZAQUI, 2008).

4.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A caracterização hidroquímica realizada para o presente trabalho, insere-se nas águas subterrâneas da região de Londrina, abrangendo ainda os municípios de Cambé, Ibiporã e Tamarana, as quais são captadas em poços operados pela SANEPAR e o SAMAE para o abastecimento público.

Os municípios, que compõem a área de estudo, situam-se no norte do estado do Paraná, e estão geologicamente nos limites da Bacia Sedimentar do Paraná. Esta consiste numa entidade geológica com preenchimento sedimentar e magmático, localizada no centro-leste da América do Sul, com extensão territorial de aproximadamente 1.600.000 Km². Sendo que em território brasileiro, a extensão territorial da Bacia Sedimentar do Paraná atinge aproximadamente 1000 km², distribuídos pelos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás (PETRI e FÚLFARO 1983 apud SANTOS, 2009).

A área formada pelas extensões territoriais de Cambé, Ibiporã, Londrina e Tamarana é delimitada pelas coordenadas 23°16'33"- 23°55'46" S e 51°16'40" - 51°19'11"º. Tais municípios estão localizados na Microrregião de Londrina, situada na Região Norte Central Paranaense, a qual é inserida no Terceiro Planalto Paranaense. Além dos municípios descritos, a Microrregião de Londrina é também composta por Pitangueiras e Rolândia (LONDRINA, 2008).

A extensão total da área de estudo pode ser representada pela soma das áreas dos municípios que a compõem, totalizando em aproximadamente 2.920,240 km², sendo distribuída em: Cambé com 494,692 km², Ibiporã que apresenta uma área de 300,187 km², Londrina cujo território abrange 1650,809 km² e Tamarana com extensão territorial de 474,55 km².(IBGE, 2002).

Através da Figura 1, pode-se visualizar a delimitação dos municípios que compõe a área de estudo.

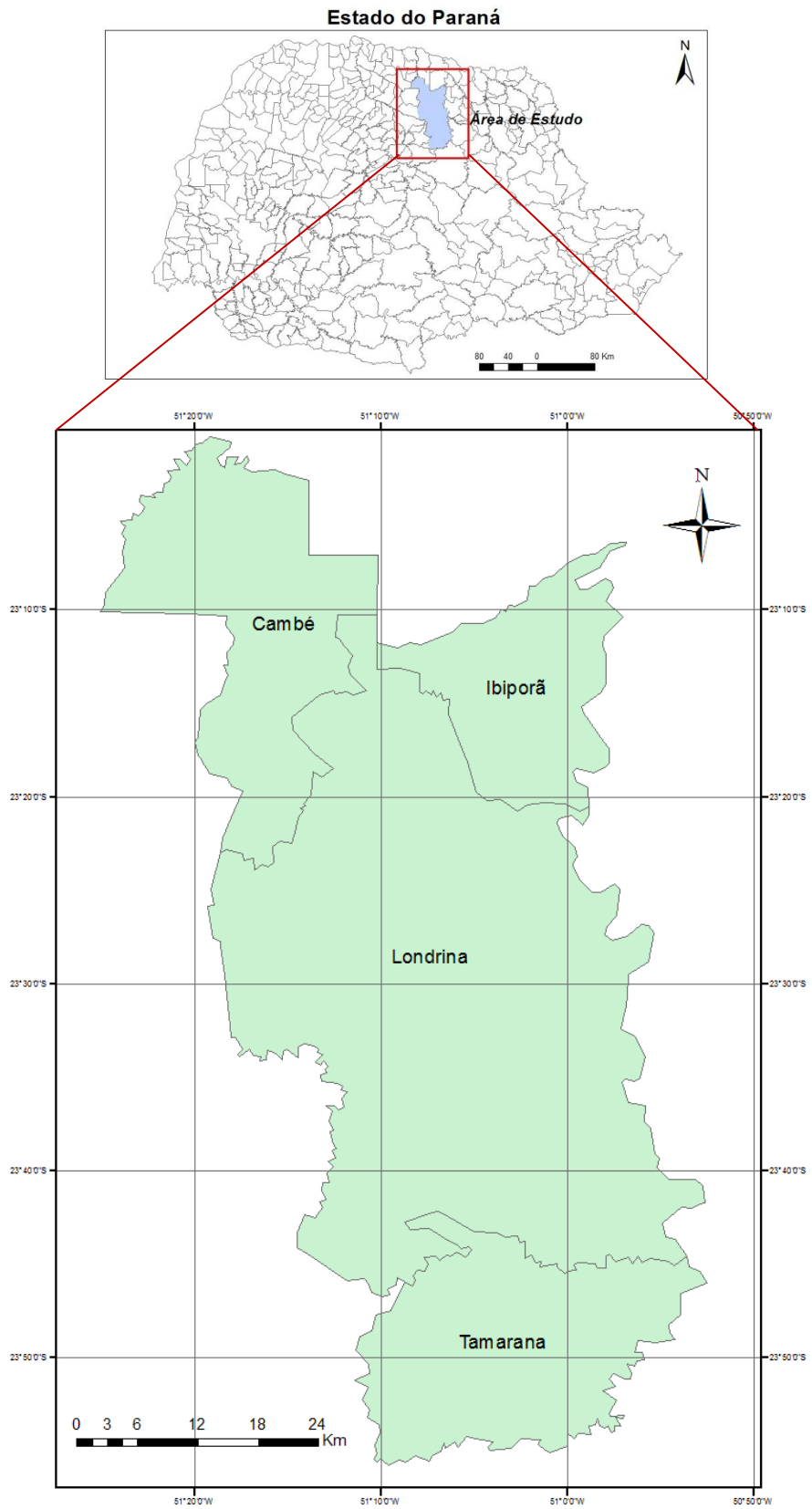


Figura 1 - Localização da área de estudo. Fonte: Modificado de ITGC (2013)

De acordo com o IBGE (2010), os municípios de Cambé, Ibiporã, Londrina e Tamarana apresentam as seguintes populações: 96.735 habitantes, 48.200 habitantes, 521.370 habitantes e 12.647 habitantes, respectivamente. Assim, totalizando uma população de 666.305 habitantes, na área de estudo.

Os quatro municípios que formam a área analisada apresentam seus territórios inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi, desses, apenas Cambé não tem sua extensão territorial totalmente inserida em tal bacia, sendo que parte de sua área é situada na Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema III. A Figura 2 apresenta as bacias hidrográficas inseridas no estado do Paraná.

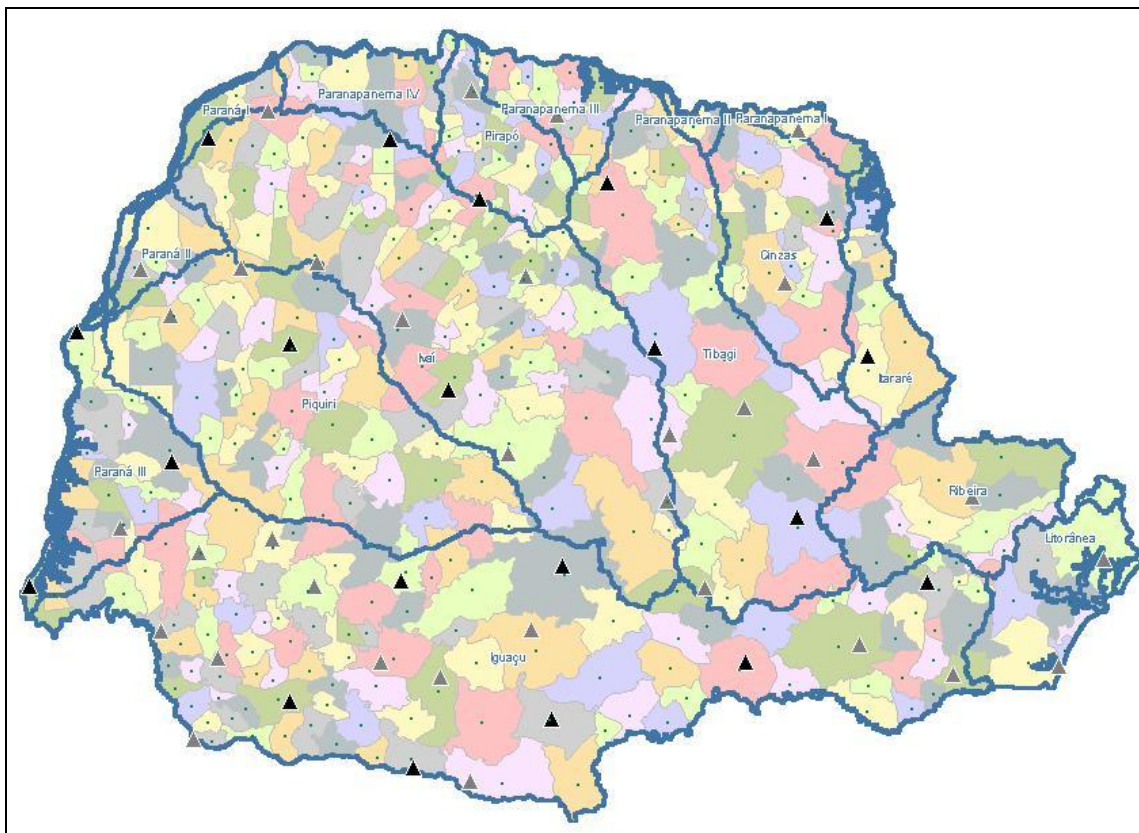


Figura 2 – Ilustração apresentando as Bacias Hidrográficas do Estado do Paraná
Fonte: ITCG (2013).

O relevo da área de estudo apresenta variações nas cotas altimétricas entre 400 m e 1100 m, acima do nível do mar, como apresentado na

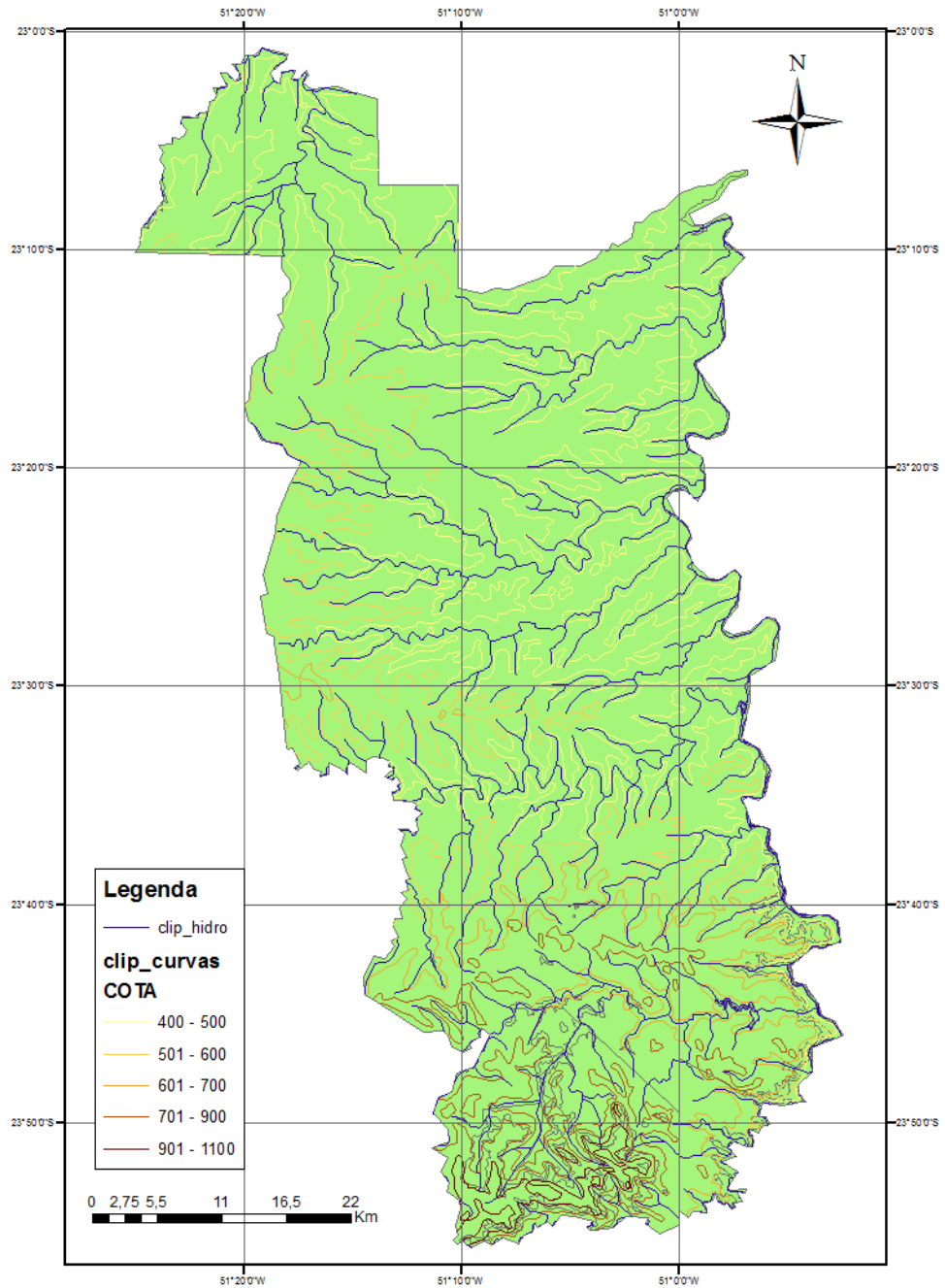


Figura 3 - Mapa Apresentando a Rede Hidrográfica e Curvas de Nível Topográfico na área de Estudo. Fonte: Modificado de ITGC (2013).

4.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Os municípios que compõem a área de estudo, situam-se na região geográfica do norte do estado do Paraná, e estão geologicamente inseridos nos limites da Bacia Sedimentar do Paraná. Esta consiste numa entidade geológica com preenchimento sedimentar e magmático, localizada no centro-leste da América do Sul, com extensão territorial de aproximadamente 1.600.000 Km². Sendo que em território brasileiro, a extensão territorial da Bacia Sedimentar do Paraná atinge aproximadamente 1000 km², distribuídos pelos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás (PETRI e FÚLFARO 1983 apud SANTOS, 2009).

