

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

NATHALIA ZANCARLI RUSE DE MELO

**CONSIDERAÇÕES HIDROQUÍMICAS DA ÁGUA DE POÇOS QUE
EXPLORAM O SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG) NA
REGIÃO DE LONDRINA-PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA
2014**

NATHALIA ZANCARLI RUSE DE MELO

**CONSIDERAÇÕES HIDROQUÍMICAS DA ÁGUA DE POÇOS QUE
EXPLORAM O SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG) NA
REGIÃO DE LONDRINA – PR**

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

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos

Co-orientador: Prof. Dra. Edilaine Regina Pereira

LONDRINA
2014



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



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Considerações Hidroquímicas da Água de Poços que Exploram o Sistema
Aquífero Serra Geral (SASG) na Região de Londrina – Pr

por

Nathalia Zancarli Ruse de Melo

Monografia apresentada no dia 04 de Dezembro de 2014 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. Dr. Ajadir Fazolo
(UTFPR)

Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami
(UTFPR)

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

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
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 a Deus infinitamente, por possibilitar a vida, inteligência, suporte físico e emocional, pela família, amigos. Além das grandes oportunidades concedidas a minha pessoa.

Agradecimento em especial a minha família (pai e mãe), que me deram todos os recursos e meios necessários para realizar mais uma etapa em rumo de minha formação. Além da paciência, sabedoria e amor oferecidos.

Aos amigos, por sempre acreditarem no meu potencial e levantar o meu astral nos piores dias de faculdade e da vida, obrigada.

Ao Lucas, por me apoiar em minhas decisões e me fazer sempre sonhar alto e ir à luta dos meus objetivos.

Agradeço ao meu orientador Maurício Moreira dos Santos por ter aceitado meu pedido de orientação, pela paciência e por fornecer ideias e materiais em prol do meu aprendizado. E agradeço ainda à minha co-orientadora Edilaine Regina Pereira, por disponibilizar seu tempo e carinho e deixar minhas ideias sempre mais claras e objetivas.

“A conservação e sustentabilidade dos recursos ambientais (recursos econômicos) é um instrumento para garantir um bom padrão de qualidade de vida para os indivíduos. O fator econômico deve ser compreendido como desenvolvimento, evolução, melhora contínua e não como simples crescimento ou acúmulo. O desenvolvimento se distingue do crescimento na medida em que pressupõe uma harmonia entre os diferentes elementos construtivos (ANTUNES, Paulo de Bessa, 2014)”.

RESUMO

MELO, Nathalia Zancarli Ruse. Considerações Hidroquímicas da Água de Poços que exploram o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na Região de Londrina – PR. 2014. 64p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

As águas subterrâneas provenientes dos aquíferos no Estado do Paraná são consideradas uma grande fonte de abastecimento humano e para outros fins sendo o interesse pela manutenção da qualidade o enfoque dos principais comitês de bacia e da população. Estes reservatórios formaram-se a partir das águas da chuva, através da infiltração por fissuras e áreas de afloramentos das rochas. Foram selecionadas 41 amostras de Londrina-PR e região, contendo todos os dados de cátion e ânions necessários para plotagem no programa Qualigraf e geração dos Diagramas de Piper, Stiff e o Balanço Iônico. Estas análises permitiram a classificação hidroquímica das águas do SASG quanto aos poços levantados na área de estudo. Tal caracterização foi feita com base em resultados de análises químicas das águas de poços da área de estudo levantados, utilizando o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Nestes diagramas foram identificados que as águas são predominantemente Carbonatadas Cálcicas ou Magnesianas, seguido de alguns pontos localizados na Classificação de Águas Sulfatadas ou Bicarbonatadas Sódicas. E pontos adversos classificados como Sulfatadas Cálcicas. Mostraram-se ainda alta concentração de cloretos e carbonatos de cálcio.

Palavras chave: Abastecimento Humano; Dureza; Qualidade da Água Subterrânea.

ABSTRACT

MELO, Nathalia Zancarli Ruse. Hidroquímicas water considerations wells that exploit the Serra Geral aquifer system (SASG) in the region of Londrina-PR. 2014. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

Groundwater from the aquifers in the State of Parana are considered a major source of human and supply for other purposes being the interest in maintaining the quality the focus of the main basin committees and the general public. Groundwater is a right of fundamental importance to life, constituting one of the largest reserves of fresh water available on the planet. These reservoirs formed from rainwater through fissures, and areas of infiltration by outcrops of rocks. 41 samples were selected from Londrina-PR and region, containing all the data necessary for plotting anions and cation in the program Qualigraf and generation of diagrams of Piper, Stiff and the Ionic Balance. These analyses allowed the hydrochemistry classification of waters of SASG as the wells surveyed in the study area. Such characterization was based on results of chemical analyses of water wells in the study area raised using the Groundwater information system (SIAGAS). In these diagrams have been identified that the waters are predominantly Carbonated Calcium or Magnesianas, followed by a few points located in the classification of Sulfated Waters or Bicarbonated with sodium. And adverse points classified as Sulphated Calcic. It also showed high concentrations of chlorides and calcium carbonates.

Keywords: Human Supply; Hardness; Groundwater quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Índices médios nacionais de perdas na distribuição de água em 2012	15
Figura 2 - Setores mais importantes de consumo de água subterrânea	16
Figura 3 - Área de Afloramento da Unidade Aquífera Serra Geral Norte	18
Figura 4 - Geologia do Estado do Paraná	19
Figura 5 - Classificação Climática – Koppen	22
Figura 6 - Precipitação Média Anual do Estado do Paraná	23
Figura 7 - Foto mostrando poço de captação da água subterrânea do SASG em um sítio em Sabáudia-Pr.....	29
Figura 8 - Foto em detalhe com evidência de incrustação carbonáticas nos tubos internos do poço tubular profundo da propriedade.	29
Figura 9 - Incrustações carbonáticas em tubos de condução de água na propriedade	29
Figura 10 - Foto mostrando chaleira de uso diário com incrustações carbonáticas no interior	30
Figura 11 - Interface do Site do SIAGAS.....	31
Figura 12 - Interface da Pesquisa	32
Figura 13 - Interface da Pesquisa por poço registrado.....	33
Figura 14 - Interface do Programa Qualigraf	34
Figura 15 - Entrada de Dados.....	35
Figura 16 - Balanço Iônico	36
Figura 17 - Diagrama de Piper	37
Figura 18 - Plotagem das Amostras do Diagrama Triangular.....	38
Figura 19 - Diagrama de Stiff	39
Figura 20 - Localização dos poços no Google Earth.....	40
Figura 21 - Cálculo do Erro Prático	42
Figura 22 - Resumo Estatístico dos Parâmetros Químicos da Água da Unidade Aquífera Serra Geral Norte e Sul	44
Figura 23 - Diagrama de Piper com a plotagem das amostras.....	45
Figura 24 - Classificação das Águas por Piper.....	46
Figura 25 - Diagrama de Stiff característico de amostras Carbonatadas Cálcias	49
Figura 26 - Diagrama de Stiff para o ponto P7-2.....	49
Figura 27 - Diagrama de Stiff para o ponto P8-2.....	50
Figura 28 - Diagrama de Stiff para o ponto P9-5.....	50

Figura 29 - Diagrama de Piper para o ponto P10-4.....	51
Figura 30 - Diagrama de Piper para o ponto P10-10.....	51
Figura 31 - Poço P-1214 (Sabáudia-PR) localizado na Bacia Pirapó e na Formação Santo Anastácio.....	52
Figura 32 - Seção da Formação Santo Anastácio.	53

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PROPORÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA E RURAL, QUE POSSUI ACESSO À ÁGUA TRATADA E SANEAMENTO BÁSICO.....	17
TABELA 2 – CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SEGUNDO A DUREZA EM MG/L CaCO_3	24
TABELA 3 – PADRÕES DE POTABILIDADE.	25
TABELA 4 – POÇOS SUBTERRÂNEOS SELECIONADOS NA REGIÃO DE LONDRINA ..	28
TABELA 5 – DADOS DOS POÇOS CONSULTADOS.	41
TABELA 6 – REPRESENTAÇÃO DOS PARÂMETROS PH, CONDUTIVIDADE E CLORETO DE ALGUMAS AMOSTRAS.....	43
TABELA 7– CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DOS POÇOS SEGUNDO A DUREZA EM MG/L CaCO_3	47

LISTA DE SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
MS	Município de Sabáudia
NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas
OMS	Organização Mundial da Saúde
PLANASA	Plano Nacional do Saneamento
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SASG	Sistema Aquífero Serra Geral
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
uH	Unidade Hazen
UT	Unidade de Turbidez
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVO	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 ÁGUA OU RECURSO HÍDRICO	14
3.2 DESCRIÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO	17
3.3 LEGISLAÇÕES PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	20
3.4 RECARGA DE AQUÍFEROS	22
3.5 DUREZA	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1 DIAGNÓSTICO INICIAL	28
4.2 SIAGAS	30
4.3 QUALIGRAF	34
4.4 METODOLOGIA DO DIAGRAMA TRIANGULAR DE PIPER	36
4.5 METODOLOGIA DO DIAGRAMA DE STIFF	10
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1 DIAGRAMA PIPER	44
5.2 DIAGRAMA STIFF	48
6 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A água doce proveniente do subsolo tem se tornado essencial para abastecimento de populações, devido principalmente, a sua qualidade natural, uma vez que as águas superficiais estão cada vez mais poluídas, além de sua distribuição e oferta desigual em algumas regiões do globo.

Desde os primórdios, antes do início da civilização, em períodos prolongados de estiagem, onde havia leitos secos de rios intermitentes, os humanos escavavam o solo e materiais inconsolidados para obtenção de água subterrânea. Seguindo a evolução do processo exploratório dos recursos hídricos subterrâneos, com os chineses surgiu a perfuração a percussão, que desta vez exploravam a rocha, para se chegar às fissuras e obtiver assim a água subterrânea (DINIZ et al. 2004)

Nesse sentido, de acordo com Freitas (2000, pg. 23):

“As águas subterrâneas são a fonte de abastecimento preferida. Elas apresentam maior facilidade de exploração, baixo custo e boa qualidade. Situam-se nos aquíferos, que podem ser considerados como o solo, rocha ou sedimento permeável, capaz de armazenar água subterrânea. O Brasil é rico em lençóis freáticos e, por isso, tem crescido muito a perfuração de poços artesianos”.

A água subterrânea explorada pode ser destinada ao consumo humano, dessedentação animal, para irrigação e processos industriais. Esta água deve ser bem estudada antes do consumo, através, principalmente, de caracterizações hidrogeoquímicas, notando sua potabilidade e suas restrições para o consumo humano (MANASSÉS, 2008).

Segundo dados da CPRM (2014), como forma de atender a demanda de água da região Metropolitana de Londrina, a maioria das explorações subterrâneas se dá pela perfuração de poços localizados no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), que corresponde geologicamente a Formação Serra Geral, inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, correspondente geomorfologicamente ao Terceiro Planalto Paranaense. Apenas no estado do Paraná, são mais que 11.600 poços captando (explotando) as águas desse aquífero (CPRM, 2014).

A Formação Serra Geral é composta principalmente por rochas basálticas, resultantes do resfriamento magmático que recobriu todo o norte do estado do Paraná. Os basaltos possuem alto grau de juntas e fraturamentos, devido principalmente ao processo de resfriamento, características de rochas vulcânicas, que por sua vez, possuem grande porosidade fissural o que permite o armazenamento e fluxo contínuo de água subterrânea, porém em ambiente heterogêneo e anisotrópico.

O SASG tem se mostrado, em geral, com boa qualidade natural da água para o consumo humano, industrial e irrigação. Todavia, a água subterrânea pode apresentar elevadas concentrações de minerais como o carbonato de cálcio (CaCO_3), que a torna, nessa condição, imprópria para consumo humano (VON SPERLING, 2005).

Portanto, antes do consumo das águas do SASG, faz-se necessário estudo que avalie os condicionantes hidroquímicos que promovem a certificação de sua potabilidade e, principalmente, levar em conta, o uso consciente do recurso hídrico.

Deste modo evita-se desperdícios e o risco de contaminação antrópica, para esse fim, os diagramas hidroquímicos surgem como importantes ferramentas no entendimento das características geoquímicas e a qualidade natural das águas subterrâneas.

Portando, a utilização do recurso subterrâneo é viável para a população, desde que esse uso seja cauteloso e não altere padrões existentes ou aumente a poluição dos mesmos. Assim, deve-se identificar o tratamento mais adequado, como as de águas com poluição natural por carbonatos de cálcio, que pode trazer sabor as águas, assim como incrustações excessivas na canalização.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho de pesquisa teve como objetivo principal a caracterização hidroquímica do SASG na região de Londrina/PR.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a qualidade do SASG, principalmente quanto à concentração e prováveis anomalias naturais do carbonato de cálcio (CaCO_3);
- Levantamento e organização do banco de dados georreferenciados dos poços cadastrados na região de Londrina e que exploram o SASG utilizando-se do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS);
- Caracterizar e classificar as águas subterrâneas da região de Londrina, através de sua hidroquímica e hidrogeoquímica, para obter informações importantes sobre a estrutura e qualidade das águas subterrâneas, identificando possíveis contaminações presentes no SASG, na Região de Londrina.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ÁGUA OU RECURSO HÍDRICO

Sabe-se a água é um elemento tratado como fonte de vida, beleza, cultura, poesia, religião e outros valores, mas quando esta é submetida a interesses econômicos, se torna um recurso hídrico, remetendo a um valor econômico. A água é considerada finita e essencial à vida, e ao mesmo tempo é um recurso ambiental, que quando extrapolado seu uso traz prejuízos às características naturais do meio ambiente.

A utilização deste recurso hídrico para abastecimento necessita de investimento. Sabe-se que por um breve histórico, que durante o final da última década, aumentou-se o provimento da água de boa qualidade para a população e o fornecimento para uma maior quantidade de pessoas. Notou-se nas décadas de 70 e 80 no Brasil, um avanço no sistema de abastecimento de água e esgoto com a implantação do PLANASA – Plano Nacional do Saneamento – que trouxe a viabilidade ao país de abastecer cerca de 90% da população urbana (TSUTIYA, 2006).

De acordo com Tsutiya (2006) nos centros urbanos mais desenvolvidos, notavam-se algumas carências como a má conservação de dutos antigos, acarretando em perdas d'água, através de rompimentos e vazamentos de água, podendo haver ainda déficit na distribuição da água devido ao crescimento rápido e desordenado da população.

Dados mais atuais como do SNIS (2012) em estudo sobre a distribuição de água no Brasil, mostram que o atendimento da população gira em torno de 79%. Comparado com o Sul do Brasil, onde se situa o Estado do Paraná, esse índice aumenta para um atendimento de 84%, mostrando uma melhora no Sul em relação ao País. Em contrapartida as perdas de água geradas na saída das Estações de tratamento de água até as residências, são significativas chegando o Brasil ter 37,43% de perdas na distribuição. Mostrando um desperdício deste recurso natural.

Como se sabe, os índices de perdas no caminho estão diretamente ligados à conservação da infraestrutura de distribuição da água e dos tubos, pela pressão desregulada e ligações clandestinas.

Por meio da Figura 1 visualiza-se que as regiões norte e nordeste do país estão acima da média nacional, 37,43%, no quesito de perdas na distribuição. Este fato deve-se normalmente a falta de investimentos na estrutura física dos locais, carência da população e altas taxas de tarifa de água, muitas vezes levando a inadimplência (SNIS, 2012).

