



**DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO E HIDROQUÍMICO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO BAIXO JACUÍ-RS UTILIZANDO O BANCO DE DADOS DO
SIAGAS/CPRM.**

Porto Alegre, 2015

JADE GRAWER

**DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO E HIDROQUÍMICO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO BAIXO JACUÍ-RS UTILIZANDO O BANCO DE DADOS DO
SIAGAS/CPRM.**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Roehe Reginato

Supervisor: Geólogo Roberto Eduardo Kirchheim

Porto Alegre, 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Grawer, Jade

Diagnóstico hidrogeológico e hidroquímico da bacia hidrográfica do baixo Jacuí, RS utilizando o banco de dados do SIAGAS/CPRM . / Jade Grawer. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015. [61 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

Orientador(es): Pedro Roehe Reginato
Coorientador(es): Roberto Eduardo Kirchheim

1. Aquífero 2. Serra Geral 3. Santa Maria 4. Hidroquímica I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veleida Ana Blank

CRB 10/571

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO E HIDROQUÍMICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO JACUÍ-RS UTILIZANDO O BANCO DE DADOS DO SIAGAS/CPRM**, elaborado por JADE GRAWER, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Luiz A. Bressani

MSc. Geólogo Marcos A. de Freitas

Prof. Dr. Nelson A. Lisboa

AGRADECIMENTOS

Um trabalho nunca é construído sozinho, a ajuda vem nas mais variadas formas. Por isso tenho muito a agradecer a inúmeras pessoas, que de uma forma ou de outra, fizeram parte das situações que me mantêm nesse mundo geológico. Aqui uma longa conversa ou um abraço amigo tem o mesmo valor nos meus sinceros agradecimentos.

Agradeço à UFRGS e seu corpo técnico, pelo ensino gratuito e de qualidade. Aos professores, que além da aula, sempre estão dispostos a um bate-papo extracurricular.

Em especial agradeço ao professor e orientador Pedro Reginato, que sempre deu o exemplo de compreensão, comprometimento e dedicação com o ensino.

Ao meu supervisor e amigo, Roberto Kirchheim, pela dedicação e competência.

Agradeço à CPRM, pela oportunidade de estágio e a inúmeros funcionários, que sempre estiveram presentes em discussões, exemplos práticos e boas risadas, além dos litros de chimarrão.

Aos meus pais Valdez e Jaine, por sempre me incentivarem e me deixarem livre para seguir.

A toda minha família “buscapé”, que dentro de toda sua loucura se ama, se apoia e cresce. Em especial à minha avó prof. Ieda (*in memoriam*) que sempre incentivou os estudos, e por mais complexa que seja a Geologia, sempre tentou entendê-la.

Agradeço ao Engenheiro Químico mais Geólogo que conheço Filipe Lindau, pela disposição de sempre ouvir e opinar sobre minhas divagações geológicas, ao companheirismo e ao ombro amigo sempre presente.

Aos meus amigos, que mesmo uns perto e outros longe sempre foram verdadeiros amigos, tanto nos momentos de dificuldade como nos de muita comemoração!

Ao Félix, Sastrugui e Calitrix, meus gatos, porque todo trabalho precisa de uma pausa.

Agradeço também a todos que se preocupam com a qualidade e gerenciamento da água, pois me motiva saber que existe muita gente que leva isso adiante.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo a caracterização hidrogeológica e hidroquímica da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí (BHBJ), localizada no centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul. O arcabouço geológico da área possui uma relativa continuidade lateral e compreende, ao sul, diversas rochas do Embasamento, na região central afloram as rochas Permianas e Triássicas e na porção norte, as Formações Jurássicas e Cretáceas. O estudo foi realizado através do banco de dados de poços tubulares SIAGAS, da CPRM. Com base nesses dados foi avaliada a produtividade, a qualidade e a potabilidade das águas subterrâneas, que estão distribuídas nas 14 Unidades Hidrogeológicas presentes da BHBJ. A partir da interpretação dos dados foi possível determinar que a BHBJ não apresenta nenhum aquífero de excelente qualidade, porém localmente ocorrem poços com produtividades mais elevadas. Porém, destaca-se a Unidade Hidrogeológica Fraturada Serra Geral como a de melhor produtividade e qualidade. Quando comparada com as outras Unidades Porosas, a Unidade Hidrogeológica Santa Maria apresenta mais alta produtividade, porém seus padrões de qualidade e potabilidade nem sempre são alcançados. Atualmente 23% dos poços são utilizados para o abastecimento humano, que exige padrões de potabilidade. A maior parte dos poços possui águas doces, porém águas salinas e salobras somam 10% dos poços. Aproximadamente 6% apresentaram concentrações de sódio, cloreto, sulfato e STD acima das permitidas em lei. No que se refere à qualidade, a classificação hidroquímica segundo Piper demonstrou a predominância de mais de um tipo hidroquímico das águas subterrâneas da BHBJ, sendo mais recorrente águas bicarbonatadas cálcicas seguidas por bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas mistas. Em geral as águas subterrâneas possuem baixo risco à salinização e a sodificação dos solos quando usadas para a irrigação. Com esses resultados foi possível contribuir com um melhoramento no conhecimento técnico-científico da BHBJ, bem como dar subsídios para a gestão do uso das águas.