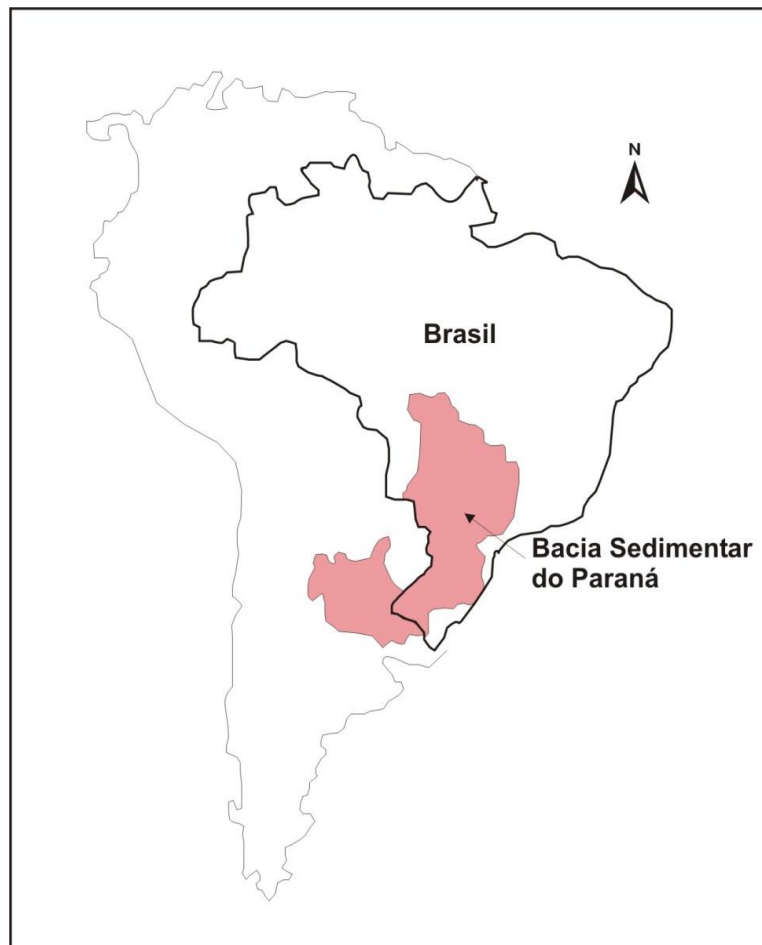


Figura 4 - Localização da Bacia Sedimentar do Paraná
Fonte: Santos (2009)

4.3.1 Sistema Aquífero Guarani – SAG

As águas subterrâneas, na área de estudo, são armazenadas em dois diferentes sistemas aquíferos, denominados SAG e SASG. Regionalmente, o SAG está sobre confinamento entre as rochas permianas do Grupo Passa Dois (sotoposto) e os derrames basálticos eo-cretáceos da Formação Serra Geral que dão origem ao SASG (sobrepuesto) (SANTOS 2009).

O SAG, também denominado por Gigante do Mercosul (ARAÚJO et al., 1995), possui extensão total de 1.087.879,15 km², assim distribuídos: na Argentina, ocupa uma área de 228.255,26 km²; no Brasil, 735.917,75 km², no Paraguai, a área é de 87.535,63 km²; e no Uruguai, 36.170, 51 km². A área total da formação que compõe o SAG é localizada entre os paralelos 16° e 32° S e os meridianos 47° e 60° W (PSAG, 2009).

No Brasil, a área do SAG é distribuída pelos Estados de Goiás (39.367,72 km²), Mato Grosso (7.217,57 km²), Mato Grosso do Sul (189.451,38 km²), Minas Gerais (38.585,20 km²), Paraná (119.524,47 km²), Rio Grande do Sul (154.680,82 km²), Santa Catarina (44.132,12 km²) e São Paulo (142.958,48 km²) (PSAG, 2009).

Tal sistema aquífero é muito importante, não só pelo seu potencial hidrológico, e imensa capacidade de armazenamento de água, como também pela sua área de abrangência a qual envolve fronteiras, interestaduais e internacionais, os quais pode-se verificar também a presença de grandes centros urbanos, conferindo elevada demanda hídrica ao SAG (LEBAC-UNESP, 2008).

O SAG é formado por rochas arenosas da Bacia Sedimentar do Paraná dividindo-se em formações triássicas: Grupo Rosário do Sul; e Juro-cretáceas: formações Botucatu no Brasil Missiones no Paraguai e Tacuarembó na Argentina e Uruguai; Formação Pirambóia no Brasil, Formação Buena Vista no Uruguai. Consiste num sistema aquífero poroso, o qual se encontra confinado entorno de 90% de sua totalidade (ARAÚJO et al., 1995 e 1999; GEF, 2001 apud SANTOS 2009).

No estado do Paraná, o SAG é composto pela combinação das formações Botucatu e Pirambóia, e se apresenta predominantemente confinado, coberto pelo vulcanismo de idade juro-cretácea que deram origem aos basaltos da Formação Serra Geral (aproximadamente 80%). A zona de recarga do SAG se encontra numa faixa

estreita, com largura média de 10 km, situada na porção E, SE do Terceiro Planalto Paranaense (ESTER et al, 2002).

A Figura 5 apresenta a área de estudo e a distribuição da geologia na mesma.

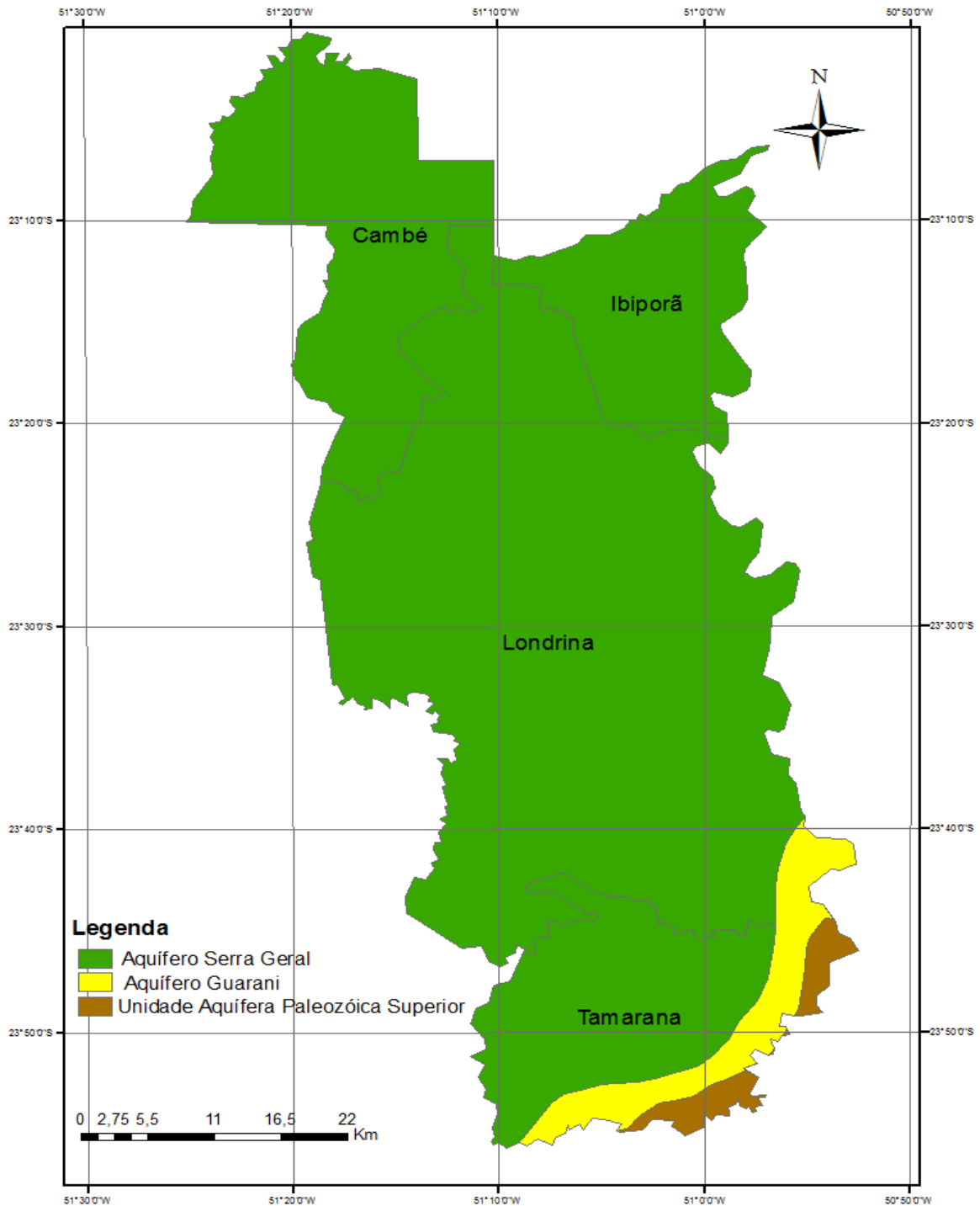


Figura 5 - Unidades aquíferas localizadas na área de estudo. Modificado de ITGC (2013).

Pode-se verificar na Figura 5, as unidades aquíferas encontradas nos municípios que compõem a área de estudo, nota-se que no mapa o SAG está oculto na maior porção da área de estudo, sendo aflorante apenas a sudeste da área, devido ao fato de se encontrar recoberto pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral.

Mesmo no estado do Paraná, o SAG, apresenta sua maior extensão confinada, coberta pelo vulcanismo de idade juro-cretácea que deram origem aos basaltos da Formação Serra Geral (aproximadamente 80%). Através da Figura 5, nota-se o confinamento, visto que a zona de recarga do SAG se encontra numa faixa estreita, com largura média de 10 km, situada na porção E, SE do Terceiro Planalto Paranaense (ESTER et al, 2002).

4.3.2 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

A maior parte dos poços a serem avaliados para a caracterização hidroquímica no presente estudo, consiste em poços tubulares perfurados para a exploração do SASG, que por sua vez são geologicamente composto por sucessivos derrames de trapp de origem basáltica e intrusões diabásicas. Desse modo, pelas características de rocha ígnea impermeável, o armazenamento e a circulação de água, em tal aquífero, ocorre ao longo das discontinuidades presentes nos basaltos da Formação Serra Geral.

Nesse sentido, as condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas que atuam no SASG está condicionado tanto a fatores genéticos do pacote basáltico (intertrapp, amígdalas, vesículas e disjunções), quanto à presença de estruturas (falhas, fraturas e diques de dolerito) que condicionam a circulação das águas nestas rochas (REBOUÇAS, 1978 apud PORTELA FILHO et al 2006).

A Formação Serra Geral é relacionada com o intenso vulcanismo fissural basáltico, ocorrido durante o Cretáceo, essa é sobreposta aos arenitos da Formação Botucatu. Gastmans (2007) avalia que a relação de contato entre a Formação Botucatu e Serra Geral varia conforme as ponderações empregadas por diferentes

autores. Dessa maneira, alguns consideram o contato entre as formações concordante e interdigitado, para isso baseiam-se principalmente na contemporaneidade das formações, enquanto que outros autores consideram que o contato ocorre de forma discordante, adotando como critério feições litológicas.

O SASG abrange todo o sul-sudeste do Brasil, inclusive países vizinhos (Uruguai, Paraguai e Argentina), sendo que no estado do Paraná, abrange todo o domínio geomorfológico do Terceiro Planalto Paranaense, área na qual, esse sistema aquífero, é principal fonte de captação de água subterrânea, apresentando, ainda no início da década de 2000, mais de 5900 poços perfurados (FERREIRA DA SILVA et al., 2001).

4.4 HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Feitosa e Manoel Filho (2000) afirmam que das substâncias dissolvidas nas águas subterrâneas, em geral, predominam-se as que se encontram no estado iônico. Sendo que alguns destes constituintes iônicos, geralmente os principais, estão presentes em quase todas as águas subterrâneas, e a soma de tais constituintes correspondem a praticamente a quase totalidade dos íons dissolvidos em água. Em relação ao sinal da carga, os íons se dividem em cátion (carga positiva) e ânions (carga negativa).

A partir dos registros obtidos, os quais apresentam as concentrações de cátions e ânions presentes nas águas captadas nos poços analisados, será realizado o estudo hidroquímico, a fim de identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos das águas subterrâneas, procurando estabelecer uma relação com o meio físico.

Os principais cátions dissolvidos em água são: sódio, potássio, cálcio e magnésio (esses dois últimos, somados, correspondem à dureza da água). Enquanto os principais ânions dissolvidos em água são: cloretos, sulfatos, carbonatos e bicarbonatos (esses dois últimos, somados, correspondem à alcalinidade total da água).

É importante verificar as concentrações de tais compostos iônicos, pois são minerais essenciais, e seus excessos podem ser relacionados com aspectos ambientais, assim como causarem inviabilidades ao abastecimento público.

O sódio é presente em todas as águas naturais, já que é um dos elementos mais abundantes da Terra, e seus sais são altamente solúveis em água, encontrando-se na forma iônica (Na^+). No Brasil, o aumento das concentrações de sódio na água pode ser relacionado ao lançamento de esgoto doméstico, e efluentes industriais. O teor elevado de sódio na água é prejudicial, principalmente, aos fins de irrigação, pois o excesso de sódio torna os solos inférteis (CETESB, 2013).

As concentrações de potássio normalmente encontradas na água para consumo humano são baixas e não representam risco à saúde, porém o uso de cloreto de potássio para tratamento da água dura de uso doméstico pode aumentar significativamente a exposição.