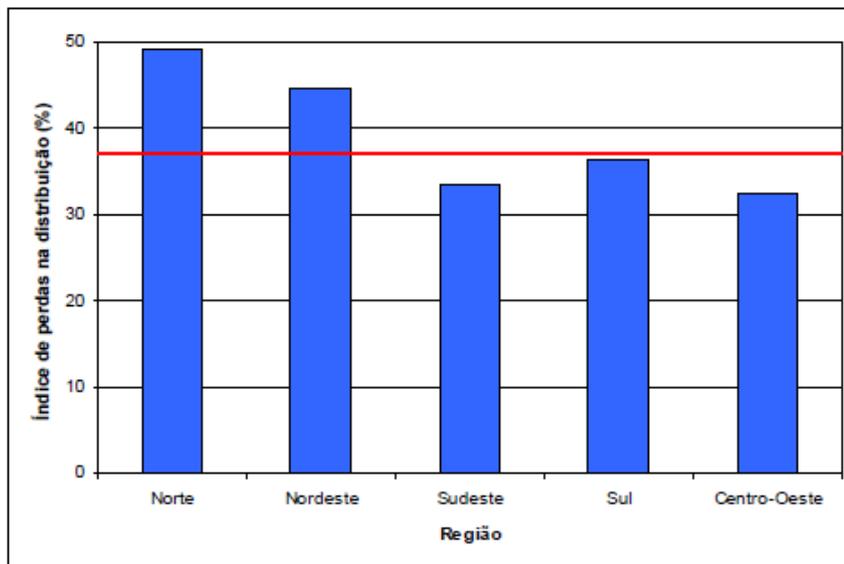


Figura 1 – Índices médios nacionais de perdas na distribuição de água em 2012.
Fonte: SNIS, 2012.

No Brasil, os setores de maior consumo de Água são os agrícolas, residenciais, comerciais, industriais e públicos (ANA, 2009). Quando se fala em setores de maior uso de água subterrânea no Brasil, os maiores consumidores estão explicitados na Figura 2.

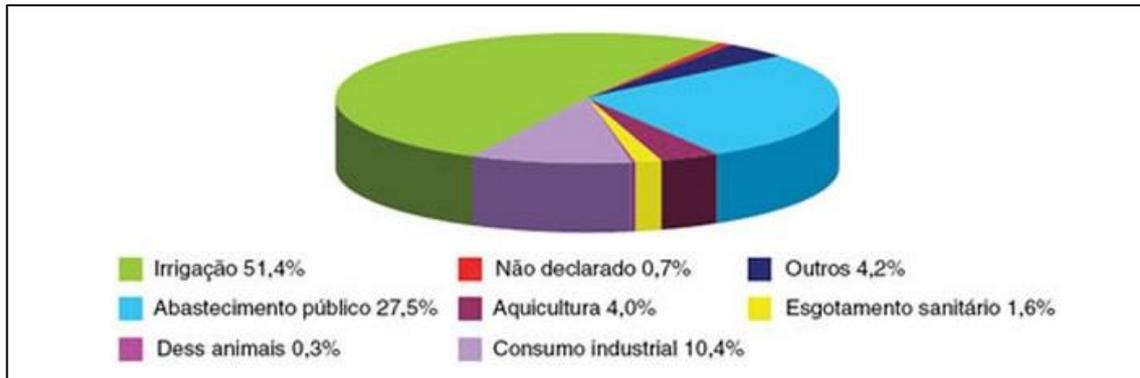


Figura 2 – Setores mais importantes de consumo de água subterrânea.

Fonte: ANA (2009).

Para ANA (2009), em seu estudo sobre a conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, a vazão outorgada até 2007 era de 3.520,9m³/s. Sendo a emissão para captação da água subterrânea equivalentes a 52% deste total outorgado. Ainda segundo ANA, o estado que mais requer a autorização é a Bacia Hidrográfica do Paraná, com 1.301,38m³/s.

É notória a utilização de água potável nas indústrias no cenário nacional. Há uma grande importância aos usos consultivos para a Indústria, fazendo a incorporação deste recurso natural nos produtos produzidos e nos setores de produção, e limpeza, entre outros. Sendo sempre necessárias águas potáveis e de boa qualidade. Sendo estes consumos significativos para as indústrias (BEZERRA; MUNHOZ, 2000).

Para a ONU, um dos objetivos do milênio requeridos para o Brasil é Garantir a Sustentabilidade Ambiental, sendo que segundo o IBGE (2010), a meta 2, terá como proposta a redução pela metade, até o ano de 2015, a proporção da população sem acesso permanente e sustentável à água potável e ao saneamento básico. As proporções atuais para os sistemas de água e esgotamento sanitário estão nas condições como segue na Tabela 1.

A Tabela 1 representa a atual situação nacional. Mostrando que a população urbana e rural, de maioria, possui água tratada, mas o saneamento básico é deficiente. O que se justifica essas diferenças entre o atendimento de água e de esgoto, pode ser devido aos investimentos do Plano Nacional de Saneamento - Planasa na década de 60, que possuía o objetivo de universalizar o atendimento de água para a população. Outro motivo seria a influência política da época, que no Brasil, sempre visou mostrar as obras, portanto as reformas de esgoto e

saneamento, não são notadas facilmente, por estar sob o solo, tendo menos investimentos neste setor no que os de água (NOZAKI, 2007).

Tabela 1 – Proporção da População Urbana e Rural, que possui acesso á água tratada e saneamento básico.

POPULAÇÃO	ANO	PROPORÇÃO
Urbana, com acesso a uma fonte de água tratada	2011	100%
Rural, com acesso a uma fonte de água tratada	2011	84%
Urbana, com melhores condições de saneamento	2011	87%
Rural, com melhores condições de saneamento	2011	48%

Fonte: *United Nations Statistics Division, Department of Economic and Social Affairs, Millennium Development Goals Indicators (2010) - MDGS.*

O estudioso da associação ABAS, Claudio Oliveira, 2014, relata a falta da preocupação nacional:

“No Brasil, a disponibilidade hídrica é de 350 mil m³ por pessoa. Em Israel, é de 30 mil m³ e não há preocupação com falta de água, pois a gestão é muito bem feita. Sendo que o Sistema hídrico israelense depende integralmente dos poços artesianos, pois o país se localiza em áreas desérticas. Já aqui no Brasil o risco de escassez ocorre porque a grande concentração de água não está necessariamente onde há mais necessidade dela e não há uma gestão eficiente dos recursos. Falta infraestrutura”.

3.2 DESCRIÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO

O local definido para o estudo foi caracterizado através de dados da profundidade dos poços perfurados, formação geológica, assim como por meio de Avaliações Hidrogeoquímicas, como pH, pela Alcalinidade, Condutividade Elétrica, Dureza. Devido a estudos já realizados e identificados que no terceiro planalto, no Estado do Paraná, existem localidades chamadas de

“karst”, que são sedimentos com altos teores minerais alcalinos como bicarbonatadas cálcicas, com dureza variando em 185 mg/l de CaCO_3 , (FRAGA, 1994), acredita-se nesta pré caracterização do local de estudo.

A região de Londrina localiza-se dentro das coordenadas de 23° 08’ 47 e 51° 19’ 11, (DUTRA, 2013), inserida no terceiro planalto do Paraná. Dentro da área podem ser encontrados outros municípios, como: Cambé, Arapongas, Sabáudia, Rolândia, Uraí, Londrina e Ibiporã.

Arapongas e Sabáudia estão inseridas dentro da Bacia do Rio Pirapó, cortados pelo rio Pirapó, contidos geologicamente sobre a Formação Serra Geral, com vazões variantes de 2 a 50 m³/h, (CARDOSO et al., 2007). Dentro desta Bacia, podem ser encontradas outras formações geológicas, composta especialmente pela Formação Caiuá, caracterizado por baixos teores de íons em suas águas, mas com altos teores de sais bicarbonatados como os de cálcio e magnésio, tornando-as corrosivas. Em menor parte, mas ainda encontrado, é a formação Santo Anastácio formada por arenitos com pequenas granulometrias, tornando-o suscetível a poluição, não sendo indicado para captação da água subterrânea, como é o caso da cidade de Sabáudia-PR (CELLIGOI; DUARTE, 2002). O Aquífero Serra Geral Norte pode ser visualizado na Figura 3.

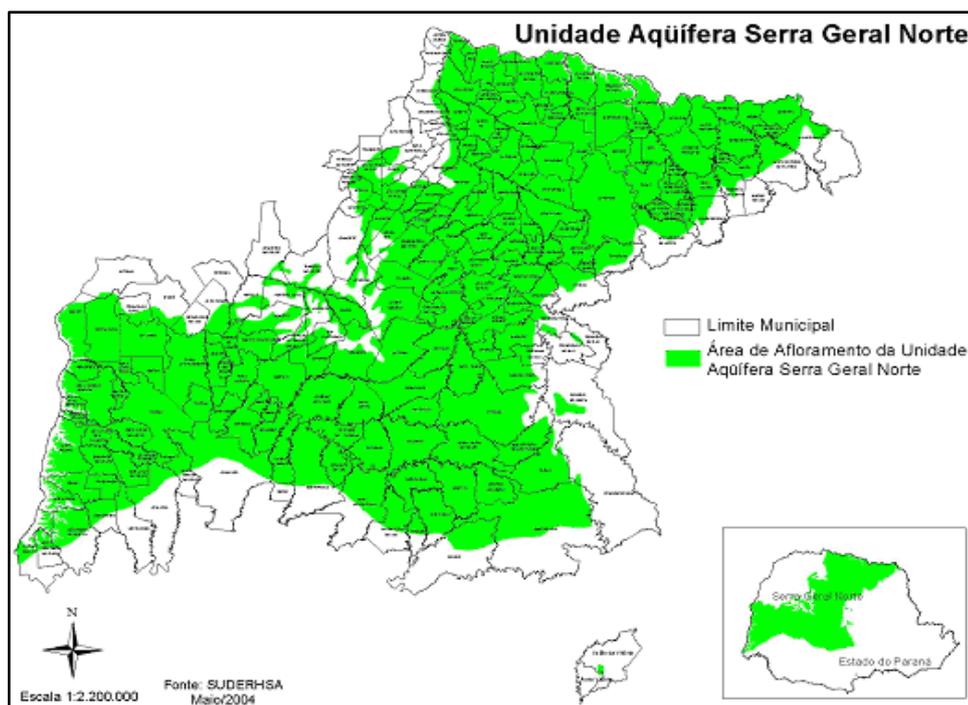


Figura 3 – Área de Afloramento da Unidade Aquífera Serra Geral Norte. Definido pelo Instituto das Águas do Paraná.
Fonte: SUDERHSA, 2004.

Segundo Dutra (2013) analisando um estudo feito por MACHADO et al. (2002), a área do SASG, é constituída por águas com dominâncias cálcicas, derivada dos derrames basálticos da formação Serra Geral, que ao longo do tempo foram desgastadas por obras intempéricas, depositando seus minerais nas águas subterrâneas.

Por meio de fraturas subterrâneas nas rochas, o Sistema Aquífero Guarani (SAG), que possui alta pressão, recarrega o SASG, e este por possuir características predominantes como possuir águas sulfatadas, cloretadas e com muitos sólidos dissolvidos, pode vir a fazer a mistura das duas águas, podendo contaminar o Aquífero abaixo, sendo que as águas possuem variações de carbonato de cálcio de 3 a 189 mg/l. O aquífero Serra Geral está situado sob o Terceiro Planalto Paranaense e no norte do Paraná possui uma extensão de 61.095,33 km² e contém a maioria das bacias contidas no Estado do Paraná, possuindo uma variância média de 50 mg de dureza, (ÁGUAS PARANÁ, 2010). Como pode ser visualizado na Figura 4 da geologia local.

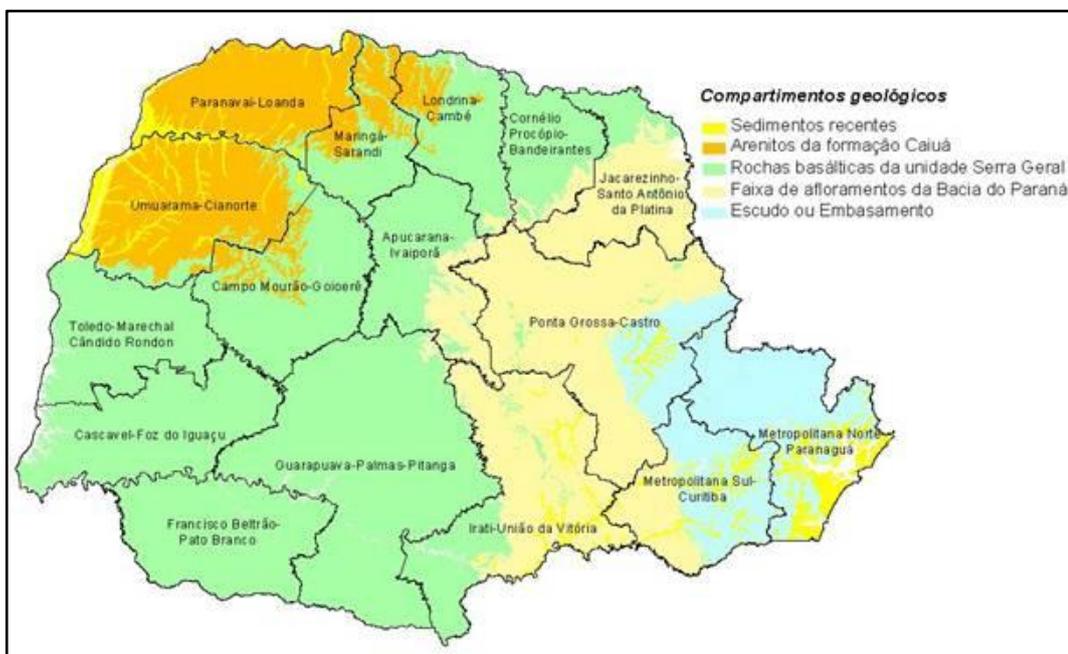


Figura 4 – Geologia do Estado do Paraná.
Fonte: Mineropar, (2014).

Segundo ABAS (2014), no Estado do Paraná, são 1000 poços operados por companhias de saneamento, sendo que os mais produtivos geram 200m³/h de água. Sendo este tipo de captação o equivalente a 21% do total. Para o vice-presidente da

ABAS, a captação de altas vazões, traz junto grande quantidade de íons, em um estado muito mineralizado, que quando irrigada em solos desequilibra a fertilidade e traz prejuízos as plantas.

3.3 LEGISLAÇÕES PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Para o Código de Águas, Decreto nº 24.643 de 1934 art. 96, é de responsabilidade do dono da propriedade em que é feita a utilização das águas subterrâneas, priorizar o consumo humano, mas atentar-se para que a captação não prejudique outras pessoas ou empreendimentos que se aproveitam deste recurso, ou mesmo desviar o curso natural destas águas ou poluí-las.

Com a carência da população por recursos hídricos, para o suprimento, faz-se necessário à exploração das águas subterrâneas, exatamente por estas possuírem uma melhor qualidade em relação às águas superficiais, devido a todo filtramento que sofrem pelas rochas percorridas (VICTORINO, 2004).

Fez-se necessário, portanto o enquadramento dessas águas, por meio da resolução CONAMA nº 396 de 2008. Com isso será possível obter as classificações hidrogeoquímicas mais adequadas e o seu grau de poluição (SANTOS, 2009).

Segue a Resolução CONAMA nº 396, em seu artigo 3º, que estabelece enquadramento das águas subterrâneas:

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, em 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;

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.”