Palavras-Chave: Aquífero; Serra Geral; Santa Maria; hidroquímica.

ABSTRACT

The present study aims a hydrogeological and hydrochemical characterization of the Baixo Jacuí Hydrographic Basin (BHBJ), located at east central Rio Grande do Sul state. The geological outline of the area has a relative lateral continuity and comprises several basement rocks on south, Permian and Triassic rocks in the central region and Jurassic and Cretaceous Formations in the north portion. The study was performed through the CPRM's SIAGAS tubular wells data bank. The groundwater productivity, quality and potability were evaluated based on this data, which is distributed in the 14 Hydrogeological Units within BHBJ. Based on data, no excellent quality aquifer is present in BHBJ, but wells with higher productivity occur locally. However the Serra Geral Fractured Hydrogeological Unit presents the best productivity and quality. The Santa Maria Hydrogeological Unit, when compared with other Porous Units, presents the highest productivity, but its quality and potability standards are not always reached. Currently 23% of the wells have household use, which require potability standards. Most of the wells have sweet water, however the saline and brackish waters are 10% of the total. Approximately 6% contains amounts of sodium, chloride, sulfate and TDS above the law standards. As regards to quality, more than one hydrochemical type of groundwater was found, based on Piper hydrochemical classification the most appellat type was the calcium bicarbonate water, followed by sodium bicarbonate and bicarbonate mixed. In general the groundwater salinization and sodification risks are low when used for irrigation. Based on these results were possible to contribute with an improvement to the BHBJ technical-scientific knowledge, as well as to give aids to the management of water.

Key-words: Aquifer, Serra Geral, Santa Maria, hydrochemistry

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área da BHBJ	13
Figura 2 - Área de abrangência dos 40 municípios que compõe a BHBJ.	14
Figura 3 - Fluxograma de informação do SIAGAS	25
Figura 4 - Arquitetura das consultas no SIAGAS, em plataforma Access.	26
Figura 5 - Modelo de diagrama de Piper.	33
Figura 6 - Distribuição da situação dos poços da BHBJ.....	35
Figura 7 - Quantificação dos diferentes usos das águas da BHBJ.....	36
Figura 8 - Mapa com a localização dos poços	38
Figura 9 - Mapa geológico da BHBJ com a distribuição dos poços.....	39
Figura 10 - Mapa hidrogeológico da BHBJ.....	41
Figura 11 - Classificação segundo o diagrama Piper da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral.....	48
Figura 12 - Classificação segundo o diagrama Piper da Unidade Hidroestratigráfica Caturrita.....	48
Figura 13 - Classificação segundo o diagrama Piper da Unidade Hidroestratigráfica Santa Maria	49
Figura 14 - Classificação segundo o diagrama Piper da Unidade Hidroestratigráfica Rio do Rasto.....	49
Figura 15 - Classificação segundo o diagrama Piper da Unidade Hidroestratigráfica Granitóides Indivisos	50
Figura 16- Mapa de condutividade elétrica da BHBJ	52
Figura 17 - Mapa com a distribuição dos poços que apresentam teores de Fluoreto maior que 1,5mg/L	53
Figura 18 - Classificação das águas para uso na irrigação, segundo a USSL.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relações estratigráficas, tipos de aquíferos e suas características na BHBJ.	18
Tabela 2 - Itens e suas respectivas informações que compõe o banco de dados do estudo, para todos os poços.	27
Tabela 3 - Caracterização hidráulica das classes dos aquíferos de acordo com a capacidade específica.	30
Tabela 4 - Erro prático (Ep) para os diferentes valores do somatório de cátions e ânions.	32
Tabela 5 - Quantificação da área aflorante, número de poços, vazões (Q) e Capacidade Específica (qs) dos poços das diferentes Unidades hidrogeológicas.	42
Tabela 6 - Concentrações dos principais íons dissolvidos nas águas subterrâneas da BHBJ..	51
Tabela 7 - Classificação das Formações litológicas quanto ao risco de sódio e salinidade	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BHBJ – Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí

CE – Condutividade Elétrica

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

ND – Nível Dinâmico (m)

NE – Nível Estático (m)

Q – Vazão (m^3/h)

qs – Capacidade Específica ($m^3/h/m$)