Ainda que o potássio possa causar algum efeito negativo aos indivíduos, não há evidência de que os níveis de tal elemento em águas potáveis, até mesmo as tratadas com permanganato de potássio, sejam prejudiciais à saúde, pois são apresentados em concentrações muito baixas. Para indivíduos de grupos de alto risco, como portadores de insuficiência renal e outras doenças, por exemplo, como do coração, da artéria coronária, hipertensão, diabetes, insuficiência renal, hipercalemia preexistente; pessoas que usam medicamentos que interferem com as funções dependentes de potássio, idosos e crianças. Para essas pessoas, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda consulta médica para determinar se elas devem evitar o consumo de água (para beber ou cozinhar) tratada com cloreto de potássio (CETESB, 2013).

A dureza da água é causada pelo excesso de cálcio e magnésio. Efeito cujos impactos negativos são não dissolver bem o sabão ou detergente, ser desagradável ao paladar e causar mais facilmente depósitos de calcário nas canalizações, máquinas de lavar roupa e louça, na própria louça, ferros a vapor e por vezes nas torneiras e chuveiros (EPAL 2012).

O excesso de cloretos dissolvidos em água ocasiona sabor salino na mesma, além de danos em superfícies metálicas, em estruturas de construção e muitas espécies de plantas. A tolerância dos seres humanos para o cloreto nas zonas áridas,

pode chegar a 900 mg/L sem nenhum efeito fisiológico adverso. Para indivíduos acostumados a baixas concentrações, um alto teor de cloreto na água ingerida pode ter efeito laxativo (UNESP, 2013).

Dentre os íons mais importantes na natureza, os sulfato podem ser encontrados dissolvidos em água, a processos naturais, como a dissolução de solos e rochas e oxidação de sulfeto, e também por processos antrópicos, como lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais. Nas águas tratadas, é proveniente do uso de coagulantes. O excesso de sulfatos é prejudicial ao abastecimento, pois pode causar efeito laxativo à ingestão, além de poder provocar incrustações nas caldeiras e trocadores de calor (CETESB, 2013).

A alcalinidade é um parâmetro que indica a quantidade necessária de íons na água para neutralizar os íons de hidrogênio. Ou seja, mede a capacidade que a água tem para neutralizar ácidos. Os carbonatos (HCO^{-3}) e bicarbonatos (CO^{3-}), sais analisados neste trabalho, são juntamente com os hidróxidos (OH^{-}) os principais constituintes da alcalinidade. A faixa de pH da água se relaciona com o tipo de alcalinidade observada.

Altos valores de alcalinidade em água são associados com processos de decomposição da matéria orgânica e/ou respiração dos microorganismos, pois nesses ocorrem a liberação de gás carbônico (CO_2) no meio aquoso. Na natureza, a maioria das águas se encontra na faixa de alcalinidade de 30-500 mg/L CaCO_3 (unidade usada para expressar esse parâmetro (MORAES, 2008).

O conjunto de todos os elementos que a compõe permite estabelecer padrões de qualidade, classificando-a assim de acordo com seus limites estudados e seus diferentes usos. Os processos e fatores que influem na evolução da qualidade das águas subterrâneas podem ser intrínsecos ou extrínsecos ao aquífero (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

A água é uma substância, quimicamente, muito ativa com grande capacidade de dissolver e reagir com outras substâncias orgânicas ou inorgânicas. As substâncias dissolvidas podem estar sob a forma molecular ou iônica, sendo esta última predominante. Nos aquíferos, a lixiviação é favorecida. Pois além da água ser uma substância, quimicamente, muito reativa, circula em baixas velocidades em tais

formações geológicas, onde há maiores pressões e temperaturas, o que facilita a dissolução de CO_2 na água que percola o solo não saturado (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

4.4.1 Classificação Hidroquímica

A classificação hidroquímica caracteriza a água conforme suas concentrações de componentes dissolvidos. A utilização de ferramentas gráficas, como diagramas, facilita o manejo e o estudo de análises químicas, permitindo a compreensão imediata das relações entre as amostras de acordo com os parâmetros examinados a fim de alcançar os objetivos determinados.

Os diagramas mais utilizados para representação hidrogeoquímica de amostras são os de forma circulares, radiais e triangulares. Este trabalho apresenta os Diagramas de Piper e Stiff, produzidos pelo Software Qualigraf, para águas subterrâneas que abastecem a região metropolitana de Londrina.

As classes hidroquímicas da água, de acordo com a concentração dos compostos iônicos dissolvidos, são: sulfatadas e/ou cloretadas cálcicas/magnesianas, cloretadas/sulfatadas sódicas, bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas/magnesianas.

Para verificar como as diferentes caracterizações hidroquímicas se distribuem na área de estudo, e logo, nos aquíferos localizados na mesma, será realizado através de auxílio de geoprocessamento, no qual os poços e o padrão hidroquímico obtido através da análise dos diagrama de Piper e Stiff serão georreferenciados.

Segundo alguns autores (Bittencourt 1978, Fraga 1986, Rosa Filho et al. 1987, Celligoi 1994, Bittencourt et al. 2003), as águas do SASG apresentam composição química da classe bicarbonatada cálcica, decorrente da ação intempérica dos basaltos típicos.

Segundo alguns autores, na região que abrange a área de estudo, as águas do SAG são caracterizadas por serem bicarbonatadas com a predominância do cátion sódio, destacadas por apresentarem valores de pH invariavelmente alcalinos, baixa dureza e valores de sólidos totais dissolvidos que apontam a possível mistura com águas provenientes de potenciais mais elevadas do aquífero subjacente (MACHADO, FREITAS, CAYE; 2002).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Este item descreve a metodologia aplicada e os recursos utilizados para o desenvolvimento do trabalho, desde a coleta de dados e informações necessárias até a execução das análises hidroquímicas, espaciais e o geoprocessamento.

5.1 COLETA DE INFORMAÇÕES

A principal fonte de dados para a construção da pesquisa, foi o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS, principalmente para os poços que exploram o SASG. Também foram levantados dados de análises hidroquímicas de poços utilizados para o abastecimento público, especialmente aqueles que exploram o SAG.

5.1.1 Informações sobre Poços Tubulares na Área de Estudo

O tipo de pesquisa utilizada para o desenvolvimento deste trabalho consistiu, como salientado, em consultas de registros analíticos e visitas a campo para coletar laudos recentes sobre as concentrações de íons dissolvidos nas águas subterrâneas que abastecem alguns municípios da área de estudo, juntamente à revisão bibliográfica sobre o tema proposto, e processos computacionais que permitem a geração de diagramas que facilitam tal tipo de classificação.

O SIAGAS (Figura 6) é disponibilizado, virtualmente, pelo Serviço Geológico do Brasil, desde 1996. Esse sistema consiste num conjunto de ferramentas que permite a armazenagem, operação e disposição de dados georreferenciados sobre águas subterrâneas.



Figura 6 - Página Inicial do SIAGAS WEB.

Fonte: LIMA, BRANCO (2010)

O SIAGAS WEB viabiliza tanto pesquisa pontuais como espaciais, além de disponibilizar de uma interface gráfica de SIG muito desenvolvida, possibilitando a exportação de dados em diversos formatos (LIMA, BRANCO 2010).

O sistema oferecido pelo SIAGAS WEB foi totalmente desenvolvido por *Softwares* livres, estando em conformidade com as diretrizes do e-GOV Brasil e com as recomendações e objetivos de interoperabilidade da arquitetura e-PING, suas aplicações permitem interação de informações entre os sistemas do governo federal, assim como com outros sistemas presentes em instituições nacionais e internacionais (LIMA, BRANCO 2010).

Ao visitar a página virtual do SIAGAS, realizou-se a pesquisa para obter informações dos poços georreferenciados que captam águas provenientes do SASG, e abastecem os municípios de Cambé, Ibiporã, Londrina e Tamarana.

Assim, dentre todos os poços registrados no banco de dados do SIAGAS, foram selecionados os que apresentam análises químicas mais completas, a fim de se executar a classificação hidroquímica. Selecionou-se também, poços que apresentam

análises parciais, esses não são passíveis de serem classificados hidroquimicamente, porém podem ser empregados no estudo, a fim de se identificar características da área.

Como no banco de dados do SIAGAS não foram verificadas informações sobre poços de abastecimento que captam águas subterrâneas do SAG, para os municípios da área de estudo, foi necessário realizar uma pesquisa de campo, a fim de se obter tais informações. Assim, entrou-se em contato com responsáveis técnicos de companhia de abastecimento d'água da região que captam águas do SAG, solicitando-se informações sobre análises das águas provenientes de tal sistema aquífero.

Após a seleção dos poços, construiu-se um banco de dados, armazenando informações sobre localização, coordenadas geográficas, tipo de abastecimento, bacia hidrográfica, geologia e concentrações de componentes químicos relevantes ao estudo hidroquímico.

5.1.2 Sistema de Informações Geográficas- SIG

Segundo Câmara (2001), o geoprocessamento consiste no emprego de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, o que viabiliza interpretações e auxilia na tomada de decisões. Tendo influência crescente nas áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos (CÂMARA, 2001).

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, cruzar as informações hidroquímicas obtidas com as características geográficas da área de estudo e realizar o tratamento digital dos dados, foram utilizados os seguintes programas computacionais e suas funcionalidades: ArcGIS ArcView GIS 10.1 (Environmental Systems Research Institute, Inc.) para avaliação espacial da informação e gerenciamento do sistema de informação geográfica e Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corporation) para organização da informação (planilhas, tabelas, gráficos e etc.).

Para outros mapeamentos, foram utilizadas as bases cartográficas de: hidrografia, geologia, unidades aquíferas e declividade, em formato shapefile, sendo essas retiradas do banco de dados do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências – ITCG do Paraná (2013).

5.2 ANÁLISE HIDROQUÍMICA

Já para a caracterização hidroquímica, utilizou-se o Software Qualigraf disponibilizado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Tal Software apresenta inúmeras funções, destacando-se a execução do balanços iônicos e construção de diagramas de classificação hidroquímica da água. Para execução de tais procedimentos, é necessário inserção dos dados referentes às amostras utilizadas, seguindo os critérios estabelecidos pelo Software Qualigraf.

A Figura 7 apresenta a interface do *Software*.



Figura 7 - Interface do Software Qualigraf

Observando a Figura 7, pode-se notar que as análises de água realizadas pelo programa são apresentadas na barra superior de sua interface.

Neste Software que permite a análise da qualidade da água, os dados sobre os principais compostos iônicos dissolvidos em água podem ser inseridos um por vez, ou em planilha, respeitando a sequência de cátions e ânions, assim como representado na

Unidade

mg/L
 meq/L

Observação

Selecione **primeiro** a unidade dos dados e, posteriormente, posicione o cursor do mouse em "Nome". Use as teclas **TAB** ou **ENTER** para se movimentar entre os campos ou use o mouse.

NÃO USE A TABELA

Entrada de Dados

Amostra n°

Nome

Cations **Anions**

Na Cl

K CO3

Ca HCO3

Mg SO4

Cond. Elétrica (µmho/cm)

Menu Principal

Atenção
Digite **FIM** em "Nome" para encerrar a entrada de dados

n°	nome	Na + K	Ca	Mg	Cl	CO3+HCO	SO4	C.E.

Figura 8 - Disposição de Dados no Software Qualigraf

5.2.1 Balanço Iônico

Uma análise hidroquímica completa implica que a concentração dos íons positivos (cátions) seja aproximada da concentração dos íons negativos (ânions). O desvio percentual desta aproximação é obtido com o coeficiente de erro (e%) da análise, como apresentado na Equação 1, na qual onde as concentrações dos cátions e ânions estão em meq L⁻¹ (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

$$\text{Erro do balanço iônico (\%)} = \frac{\sum \text{cátions} - \sum \text{ânions}}{\sum (\text{cátions} + \text{ânions})} \times 100 \quad (1)$$

Para o estudo realizado, adotou como critério para seleção dos poços, o erro calculado pelo balanço iônico igual ou inferior a 20%.

5.2.2 Diagrama de Piper

O diagrama de Piper é frequentemente utilizado para classificação e comparação de distintos grupos de águas quanto aos cátions e ânions dominantes, também chamados de diagramas trilineares, neste tipo de representação, as concentrações de cada íon analisado são dadas em porcentagens (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983 apud GASTAMANS, 2007), assim, plota-se as proporções dos cátions principais Ca^{2+} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , e dos ânions principais (HCO^{3-} , Cl^- , SO^{-4} em dois diagramas triangulares respectivos, e combinando as informações dos dois triângulos em um losango situado entre os mesmos.

As proporções são traçadas nos gráficos triangulares e suas escalas, para a proporção das variáveis, correspondem a 100 por cento. Os gráficos mostram, assim, as proporções relativas dos íons principais, mas não suas concentrações absolutas.

O procedimento para plotar um ponto num Diagrama de Piper consiste na entrada da porcentagem dos determinados cátions e ânions, nas bases triangulares, conforme apresentado na Figura 9 sendo traçado uma reta correspondente ao valor dessa porcentagem. O cruzamento das retas traçadas nas bases triangulares para os cátions e ânions, determina-se o ponto que é transcrito no losango central, onde se tem a classificação hidroquímica da água.

A Figura 9 mostra a representação esquemática de um Diagrama de Piper.