Deste modo, é possível enquadrar em cinco classes as águas subterrâneas, notando o uso permitido da água explorada e se existe alguma alteração antrópica atuante.

A Lei nº 9.433, de 1º de janeiro de 1997, institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos assim como os instrumentos:

- Os Planos de Recursos Hídricos
- Enquadramentos dos corpos de água em classes;
- A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- A cobrança pelo uso dos recursos hídricos

Essa lei assegura a qualidade das águas, financia projetos de proteção aos recursos, diminui os custos de combate à poluição das águas e propõe medidas preventivas de proteção.

Outra portaria importante é a MS nº 2.914 de 2011, que dispõe sobre controle, vigilância da qualidade da água para consumo humano e potabilidade. Define no Art. 5º, por água subterrânea captada - solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano. Mostrando a importância desse método e a responsabilidade que deve ser assumida quando se faz a captação, (MS, 2012).

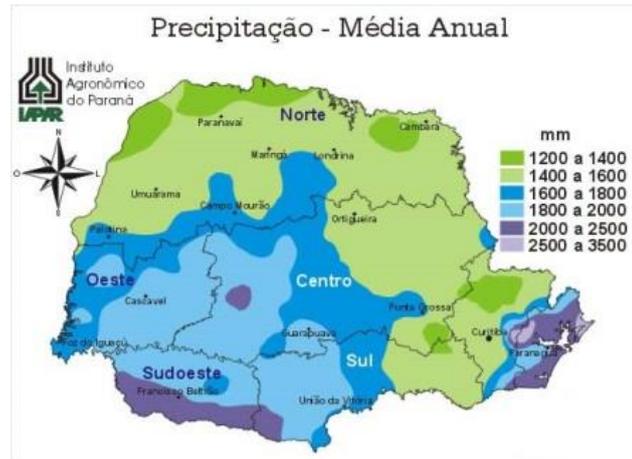


Figura 6 – Precipitação Média Anual do Estado do Paraná.
Fonte: IAPAR, 2000.

3.5 DUREZA

Segundo Feitosa e Filho (2000), a água é formada por propriedades iônicas. Os cátions, como o Cálcio (Ca^{2+}), devido a sua alta solubilização é comum precipitar na forma de Carbonato de Cálcio (CaCO_3), sendo o fator dominante na dureza das águas subterrâneas. O Magnésio (Mg^{+2}), se diferencia do Cálcio por ser menos solúvel, mas trás para água amargor, estas duas propriedade segundo os autores não trazem malefícios ao consumidores destas águas.

Podendo ou não trazer malefícios, o íon Carbonato de Cálcio (CaCO_3), ao contrário dos compostos iônicos citados, depende diretamente do pH e CO_2 presentes nas águas subterrâneas. Este composto se caracteriza por possuir valores de pH acima de 9,4 (OLIVEIRA, 2007). Portanto, sendo este íon prejudicial para irrigação, devido a desajustes osmóticos (DIAS; BLANCO, 2010) e trazendo problemas físicos como a inutilização dos tubos que captam estas águas.

O mineral carbonato de cálcio pode ser encontrado em organismos vivos, como em ossos, dentes, assim como as conchas e em depósitos subterrâneos, onde as águas subterrâneas entram em contato com o calcário. O excesso deste íon nas águas é denominado água dura, (sendo teores acima de 100mg/l), com mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação das Águas segundo a dureza em mg/L CaCO³.

TIPO	TEOR DE Ca ²⁺ + Mg ²⁺ em CaCO ₃ (mg.L ⁻¹)
BRANDA	< 50
POUCO DURA	50 – 100
DURA	100 – 200
MUITO DURA	>200

Fonte: Custódio e Llamas (1983). Org.: Autoria Própria.

Dessa forma, em quantidades excessivas, essa substância presente nas águas, poderá receber tratamentos que façam a dissolução dos minerais ou substâncias presentes, antes que sejam destinadas ao consumo ou á outras atividades que necessitem desse recurso.

Ainda segundo o Ministério da Saúde, uma água potável para consumo humano, mesmo que subterrânea, deve possuir no máximo 500mg/L de Dureza, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Padrões de Potabilidade, Portaria n. 2.914 de 2011.

PADRÕES DE ACEITAÇÕES PARA CONSUMO HUMANO		
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP (1)
Alumínio	Mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	Mg/L	1,5
Cloreto	Mg/L	250
Cor Aparente	uH (2)	15
Dureza	Mg/L	500
Etilbenzeno	Mg/L	0,2
Ferro	Mg/L	0,3
Manganês	Mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	Mg/L	0,12
Odor	-	Não Objetável (3)
Gosto	-	Não Objetável (3)
Sódio	Mg/L	200
Sólidos Dissolvidos Totais	Mg/L	1000
Sulfato	Mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	Mg/L	0,05
Sulfactantes	Mg/L	0,5
Tolueno	Mg/L	0,17
Turbidez	UT (4)	5
Zinco	Mg/L	5
Xileno	Mg/L	0,3

Fonte: Portaria 2.914/2011. Org.: Autoria Própria.

NOTAS:

- (1) Valor máximo permitido (2) Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).
 (3) critério de referência (4) Unidade de turbidez.

O desequilíbrio iônico das águas subterrâneas pode ser associado a fatores naturais - como a influência das rochas, tornando-as salinizadas. Ou por muitas vezes está coligado a ações humanas, como o bombeamento excessivo, que atinge porções mais profundas dos aquíferos (locais de maior salinização) contaminando-as, ABAS (2014).

Esse tipo de característica encontrada em algumas águas inativa sabões e diminui a eficiência na hora da dissolução do mineral na água, aumentando a concentração destes alcalinos terrosos. As águas que apresentam estes minérios podem ser classificadas por possuir uma dureza temporária ou permanente, estas

duas se diferenciando pela temporária ao se deparar com altas diferenças de calor, se decompõem em gás carbônico, água e minerais insolúveis, formando as precipitações, (ABDALLA, et al. 2010).

Segundo Von Sperling (2005), concentração excessiva de minerais calcários, pode vir acarretar um sabor diferente de águas naturais captadas, como águas salobras e pode ter algumas implicações laxativas para quem consumir.

Na região de Londrina, localiza-se o terceiro planalto paranaense, sendo constituído de águas calcárias. Este tipo de água, não é recomendável no uso em indústrias e irrigação. Isso se deve, por alterações químicas recorrentes de minerais básicos que promovem a neutralidade de substâncias, levando as águas subterrâneas já na superfície a incrustabilidade.

Os efeitos das incrustações na indústria são a corrosão de tubulações e caldeiras, assim como dos vaporizadores industriais. Na agricultura, aumenta a concentração de minerais nas plantas, a salinização dos solos e a queima destas, inviabilizando o uso das águas ou necessitando de tratamentos de correção destes minerais, (AESAPB, 2009).

Quando não existindo outras soluções de captações de águas, o ideal são os tratamentos de correções. Segundo Marguti (2012), desenvolvido por AWWA (1996), um dos tratamentos que podem ser utilizados para remoção destes minerais nas águas, é o abrandamento por precipitação química, que tem como objetivo a diminuição da dureza das águas com ajuda de um processo de abrandamento.

Outra forma de abrandamento possível para esse tipo de remoção seria o por troca iônica, utilizando-se de resinas orgânicas naturais ou inorgânicas naturais ou sintéticas, que fazem através da difusão, a extração dos minerais em excesso, (DCMM, 2009).

Mais utilizado, o uso do ácido clorídrico para diluição do CaCO_3 , diminui em mais de 90% o peso inicial de uma amostra carbonatada. Este fator geralmente se dá por fatores que agem juntamente, quando existe um excesso de minerais na água, assim como a nucleação e o tempo que leva para que o mineral cristalize e forme a incrustação (ARAI; DUARTE, 2010).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem como base inicial a pesquisa bibliográfica contida em artigos e trabalhos científicos, dissertações de mestrados e teses de doutorados, artigos na área de geociências, assim como agência nacional executiva de gestão de águas e instituto de águas estaduais.

Além disso, levantaram-se dados cadastrais hidroquímicos junto ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM), selecionando poços na Região de Londrina, que possuem informações necessárias para que seja feita as análises hidroquímicas, acessando através do arquivo digital do portal do SIAGAS WEB.

Por meio da aplicação metodológica e da análise dos resultados da presente pesquisa, foi possível visualizar que a água explorada do SASG está em conformidade com a Resolução CONAMA nº 396 de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento de águas subterrâneas.

Na investigação dos dados foram consultados 664 poços tubulares profundos cadastrados no sistema SIAGAS WEB, utilizados para consumo humano para os mais diversos usos, desde público a privados.

Dos 664 poços levantados e cadastrados pelo sistema, utilizou-se apenas 41 desse total, pois os demais possuem dados inexistentes ou incompletos que não serviriam de base de dados para a geração dos diagramas hidroquímicos.

Após a investigação da consistência dos dados, utilizando-se de software específico, denominado Qualigraf, foram gerados diagramas que representam as concentrações de cátions e ânions principais em miliequivalente por litro (meq/L), o que possibilitou a interpretação gráfica para classificação hidroquímica das águas subterrâneas pertencentes ao SASG.

Os principais cátions e ânions utilizados para classificação hidroquímica das amostras, foram os cátions Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio e os ânions Cloro, Sulfato, Bicarbonato e Carbonato.

A escolha dos poços subterrâneos se deu a partir da Cidade de Londrina, devido a maior número de amostras existentes, seguindo para ao redor da cidade, para demonstrar se os municípios escolhidos possuem propriedades semelhantes. Ou poder caracterizar se a anisotropia do SASG e as diferentes geomorfologias

destes municípios se alteram com as pequenas distâncias. A divisão dos 41 dados de poços subterrâneos utilizados da Região de Londrina se deu a partir da Tabela 4.

Tabela 4 – Poços Subterrâneos selecionados na Região de Londrina.

MUNICÍPIO	POÇOS SELECIONADOS	PONTOS
Sabáudia	1	P1
Jaguapitã	1	P5
Arapongas	1	P2
Bela Vista do Paraíso	2	P3-1; P3-2
Rolândia	4	P6-1; P6-2; P6-3; P6-4
Jataizinho	4	P7-1; P7-2; P7-3; P7-4
Ibiporã	5	P8-1; P8-2; P8-3; P8-4; P8-5
Cambé	5	P9-1; P9-2; P9-3; P9-4; P9-5
Londrina	13	P10-1; P10-2; P10-3; P10-4; P10-5; P10-6 P10-7; P10-8; P10-9; P10-10; P10-11 P10-12; P10-13

Fonte: Autoria Própria.

4.1 DIAGNÓSTICO INICIAL

Após relatos de um proprietário rural que sofre com os efeitos das incrustações carbonáticas nos tubos de água captadas do SASG no município de Sabáudia-PR, foi realizado um trabalho pré-investigativo de campo, onde foram tomadas fotos (Figuras 7, 8, 9 e 10) dos tubos e canalizações do local para entender a problemática local, do qual se utiliza desta água para consumo, criação de suínos e aves.



Figura 7 – Foto mostrando poço de captação da água subterrânea do SASG em um sítio em Sabáudia-PR.

Fonte: Autoria Própria.



Figura 8 - Foto em detalhe com evidência de incrustação carbonáticas nos tubos internos do poço tubular profundo da propriedade.

Fonte: Autoria Própria.

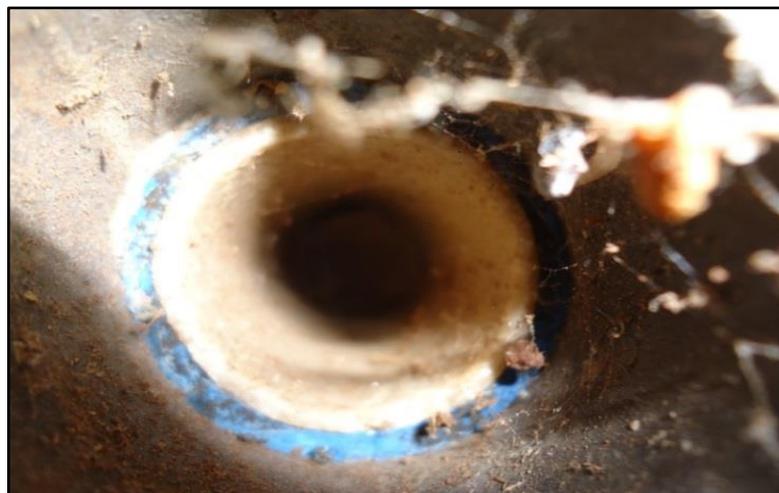


Figura 9 – Incrustações carbonáticas em tubos de condução de água na propriedade.

Fonte: Autoria Própria.



Figura 10 – Foto mostrando chaleira de uso diário com incrustações carbonáticas no seu interior.

Fonte: Autoria Própria.

Posteriormente a pesquisa realizada na propriedade rural e notando os problemas causados pelas incrustações levantaram-se questões sobre a causa do problema e deu-se o estudo. Os primeiros passos realizados foram o banco de dados por meio do SIAGAS, juntamente com os outros pontos a serem analisados na região de Londrina, como explicitado no item 5.2.

4.2 SIAGAS

O SIAGAS, criado em 1996, tem como objetivo a globalização de dados georreferenciados de poços tubulares profundos outorgados para os mais diferentes usos da água distribuídos por todo o território nacional.

Para uma maior facilidade na busca de informações espaciais e exportação de dados: geológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos; foi elaborado o SIAGAS WEB, ferramenta de fundamental importância para cruzamento de *shapes* dos Estados, assim como as bacias hidrográficas existentes (LIMA; BRANCO, 2010).

Depois de selecionado o local de estudo ou o dado a ser exportado, como um poço subterrâneo cadastrado no banco de dados, foi possível visualizar todas as informações disponíveis como: nome da empresa que fez a perfuração, coordenadas geográficas do ponto, dados construtivos, hidrogeológicos, assim como os testes de bombeamento e as análises químicas da água – pH, CaCO_3 , Mg, etc. (SIAGAS, 2014).

Ao recorrer ao SIAGAS WEB, a interface do programa pode ser visualizada na Figura 11.



Figura 11 – Interface do Site do SIAGAS.
Fonte: SIAGAS WEB, 2014.

Definido os municípios da região de Londrina que seriam estudadas como Sabáudia, Jaguapitã, Araçongas, Bela Vista do Paraíso, Rolândia, Jataizinho, Ibiporã, Cambé e Londrina, faz-se necessário procurar dentro do SIAGAS WEB cada município como explicitado na Figura 12.

Ainda para o local de estudo deve-se selecionar a Bacia do Paraná, na Região sul do Brasil, na localidade do Estado do Paraná e definido o primeiro município.

Sua pesquisa retornou 330 registros

Código do Ponto	UF	Município	Localidade
3500004509	PR	Londrina	MARGEM DIREITA RIB. CAFEZAL
3500012722	PR	Londrina	Royal Golf
3500019718	PR	Londrina	

Figura 12 – Interface da Pesquisa.

Fonte: SIAGAS WEB, 2014.

A pesquisa apresenta todos os poços nacionais perfurados e cadastrados no sistema, por código do ponto, ao clicar em um desses códigos são mostrados os aspectos gerais como dados gerais e localização como na Figura 13, assim como os perfis construtivos dos poços contendo: cota do terreno e profundidade da perfuração, a geologia do local assim como a formação. Nos locais estudados sendo de maioria Serra Geral, mostram o tipo de solo característico: Basalto, Arenito. Contém ainda dados hidrogeológicos que relatam o nível estático e dinâmico no teste de bombeamento, assim como a vazão obtida, e por fim as análises químicas e os resultados analíticos como pH, nitritos, nitratos, dureza, etc.