RS – Rio Grande do Sul

SAG – Sistema Aquífero Guarani

SIAGAS - Sistema de Informação de Água Subterrânea

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Localização da área	12
1.2. Objetivos	13
2. ESTADO DA ARTE.....	15
2.1. Trabalhos anteriores	15
2.2. Contexto geológico e hidrogeológico.....	16
A) Descrição das Unidades Hidroestratigráficas	19
3. METODOLOGIA.....	24
3.1. Levantamento de dados.....	24
A) Revisão bibliográfica	24
B) Banco de dados do SIAGAS	24
3.2. Caracterização Geológica - Hidrogeológica.....	28
A) Agrupamento das unidades.....	28
B) Caracterização hidrogeológica quantitativa	29
C) Caracterização hidrogeológica qualitativa.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1. Caracterização Hidrogeológica Quantitativa.....	35
A) Situação e uso dos poços	35
B) Distribuição espacial dos poços	37
C) Geologia da BHBJ	37
D) Produtividade dos poços	39
4.2. Caracterização hidrogeológica qualitativa	45
A) Avaliação do banco de dados	46
B) Balanço hídrico.....	46
C) Classificação das águas segundo diagrama Piper	46
D) Parâmetros químicos e padrões de potabilidade.....	50
E) Classificação para uso na irrigação.....	54
5. CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas cumprem uma função importante e, em inúmeros casos, vital para o fornecimento de água potável em muitas áreas urbanas e rurais. Com o aumento populacional, expansão agrícola e o desenvolvimento de novas indústrias faz-se cada vez mais necessária a utilização de maiores quantidades deste recurso. Estabelece-se assim o desafio das demandas versus as disponibilidades de água. A grande importância da água subterrânea contrasta com a deficiência de políticas públicas para o setor e com a falta de conhecimento da potencialidade e utilização dos aquíferos, elevando conseqüentemente os riscos de contaminação, explorações equivocadas, entre outros. (Hirata *et al.*, 2010). A gestão dos recursos hídricos no Brasil obedece a uma série de Leis e Resoluções, contidas na Política Nacional dos Recursos Hídricos. A Lei das Águas Nº. 9.433 da República Federativa do Brasil de 1997 considera a bacia hidrográfica como unidade de gestão de tais recursos. No que diz respeito à dinâmica das águas subterrâneas, é necessário ressaltar que nem sempre os divisores de água superficial coincidem com os divisores de água subterrânea.

A gestão de águas deve envolver aspectos relacionados à qualidade e à quantidade dos recursos existentes. No que diz respeito às águas subterrâneas, a estimativa das disponibilidades assim como a descrição de sua qualidade tem como base o conhecimento dos sistemas aquíferos, que por sua vez, dependendo arcabouço geológico, base física fundamental na dinâmica e gestão das águas subterrâneas.

Com isso, conhecer quais são as características geológicas (litologia e estruturas associadas), hidrodinâmicas (inventário de poços, formas de captação, diferentes tipos de aquíferos, parâmetros hidrodinâmicos) e a composição físico-química das águas desses aquíferos são indispensáveis para seu gerenciamento e uso sustentável. Para minimizar os efeitos da superexploração e ou contaminação das águas subterrâneas deve-se utilizar técnicas adequadas, desde a correta locação de poços tubulares e adequada conclusão dos mesmos até a proteção das fontes e áreas de recarga, por exemplo.

A Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí (doravante BHBJ) foi selecionada como área do estudo por sua importância, diversidade e complexidade hidrogeológica. Segundo SEMA (2014), a região possui uma população em torno de 500 mil habitantes e faz uso das águas a fim de abastecimento e atividades econômicas como mineração, irrigação e o recente pólo naval de Charqueadas. Além disso, a mesma é objeto de desenvolvimento de um Plano de Bacia, para cujo processo, o presente estudo pode servir de subsídio.

A partir da hipótese de que o arcabouço geológico da BHBJ impõe condicionantes à qualidade e à quantidade de água subterrânea, faz-se necessário a comparação das características hidrodinâmicas e hidroquímicas das diferentes unidades aquíferas presentes na BHBJ com as descrições geológicas das mesmas. Para uma adequada caracterização é necessário ter um banco consistente de informações.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) possui um extenso banco de dados de poços tubulares, o SIAGAS (Sistema de Informação de Água Subterrânea), vigente no Brasil desde 2006. Nele são inseridos diariamente os dados gerados a cada nova perfuração de poços. Com isso, parte-se do princípio que o SIAGAS é uma ferramenta de alto potencial, que possui volume de dados de quantidade e qualidade das águas subterrâneas suficientes para diagnosticar a situação da respectiva BHBJ.

A Moção N. 038, de 7 de dezembro de 2006, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, recomenda a adoção do SIAGAS pelos órgãos gestores e pelos usuários de informações hidrogeológicas. Também considera que o armazenamento e a difusão de dados e de informações sobre os sistemas aquíferos e o seu uso permitem a melhoria da gestão integrada dos recursos hídricos.

Através da sistematização técnica dos dados do SIAGAS e das informações geológicas disponíveis para a região o estudo vem a contribuir com o aumento do conhecimento hidrogeológico da BHBJ.

1.1 Localização da área

A área de estudo corresponde à BHBJ (figura 1), uma das nove bacias hidrográficas que compõe a Região Hidrográfica do Guaíba. Encontra-se localizada na porção centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul (RS), entre as coordenadas

geográficas 29°26' a 30°47' Sul e 51°16' a 53°35' Oeste. Possui área de aproximadamente 17.000 km² e abrange total ou parcialmente 40 municípios (figura 2). (SEMA, 2010).