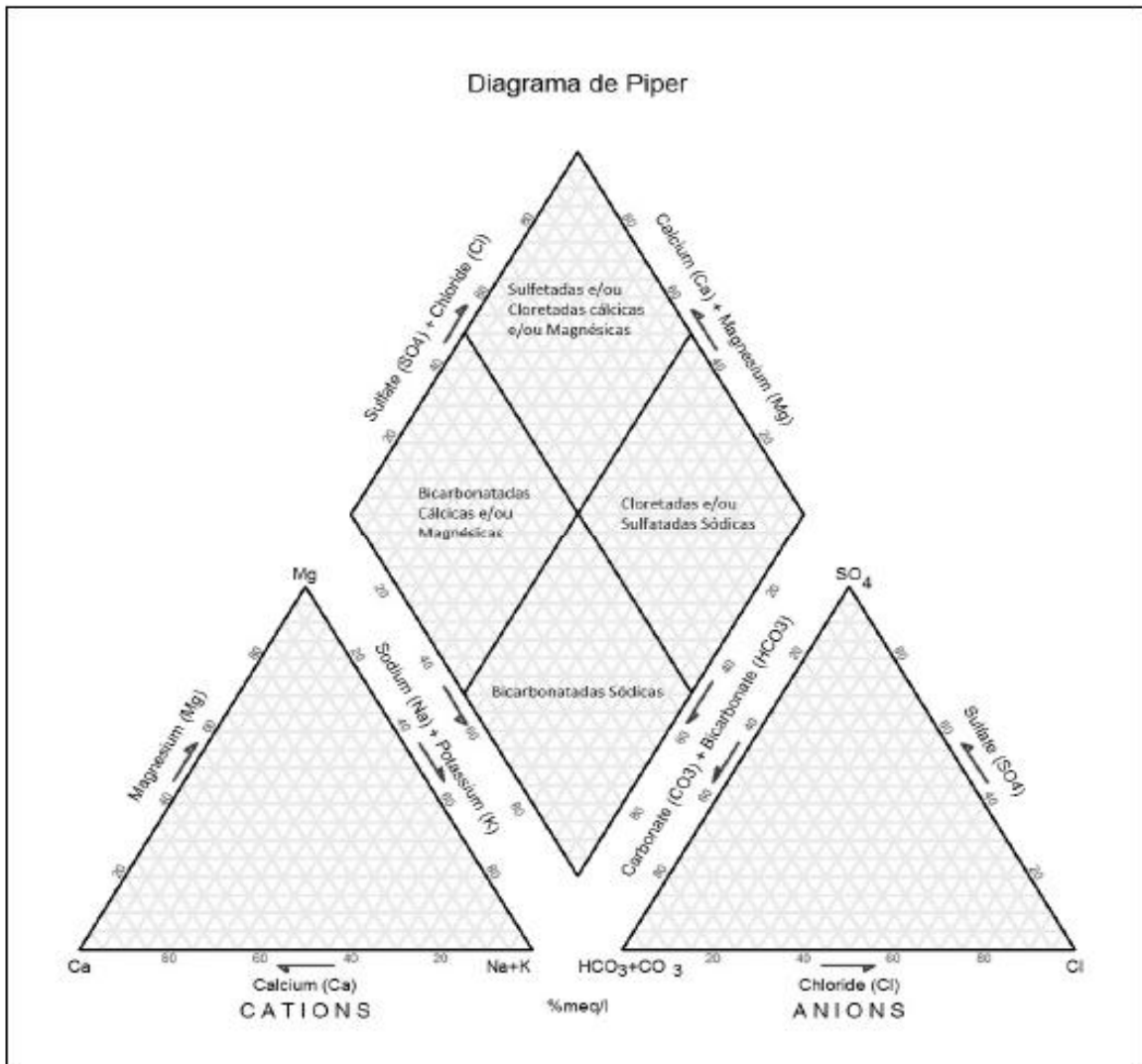


Figura 9 - Esquema de representação do Diagrama de Piper.

Fonte: Ferreira da Silva et al. (2003).

O Diagrama de Stiff é representado em forma radial no qual as concentrações iônicas em meq/L são representadas sobre linhas paralelas horizontais, sendo que, do lado direito, ficam os ânions e do esquerdo, os cátions, resultando numa figura geométrica característica para cada amostra de água analisada (INVERNIZZI, A. L., 2001), assim como representado na Figura 10.

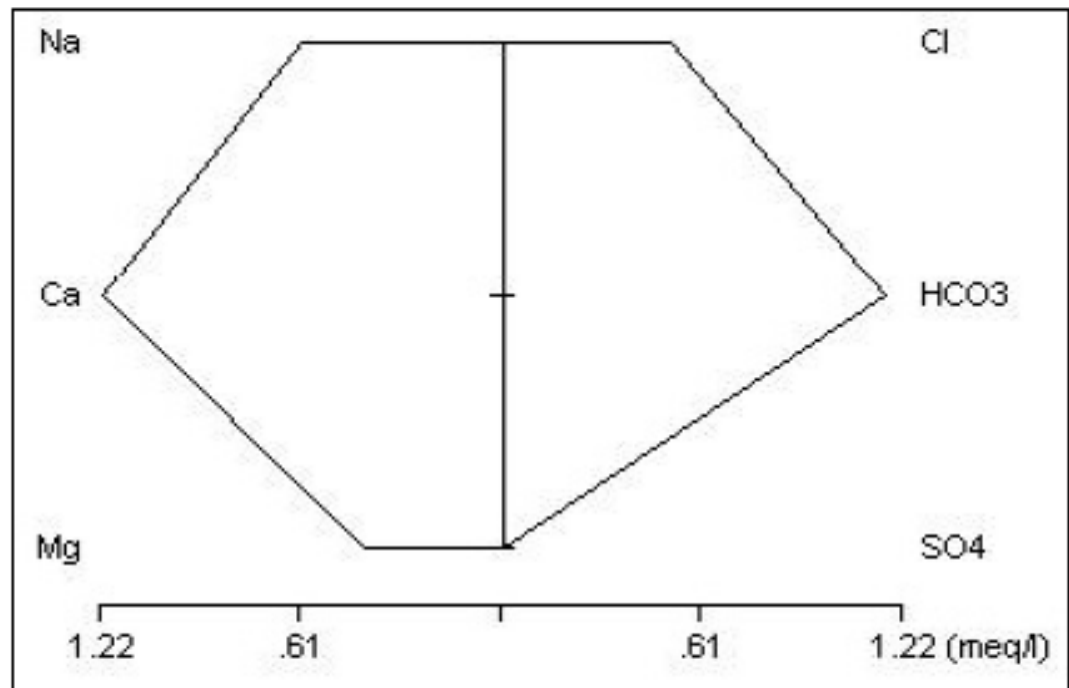


Figura 10 - Esquema de um Diagrama de Stiff.

Fonte: Ferreira da Silva et al. (2003).

Desta forma, a visualização de um Diagrama de Stiff, permite reconhecer a proporção de cada cátion e ânion, dentro do total de sais presentes na amostra.

5.2.4 Análise Espacial da Distribuição Hidroquímica

A fim de se avaliar as concentrações dos principais compostos iônicos, para auxiliar na compreensão do padrão hidroquímico dos sistemas aquíferos na área de estudo, foram construídas seções transversais hidroquímicas, aqui referenciadas como “transeta”, para representar a variação dos íons que se apresentaram como mais significativos em diferentes orientações geográficas, para os municípios de Cambé, Ibiporã, Londrina e Tamarana.

Para elaboração das transetas foram definidas sequências de poços que caracterizam uma determinada direção geográfica. Essas foram construídas de forma

separadas, tendo as seções transversais que envolvem os poços do SAG e as que envolvem os poços do SASG.

Posteriormente, foram elaborados gráficos que permitiram visualizar a variação da concentração dos íons que se demonstraram mais significativos na análise, pelo caminho percorrido pela transecta. Em tais gráficos, a distância percorrida pela transecta representaram o eixo horizontal e as concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total representaram o eixo vertical.

Verificadas tais variações espaciais e químicas, pode-se então apontar a variação das concentrações de determinados sais na área de estudo, e associar os resultados com as características geológicas local.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 OBTENÇÃO E VALIDAÇÃO DOS DADOS SOBRE OS POÇOS LOCALIZADOS NA ÁREA

Como mencionado na metodologia, para obtenção e validação dos dados sobre os poços localizados nos municípios de Cambé, Ibiporã, Londrina e Tamarana, foram consultados os bancos de dados dos SIAGAS, SAMAE de Ibiporã e SANEPAR de Londrina, a fim de se obter informações sobre as águas subterrâneas do SAG e SASG monitorados por tais companhias.

Em resposta a solicitação de registros que continham informações de análises químicas apresentando concentrações de compostos iônicos de interesse para o atual estudo, o SAMAE de Ibiporã forneceu laudo técnico de um poço tubular localizado no município, e a SANEPAR forneceu três laudos de poços tubulares, sendo dois situados em Londrina, e um em Tamarana.

Ao consultar o banco de dados do SIAGAS, foram analisados todos os registros disponíveis que continham informações de análises químicas sobre poços tubulares localizados na área de estudo, todos eles perfurados no SASG. Após breve análise, contabilizou-se um total de 62 registros para poços localizados no município de Cambé, 28 registros para Ibiporã, 322 registros para Londrina e 6 registros para Tamarana.

Após a seleção inicial, foi verificado se as análises químicas presentes no sistema eram suficientemente completas para permitir a execução da avaliação do padrão hidroquímico. Dessa forma, do montante inicial de poços tubulares cadastrados no sistema SIAGAS, foram selecionados 55 poços, perfurados no SASG sendo que desse total, 5 se localizam em Cambé, 4 em Ibiporã e 46 em Londrina.

Foram levantados ainda 4 poços perfurados no SAG, tendo os seus dados químicos fornecidos pelo SAMAE de Ibiporã (2 poços) e SANEPAR de Londrina (2 poços), contabilizando um total de 59 poços tubulares cadastrados e que apresentavam as concentrações de cátions e ânions suficientes para a avaliação hidroquímica dos sistemas aquíferos explorados para o abastecimento humano dos municípios inseridos na área de estudo..

6.1.1 Balanço Iônico

A próxima etapa do trabalho consistiu na conversão das unidades de medida, de mg/L para meq/L, a partir da aplicação da Equação 1 descrita na metodologia, a qual consiste na execução do balanço iônico.

Após a realização do balanço iônico, identificou-se que 18 amostras apresentaram erro superior a 20%, critério de corte adotado para o presente trabalho, logo esses foram descartados. Assim a caracterização hidroquímica, procedeu-se para 41 registros sobre as concentrações de cátions e ânions nos poços da área de estudo. Ressalta-se que não houve descarte dos dados SAG fornecidos pelas companhias de água, esses apresentaram erros muito baixos, inferiores a 3,5%. O mapa apresentado, na Figura 11, permite visualizar a distribuição dos 41 poços (registros) cadastrados e selecionados (aprovados no balanço iônico) inseridos da área de estudo.

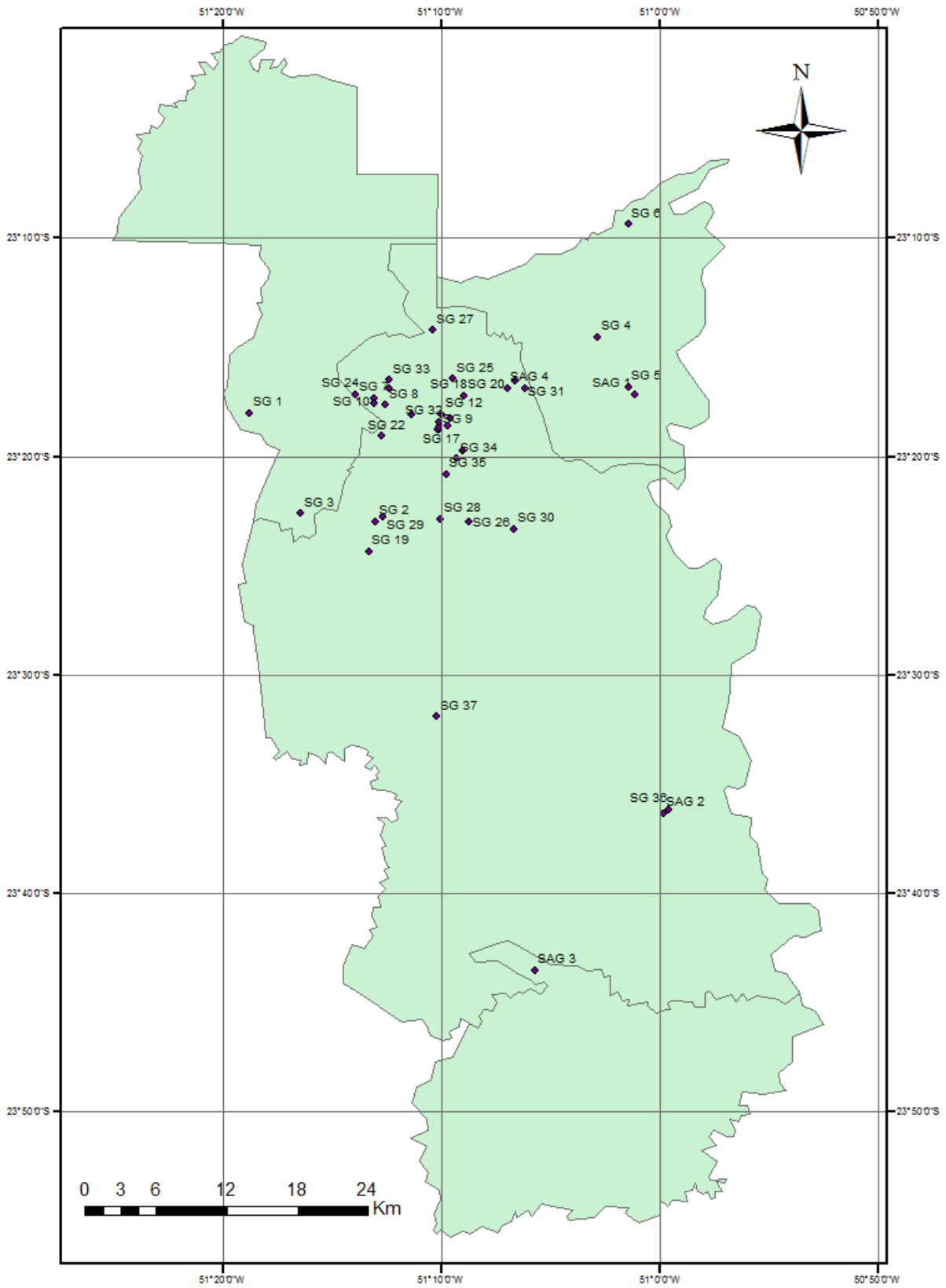


Figura 11 - Localização dos Poços

6.2 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA: DIAGRAMAS E GEORREFERENCIAMENTO

Após o mapeamento dos poços selecionados, os resultados das análises químicas cadastradas foram plotados nos diagramas de Piper e Stiff, os quais foram interpretados, considerando os aspectos da área de estudo e localização dos poços.