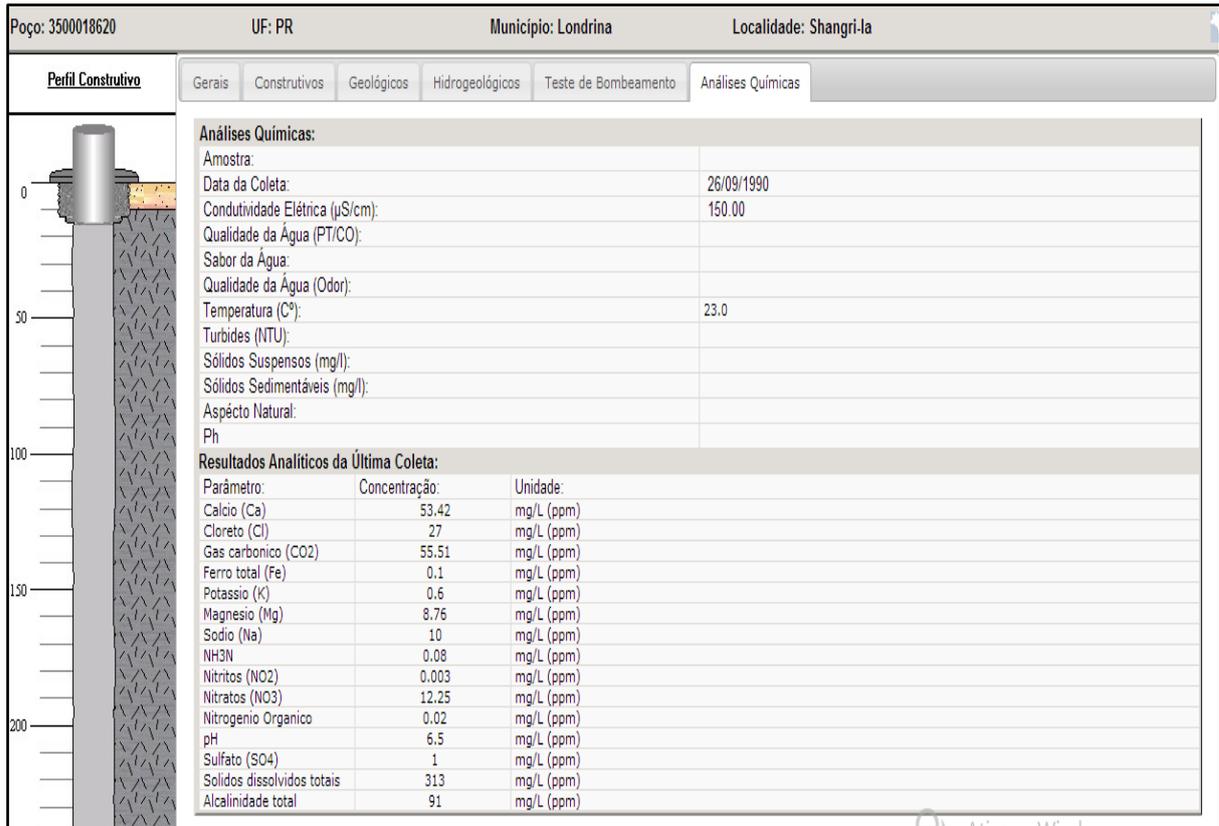


Figura 13 – Interface da Pesquisa por poço registrado.

Fonte: SIAGAS WEB, 2014.

Após inserir as amostras no Excel, os dados foram importados para o programa explicitado no item 5.3.

4.3 QUALIGRAF

O software Qualigraf, como mostra a Figura 14 onde é visualizada a página inicial de abertura do programa, tem como função, identificar os diferentes tipos de amostras, realizar a análise dos cátions e ânions destas e as classificações hidroquímicas por meio da interpretação gráfica. O diagrama de Piper também classifica a qualidade da água de irrigação, por meio do diagrama ISSL, e caracteriza se a água está de acordo para o abastecimento e consumo da população por meio da Portaria N^o 2.914 de 2011. Já o diagrama de Stiff analisa pontualmente a química da água, podendo ser tanto um conjunto de dados, como individualmente, mostrando o cátion ou ânion de maior concentração nas amostras.



Figura 14 – Interface do Programa Qualigraf.
Fonte: FUNCEME, 2014.

Ao entrar no programa, as opções que se apresentam são mostradas na Figura 14. O primeiro procedimento é selecionar um novo documento para importação dos dados, como mostra a Figura 15.

teórico é o erro prático máximo que pode ser considerado juntamente com a condutividade elétrica. Um diagnóstico hidroquímico consistente possui concentração dos cátions bem próximos da concentração dos ânions (FEITOSA; FILHO, 2000). Este Balanço Iônico tem como objetivo resultar em um baixo erro, de no máximo 10% (LOGAN, 1965). Como exemplo tem-se a Figura 16.

nº	nome	Na + K	Ca	Mg	Cl	CO+HCO	SO4	C.E.	Cátions	Ânions	B.I.N#1	B.I.N#2	Problema
1	000180	0,75	1,76	0,76	0,06	2,26	0,01	0,03	3,27	2,33	33,63	16,81	BI N#2
2	000180	0,84	1,44	0,41	1,64	1,08	0,06	0,04	2,7	2,78	3,05	1,52	OK
3	000172	0,65	1,36	0,84	0,11	1,59	0,18	0,03	2,84	1,89	40,49	20,25	BI N#2
4	000172	0,49	1,61	1,26	0,17	2,07	0,19	0,03	3,36	2,42	32,37	16,18	BI N#2
5	000188	1,53	1,2	0,52	0,28	1,92	0,16	0,03	3,25	2,36	31,84	15,92	BI N#2
6	000188	1,61	1,61	1,78	0,08	3,59	0,19	0,05	5,0	3,86	25,65	12,82	BI N#2
7	000188	0,79	1,55	0,76	0,14	1,88	0,1	0,03	3,1	2,13	37,12	18,56	BI N#2
8	000188	0,79	1,55	0,76	0,14	1,88	0,1	0,03	3,1	2,13	37,12	18,56	BI N#2
9	000189	0,55	3,64	2,42	0,66	1,93	3,56	0,04	6,61	6,16	7,07	3,53	OK
10	000182	1,81	0,02	0,2	0,03	1,54	0,02	0,03	2,03	1,59	24,35	12,18	BI N#2
11	000172	1,22	0,2	0,04	0,0	1,85	0,06	0,03	1,46	1,92	27,04	13,52	BI N#2
12	000182	0,32	1,37	0,57	0,11	1,77	0,04	0,03	2,26	1,92	15,88	7,94	BI N#2
13	000182	0,25	0,38	0,16	0,06	0,66	0,02	0,01	0,79	0,73	7,27	3,63	OK
14	000182	0,27	1,08	0,52	0,23	1,03	0,04	0,01	1,86	1,3	35,47	17,73	BI N#2
15	000187	1,13	1,3	0,91	0,11	3,0	0,08	0,03	3,34	3,2	4,51	2,25	OK
16	000187	18,7	19,54	22,37	4,0	172,0	3,0	0,04	60,61	179,0	98,82	49,41	BI N#2
17	000188	47,5	26,4	10,2	2,0	162,0	9,0	0,03	84,1	173,0	69,16	34,58	BI N#2

Balanço Iônico N#1						Balanço Iônico N#2							
Baseado no Erro prático (Ep), definido por Custódio e Llamas (1983) como:						Baseado no Erro prático (Ep) definido por Logan (1965), dado como:							
$Ep (\%) = \frac{r \sum \text{ânions} - r \sum \text{cations}}{r \sum \text{ânions} + r \sum \text{cations}} \times 200$						$Ep (\%) = \frac{r \sum \text{ânions} - r \sum \text{cations}}{r \sum \text{ânions} + r \sum \text{cations}} \times 100$							
o erro Teórico é o E.P. máximo permitido considerando-se a condutividade elétrica (C.E.), conforme mostrado abaixo:						O erro Teórico é o E.P. máximo permitido levando-se em consideração os valores dos íons, conforme mostrado abaixo:							
Cond. Elétrica (µS/cm)	50	200	500	2.000	> 2.000	Σ cátions ou Σ ânions	< 1	1	2	6	10	30	>30
Erro permitido (%)	30	10	8	4	< 4	Erro permitido (%)	15	10	6	4	3	2	1

Gráficos Sair Imprimir Gravar

Figura 16 – Balanço Iônico.

Fonte: Autoria Própria.

A segunda análise a ser feita, é o Diagrama Triangular de Piper, Item 5.4, que mostrará as dominâncias catiônicas e aniônicas das águas das amostras.

4.4 METODOLOGIA DO DIAGRAMA TRIANGULAR DE PIPER

O diagrama de Piper, classifica e compara, água de diferentes grupos, através da dominância dos íons, possibilitando a comparação entre séries históricas e atuais.

O diagrama triangular separa em seis variáveis, sendo os cátions relevantes Ca^{2+} , Mg^{2+} , $(Na^{+} + K)^{+}$ e os ânions $(HCO_3^{-} + CO_3^{-})$, Cl^{-} , SO_4^{-} .

Por meio desse procedimento é possível obter a caracterização hidroquímica das águas através do diagrama, e determinar o objetivo do estudo, como pode ser visto no exemplo da Figura 17.

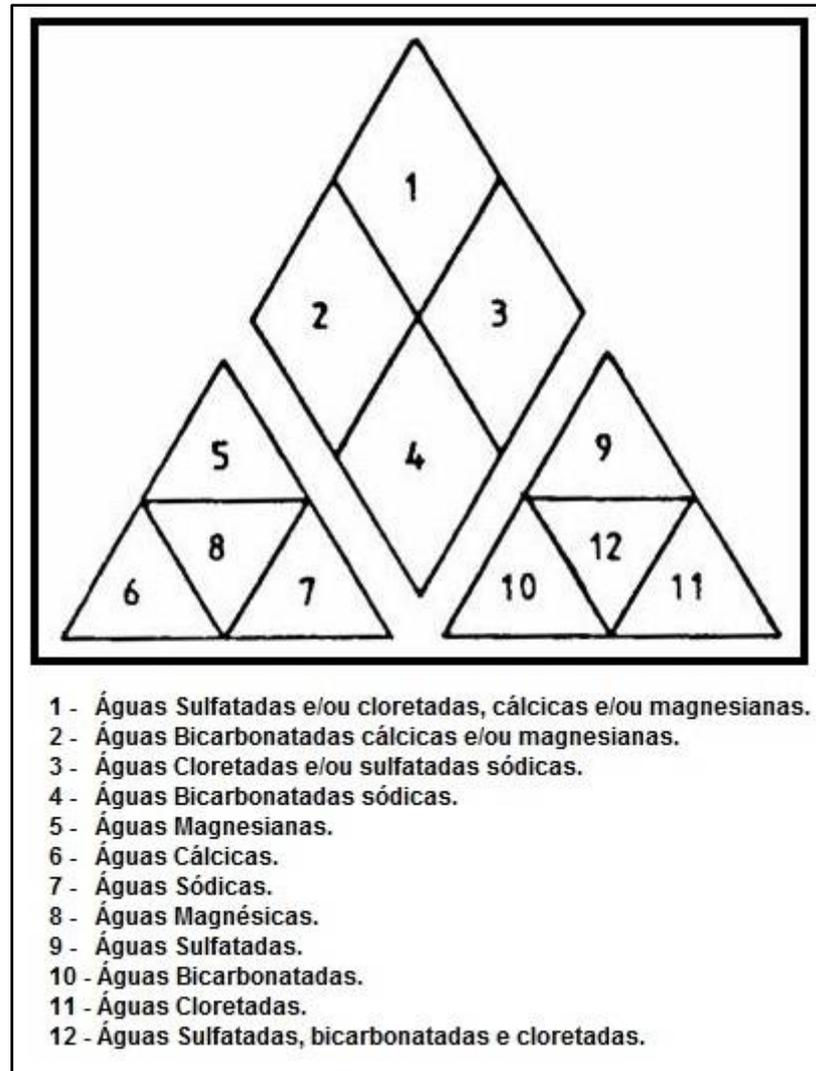


Figura 17 – Diagrama de Piper.

Fonte: Autoria Própria.

O primeiro procedimento para o diagrama é a plotagem dos dados, ao clicar em Plotar, os dados são inseridos nos triângulos do diagrama e posteriormente classificados por suas características. As amostras podem ser plotadas nas mesmas cores, uma cor para cada amostra ou por grupos de amostras.

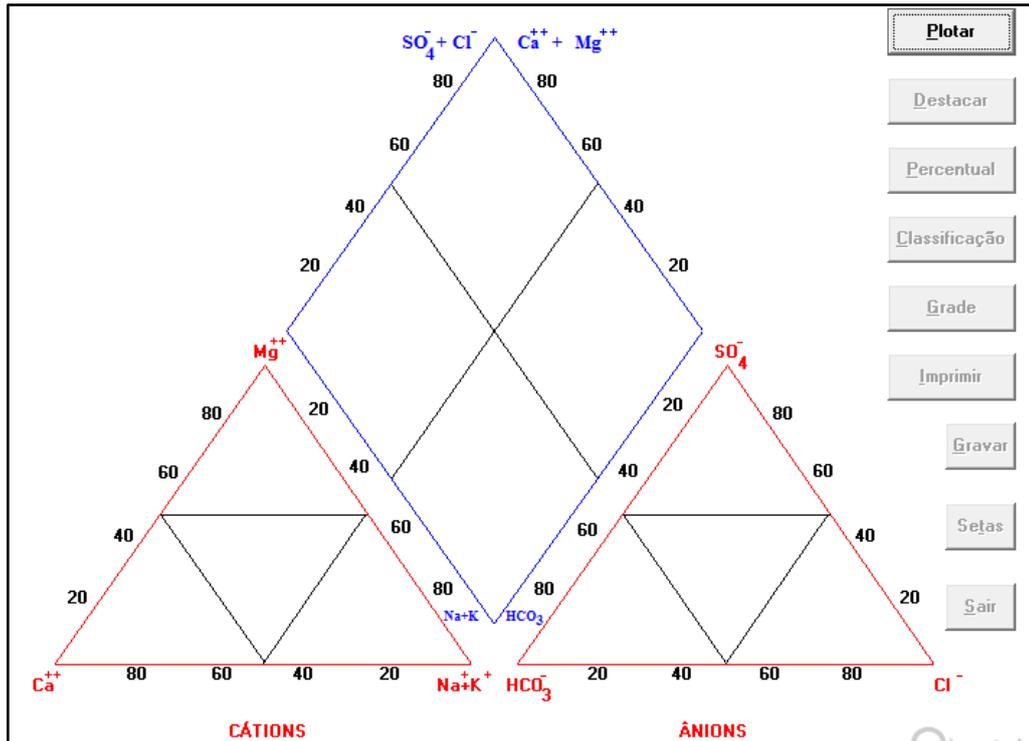


Figura 18 - Plotagem das Amostras do Diagrama Triangular.

Fonte: Autoria Própria.

Com a plotagem dos dados já realizada, é feito a classificação global das amostras em estudo, por meio da Figura 18, conforme a localidade no diagrama da maioria dos pontos. Sendo que a classificação sempre se dá com o prolongamento dos pontos da área até o losango azul do diagrama triangular.