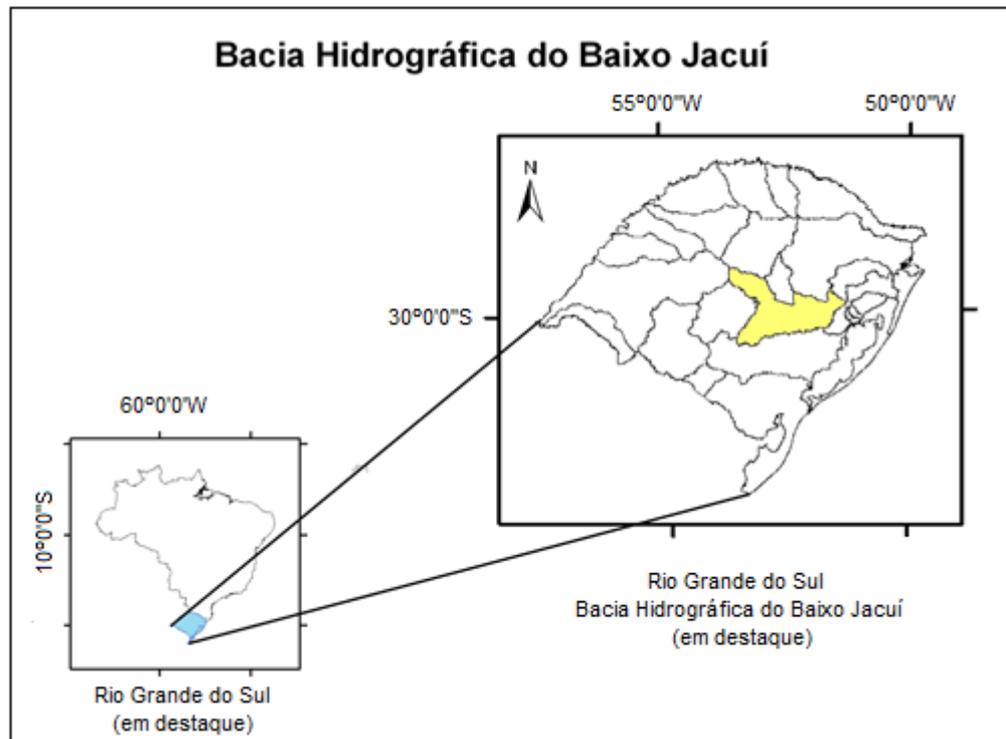


Figura 1 - Mapa de localização da área da BHBJ (em amarelo) na porção centro-leste do RS. Fonte: SEMA (2008).

1.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral promover a caracterização hidrogeológica e hidroquímica da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, a fim de fornecer subsídio para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no contexto da mesma.

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- ✓ Avaliar os principais parâmetros hidrodinâmicos de cada aquífero existente na Bacia;
- ✓ Reconhecer o potencial hídrico dos aquíferos a partir de dados hidráulicos de poços tubulares cadastrados;
- ✓ Identificar a situação atual de captação, exploração e uso da água subterrânea na bacia;

- ✓ Identificar as características químicas das águas subterrâneas a partir dos dados de análises físico-químico existentes.