6.3.1 Diagrama de Piper

Os dados hidroquímicos foram lançados no *Software* Qualigraf, e partir daí, os resultados foram plotados. Primeiramente, obteve-se o diagrama de Piper apresentado na Figura 12.

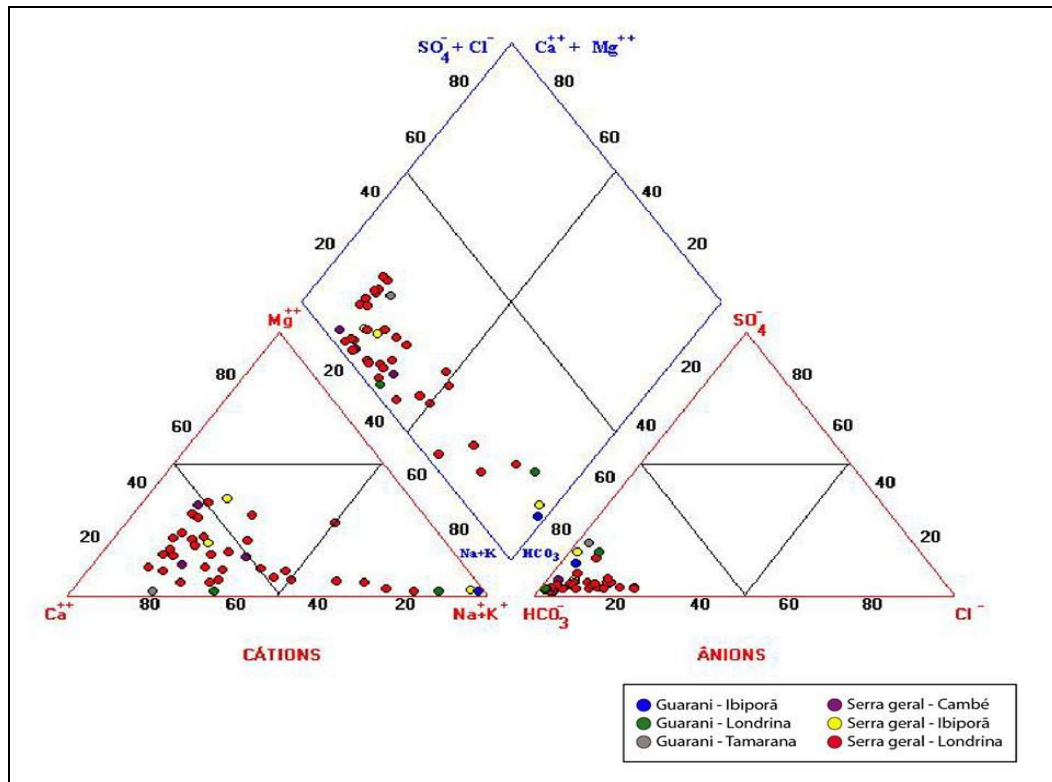


Figura 12 - Diagrama de Piper apresentando os dados plotados de acordo com classificação hidroquímica.

Com base no diagrama de Piper (Figura 12, pode-se verificar que as amostras selecionadas se distribuem em duas classes hidroquímicas principais: águas bicarbonatadas cálcica/magnesianas, e águas bicarbonatadas sódicas.

Verificou-se que a maioria dos poços analisados se enquadraram na classe das águas bicarbonatadas cálcicas/magnesianas, sendo que das 59 amostras selecionadas, 50 se enquadraram dentro de tal classe, e 2 se encontram no limite de transição entre a classe das águas bicarbonatadas cálcicas/magnesianas com a classe das bicarbonatadas sódicas. As demais 7 amostras foram enquadradas nas águas das bicarbonatadas sódicas.

Embora a classe das bicarbonatadas sódicas representar a minoria dos poços utilizados para o estudo, deve-se ressaltar que tal classe é uma característica do SAG, conforme consta nos trabalhos desenvolvidos por Bodelão (2011), Silva et. Al (2011), Sracek e Hirata (2002). Dentre as 4 amostras de águas do SAG, 2 foram enquadradas como sódicas, as correspondentes aos poços SAG1 e SAG4, estes localizados próximo

ao limite municipal de Ibiporã e Londrina (Figura 11 vide pg. 41), em uma zona de forte confinamento (Figura 5 vide pg 23) como observado na Figura 11.

Já as demais amostras representantes do SAG: a SAG2 (transição de baixo para alto confinamento) e SAG3 (baixo confinamento), localizadas mais ao sul da área de estudo, como observado na Figura 11, enquadraram-se na classe das bicarbonatadas cálcicas/magnesianas, a qual admite as características das águas encontradas no SASG.

Pode-se notar que a localização dos poços foi um fator muito influente na caracterização hidroquímica, como o caso dos poços SG 5, SG 18 e SG 20 os quais captam águas do SASG, esses são localizados muito próximos do SAG 4, e apresentaram a mesma hidroquímica do SAG 4, de água bicarbonatadas sódicas, tal fato pode indicar uma interconexão entre os aquíferos SAG e SASG na região a qual se localizam tais pontos.

6.3.2 Diagrama de STIFF

Através do *Software* Qualigraf foram gerados 41 diagramas de Stiff, um para cada poço selecionado ao estudo. Como esta análise dispõe de uma elevada concentração de poços localizados no entorno do perímetro urbano da cidade de Londrina, verificou-se se havia uma repetição nos padrões de diagramas gerados para os poços situados em tal localidade.

Assim, foram analisados quais diagramas de Stiff que repetiam o padrão hidroquímico nas localidades onde há maiores concentrações de poços analisados, neste estudo. Em seguida, selecionou-se os diagramas representativos para tais localidades, a fim de eliminar a sobreposição de diagramas no mapeamento, apresentado na Figura 13, a qual se encontra georreferenciados as tipologias hidroquímicas representados pelo diagramas de Stiff dos poços inseridos na área de estudo.

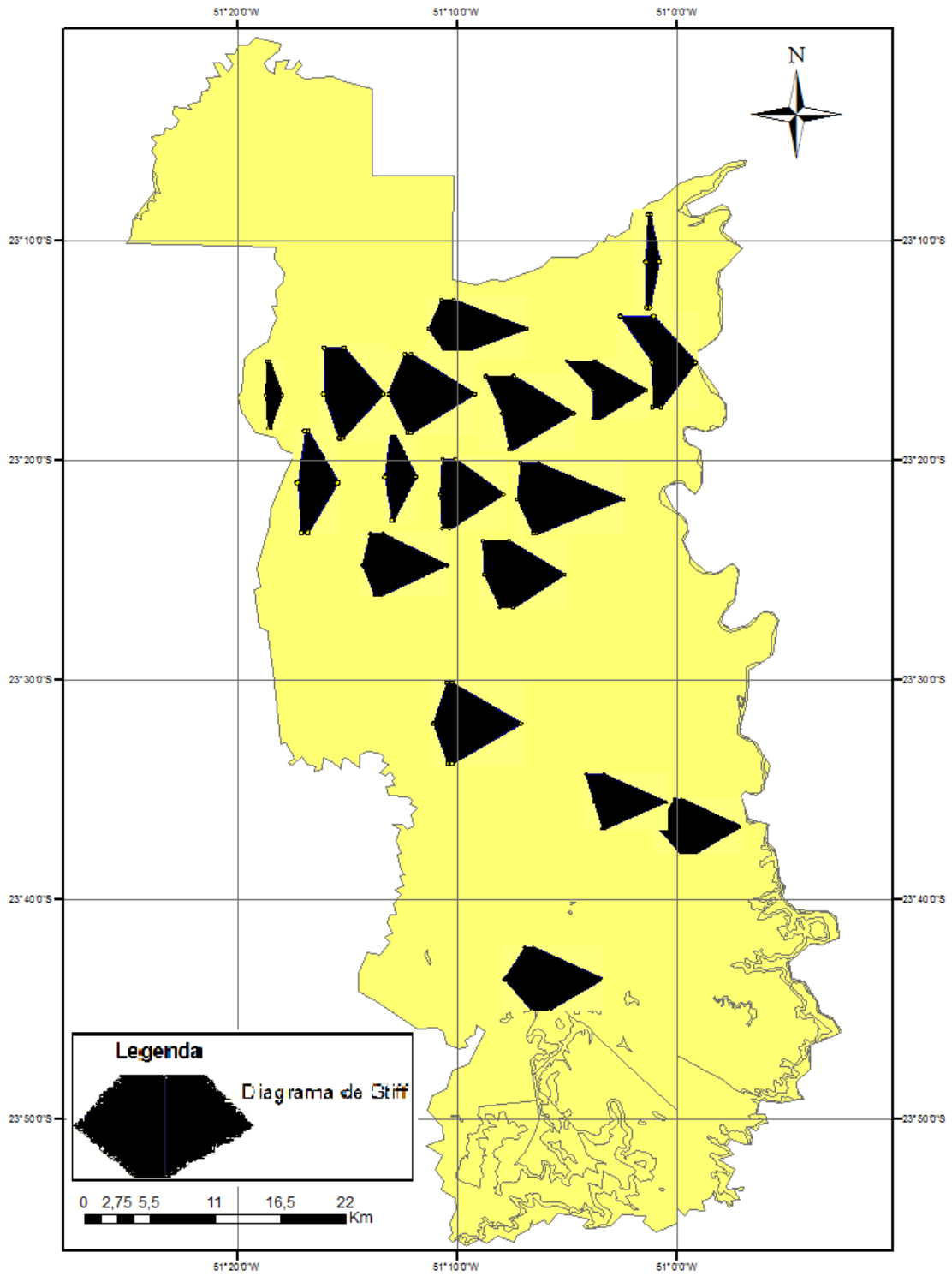


Figura 13 - Localização dos Diagramas de Stiff

Analisando os diagramas de Stiff plotados em mapa (Figura 13), pode-se verificar a predominância nas tipologias com a “ponta de flecha” acentuada para o lado direito, o que indica elevada concentração relativa de bicarbonatos.

Os resultados obtidos para os diagramas de Stiff também confere com os resultados obtidos no Piper, uma vez que nesses estudos as águas subterrâneas analisadas se distribuíram nas classes das Bicarbonatadas Cálcica/Magnesianas e Bicarbonatadas Sódicas, ou seja, são caracterizadas pelo elevados teor de bicarbonatos, variando em relação às concentrações de cálcio, magnésio e sódio.

Cabe destacar, o estudo da evolução hidroquímica nas águas do SAG desenvolvido por Sracek e Hirata (2002), afirma que evoluções de águas bicarbonatadas cálcicas nas áreas de afloramento e de baixo confinamento, para águas bicarbonatadas sódicas, derivadas do incremento das concentrações de cloretos e sulfatos em profundidade, nas zonas de alto confinamento. Tal mudança na composição química relaciona-se com a diminuição do cálcio, em troca com o sódio, originada pela dissolução dos carbonatos, fazendo com que as águas evoluam para bicarbonatadas sódicas.

6.4 ANÁLISE HIDROQUÍMICA ESPACIAL

Como os resultados obtidos nas análises realizadas para os diagramas de Piper e Stiff apontaram caracterizações de águas bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas, a execução da análises hidroquímica espacial foi realizada para os seguintes parâmetros: sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}) e alcalinidade total, a qual consiste na soma de carbonatos e bicarbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos (HCO_3^-), dentro das transetas elaboradas para o SAG e SASG, descritas nos próximos itens. Esta análise foi elaborada, a fim de verificar a variação dos principais parâmetros observados, dentro do confinamento sendo as transetas iniciadas do maior para o menor confinamento.

6.4.1 Análise Hidroquímica Espacial - SAG

O agrupamento dos poços referentes ao SAG resultou em três transetas, uma no sentido aproximado S - N, referente a Transeta A-B, apresentada na Figura 14; uma no sentido W - E, referente à Transeta C-D (Figura 15) localizada ao norte da área de estudo (Figura 16), e a Transeta E-F no sentido aproximado SW - NE, representando os poços do SAG localizados mais ao sul da área de estudo (Figura 16).

A Transeta A-B foi construída envolvendo os 4 poços do SAG, no sentido aproximado S-N , na seguinte sequência: SAG 3, SAG 2, SAG 1 e SAG 4. Como apresentado na Figura 14.