4.5 METODOLOGIA DO DIAGRAMA DE STIFF

Depois de feito o diagrama de Piper, faz-se através do mesmo programa o diagrama de Stiff. Por meio desta ferramenta é possível através de gráficos analisar quimicamente a água em estudo. Esta ferramenta gera uma imagem geométrica com dois lados, do lado esquerdo visualiza-se a concentração de cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ , e do lado direito veem-se os ânions HCO_3^- , CO_3^- , Cl^- , SO_4^- , e serão utilizadas paralelas horizontais e a linha do centro, onde se encontra o zero, (SILVA, et al. 2011). Com isso será representado às características iônicas da água localmente, como pode ser visto na Figura .

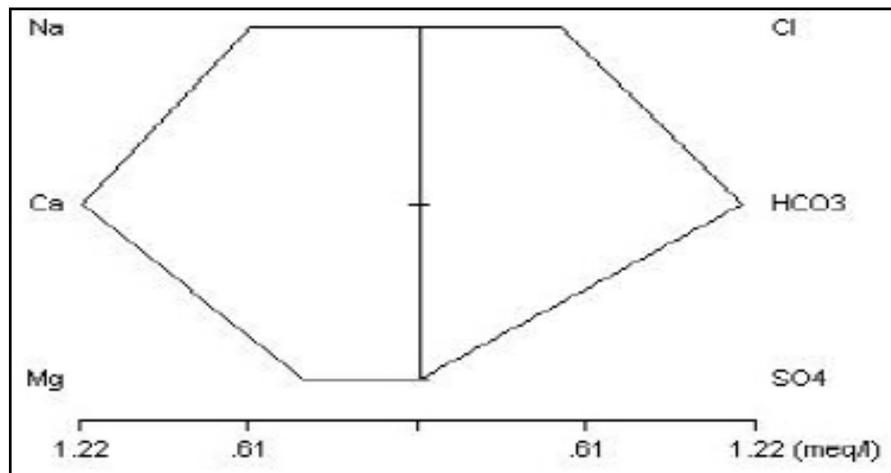


Figura 19 – Diagrama de Stiff.
Fonte: FUNCEME, 2014.

Para o Diagrama de Stiff, selecionaram-se amostras com melhor representatividade. Utilizando o diagrama triangular, verificaram-se as amostras que tinham as mesmas características e as que destoavam das outras. Desse modo podem-se analisar localmente as amostras de água.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a pesquisa realizada, os pontos selecionados como já demonstrados na Tabela 4, foram adicionados no Google Earth, para melhor visualização espacial dos poços. As amostras foram nomeadas como na Tabela 4 e possuem as mesmas cores determinadas no diagrama de Piper para as análises (Figura 23). Segue abaixo a localização dos poços.

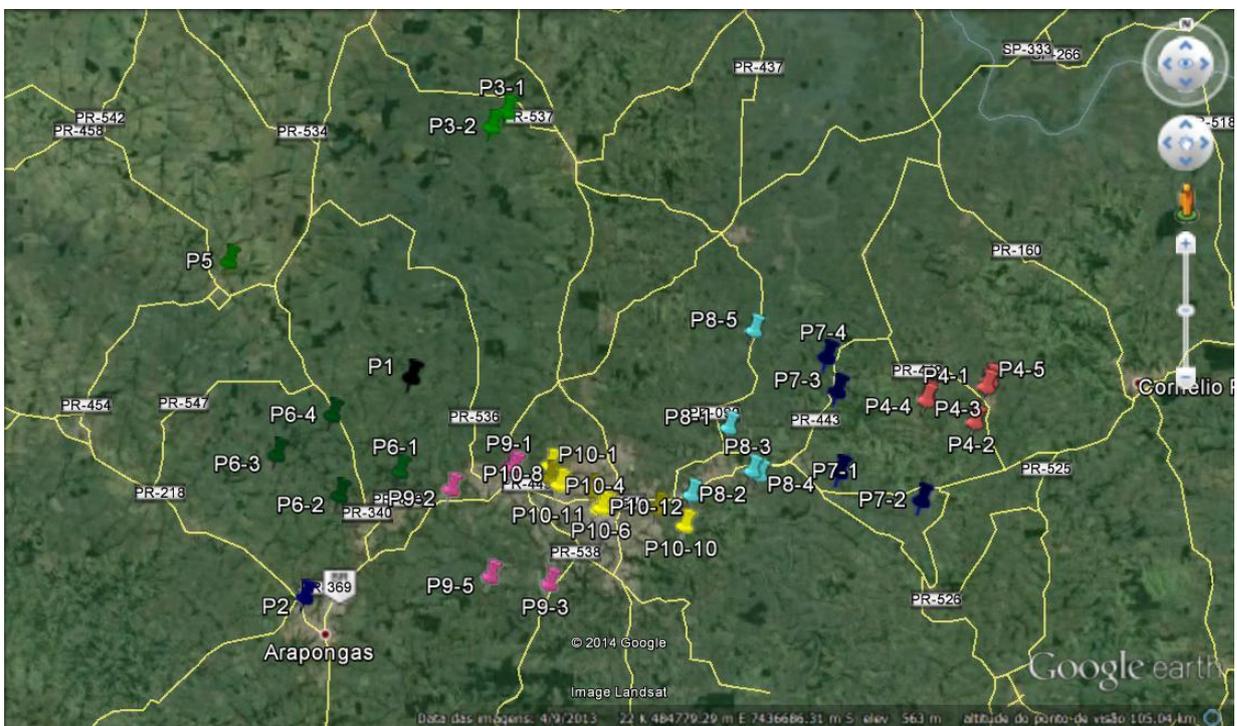


Figura 20 – Localização dos poços no Google Earth.

Fonte: Autoria Própria.

Após a coleta de todos os dados por município, foram separados apenas os que eram completos e serviriam de banco de dados para o programa Qualigraf, explicitado no item 5.3. Os dados dos resultados analíticos estão em mg/L (ppm) e é transformado pelo programa em meq/L, quando gerado os gráficos, apenas o dado de condutividade elétrica que estava em $\mu\text{S}/\text{cm}$ foi convertido para $\mu\text{mho}/\text{cm}$, por requisito do programa Qualigraf. Os dados foram catalogados no Programa do Windows Excel para facilitar o trabalho como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Dados dos Poços Consultados.

POÇO	CODIGO	Cond. E. (μ mho/cm)	Na+ (mg/L)	K+ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Cl- (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	P. Final (m)
p1	Sabáudia	0,028	17	0,6	35,3	9,2	2	138	0,6	162
p2	Arapongas	0,038	18,2	1,9	28,9	5,04	58	66	3	-
p3-1	Bela Vista do P.	0,025	11	6,6	27,2	10,2	4	97	8,8	120
p3-2	Bela Vista do P.	0,025	11	0,3	32,25	15,34	6	126	9	80
p4-1	Uraí	0,031	34,4	1,4	24	6,3	10	117	7,5	57
p4-2	Uraí	0,046	36	1,75	32,24	21,62	3	219	9	100
p4-3	Uraí	0,028	18	0,3	31,1	9,22	5	115	5	100
p4-4	Uraí	0,028	18	0,3	31,1	9,22	5	115	5	100
p4-5	Jaguapitã	0,044	12,63	0,01	72,94	29,41	23,49	118	171	126
p5	Rolândia	0,026	41,3	0,5	0,5	2,43	1,1	94	1	186
p6-1	Rolândia	0,025	28	0,2	3,92	0,51	0,1	113	3	66
p6-2	Rolândia	0,025	7	0,5	27,46	6,92	4	108	2	120
p6-3	Rolândia	0,007	5,4	0,5	7,55	1,99	2	40	1	150
p6-4	Jataizinho	0,012	5,9	0,4	21,55	6,3	8	63	2	200
p7-1	Jataizinho	0,025	25	1,6	26,1	11,09	4	183	4	30
p7-2	Jataizinho	0,035	18	0,7	19,54	22,37	3	172	4	108
p7-3	Jataizinho	0,028	46,5	1	26,4	10,2	2	162	9	100
p7-4	Ibiporã	0,037	15,8	0,5	44,9	16,5	6	184	4,2	58
p8-1	Ibiporã	0,033	19	0,5	42,47	8,22	11	136	11	160
p8-2	Ibiporã	0,024	16,9	0,5	7,63	0,68	16	59	33	210
p8-3	Ibiporã	0,026	60,4	0,6	1,52	0,1	1,82	103,8	30,61	498
p8-4	Ibiporã	0,022	72	0,8	1,68	0,05	2,55	98,8	34,5	585
p8-5	Cambé	0,001	2,44	0,56	5,58	2,77	1,62	22	1	150
p9-1	Cambé	0,021	5	0,5	19,58	4,25	8	57	2	120
p9-2	Cambé	0,007	6,6	0,26	8,47	1,37	1	39	3	130
p9-3	Cambé	0,022	4	1,4	13,46	5,27	1	56	1	100
p9-4	Cambé	0,020	10	1,1	20	8,3	7	56	0,4	150
p9-5	Cambé	0,011	3,8	0,7	14,45	5,65	1	64	1	100
p10-1	Londrina	0,037	49,3	42,7	32,9	19,3	8,5	215,6	1,15	-
p10-2	Londrina	0,015	10	0,6	53,62	8,76	27	91	1	358,5
p10-3	Londrina	0,015	5,6	0,4	16,42	3,32	2	59	1	102
p10-4	Londrina	0,037	55	0,5	29,21	0,33	99	24	152	200
p10-5	Londrina	0,023	4,2	1,6	72,98	10,71	13	71	2	181
p10-6	Londrina	0,023	7	1,1	16,11	5,83	4	58	0,2	121
p10-7	Londrina	0,05	4,2	0,9	23,88	9,99	11	65	1	110
p10-8	Londrina	0,025	30	0,5	27,72	1,9	9	102	4	300
p10-9	Londrina	0,015	5	0,9	21,97	7	7	61	1	138
p10-10	Londrina	0,05	52	0,5	1,19	0,25	22	172	18	977
p10-11	Londrina	0,024	6	1,05	23,62	7,84	10	65	1	152
p10-12	Londrina	0,018	3,7	0,9	21,57	10,15	9	49	2	-
p10-13	Londrina	0,019	6	1,1	18,64	8,41	9	54	1	103

Fonte: Autoria Própria.

Os Diagramas de Piper, Stiff e o Balanço Iônico permitiram avaliar a classificação hidroquímica das águas do SASG quanto aos poços levantados na área de estudo.

Tal caracterização foi feita com base em resultados de análises químicas de amostras de águas de poços da área de estudo, levantados utilizando o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), cujos resultados foram plotados em diagramas hidroquímicos.

O balanço iônico das amostras analisadas foi representado pelo método de Logan (1965). Do total de amostras levantadas, nove apresentaram erro prático menor que 10%, e nas outras trinta e uma foram apresentados erros práticos variando de 16 a 50 (%).

Segundo Pereira (2009), os erros acima de 10% recomendados por Logan (1965), podem demonstrar erros analíticos, erros de cálculo ou ainda águas muito mineralizadas (FENZEL, 1986).

Do total das análises, 41, os maiores erros práticos foram observados nos pontos de número P7-2, P8-2, P9-5, P10-4, P10-10, melhor representados na Tabela 4. Os pontos problemáticos representam poços de Jataizinho, Ibiporã, Cambé e os últimos dois de Londrina.

nº	nome	Na + K	Ca	Mg	Cl	CO+HCC	SO4	C.E.	Cátions	Ânions	B.I.Nº1	B.I.Nº2	Problema
1	P1	0,75	1,76	0,76	0,06	2,26	0,01	0,03	3,27	2,33	33,63	16,81	BI Nº2
2	P2	0,84	1,44	0,41	1,64	1,08	0,06	0,04	2,7	2,78	3,05	1,52	OK
3	P3-1	0,65	1,36	0,84	0,11	1,59	0,18	0,03	2,84	1,89	40,49	20,25	BI Nº2
4	P3-2	0,49	1,61	1,26	0,17	2,07	0,19	0,03	3,36	2,42	32,37	16,18	BI Nº2
5	P4-1	1,53	1,2	0,52	0,28	1,92	0,16	0,03	3,25	2,36	31,84	15,92	BI Nº2
6	P4-2	1,61	1,61	1,78	0,08	3,59	0,19	0,05	5,0	3,86	25,65	12,82	BI Nº2
7	P4-3	0,79	1,55	0,76	0,14	1,88	0,1	0,03	3,1	2,13	37,12	18,56	BI Nº2
8	P4-4	0,79	1,55	0,76	0,14	1,88	0,1	0,03	3,1	2,13	37,12	18,56	BI Nº2
9	P4-5	0,55	3,64	2,42	0,66	1,93	3,56	0,04	6,61	6,16	7,07	3,53	OK
10	P5	1,81	0,02	0,2	0,03	1,54	0,02	0,03	2,03	1,59	24,35	12,18	BI Nº2
11	P6-1	1,22	0,2	0,04	0,0	1,85	0,06	0,03	1,46	1,92	27,04	13,52	BI Nº2
12	P6-2	0,32	1,37	0,57	0,11	1,77	0,04	0,03	2,26	1,92	15,88	7,94	BI Nº2
13	P6-3	0,25	0,38	0,16	0,06	0,66	0,02	0,01	0,79	0,73	7,27	3,63	OK
14	P6-4	0,27	1,08	0,52	0,23	1,03	0,04	0,01	1,86	1,3	35,47	17,73	BI Nº2
15	P7-1	1,13	1,3	0,91	0,11	3,0	0,08	0,03	3,34	3,2	4,51	2,25	OK
16	P7-2	18,7	19,54	22,37	4,0	172,0	3,0	0,04	60,61	179,0	98,82	49,41	BI Nº2
17	P7-3	47,5	26,4	10,2	2,0	162,0	9,0	0,03	84,1	173,0	69,16	34,58	BI Nº2

Balanço Iônico Nº1						Balanço Iônico Nº2							
Baseado no Erro prático [Ep], definido por Custódio e Llamas (1983) como:						Baseado no Erro prático [Ep] definido por Logan (1965), dado como:							
$Ep (\%) = \frac{ r \sum \text{ânions} - r \sum \text{cátions} }{r \sum \text{ânions} + r \sum \text{cátions}} \times 200$						$Ep (\%) = \frac{ r \sum \text{ânions} - r \sum \text{cátions} }{r \sum \text{ânions} + r \sum \text{cátions}} \times 100$							
o erro Teórico é o E.P. máximo permitido considerando-se a condutividade elétrica (C.E.), conforme mostrado abaixo:						O erro Teórico é o E.P. máximo permitido levando-se em consideração os valores dos íons, conforme mostrado abaixo:							
Cond. Elétrica (µS/cm)	50	200	500	2.000	> 2.000	Σ cátions ou Σ ânions	< 1	1	2	6	10	30	>30
Erro permitido (%)	30	10	8	4	< 4	Erro permitido (%)	15	10	6	4	3	2	1

Figura 21 – Cálculo do Erro Prático.

Fonte: Autoria Própria.

As amostras não apresentam semelhanças, mas suas condutividades variam de 0,011 a 0,05 $\mu\text{mho/cm}$, pH são muito básicos de 6,9 a 9,6 e possuem altos valores de cloreto, o menor valor de 1 mg/L e o maior de 99 mg/L, como representado na Tabela 6.

Tabela 6 – Representação dos parâmetros pH, condutividade e cloreto de algumas amostras.