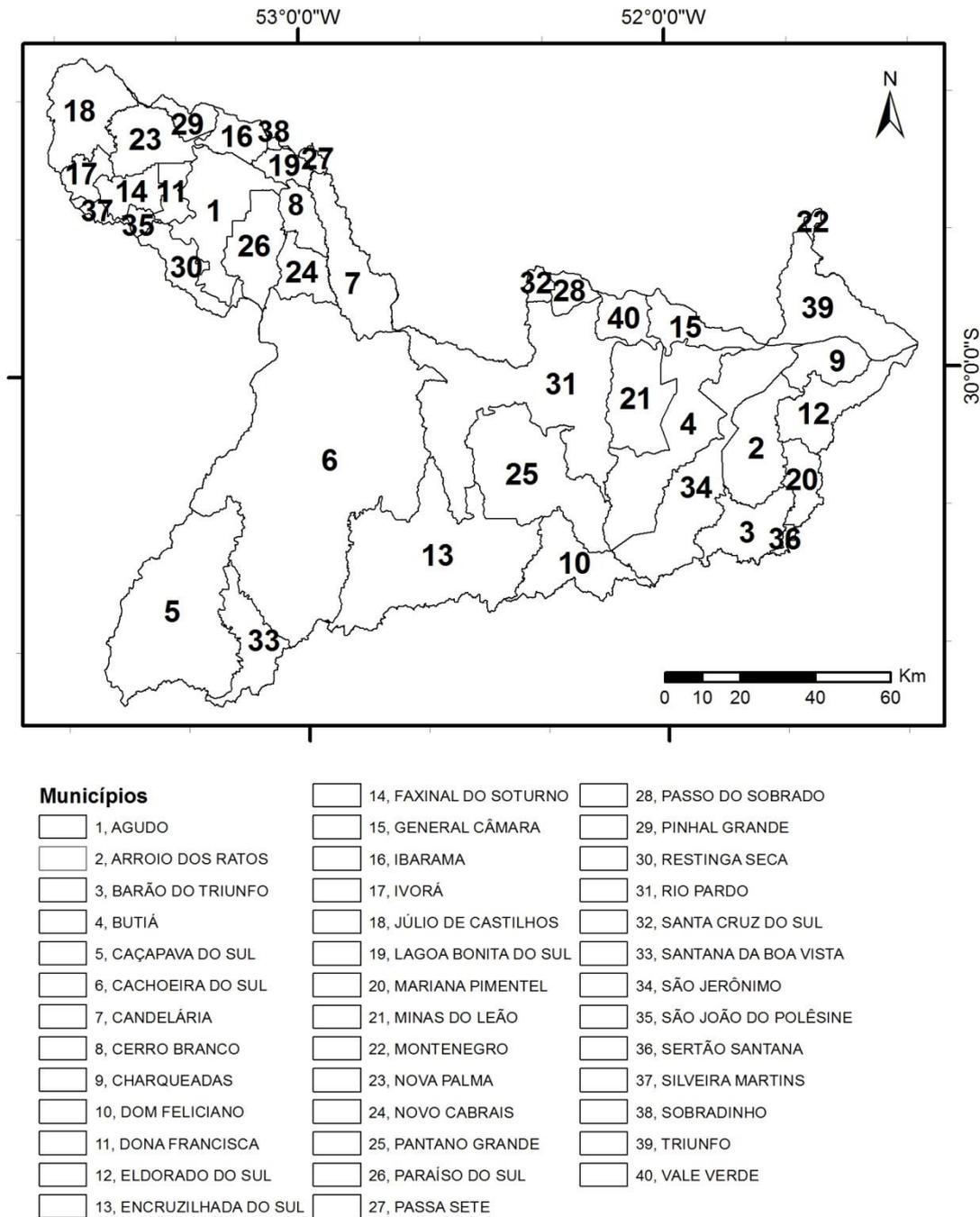


Figura 2-Área de abrangência, total ou parcial, dos 40 municípios que compõe a BHBJ.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Trabalhos anteriores

Hausman (1960) realizou um dos trabalhos pioneiros em hidrogeologia, onde o autor gera um esboço regional da distribuição das águas subterrâneas no Estado do Rio Grande do Sul. Quatro anos após, Hausman (1964) sistematizou a ocorrência dos aquíferos no Estado e os classificou como Províncias Hidrogeológicas do RS. Essa classificação se baseou em características hidrogeológicas, morfológicas e climáticas. Em anos seguintes, o mesmo autor realizou uma revisão e ampliação de seus trabalhos anteriores baseado no avanço dos conhecimentos geológicos do Rio Grande do Sul e nas informações extraídas do grande número de poços perfurados até então. Esse trabalho resultou no primeiro mapa hidrogeológico do RS, denominado de Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul na escala 1:1000.000, publicado na Acta Leopoldensia. (Hausman, 1995).

Samberg (1980) avaliou, também em escala regional, as formações aquíferas nas quatro províncias litológicas do RS através de análise estatística de multivariáveis que mais influenciam as condições das águas subterrâneas, levando em conta fatores geológicos, hidrogeológicos e climáticos.

Pessôa (1982) organizou um Banco de Dados Hidrogeológico, possivelmente o primeiro do Estado, utilizando dados das perfurações dos poços realizadas pela CORSAN e empresas privadas (T. JANER e Tecniposços). Nele foi geradas curvas de vazões em função do número de poços para cada unidade hidrogeológica, podendo assim estimar a probabilidade de ocorrência de uma vazão com um determinado número de poços.

Lisboa (1996) apresenta um amplo estudo da hidrogeoquímica e seus controladores geológicos nas Unidades Hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul.

Com o intuito de aumentar os conhecimentos hidrogeológicos do Estado, a CPRM, (2005a) publicou o Mapa Hidrogeológico do RS, o qual serve, atualmente, de subsídio básico e inicial para qualquer estudo hidrogeológico desenvolvido no Estado. Nele são definidas as unidades hidrogeológicas e suas potencialidades quali-quantitativas em escala 1:750.000. A capacidade específica dos aquíferos

presente na BHBJ está classificada como média (entre 2 e 4 m³/h/m) em aquíferos intergranulares (arenitos e depósitos aluviais), baixa (entre 0,5 e 2 m³/h/m) em aquíferos fissurais (litologias vulcânicas), a muito baixa (menor que 0,5 m³/h/m) em camadas intergranulares ou rochas fissuradas com recursos de água subterrânea limitados localmente ou camadas/rochas praticamente isentas de tais recursos (litologias com idade mais antigas e rochas plutônicas e metamórficas).

Machado (2005) utiliza o conceito estratigráfico em conjunto com características hidroquímicas e feições estruturais (texturas, estruturas e ambientes deposicionais) para sugerir uma compartimentação hidroestratigráfica do Sistema Aquífero Guarani (SAG), para o Estado do Rio Grande do Sul.

Faccini *et al* (2003) abordam as heterogeneidades litofaciológicas e hidroestratigráficas do SAG na região central do Estado. Descrevem as litofácies e elementos arquiteturais a partir de seções geológicas regionais a fim de diferenciar os sistemas deposicionais e unidades aloestratigráficas que compõe o SAG. Utilizam também dados de poços tubulares profundos, dos quais podem ser inferidas estimativas de porosidade e permeabilidade das unidades perfuradas.

Wankler (2006) apresenta um intenso estudo sobre o aquífero Passo das Tropas, da formação Santa Maria, que apesar de equivaler somente a uma pequena parte do Sistema Aquífero Guarani (SAG), acaba se constituindo em um aquífero de grande importância na depressão periférica do Estado. Na tese são apresentadas as influências no comportamento do fluxo de água subterrânea, que resultam do padrão estratigráfico, deposicional e tectônico, e que irão implicar em heterogeneidades e anisotropias no comportamento da vazão e das características hidroquímicas do aquífero.

2.2. Contexto geológico e hidrogeológico

A geologia tem uma implicação direta na dinâmica das águas subterrâneas, pois irá determinar a porosidade e permeabilidade, implicando em variações dos parâmetros de condutividade hidráulica, e, em consequência na transmissividade e armazenamento dos respectivos aquíferos. O termo Unidade Hidroestratigráfica, originalmente proposto por Maxey, em 1964, é o mais utilizado em estudos hidrogeológicos, pois pode incluir uma formação, parte de uma formação, ou um grupo de formações. (Machado, 2005).