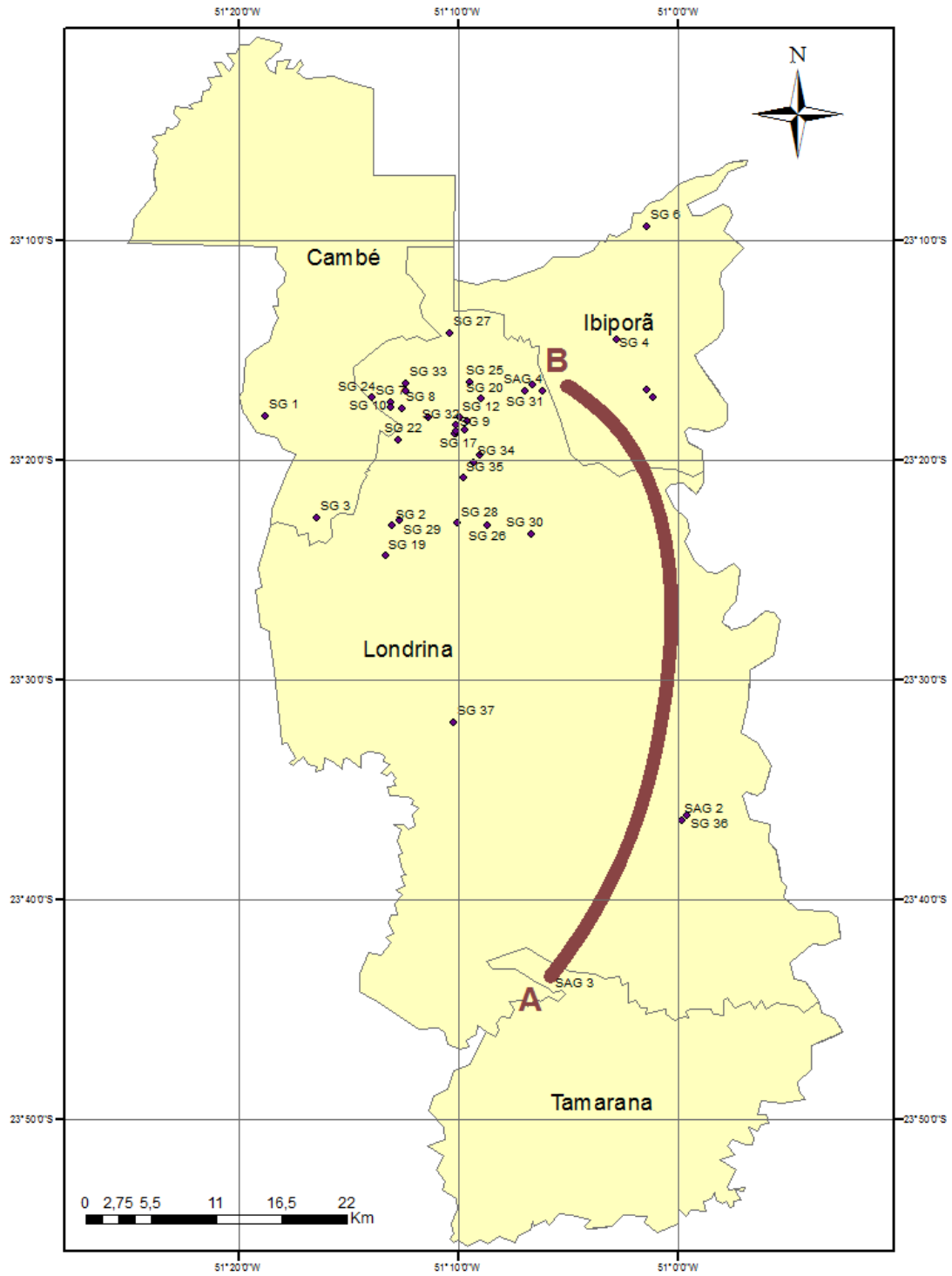


Figura 14 - Transeta A-B. Sentido aproximado sul-norte.

Para a Transeta A-B, avaliou-se a variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total, detalhada na Tabela 1 e no gráfico apresentado na Figura 15.

Tabela 1 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transeta A-B.

Poço	Na ⁺ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Distância Entre Poços S-N (Km)	Distância Total S-N
SAG 3	3,09	15,8	41	0	0
SAG 2	16,11	32,3	125	11	11
SAG 1	67,76	0,8	134,7	23	34
SAG 4	67,8	8,1	140	6,33	40,33

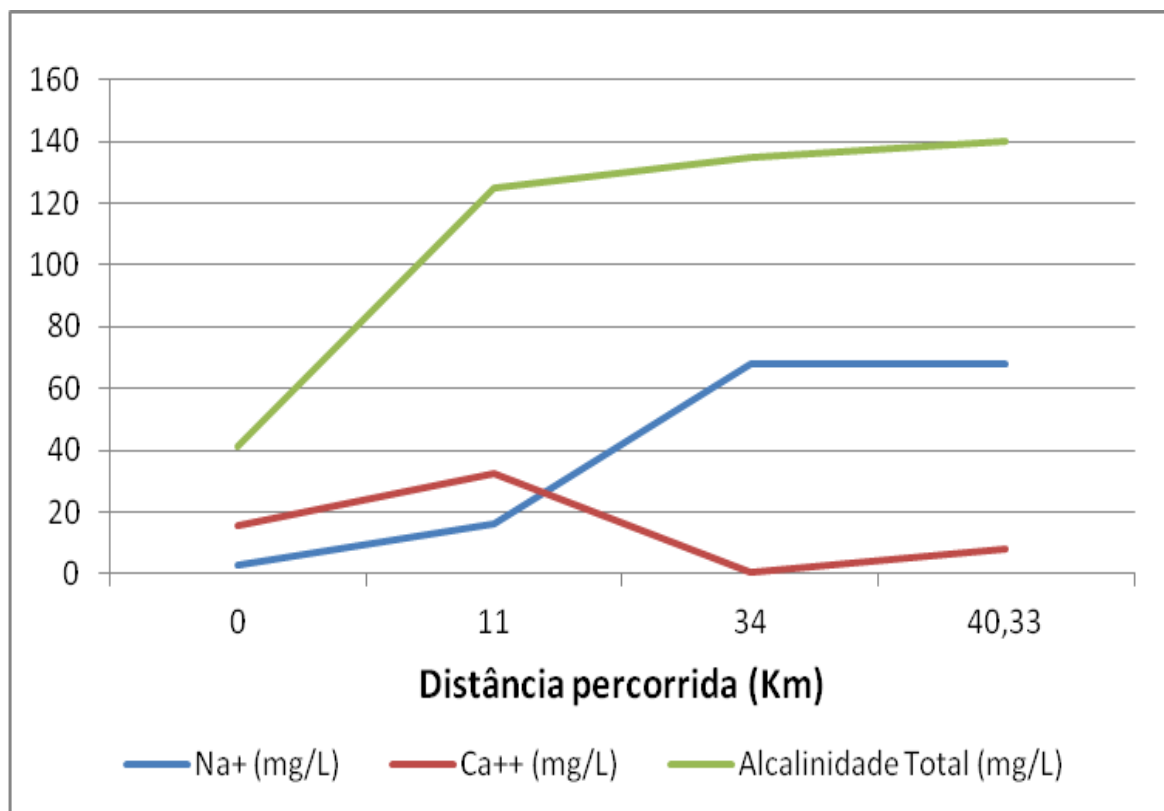


Figura 15 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transeta A-B.

A análise dos parâmetros avaliados na Transeta A-B apontou uma tendência no aumento das concentrações de sódio e alcalinidade total à medida que se avança no sentido aproximado de sul para norte. Para o cálcio houve redução do início ao fim da transeta, no entanto tal parâmetro apresentou maiores oscilações, não permitindo apontar uma tendência bem definida.

As Transetas C-D e E-F foram elaboradas para o SAG, consistindo na distancia entre dois poços no sentido W – E para a primeira e SW – NE, em sentido aproximado para a segunda. A Transeta C-D vai do SAG 4 ao SAG 1, e a Transeta E-F vai do SAG 3 ao SAG 3. Conforme apresentadas na Figura 16.

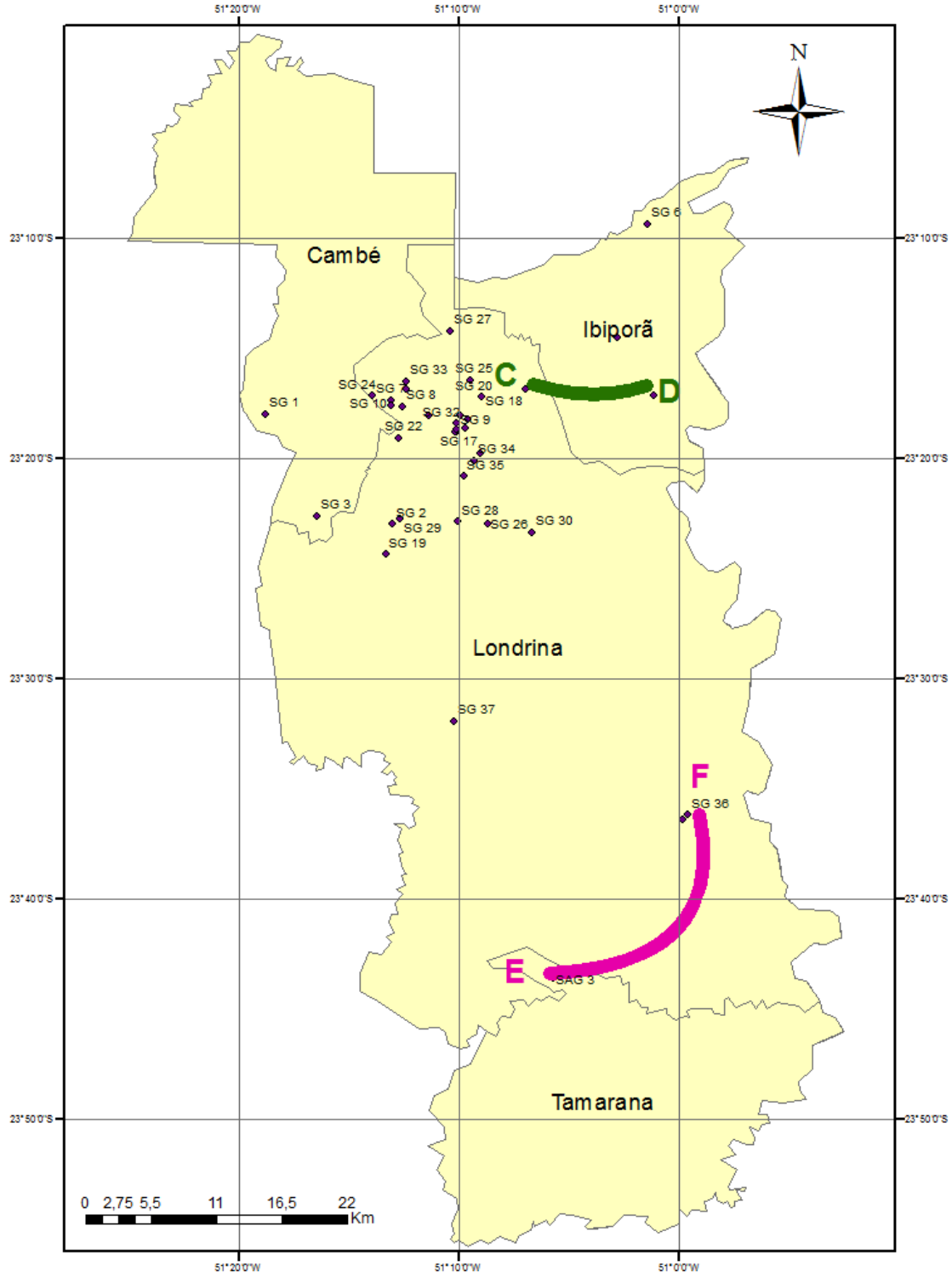


Figura 16 - Transetas C-D e E-F. Sentido aproximado: SW - NE

A Tabela 2 e a Figura 17 apresentam o comportamento das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade, a medida que se avança no sentido aproximado de oeste para leste, descrito na Transeta C-D.

Tabela 2 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transeta C-D

Poço	Na ⁺ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Distância Entre os Poços (Km)
SAG 4	67,8	8,1	140	0
SAG 1	67,76	0,8	134,7	6,33

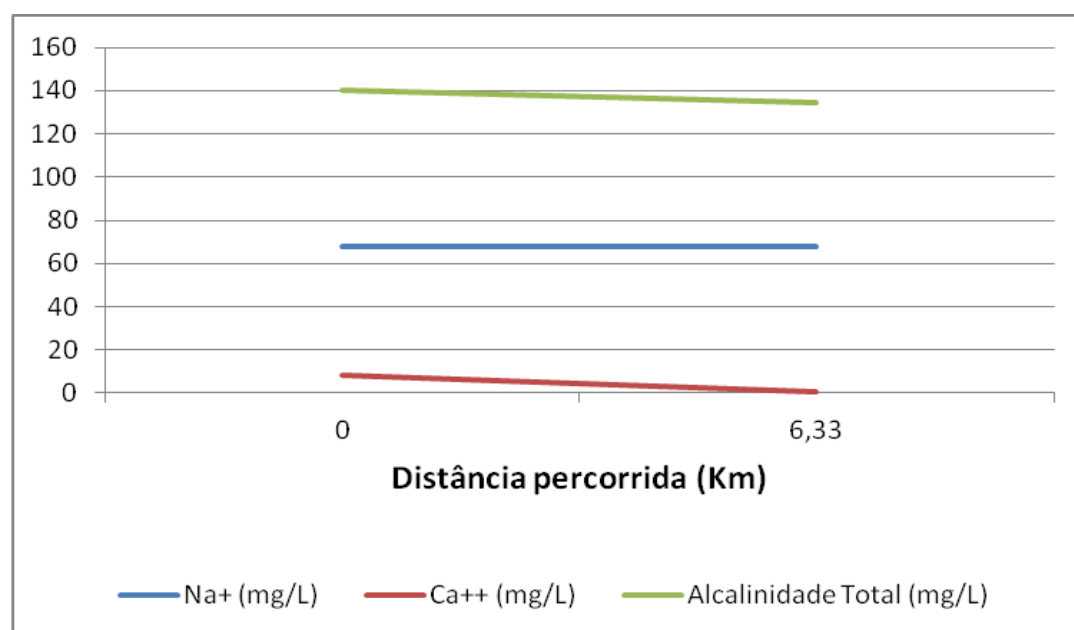


Figura 17- Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transeta C-D.