PONTOS	pH	VMP		CONDUTIVIDADE	VMP	
		Portaria 2.914/11			Portaria 2.914/11	CLORETO
P7-2	7			0,035 $\mu\text{mho/cm}$		3 mg/L
P8-2	9,6			0,0237 $\mu\text{mho/cm}$		16 mg/L
P9-5	6,9	9,0		0,011 $\mu\text{mho/cm}$	1000 mg/L	1 mg/L 250 mg/L
P10-4	9			0,037 $\mu\text{mho/cm}$		99 mg/L
P10-10	9,5			0,05 $\mu\text{mho/cm}$		22 mg/L

Fonte: Autoria Própria.

Por meio da Tabela 6, nota-se um ponto com VMP extrapolado pela Portaria nº 2.914 de 2011, não sendo recomendado para consumo, o P10-10, com pH, acima de 9,5. Mostrando um problema para os consumidores desta água.

Ainda para este ponto P10-10, nota-se que sua profundidade final de perfuração, quase alcança os 1000m, demonstrado na Tabela 5, podendo essa captação ter sido feita do Sistema Aquífero Guarani (SAG), por isso mostra essas características diferentes dos outros poços em estudo. Segundo Mendes et al. (2002), as espessuras de basalto são crescentes de leste para oeste, chegando a atingir até 1500 metros e já apresentam águas misturadas destes dois aquíferos a uma média de 232 metros de profundidade em Londrina.

Segundo Manassés (2009), a relação dos sólidos dissolvidos também possui relação com a acidez e alcalinidade das águas. Possuindo maiores quantidades de sólidos dissolvidos maior será o pH das amostras, sendo assim mais alcalinas. Para a amostra de pH maior que 9,0, constatou-se que os STD estão elevados, variando de 300 a 446 mg/L, confirmando os estudos de Manassés.

Para a amostra P10-4, mesmo representando conformidade com a Portaria 2.914 de 2011, para o Cloreto, sendo um VMP de 250 mg/L, mostra-se um valor elevado. Como este ponto foi classificado por meio do Piper como uma água com

predominâncias Sulfetadas Sódicas, não deveria possuir alto valor para cloreto. Melhores estudos representariam se esse valor de cloreto prove da contaminação humana ou de outro tipo.

Os valores de condutividade segundo Manassés (2009) são diretamente proporcionais aos sólidos dissolvidos, sendo o VMP para os íons dissolvidos de 1000mg/L, e os resultados das amostras não superaram 446mg/L, como demonstrado na Tabela 6.

5.1 DIAGRAMA PIPER

A classificação das águas subterrâneas foi possível através do Diagrama Triangular de Piper (1944), como pode ser visualizado na Figura 23. Este tipo de diagrama, como salientado anteriormente, é representativo para um grande número de amostras como é o caso do presente estudo.

Segundo a Agência de Águas do Paraná, 2010, o resumo dos parâmetros químicos característicos das águas SASG, pode ser representado pela Figura 22 que mostra as altas concentrações de bicarbonatos, ferro e sódio, sendo característico desse aquífero.

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	VMP
Alcalinidade total	204,52	6,86	78,85	77,45	*
Bicarbonato	213,54	8,40	90,11	90,37	*
Cálcio	34,87	1,52	14,76	12,80	*
Carbonato	56,36	0,00	2,56	0,00	*
Cloreto	26,83	0,00	2,04	0,94	250
Dureza total	155,29	0,00	52,10	44,84	500
Ferro	137,00	0,01	1,62	0,04	0,3
Fluoreto	4,90	0,01	0,18	0,08	1,5
Fosfato	0,53	0,02	0,17	0,13	*
Magnésio	20,56	0,02	3,75	2,88	*
Nitrato	98,26	0,01	4,10	1,90	45
Nitrito	1,59	0,00	0,03	0,01	3
Potássio	2,60	0,01	0,87	0,80	*
Sílica dissolvida	71,80	7,07	39,09	40,54	*
Sódio	90,50	1,30	15,95	10,10	200
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	284,00	10,00	121,14	112,00	1000
Sulfato	49,17	0,01	1,69	0,50	250

Figura 22 - Resumo Estatístico dos Parâmetros Químicos da Água da Unidade Aquífera Serra Geral Norte e Sul.

Fonte: Águas Paraná, 2010.

Para as amostras analisadas deste estudo na região de Londrina, o Diagrama de Piper (Figura 23) mostra a predominância de águas Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas, características do SASG, segundo Águas Paraná (2010), seguido de alguns pontos localizados na Classificação de Águas Sulfatadas ou Bicarbonatadas Sódicas. E pontos adversos classificados como Sulfatadas Cálcicas.

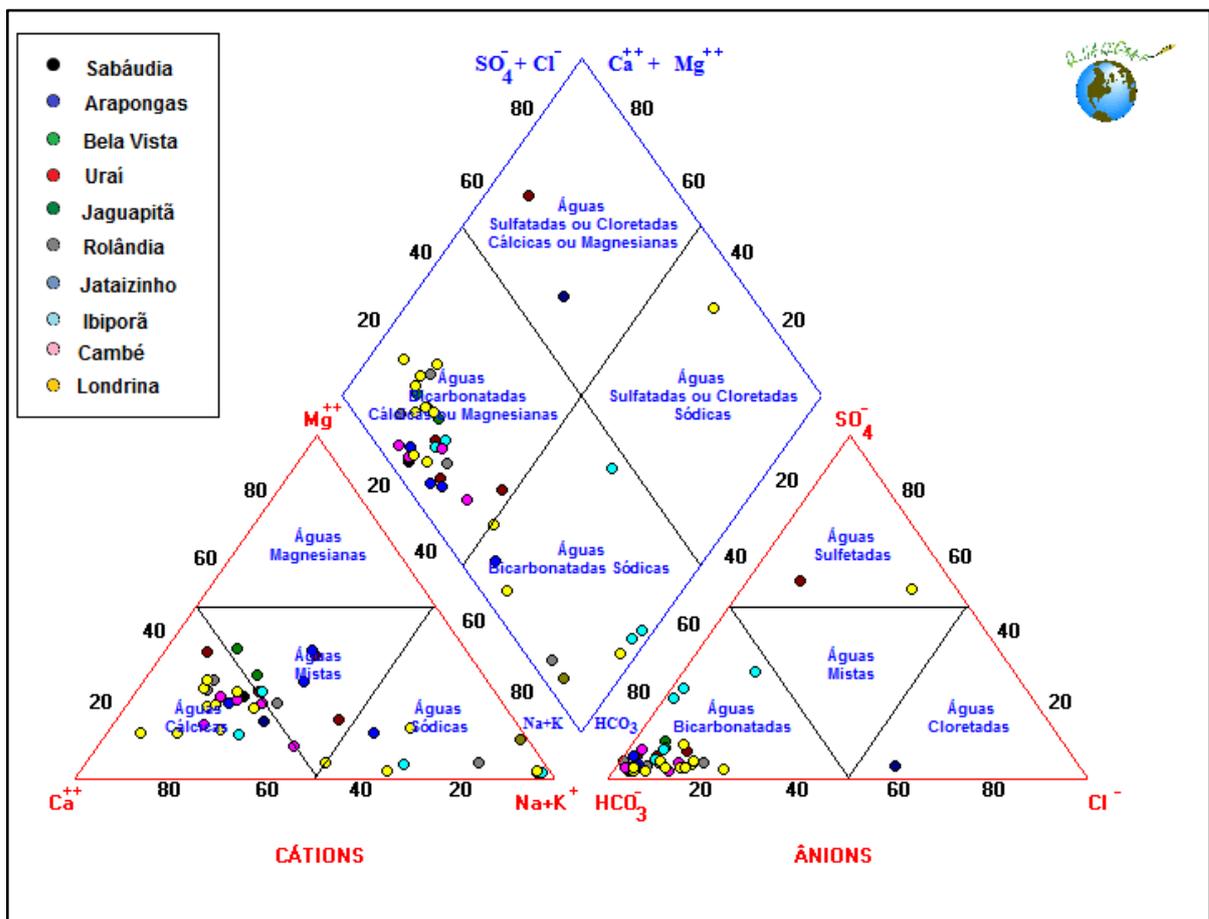


Figura 23 – Diagrama de Piper com a plotagem das amostras.

Fonte: Autoria Própria.

O diagrama, representado pela Figura 24, retrata a classificação Hidroquímica na região de estudo. Nota-se que 52% das amostras são classificadas como Bicarbonatadas Cálcicas, seguidas com 23% de Bicarbonatadas Mistas, depois 20% Bicarbonatadas sódicas e uma pequena parcela de 5% de Cloretadas Cálcicas.

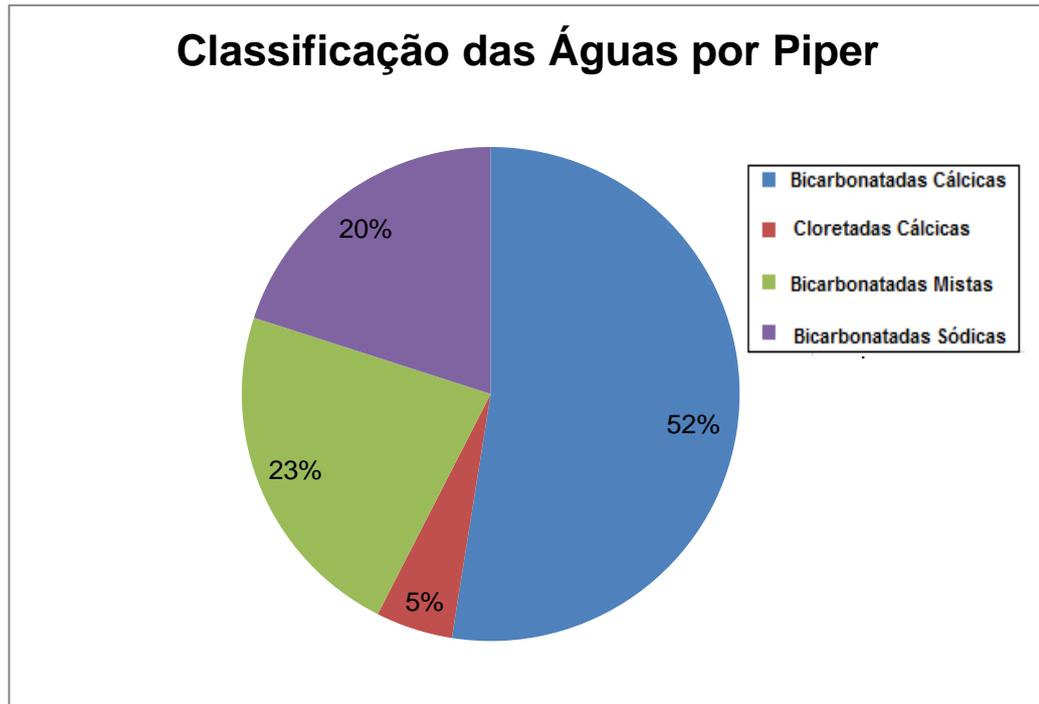


Figura 24 – Classificação das Águas por Piper.
Fonte: Autoria Própria.

As águas classificadas como Bicarbonatadas Cálcicas são características do SASG. Mas para a grande porcentagem que foi denominada Bicarbonatadas Mistas, com influência Cálcica ou Sódica, que pode demonstrar uma contaminação do aquífero sobreposto ao Serra Geral, o Aquífero Guarani, como na Tabela 6, representando que o P10-10 está com pH acima do permitido e foi classificado por meio do Diagrama de Piper (Figura 23), único ponto amarelo, como Sulfatadas ou Cloretadas Sódicas. Para Zanatta e Coitinho (2002), as águas deste aquífero (Guarani), são Bicarbonatadas Cloretadas Sódicas ou Bicarbonatadas Cloretadas Sulfatadas Sódicas.

Uma das justificativas para que haja mistura do SASG e SAG, é por meio de íons diferentes encontrados nas amostras dos SASG, pois o SAG possui uma variação hidroquímica conforme o tipo de confinamento. Conforme o estudo de Águas Paraná (2010), os confinamentos do Sistema Aquífero Guarani, podem ser baixos (caracterizado por águas Bicarbonatadas Cálcicas e Magnesianas), médio confinamento (caracterizado por águas Sulfatadas Sódicas e Potássicas) e as de alto confinamento (caracterizado por águas Sulfatadas ou Cloretadas, com predominância de Sódio e Potássio).

Para a classificação das amostras quanto ao padrão de potabilidade estabelecido para consumo humano, apresentadas na Tabela 3 (Portaria nº 518 de 2004 do Ministério da Saúde), foram feitas algumas considerações abaixo.

Foi utilizada neste trabalho para a classificação da **dureza** das águas (mg/L de CaCO_3) a metodologia como representado na Tabela 2, (CUSTODIO; LLAMAS, 1983). Das 41 amostras coletadas e seguindo-se a classificação, 1 amostra foi considerada dura, nenhuma se enquadrou como muito dura, 6 se classificam como pouco duras e 34 como amostras branda. Seguindo os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 518 de 2004 do MS, todas as amostras são consideradas sem nenhuma restrição para o consumo já que o limite estabelecido pela portaria é de 500mg/L de CaCO_3 . Sendo a maioria das análises classificadas como águas brandas.

Para o poço P1, representado pelo Município de Sabáudia, como demonstrado na Tabela 4, nota-se por meio da Tabela 7, que este foi classificado como água Branda. Demonstrando que a incrustação em excesso das Figuras (7, 8, 9 e 10) não tem relação com a dureza em que foi caracterizado, necessitando de maiores estudos.

Tabela 7 - Classificação das Águas dos poços segundo a dureza apresentada em mg/L CaCO_3 .

DUREZA TOTAL (mg/L de CaCO_3)	TIPOS DE ÁGUA	POÇOS
0-50	Branda	P1, P2, P3-1, P3-2, P4-1, P4-3, P4-4, P5, P6-1, P6-2, P6-3, P6-4, P7-1, P7-2, P7-3, P8-2, P8-3, P8-4, P8-5, P9-1, P9-2, P9-3, P9-4, P9-5, P10-3, P10-4, P10-6, P10-7, P10-8, P10-9, P10-10, P10-11, P10-11, P10-12, P10-13
50-100	Pouco Dura	P4-2, P7-4, P8-1, P10-1, P10-2, P10-5
100-200	Dura	P4-5
>200	Muito Dura	-

Fonte: Custodio; Llamas (1983).

Através dos dados resultantes do trabalho, mostrados na Figura 24, nota-se que 20% dos valores correspondem a amostras Bicarbonatadas Sódicas e estão variando de 2,44 a 72 mg/L. O **sódio** é uma substância pouco solúvel nas águas e pouco resistente a intemperismos, portanto sua alta quantidade nas águas subterrâneas é notada. Por meio da Portaria nº 2.914 de 2011 do MS, o valor máximo recomendável deste elemento químico na água potável é de 200 mg/L, portanto as amostras se mostraram dentro dos padrões de potabilidade para o Sódio.

Do mesmo modo o **cloro** foi encontrado em 5% das amostras, Figura 23, sendo que no local de estudo os valores variaram de 0,1 à 99 mg/L, apresentando normalidade segundo a Portaria do MS já citada que estabelece valor máximo recomendável de cloratos na água destinada ao consumo humano de 250 mg/L. O alto valor de 99 mg/L para a amostra P10-4, em Londrina, segundo Agostinho (2008) podem ser advindos de águas naturais de origem mineral, pela mistura de água do mar em lençóis subterrâneos, da correção do solo na agricultura, através da poluição por esgotos sanitários ou de excretas ou até mesmo de processos de abrandamento da água em indústrias.