Em Hidrogeologia, também é utilizado o termo sistema aquífero, originalmente definido por Poland *et al.* (1972), para descrever as unidades hidroestratigráficas produtoras de água, pois o termo compreende um corpo heterogêneo de materiais com intercalações permeáveis e pobremente permeáveis com duas ou mais camadas permeáveis, separadas ao menos localmente por aquíardos que impedem o movimento das águas subterrâneas, mas que não afetam a continuidade hidráulica do sistema.

Na BHBJ, o Sistema Aquífero Guarani (SAG) agrupa os principais aquíferos, tendo significativa importância por sua extensão, espessura e volume de água armazenado. Na área de estudo, esse sistema aquífero engloba as unidades hidroestratigráficas arenosas das Formações Pirambóia, Sanga do Cabral, Santa Maria, Caturrita e Botucatu representativas do final da deposição permiana na Bacia do Paraná, culminando com a sedimentação eólica Eocretácea. (Machado, 2005)

O arcabouço geológico da BHBJ é composto, da base para o topo na coluna estratigráfica, pelo Embasamento Cristalino, formado pelas rochas Pré-Cambrianas seguidas do pacote sedimentar Gonduânico, que representa o registro da deposição terrígena clástica e química correspondente à Bacia do Paraná. Todo o conjunto está sujeito aos processos erosivos e deposicionais desenvolvidos no Cenozóico, gerando principalmente depósitos aluvionares e coluvionares em pequenas porções da Bacia.

A tabela 1, com base no Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005b) e Machado (2005), ilustra a relação cronoestratigráfica das unidades geológica da BHBJ adaptadas para a área da Bacia, bem como suas respectivas características litológicas e aquíferas.

Tabela 1 - Relações estratigráficas, tipos de aquíferos e suas características na BHBJ.

ERA	PERÍODO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA E CARACTERÍSTICA AQUÍFERA
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	Depósitos Aluvionares	Sedimentos inconsolidados formando aquíferos livres e restritos.
		Depósitos Quaternários Indivisos	Sedimentos inconsolidados formando aquíferos livres e restritos.
		Formação Tupanciretã	Arenitos formando aquíferos livres, porém restritos.
MESOZÓICO	CRETÁCEO	Formação Serra Geral indivisa	Sequências vulcânicas formando aquíferos fraturados.
	JURÁSSICO	Formação Botucatu	Arenitos eólicos médios, parte do SAG e formando aquíferos livres e confinados.
	TRIÁSSICO	Formação Caturrita	Arenitos eólicos médios, parte do SAG e formando aquíferos livres e confinados.
		Formação Santa Maria	Arenitos eólicos médios, parte do SAG e formando aquíferos livres e confinados. Muito heterogêneo.
		Formação Sanga do Cabral	Estratificações entre pelitos e arenitos, parte do SAG e formando aquíferos livres aconfinados. Muito heterogêneo.
	PALEOZÓICO	PERMIANO	Formação Pirambóia
Formação Rio do Rasto			Pelitos não aquíferos.
Formação Estrada Nova			Pelitos não Aquíferos.
Formação Irati			Pelitos não aquíferos.
Formação Palermo			Pelitos não aquíferos.
Formação Rio Bonito			Pelitos com intercalações arenosas formando aquíferos regionais.
Formação Taciba			Pelitos não aquíferos.

RPÉ-CAMBRIANO		Embasamento	Rochas vulcânicas neoproterozóicas	Aquíferos fraturados de baixo potencial.
			Rochas sedimentares Neoproterozóicas	
			Granitóides Indivisos	
			Rochas metasedimentares indivisas	
			Rochas metagranitóides e gnaisses indivisos	

Fonte: modificada de MACHADO (2005).

A) DESCRIÇÃO DAS UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS

A seguir, de acordo com a ordem cronológica estabelecida na tabela 1, cada uma das unidades definidas será brevemente descrita, de acordo com os dados da revisão bibliográfica.

- **Unidades Hidroestratigráficas do Embasamento**

O Escudo Sul-Rio-Grandense representa o embasamento do Estado e torna-se notável em termos de geologia Pré-Cambriana pela sua grande diversidade de associações petrotectônicas, de idades variadas desde o Arqueano até o Eopaleozóico. (Chemale, 2000). A área da BHBJ apresenta associações de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares, de idade, origem e evolução diversas, distribuídas num complexo arranjo tecnoestratigráfico controlado por lineamentos regionais de orientação predominante NE-SW e NW-SE. Foram aqui agrupados em rochas Metagranitóides e gnaisses indivisos, Metasedimentares indivisas, Granitóides indivisos, Rochas sedimentares Neoproterozóicas e Rochas vulcânicas Neoproterozóicas. Segundo CPRM (2005a), geralmente apresentam capacidades específicas inferiores a 0,5 m³/h/m, ocorrendo também poços secos. As salinidades nas áreas não cobertas por sedimentos de origem marinha, são inferiores a 300 mg/L. Poços nas rochas graníticas podem apresentar enriquecimento em flúor.