Tabela 3 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transeta E-F

Poço	Na ⁺ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Distância Entre os Poços (Km)
SAG 3	3,09	15,8	41	0
SAG 2	16,11	32,3	125	11

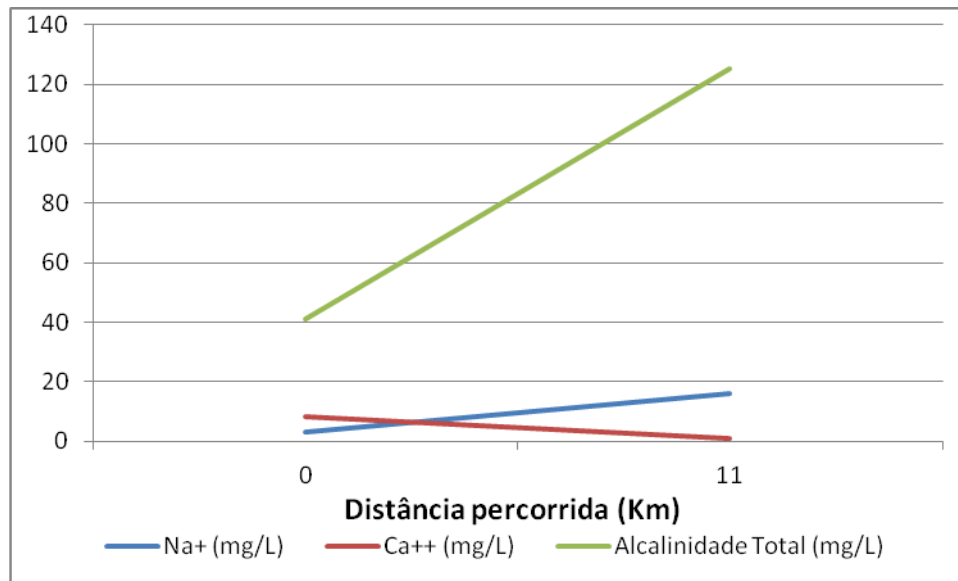


Figura 18 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transeta E-F

Ao analisar as figuras e tabelas referentes às Transetas C-D e E-F, observou-se que o sódio foi o parâmetro o qual apresentou tendência em aumentar seu teor, à medida que se avança de oeste para leste, nas duas transetas. Já o cálcio e a alcalinidade total tiveram comportamentos inversos nas duas transetas. Sendo que na Transeta C-D, houve redução na concentração de cálcio e aumento da alcalinidade total de oeste para leste. Enquanto na Transeta E-F, houve aumento na concentração de cálcio mediante à redução da alcalinidade total de oeste para leste.

Comparando as duas transetas, nota-se que na porção sul da área de estudo, representada pela Transeta E-F, houve maior variação entre os parâmetros, porém vale ressaltar, embora os poços passem de uma zona de médio confinamento para alto confinamento (a espessura dos basaltos aumentam para norte, ou seja o do centro da bacia na área de estudo), os poços estão mais distantes entre si nessa transeta.

6.4.2 Análise Hidroquímica-Espacial – SASG

Para os Poços Tubulares que representam o SASG, construíram-se as Transetas G-H e M-N, sendo a primeira envolvendo os poços do SASG no sentido aproximado S-N, enquanto a segunda envolveu poços do SASG no sentido S-N.

A Transeta G-H cujo sentido é S-N, é composta por poços do SASG, de seu início a fim, na seguinte sequência: SG 36, SG 37, SG 26, SG 28, SG 35, SG 34, SG 18, SG 25, SG 27 e SG 6. Como apresentada na Figura 19.

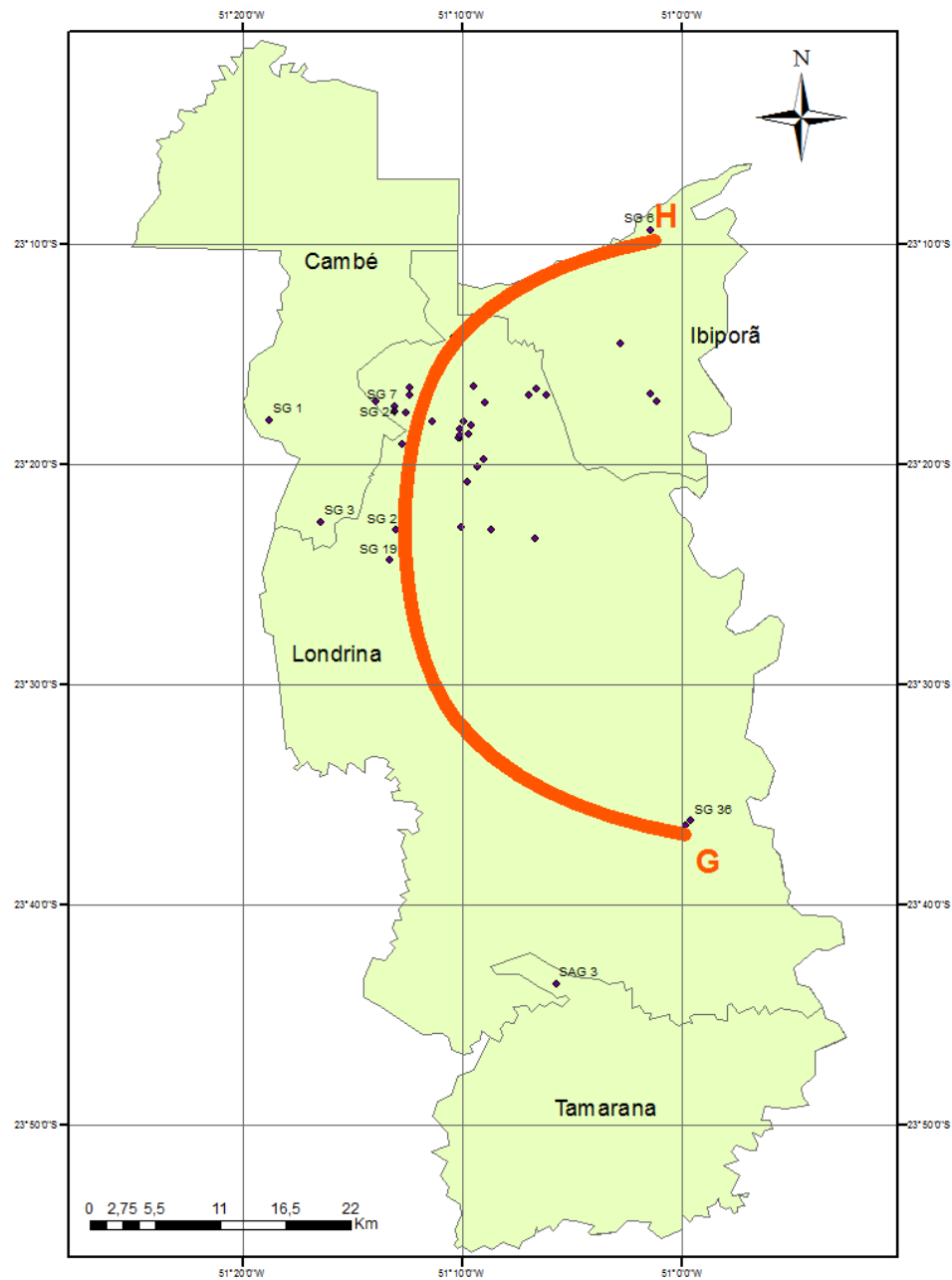


Figura 19 - Transeta G-H. Sentido aproximado sul-norte.

Com os registros sobre as concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total dos poços que compõem a Transeta G-H, elaborou-se a Tabela 4 e o gráfico representado na Figura 20:

Tabela 4 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transeta G-H

Poço	Na ⁺ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Distância Entre Poços S-N (Km)	Distância Total S-N
SG 36	22,8	1,51	82,8	0	0
SG 37	7,8	6,59	125,6	13,47	13,47
SG 26	12	20,8	66	10,48	23,95
SG 28	6	15,57	45	1,63	25,58
SG 35	2,3	20,68	29	2,87	28,45
SG 34	18,5	29,3	108	0,92	29,37
SG 18	22,3	8,89	63	4,43	33,8
SG 25	6,44	3,84	61	4,76	38,56
SG 27	12,1	4,4	97	3,8	42,36
SG 6	4	5,58	1,62	11,93	54,29

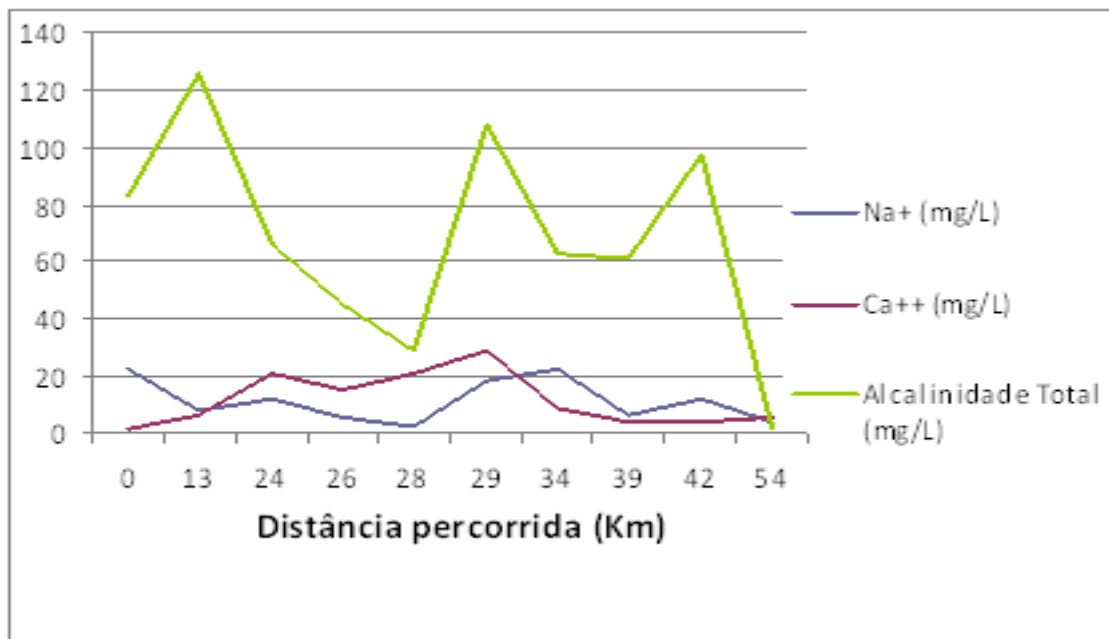


Figura 20 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transeta G-H.

Para Transecta G-H, constatou-se elevada oscilação em todos os parâmetros avaliados, não permitindo apontar uma tendência para a hidroquímica do SASG conforme avança de sul para norte na área de estudo.

Por fim, obteve-se a Transecta M-N, a qual envolve os poços do SASG no sentido aproximado de oeste para leste, como pode se observar na Figura 21.

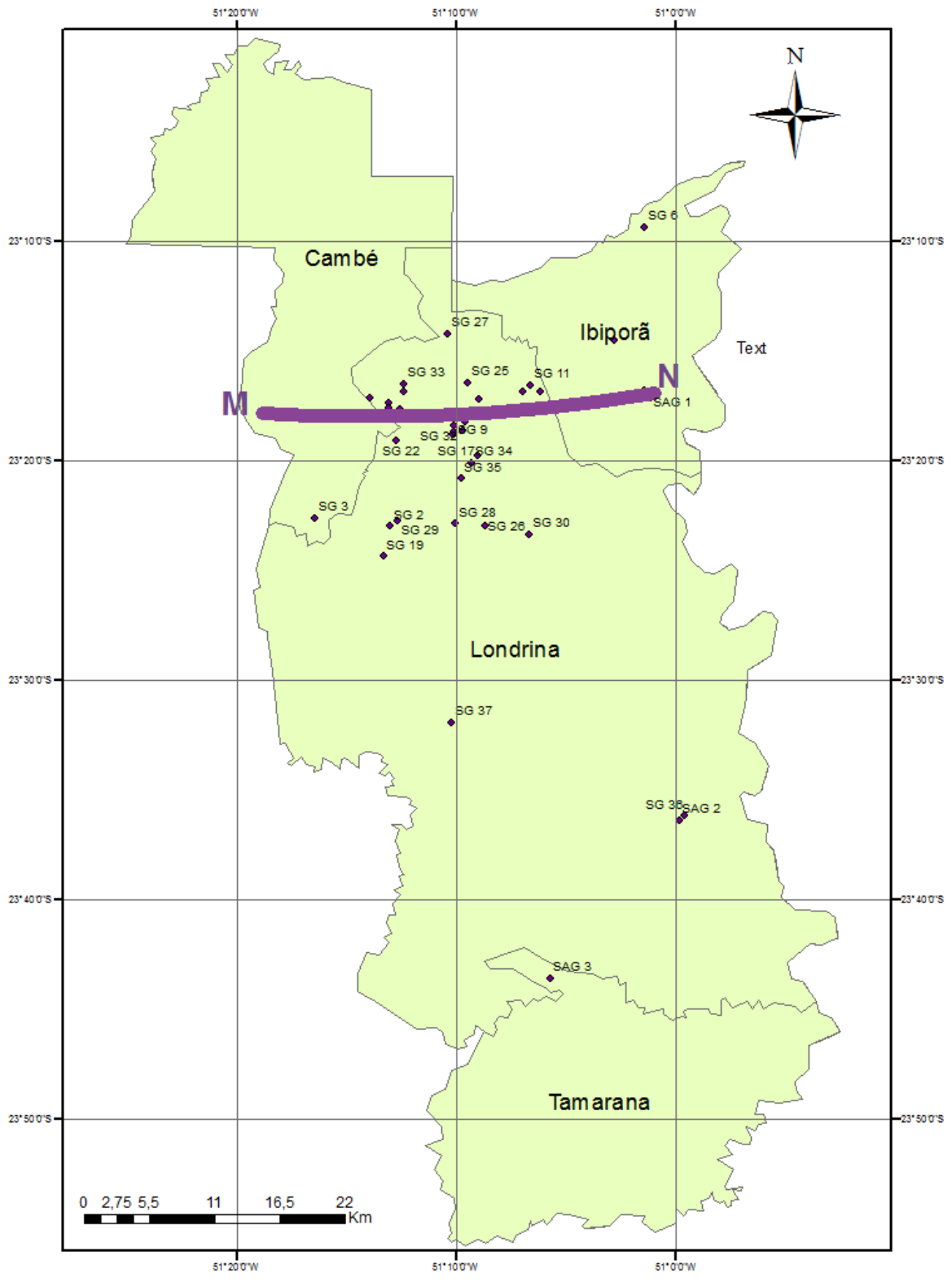


Figura 21 - Transeta M-N. Sentido oeste-leste.