5.2 DIAGRAMA STIFF

Para que seja feito as análises localmente das amostras em estudo, constituiu no uso do Diagrama de Stiff. Esta análise permitiu uma melhor representatividade das amostras que possuem as mesmas características e as que destoam das outras.

Na Região de Londrina, ao desenvolver os Diagramas de Stiff verifica-se uma predominância local de águas bicarbonatadas-cálcicas provenientes do SASG como mostra a Figura 25.

O primeiro diagrama, representado pela Figura 25, demonstra as características predominantes das amostras analisadas na Região, sendo que 52% do total, segundo a Figura 24 é caracterizado por águas Bicarbonatadas Cálcicas.

A ponta do gráfico da direita da Figura 25 indica para $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$, mostrando elevada concentração de bicarbonatos e o da esquerda representa a predominância mineral da água, neste caso Cálcica (Ca).

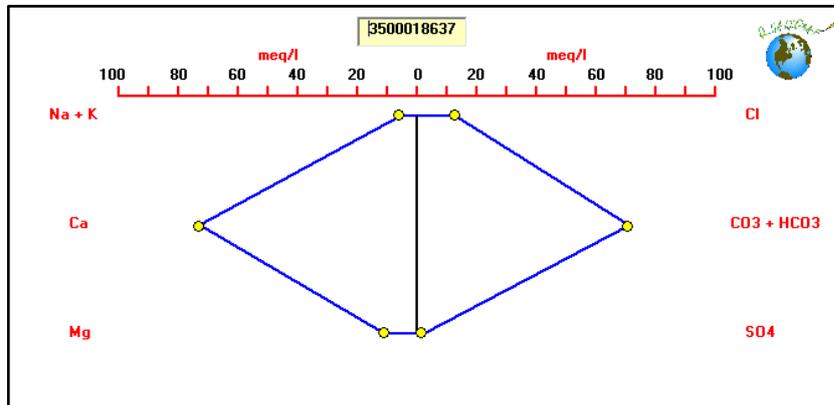


Figura 25 – Diagrama de Stiff característico de amostras Carbonatadas Cálcicas.

A Figura 26 representa o ponto P7-2 destoante nas análises de Piper representadas na Figura 23. A análise pelo programa mostra do lado direito uma amostra Bicarbonatada, e do lado esquerdo apresenta predominância de cátions Mg, caracterizando uma amostra Bicarbonatada Magnésiana.

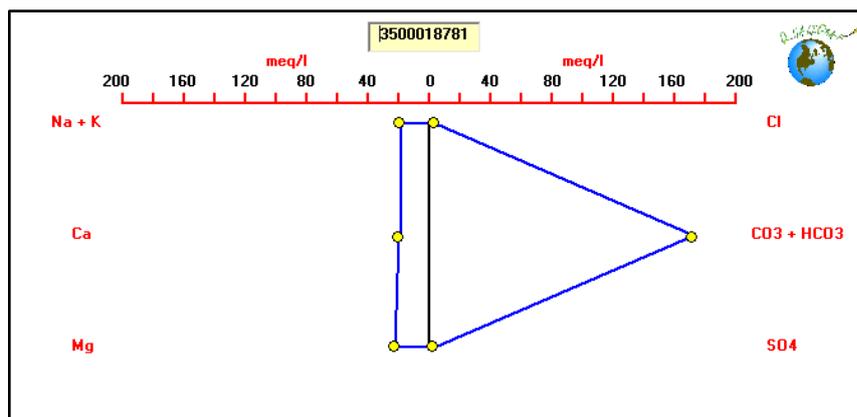


Figura 26 – Diagrama de Stiff para o ponto P7-2.

A Figura 27 representa o segundo ponto destoante, representando do lado direito uma amostra Bicarbonatada, e do lado esquerdo apresenta predominância de cátions Na e K, sendo caracterizado pelas análises como uma amostra Bicarbonatada Sódica.

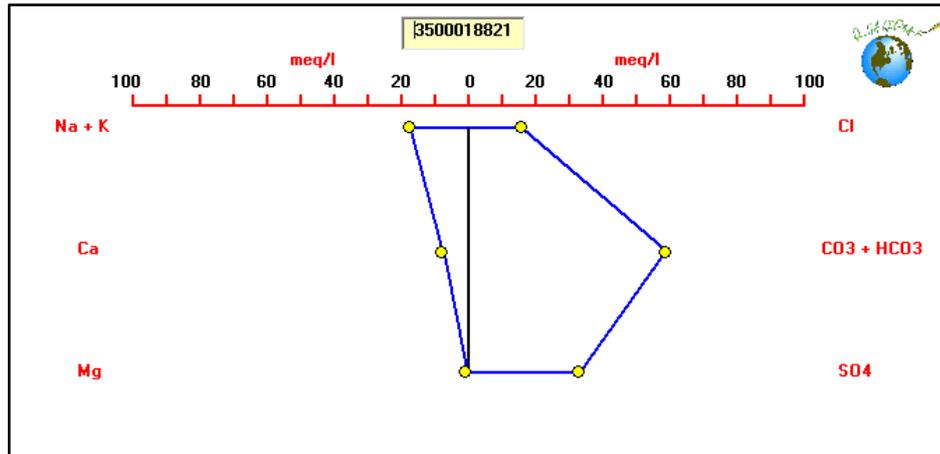


Figura 27 – Diagrama de Stiff para o ponto P8-2.

A Figura 28 representa o terceiro ponto destoante, representando do lado direito uma amostra Bicarbonatada, e do lado esquerdo apresenta predominância de cátion Ca, sendo caracterizado pelas análises como uma amostra Bicarbonatada Cálcica, com traços de Na, K e Mg.

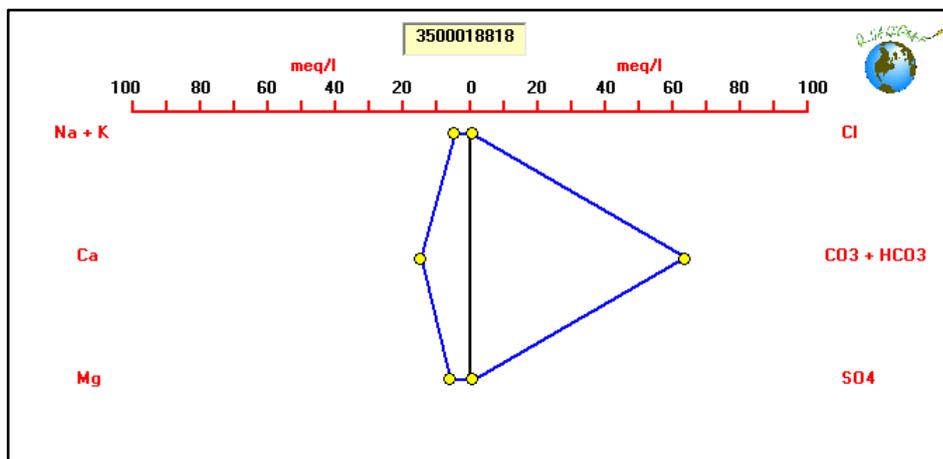


Figura 28 – Diagrama de Stiff para o ponto P9-5.

A Figura 29 representa o quarto ponto destoante, representando do lado direito uma amostra Sulfetada, e do lado esquerdo apresenta predominância de cátions Na e K, sendo caracterizado pelas análises como uma amostra Sulfatada Sódica.

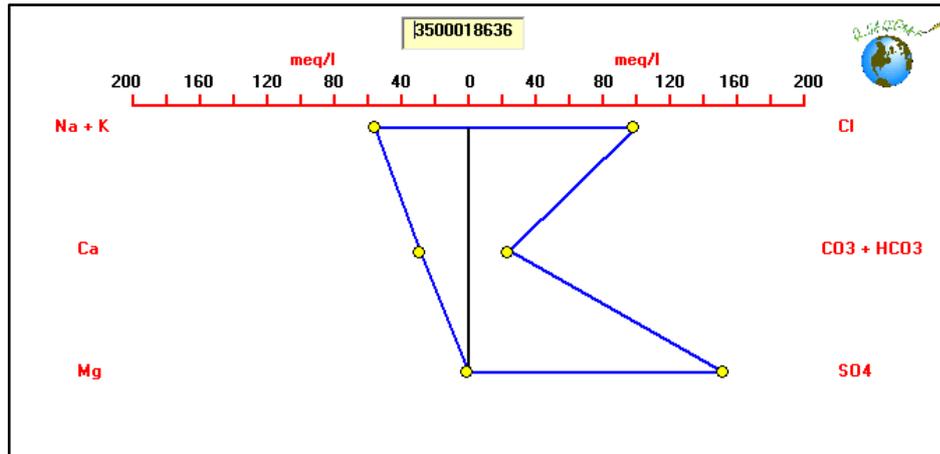


Figura 29 – Diagrama de Piper para o ponto P10-4.

A Figura 30 representa o quinto ponto destoante, representando do lado direito uma amostra Bicarbonatada, e do lado esquerdo apresenta predominância de cátions Na e K, sendo caracterizado pelas análises como uma amostra Bicarbonatada Sódica.

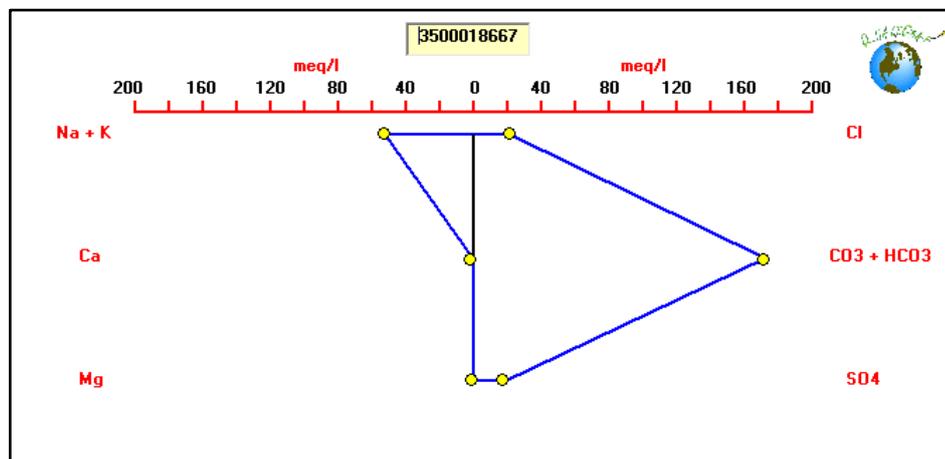


Figura 30 – Diagrama de Piper para o ponto P10-10.

Para o poço da cidade de Sabáudia, relatado nas Figuras de 7 a 10, onde houve um excesso de carbonato de cálcio nas tubulações, verificou-se que por meio do diagrama triangular, a água tem características Brandas para Dureza da água.

Por meio da Figura 31, retirado de um estudo realizado por Silva et al. (2011), o poço número P-1214, demonstrado por uma flecha preta, se encontra inserido na Bacia do Rio Pirapó e está localizado na Formação Santo Anastácio. Para Silva et al. (2011), o ponto em destaque representa o Município de Sabáudia,

sendo o mesmo local da problemática deste estudo no Item 5.1, necessitando da representação deste tipo de Formação diferente do SASG.

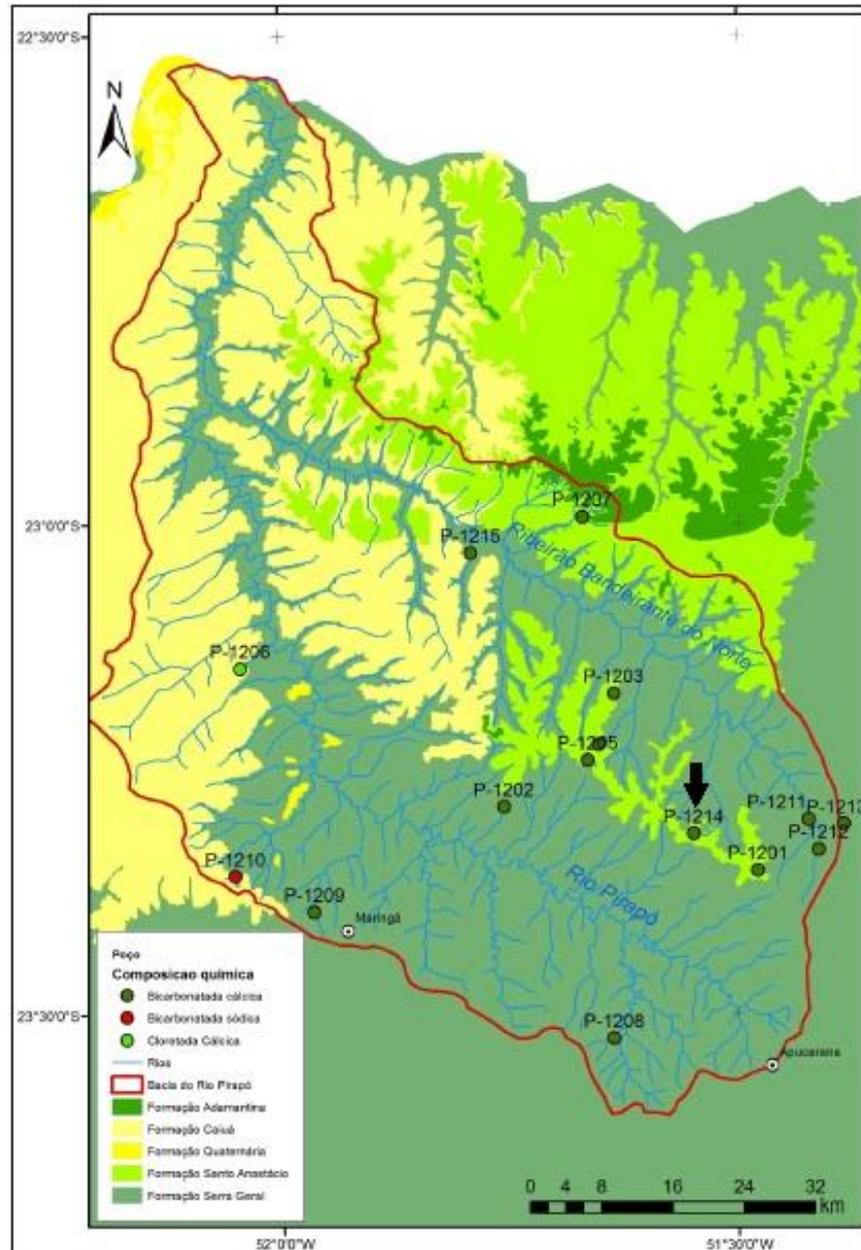


Figura 31 – Poço P-1214 (Sabáudia-PR) localizado na Bacia Pirapó e na Formação Santo Anastácio.

Fonte: SILVA et al (2011, p. 120).

Nesta Formação ocorre com frequência orifícios associados à dissolução de nódulos e concreções carbonáticas. Observa-se também que, em alguns locais, há

uma cimentação carbonácea e crostas duras, podendo atingir espessuras de até um metro (FERNANDES; COIMBRA, 1994).

A Formação Santo Anastácio é encontrada nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e aflora no Paraná e Minas Gerais. As espessuras variam de 80 e 100 metros, chegando ao Pontal do Paranapanema a 70 metros de profundidade e é composta principalmente por arenitos. São arenitos de formas irregulares de forma tubular, agregados à dissolução de nódulos e concreções carbonáticas. As estruturas tubulares e orifícios associados à cimentação e concreções carbonáticas comuns em arenitos da Formação Santo Anastácio, são interpretados como rizólitos.