- **Unidade Hidroestratigráfica Taciba**

Sua deposição se processou em condições ambientais marinhas e continentais, com influência glacial. É constituída principalmente por pelitos castanho-avermelhados e secundariamente por ritmitos e diamictitos, de origem glácio-lacustre, e por arenitos e conglomerados de origem flúvio-glacial. (CPRM, 2005b).

- **Unidade Hidroestratigráfica Rio Bonito**

Representada por uma sequência de deposição de material clástico com a formação de grandes deltas e planícies costeiras, a Formação Rio Bonito é constituída predominantemente por arenitos finos a médios nas porções da base e do topo e siltitos folhelhos, calcários, intercalações de arenitos e camadas de carvão na porção média da Unidade. Os arenitos de topo são finos a muito finos com laminação plano-paralela e ondulada, intercalados com leitos de argila e folhelhos carbonosos na porção de topo. Na porção inferior, os arenitos são finos a médios, por vezes grossos, com estratificação cruzada. Subordinadamente ocorrem arenitos muito finos, siltitos, argilitos, folhelhos carbonosos, leitos de carvão e conglomerados. (Holz & Carlucci, 2000). Segundo Hausman (1995), os poços podem atingir vazões de 10m³/h, e quando associado a algum sistema de fraturas, as vazões se elevam. A qualidade das águas fica comprometida quando as mesmas entram em contato com as camadas carboníferas, tornando a água sulfurosa.

- **Unidade Hidroestratigráfica Palermo**

A Formação Palermo é formada por siltitos e siltitos arenosos acinzentados ou amarelo-esverdeados com nódulos de sílex na sua porção basal. Frequentemente ocorrem intercalações com arenitos finos e estruturas tipo *hummocky*, *flaser*, ondulada e lenticular, que indicam ambiente deposicional de *shoreface* e plataforma marinha interna. (Holz & Carlucci, 2000).

- **Unidade Hidroestratigráfica Irati**

A Formação Irati é constituída principalmente por folhelhos, lamitos, siltitos, calcários e folhelhos betuminosos, depositado em ambientes de mar isolado e de circulação restrita. (Holz & Carlucci, 2000).

- **Unidade Hidroestratigráfica Estrada Nova**

Constituída por argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuros não betuminosos de ambiente marinho com deposição de finos abaixo do nível-base de ação das ondas, intercalados com arenitos muito finos geralmente com laminação *flaser*, plano-paralela, ondulada e convoluta, e estratificação *hummocky*, com lentes e concreções de calcário em ambiente marinho com influência de tempestades. (CPRM, 2005b).

- **Unidade Hidroestratigráfica Rio do Rasto**

A Formação Rio do Rasto é constituída por arenitos finos avermelhados a róseos, bem selecionados, intercalados com siltitos e argilitos depositados em ambiente de mar raso (Membro Serrinha) e lentes de arenitos finos intercalados com siltitos e argilitos depositados em ambiente continental flúvio-deltaico (Membro Morro Pelado). (CPRM, 2005b).

- **Unidade Hidroestratigráfica Pirambóia**

A Formação Pirambóia é composta predominantemente por arenito fino a médio, cor rosa, bimodal, com estratificação cruzada acanalada de grande porte. Está dividida em três associações de fácies: lençóis eólicos, depósitos de dunas e depósitos interdunas em sistemas deposicionais continentais. No conjunto é representada por arenitos e arenitos argilosos com pouca cimentação. (Faccini *et al.*, 2003).

- **Unidade Hidroestratigráfica Sanga do Cabral**

A Formação Sanga do Cabral é constituída na base por conglomerados intraformacionais e arenitos conglomeráticos, mal selecionados, com estratificação cruzada acanalada e planar de pequeno a médio porte. (Scherer *et al.*, 2000). Associados à estas unidades ocorrem arenitos finos com laminação plano-paralela, cujas características sugerem um sistema fluvial entrelaçado.

- **Unidade Hidroestratigráfica Santa Maria**

A Formação Santa Maria é dividida em dois membros. O Membro Passo das Tropas representa a porção basal e é constituída por arenitos feldspáticos de canais fluviais de granulometria grossa a média e elevada porosidade, já o Membro Alemoa

representa a porção de topo e compreende litofácies pelíticas de planícies de inundação formado por siltitos, maciços a pouco laminados, ricas em vertebrados fósseis e horizontes de paleossolos. As capacidades específicas variam de 0,5 a 1 m³/h/m nas áreas de afloramento e alcançam 4 m³/h/m nas áreas confinadas. A salinidade varia de 50 a 500 mg/L e, entretanto, em algumas regiões confinadas são encontrados valores superiores a 2.000 mg/L e teores de flúor acima do limite de potabilidade. (CPRM, 2005a).

- **Unidade Hidroestratigráfica Caturrita**

A Formação Caturrita é depositada em ambientes de sistemas fluviais de canais isolados a meandranes e deltas lacustres, sendo constituída por uma sequência de arenitos finos róseos a avermelhados e pequena incidência de pelitos com estratificação cruzada acanalada e planar. (Giardin & Faccini, 2004).