Tabela 5 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transeta M-N

Poço	Na ⁺ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Alcalinidade Total (mg/L)	Distância Entre Poços W-E (Km)	Distância Total S-N
SG 1	6,6	8,47	39	0	0
SG 24	3	3	40	5,8	5,8
SG 10	1,7	5,37	18	0,89	6,69
SG 16	5	24,14	92	0,47	7,16
SG 32	15,8	29,3	92	1,31	8,47
SG 9	6	23,62	65	1,63	10,1
SG 20	24	7,38	63	1,63	11,73
SG 31	9,7	29,2	133	3,68	15,41
SG 5	60,4	1,52	133	5,8	21,21

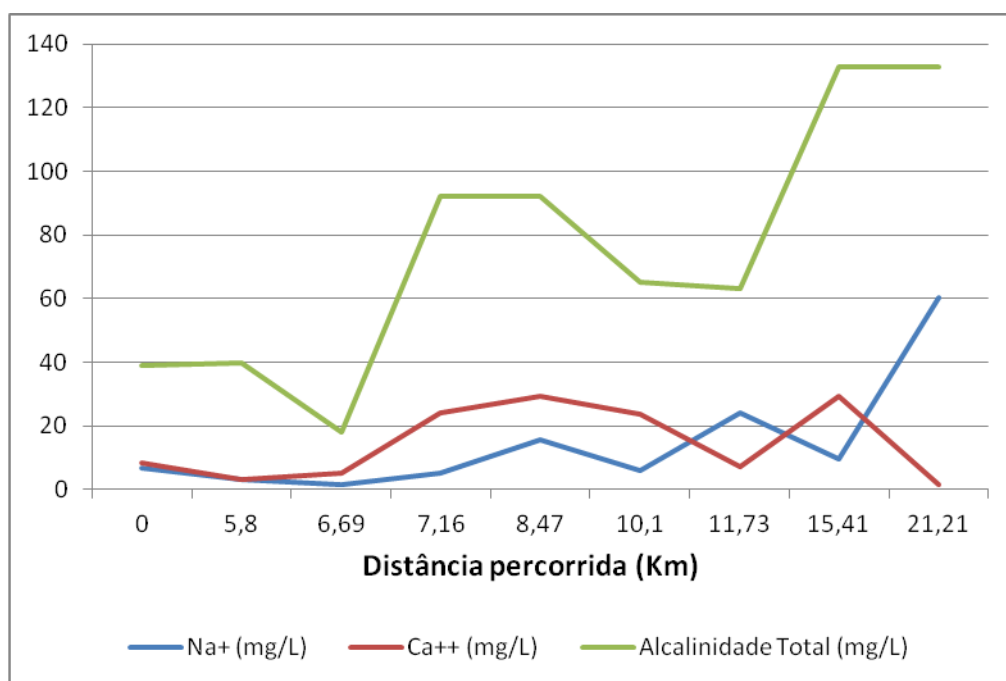


Figura 22 - Variação das concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total na Transeta M-N

Embora tenha se constatado elevada oscilação a todos os parâmetros avaliados na Transeta M-N, conforme a Figura 22, pode-se verificar que na mesma, há um ponto inflexão próximo dos 28 km percorridos, uma vez que nessa faixa a uma mudança de comportamento nas linhas que representam as concentrações de sódio, cálcio e alcalinidade total. O que permite averiguar que a partir da faixa de 28 km percorrido em tal transeta, as concentrações dos parâmetros avaliados que estavam em

decréscimo, passam a aumentar. Do início ao fim da Transeta M-N, pode-se notar também que há uma evolução nas concentrações de sódio e alcalinidade total, ainda que de formar bem oscilatória.

6.4.3 Análise Hidroquímica e Potabilidade

Dentre os dados utilizados no estudo, pode-se verificar que a alcalinidade total, soma de carbonatos e bicarbonatos, é o parâmetro que de modo geral, apresentou concentrações mais elevadas, seguido de cálcio e sódio. Constou-se que as concentrações de alcalinidade total foram mais elevadas aos poços que representam o SAG, e alguns do SASG localizados próximos a Ibiporã.

Ao analisar as informações que compõem o banco de dados sobre os poços na área de estudo, não constaram-se extrapolações aos limites estabelecidos pela Portaria MS Nº 2914 DE 12/12/2011, Lei Federal que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. O que aponta boa qualidade às águas subterrâneas que abastecem os municípios de Cambé, Ibiporã, Londrina e Tamarana.

Tal fato pode ser associado à profundidade dos sistemas aquíferos SAG e SASG na área de estudo, o que viabiliza o enquadramento de tais poços na Classe I, conforme Art 3º, do Capítulo II da Resolução CONAMA 396 de 2008 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Segundo a CONAMA 396/2008, compõem a Classe 1, as 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.

7. CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados obtidos para os sistemas aquíferos que suprem a demanda de água dos municípios de Cambé, Ibiporã, Londrina e Tamarana, captadas no SAG e no SASG, quanto aos parâmetros abordados neste trabalho, não foram constadas extrapolações dos limites estabelecidos pela Portaria 2914 de 2011 referente à potabilidade da água, o que aponta a probabilidade das águas subterrâneas que abastecem a área de estudo serem de boa qualidade. No entanto, há a necessidade de uma análise de monitoramento completo, envolvendo demais parâmetros como: biológicos e metais pesados, a fim de se obter uma afirmação mais consistente em relação a qualidade das águas subterrâneas do SAG e SASG localizadas na área de estudo.

Dentre os compostos iônicos analisados, o íon bicarbonato foi o que se apresentou predominante, principalmente nas águas do SAG, o qual se encontra confinado na área de estudo. O elevado teor de bicarbonatos constados nas águas do SAG, explica-se pelo nível de confinamento aumentar o tempo de detenção dessas águas no aquífero, e conseqüentemente aumentando a dissolução dos carbonatos presentes na rocha, levando à formação de bicarbonatos (BODELÃO, 2011).

As águas subterrâneas analisadas são enquadradas nas seguintes classificações hidroquímicas: bicarbonatadas cálcicas/magnesianas e bicarbonatadas sódicas, sendo a primeira classe predominante para as águas analisadas do SASG, e a segunda com maior destaque para as águas do SAG, principalmente na área localizada ao nordeste da área de estudo, próxima a Ibiporã onde há maior confinamento.

Ao sul da área de estudo, próximo ao município de Tamarana, verificou-se a diminuição no teor de sódio, inclusive nas águas do SAG, tal fato pode ser explicado pela variação do nível de confinamento de sul para o nordeste da área de estudo, sendo o nível de confinamento favorável ao aumento da concentração de sódio, constand-se a convergência com o estudo sobre a evolução hidroquímica no SAG realizado por Sraceck e Hirata (2002).

Os pontos em que águas do SASG tiveram característica de águas do SAG e vice-versa, pode indicar interatividade entre os aquíferos, em tais localidades. O fato de

tais poços que captam águas de sistemas aquíferos diferentes estarem, geograficamente próximos é um indício de serem alimentados por fraturamentos e comum, e de que as rochas situadas em tal localidade apresentam baixa variação na composição química (SILVA, CELLIGOI, PINESE; 2011).

A análise da hidroquímica espacial foi mais definida para as águas do SAG em relação às águas do SASG, na área de estudo, permitindo verificar a tendência na elevação dos teores de sódio e alcalinidade total, a medida que se avança nos sentidos de sul para norte e oeste para Leste.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, L.M.; FRANÇA, A.B. & POTTER, P. E.–1995– **Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai**: Mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó.

BODELÃO, T. G. **Caracterização Hidroquímica dos Aquíferos Serra Geral e Guarani da Sub-Bacia do Rio Pardo e Municípios Adjacentes**. Univerdidade Estadual Paulista. Rio Claro-São Paulo, 2001.

BITTENCOURT A.V.L., Rosa Filho E. F., Hindi E.C., Buchmann Filho A.C. 2003. A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral na bacia do rio Piquiri, Paraná – BR. *Rev. Águas Subterrâneas*, São Paulo, **17**:67-76

Bittencourt A.V.L.. *Sólidos transportados na bacia hidrográfica do rio Ivaí: aplicação de balanços hidrogeoquímicos na conservação da redução de processos da dinâmica externa*. São Paulo, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP, 1978.

BOVOLATO, L. E. **Caracterização geoquímica das águas subterrâneas de Araguaiana/TO**. *Rev. Caminhos da Geografia*. Disponível em : <<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>>. Acessado em Setembro de 2012.

CÂMARA, G., DAVIS, C., MONTEIRO, A.M.V. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos, INPE, 2001 (2a. edição, revista e ampliada).

CELLIGOI A. & Duarte U. 1994. Aspectos hidrogeoquímicos da Formação Serra Geral em Londrina–PR. *In*: ABAS, Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 8, Recife, *Anais*, p.425-433.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil - **SIAGAS WEB: Sistema de Informação de Águas Subterrâneas**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>> Acessado em Maio de 2013.

CETESB Aquífero Serra Geral – Águas subterrâneas Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/Qualidade-da-gua-Subterr?nea/12-Serra-Geral>> Acessado em Setembro de 2012.

CUSTÓDIO, E; LLAMAS, M.R. *Hidrologia Subterrânea* 2ª Ed. Barcelona: Ediciones Omega, 1983, 2v. 2350p..

EPAL – Grupo das Águas de Portugal. **Ficha Informativa: Dureza**. Portugal, 2013.

FRAGA C.G. 1986. *Introdução ao zoneamento do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP, 125 p.

Ester A. A. Mendes; Kátia C. Nakandakare; Adalberto M. Souza; Aldo M. P. Fernandes ;Erivelto L.Silveira ; Jurema Feltrin¹ & Marcos J. Guarda **Mananciais Subterrâneos no Estado do Paraná** – XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002.

FEITOSA, F.A. C., MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. Serviço Geológico do Brasil, 2000.

FERREIRA DA SILVA, G.M., CELLIGOI, A., FINESE, J.P.P. Análise das Águas dos Poços de Abastecimento Público na Bacia do Rio Pirapó Através dos Diagramas de Piper e Stiff. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, Paraná, 2011.

FUNCEME. **Software Qualigraf**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/produtos/manual/projetos/qualigraf/index.php>> Acessado em Agosto de 2013.

GASTAMANS, D. **Hidrogeologia e Hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani na porção ocidental da Bacia Sedimentar do Paraná**. Tese de Doutorado elaborada junto ao Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista - Rio Claro, 2007.

INSITUTO DAS ÁGUAS – Paraná. Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/TIBAGI/TIBAGI-02-Municipios.pdf>> Acessado em Fevereiro de 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área territorial oficial**. Resolução da Presidência do IBGE de nº 5 (R.PR-5/02). Brasil, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico, 2010**.

ITCG – Insituto de Terras Cartografias e Geociências. **Aplicação Geo**. Disponível em: <<http://www.geo.pr.gov.br/ms4/itcg/geo.html>> Acessado em Fevereiro de 2013.

ITCG – Insituto de Terras Cartografias e Geociências. **Produtos Cartográficos**. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47> > Acessado em Julho de 2013.

INVERNIZZI, A.L. Caracterização Hidrogeoquímica do Aquífero Botucatu, no Setor Médio da Bacia Hidrográfica Mogi-Pardo. Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências. São Paulo, 2001.

IRITANI, M. A., EZAQUI, S. **As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Geológico. 2008.

LIMA, J. B., BRANCO, P. C. M. P. A. **SIAGAS Uma Evolução em Plataformas de Softwares Livres**. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços

LEBAC – UNESP – Laboratório de Estudo de Bacia. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2008

LONDRINA. (2008). Prefeitura Municipal de Londrina. **Plano Diretor Participativo de Londrina** – Capítulo 3. Levantamento de dados e informações para subsídio na implementação do PDPML, Item 3.1 “Aspectos Regionais”. Disponível em: <http://www.londrina.pr.gov.br/dados/images/stories/Storage/ippul/apresentacao_produto_02.pps#260,1,Slide 1> 2010. Acessado em Fevereiro/2013.

Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>> Acessado em Agosto de 2013.

Ministério da Saúde. **Portaria MS Nº 2914 DE 12/12/2011**.

MORAES, P. B. **Tratamento de Efluentes Líquidos**. Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental. Universidade Estadual de Campinas – Centro Superior de Educação Tecnologia, 2008.

P SAG - ARGENTINA, BRASIL, PARAGUAI, URUGUAI. **Síntese hidrogeológica do Sistema Aquífero Guarani**. Série Manuais e Documentos Técnicos do Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, OEA/GEF - Banco Mundial, 2009.

PETRI, S. FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 1983

REBOUÇAS A.C. 1978. Potencialidades Hidrogeológicas dos Basaltos da Bacia do Paraná no Brasil. *In*: SBG, Congr. Bras. Geol. Anais, p. 1963-1976.

ROSA FILHO E.F., SALAMUNI R., BITTENCOURT A.V.L. 1987. Contribuição ao estudo das águas subterrâneas nos basaltos do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, 37:22-52.

SANTOS, M. M. **Gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos: uso atual e potencial do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009. 224p.

SAMAE – IBIPORÃ: **Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto**. Ibioporã-Paraná, 2013.

SANEPAR – **Companhia de Saneamento do Paraná**. Londrina-Paraná, 2013.

SRACEK, O. ; HIRATA, R. Geochemical and Stable Isotopic Evolution of the Guarani Aquifer System in the State of São Paulo, Brazil. **Hydrogeology Journal**, v. 10, p.643-655, 2002.

SILVA, G. M. F., CELLIGO, A., PINESE, J. P. Pt. **Análise dos Poços de Abastecimento Público na Bacia do Rio Pirapó Através dos Diagramas de Piper e Stiff**. Revista Geografia. Londrina-Paraná, 2011.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo. Oficina de Textos. USP. 2000. 557p.

UNESP – **Determinação de Cloretos – Método Argentométrico ou Método de Mohr**. Departamento de Bioquímica. Universidade do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/ib/bioquimica/ana.pdf>> Acessado em Junho de 2013.