Segundo Fernandes e Coimbra (1994), a estratificação da Formação Santo Anastácio, se dá pela Figura 32, onde demonstra que por toda sua extensão é formada por cimentação carbonática.

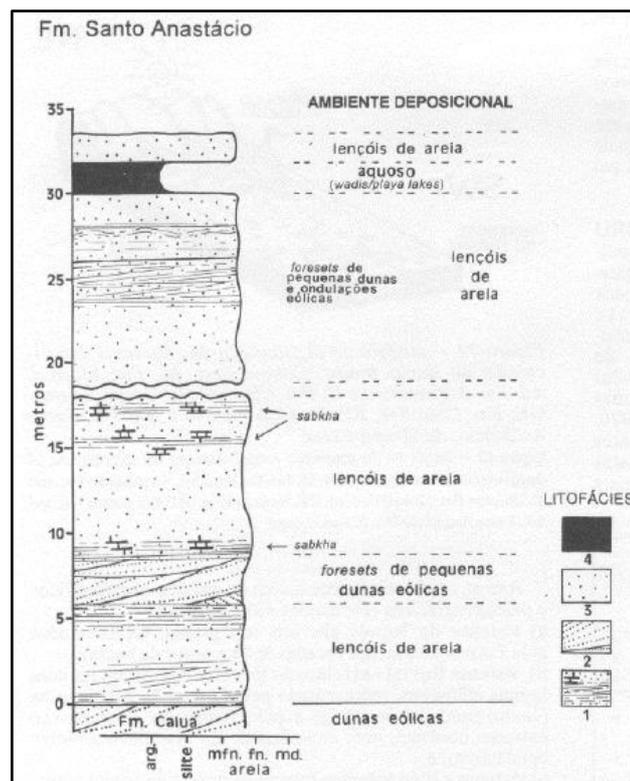


Figura 32 – Seção da Formação Santo Anastácio. Convenções: 1. arenito com estratificação cruzada mal definida, de baixa inclinação, às vezes com cimentação carbonática; 2. arenito com estratificação cruzada; 3. arenito maciço e 4. lamito argiloso.

Fonte: Fernandes; Coimbra (1994).

Já para a Dureza das águas, tanto a Portaria 2.914/11 quanto a portaria e a resolução já citadas, não fazem referência à concentração de cálcio isoladamente, mas este elemento aparece associado à dureza total, trazendo altas concentrações de Ca e Mg para as águas.

Com o problema natural de poluição pela mistura dos aquíferos, por meio das análises da qualidade da água é possível notar altas concentrações de sódio e potássio, quando o SASG se mistura ao SAG, que predominam sobre os teores de cálcio e magnésio (AGUAS PARANÁ, 2014).

Sendo o bicarbonato associado a estes íons, que provém da mistura da água subterrânea com o CO₂ dos solos ou mesmo através da dissolução de carbonatos presentes na rocha, ante a superfície. O íon carbonato é detectado em elevados valores de pH, acima de 8,4. Sendo que a condutividade elétrica está absolutamente relacionada à entrada de bicarbonato e carbonato nas águas do SAG e SASG (BODELÃO, 2001).

Obteve-se com a comparação teórica e análise temporal da qualidade das águas subterrâneas e estudos hidrogeoquímicos das substâncias contidas na água, o estabelecimento de possíveis relações anômalas apresentadas nos poços em estudo (excesso de carbonatos de cálcio) e mostra-se possível remediar estes excessos, por abrandamento das tubulações ou outros métodos.

Em decorrência de alterações climáticas sazonais mais críticas e as secas eminentes, a ideia de sustentabilidade na exploração dos recursos hídricos deve estar sempre em pauta. Deve-se continuamente considerar que o recurso hídrico é finito, e faz parte de um ciclo hidrológico, tendo que ser manejado conscientemente para que a utilização seja permanente e duradoura.

6 CONCLUSÃO

Verificou-se que as amostras analisadas estão dentro do Padrão de Qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 396 de 2008 e segundo a Portaria nº 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde também mostra conformidade.

A avaliação do diagrama de Piper permitiu afirmar que a classificação hidroquímica dos SASG na região de Londrina apresenta composição geoquímica correspondente aos constituintes geológicos da Formação Serra Geral, de águas Bicarbonatadas Cálcicas/Magnesianas e Sódicas, devido às altas concentrações de $\text{CO}_3\text{-HCO}_3$.

A integridade das amostras por meio dos elementos químicos encontrados se mostra preservadas, não estando à maioria das águas comprometida em relação a esses elementos, apesar do poço P8-2 e P10-4, apresentarem alterações. Essas alterações necessitam de maiores estudos para que se comprove a interpretação dada.

A distribuição do diagrama de Stiff no mapa demonstra a característica anisotrópica do aquífero Serra Geral, ou seja, local onde este aquífero a água flui por meio de fraturas, que, possuem orientações específicas, transferindo seus minerais, mostrando que em pequenas distâncias, as variações químicas podem ser relativamente significativas.

Os elementos hidroquímicos analisados das águas dos poços estão dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria 2.914 de 2011.

Outros elementos que não possuem VMP, nas portarias e resoluções para que haja consumo humano das águas, são os elementos Potássio e Magnésio. Para o potássio não houve concentrações significativas nas amostras, o único ponto de maior concentração foi o P10-1, com 42,7 mg/L. Já quanto a condutividade elétrica, os valores variaram de 10 a 500 $\mu\text{S/cm}$.

Já para o pH, as amostras variaram de 6,2 (P10-13), sendo o mais ácido para amostras Bicarbonatadas Cálcicas e valores básicos de 9,6 (P8-2), para amostra classificada como Bicarbonatada Sódica.

No trabalho encontraram-se alguns pontos com altos valores de cloreto, mas que não superam o VMP do MS em 250 mg/L, são eles: P2, referente a um poço em

Arapongas, a água deste foi classificada como Cloretada Cálcica e o ponto P10-4, poço de Londrina, sendo a água classificada como Sulfetada Sódica.

Necessita-se de mais estudos a respeito dos valores de cloretos, sendo algumas das justificativas, em que a água possui mistura com o aquífero abaixo o Guarani.

Por meio das análises sabe-se que no Ponto P1, registrado por meio das fotos (Figura 7, 8, 9 e 10), possui pH menor que 8,4, 217 mg/L de STD e alcalinidade de 138 mg/L, mostrando normalidade pela Portaria 518 de 2004. E por meio da Figura 30, nota-se que Sabáudia faz parte da formação Santo Anastácio e não da Serra Geral, trazendo características próprias deste local.

Para que se explore este recurso hídrico subterrâneo, a operação deve ser adequada e ter o conhecimento pleno de sua capacidade, qualidade e localização. Não basta conhecer a unidade de produção de água – o poço e seu equipamento -, mas sim o conjunto envolvendo o aquífero em toda a sua extensão regional e suas características.

A água possuindo potabilidade e não havendo vulnerabilidade, é viável a perfuração e a operação de poços tubulares profundos, com objetivo de produção d'água de forma responsável e a tarifas competitivas.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, Kênia V. P; CAVALCANTE, Paulo R. S; NETO, JOSÉ P. C. **Avaliação da Dureza e das Concentrações de Cálcio e Magnésio em Águas Subterrâneas da Zona Urbana e Rural do Município de Rosário - MA.** XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS. Maranhão, 2010.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba.** Paraíba, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil.** Brasília, 2014.

AGOSTINHO, Lourdes L.; CAVALCANTI, Bernardete; NASCIMENTO, Luciano. **Qualidade das Águas Subterrâneas da Bacia do Piancó para uso Municipal e de Irrigação.** XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Rio Grande do Norte, 2008.

AGUAS PARANA. **Diagnóstico das disponibilidades Hídricas Subterrâneas – Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná.** 2010. Produto 1.2 – Parte B.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **PORTARIA 1469:** Padrões de Potabilidade.

ARAI, Ary; DUARTE, Leandro Rocha. **Estudo da Formação de Incrustações Carbonáticas.** 2010. 48p. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia de Petróleo – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Relatório Anual de Abastecimento de Água.** São Paulo, 2001.

BODELÃO, Thomás. G. **Caracterização Hidroquímica dos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani da Sub-Bacia do Rio Pardo e Municípios Adjacentes, no Sudoeste do Estado de São Paulo.** 2011. 57f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação) – Geologia - Universidade Estadual Paulista. Rio Claro-São Paulo, 2001.

BEZERRA, Maria C. L.; MUNHOZ, Tania M. T. **Gestão dos Recursos Naturais: Subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira**. Brasília, 2000.

CARDOSO, Fabrício B. F.; OLIVEIRA, Fernando R.; NETO, Paulo Lopes V.; PAZ, Ranielle N. **Mapa dos Domínios Hidrogeológicos de Santa Catarina: Uma ferramenta para a gestão das águas subterrâneas do Estado**. XV ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS 1. I SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUL-SUDESTE. São Paulo, 2007.

CELLIGOI, André; DUARTE, Uriel. **Hidrogeoquímica do Aquífero Caiuá no Estado do Paraná**. BOLETIM PARANAENSE DE GEOCIÊNCIAS, N. 51, P. 19-32, 2002. EDITORA UFPR 19. Londrina, 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA n° 396**: classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. 2008.

CPRM. **Águas que Aquecem o Turismo: Água e Meio Ambiente Subterrâneo**, São Paulo: Julho de 2014. Ano 6 n° 40.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. 1983. **Hidrologia Subterrânea**. 2 ed. Barcelona: Omega. 2v

DCMM. **Troca Iônica**. Disponível em: <http://www.dcmml.puc-rio.br/cursos/OUTecAmb/Troca_Ionica.ppt>. Acessado em: Junho de 2014.

DIAS, Nildo S.; BLANCO, Flávio F. **Efeitos dos sais no solo e nas plantas**. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. Ceará, 2010.

DINIZ, Hélio N.; MONTEIRO Jorge Luiz; BRAGA, Marcelo Luiz A.; TINOCO, Mário. P.; TANAKA, Sonia Emi; SILVA, Victor Hugo A.; FRANCA, Vivian C. **Histórico da Perfuração de Poços Tubulares Profundos e Hidrodinâmica dos Aquíferos, no Município de São José dos Campos**. XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2004.

DUTRA, Caroline. **Avaliação Hidroquímica dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral nos Municípios de Cambé, Iporã, Londrina e Tamarana**. 2013. 64p. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2013.

FEITOSA, Fernando A. C.; FILHO, João Manuel. (Coordenadores). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 2 ed. Fortaleza, 2000.

FENZEL, N. **Introdução á hidrogeoquímica**. Belém: UFP, 1986. 189 p;

FERNANDES, Luiz A.; COIMBRA, Armando M. **O Grupo Caiuá (Ks): Revisão Estratigráfica e Contexto Depositional**. Revista Brasileira de Geociências, 1994.

FRAGA, Carlos G. **Análise Introdutória á Hidrogeologia do "Karst" Paranaense**. VIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1994.

FREITAS, Vladimir P. de. **Águas – Aspectos Jurídicos e Ambientais**. Ed. Juruá, Curitiba – 2000. Crimes contra a natureza: (de acordo com a lei 9.605/98) / Vladimir Passos de Freitas e Gilberto Passos de Freitas. 6ª ed. Rev., atual. E ampl. Editora Revista dos Tribunais. São Paulo, 2000.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Programa Qualigraf**. Disponível em: < <http://www.funceme.br/index.php/software/qualigraf>>. Acessado em Julho de 2014.

Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná – Classificação Climática segundo Köppen**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>>. Acessado em: Julho de 2014.

Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná – Precipitação Média Anual**. Disponível em: < <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=595>>. Acessado em: Julho de 2014.

IBGE, 2010. **Objetivos do Milênio**. Disponível em: < <http://cod.ibge.gov.br/23QNY>>. Acessado em: Agosto de 2014.

Lei Federal nº 9433/97 de 01 de Janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro, 1997.

LIMA, Josias B. L; BRANCO, Paulo C. M. P. A. **SIAGAS – Uma Evolução em Plataforma de softwares livres**. XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS

SUBTERRÂNEAS E XVII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS. MARANHÃO, 2010.

LOGAN, J. **Interpretação de Análises Químicas da Água**, U.S. Agency for International Development. 1965. 67p. Recife, 1965.

MACHADO, José Luiz F. **Água Subterrânea: Uma visão histórica**. 1965. 10p. Porto Alegre, 2005.

MANASSÉS, Fábio. **Caracterização Hidroquímica da água subterrânea da formação Serra Geral na região sudoeste do estado do Paraná**. 2009. 135p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Geologia Ambiental, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

MARGUTI, André Luiz. **Efeito do recebimento de lodos oriundos de estações de tratamento de água nos processos de tratamento de esgotos por lodos ativados convencionais**. 2012. 146p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

MDGS. **Indicadores da Proporção que possui acesso á água tratada e saneamento básico**. Disponível em: <<http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Data.aspx>>. Acessado em: Junho de 2014.

MENDES, Ester A. A.; NAKANDAKARE, Kátia C.; SOUZA, Adalberto M.; FERNANDES, Aldo M. P.; SILVEIRA, Erivelto L.; FELTRIN, Jurema; GUARDA, Marcos J. **Mananciais Subterrâneos no Estado do Paraná**. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Florianópolis, 2002.

MINEROPAR. **Geologia do Estado do Paraná**. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=56>>. Acessado em: Outubro de 2014.

Ministério da Saúde. **Perguntas e Respostas sobre a portaria MS nº 2.914 de 2011**. Brasília, 2012.

NOZAKI, Victor T. de. **Análise do setor de saneamento básico no Brasil**. 2007. 110p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Economia Aplicada, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, 2007.

OLIVEIRA, Aline M. P. **Alcalinidade e Dureza das Águas**. Disponível em: <http://www.kurita.com.br/adm/download/Alcalinidade_e_Dureza.pdf>. Acessado em: Julho de 2014.

Victorino, Célia J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos**. 2007. 646p. EDIPUCRS. Porto Alegre, 2007.

RABELO, Jorge L. **Estudo da Recarga do Aquífero Guarani no Sistema Jacaré-Tietê**. 2006. 200f. Tese (Doutorado) - Engenharia Civil (Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

SANTOS, Maurício M. dos. **Gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos: uso atual e potencial do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo (SP)**. 2009. 224f. Tese (Doutorado) - Geociências e Meio Ambiente - Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2009.

Serviço Geológico do Brasil. **Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade nas Águas Superficiais do Baixo Rio Mucajaí (RR)**. XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA. Rio Grande do Sul, 2011.

Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. **Siagas**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php>>. Acessado em: Agosto de 2014.

SILVA, Glauco M. F. da; CELLIGOI, André; PINESE, João Paulo P. **Análise dos Poços de Abastecimento Público na Bacia do Rio Pirapó Através dos Diagramas de Piper e Stiff**. Revista Geografia. Londrina-Paraná, 2011.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. 2012.

SUDERHSA. **Área de Afloramento da Unidade Aquífera Serra Geral Norte**. <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/Image/images/aguas_princ08.gif>. Acessado em: Outubro de 2014.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. 2006. **Abastecimento de Água**. São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária; Escola Politécnica de São Paulo, 643p.

VICTORINO, Célia J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos**. 2007. 646p. EDIPUCRS. Porto Alegre, 2007.

VON SPERLING, M., 2005. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 452 p.

ZANATTA, L. C.; COITINHO, J. B. L. **Utilização de Poços Profundos no Aquífero Guarani Para Abastecimento Público em Santa Catarina**. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Florianópolis, 2002.