- **Unidade Hidroestratigráfica Botucatu**

A Formação Botucatu é formada em ambiente continental eólico de clima desértico, que representa o extenso campo de dunas eólicas que existia na região. É composta por arenitos finos a grossos, normalmente bimodais, com grãos bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em *sets* de estratificações cruzadas de grande porte. No topo, os arenitos intercalam-se concordantemente com as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, sendo comum as ocorrências recorrentes da sedimentação eólica, formando os arenitos intertraps, com espessura e distribuição muito irregular. Segundo CPRM (2005a), as capacidades específicas raramente excedem a 0,5 m³/h/m e a salinidade geralmente é inferiores a 250 mg/L.

- **Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral Indivisa**

A Formação Serra Geral compreende um intenso magmatismo registrado pelos derrames basálticos sobrepostos ou intercalados com unidades ácidas, e intrusões de rochas básicas e ácidas, com espessuras significativas. (Roisenberg & Viero, 2000). Segundo CPRM (2005a), a capacidade específica é inferior a 0,5 m³/h/m, entretanto, excepcionalmente em áreas mais fraturadas ou com arenitos na base do sistema, podem ser encontrados valores superiores a 2 m³/h/m. As salinidades apresentam valores baixos, geralmente inferiores a 250 mg/L. Valores

maiores de pH, salinidade e teores de sódio podem ser encontrados nas áreas influenciadas por descargas ascendentes do Sistema Aquífero Guarani.

- **Unidade Hidroestratigráficas do Quaternário**

A Formação Tupanciretã foi depositada em ambiente continental, formada por arenitos finos e mal selecionados, quartzosos, paraconglomerados basais e arenitos conglomeráticos e finas camadas de argila. Apresentam-se geralmente maciços, mas podem apresentar estratificação plano-paralela e cruzada do tipo fluvial. Nos Depósitos Quaternários indivisos foram agrupados os sedimentos arenosos das barreiras Holocênicas formadas em ciclos transgressivos-regressivos desenvolvidos nessa época. Os depósitos Aluvionares referem-se a sedimentos que ocorrem ao longo dos principais cursos d'água. Esses sedimentos apresentam frações granulométricas cascalhosas, arenosas grossa a fina e sedimentos silticos-argiloso, semiconsolidados e inconsolidados. (CPRM, 2005b). Sua capacidade específica é em geral alta, da ordem de 4 m³/h/m, com salinidades baixas, em média 150 mg/L. (CPRM 2005a).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho está dividido em três principais etapas metodológicas, as quais se encontram descritas a seguir.

3.1 Levantamento de dados

A) REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Consiste na revisão dos conceitos básicos, no reconhecimento, na obtenção e na seleção dos dados existentes sobre geologia e hidrogeologia da área de estudo. O levantamento foi realizado com base em livros, artigos e dissertações disponíveis na biblioteca do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na biblioteca da CPRM, no Portal de Periódicos da CAPES, *SciELO*, além de relatórios de planos de bacias junto à SEMA-DRH.

B) BANCO DE DADOS DO SIAGAS

O levantamento sobre os pontos de captação de água subterrânea existentes na área de estudo foi realizado através da consulta ao banco de dados do SIAGAS. Trata-se do maior repositório de informações de água subterrânea no Brasil, foi iniciado em 1995 pela CPRM. Este banco, que possui caráter dinâmico e está em contínua expansão, tem a finalidade de coletar, armazenar e disponibilizar dados sobre poços tubulares. É composto por dados de perfuração, de desenvolvimento e de qualidade das águas dos poços, o que torna possível a realização de consultas, a cerca de dados construtivos, hidráulicos, hidrogeológicos e hidroquímicos.

A figura 3 ilustra a dinâmica do fluxo de informações dentro do SIAGAS. A CPRM através do seu corpo técnico solicita informações às instituições que geram os dados como, por exemplo, empresas privadas de perfuração, órgão gestor de recursos hídricos do Estado (DRH-SEMA), empresas públicas de perfuração (CORSAN) e demais órgãos de perfuração do Estado (Secretaria de Habitação e Secretaria de Agricultura). Todas as informações geradas em território nacional compõe o banco de dados central, que é atualizado pela central do Rio de Janeiro. Os usuários podem ter acesso às informações através do sítio eletrônico <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php>.



Figura 3- Fluxograma de informação do SIAGAS. Os dados são concentrados na central da CPRM-RJ que alimenta o banco de dados disponível na web. Fonte: Nascimento *et al*, 2008.

Para o presente trabalho foram utilizadas as informações diretamente do banco de dados original do SIAGAS, da Superintendência de Porto Alegre. A extração das informações apoiou-se em algoritmos de consultas específicas desenhados em *software* ACCESS, conforme figura 4.

Como parte da metodologia destaca-se o trabalho de ingressar as informações no referido sistema, a partir da análise individual das múltiplas fichas de poços tubulares encontradas para a Bacia do Baixo Jacuí. Sendo assim, além dos poços já cadastrados no SIAGAS, foram ingressados, poços novos, oriundos das perfurações realizadas pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) e pela Secretaria de Habitação e Saneamento do RS (SEAHBS).

No SIAGAS existem alguns fatores de risco em relação à qualidade dos seus dados. Além do erro humano que pode ocorrer na inserção das inúmeras informações, a diversidade de empresas que gera informações sobre o meio subterrâneo pode causar inconsistência nos dados por seguirem diferentes metodologias. Porém, todos os dias são inseridos poços novos ou são realizadas consistências de informações de poços existentes, com isso, melhora-se

diariamente a qualidade e quantidade de informação sobre o meio subterrâneo do país.

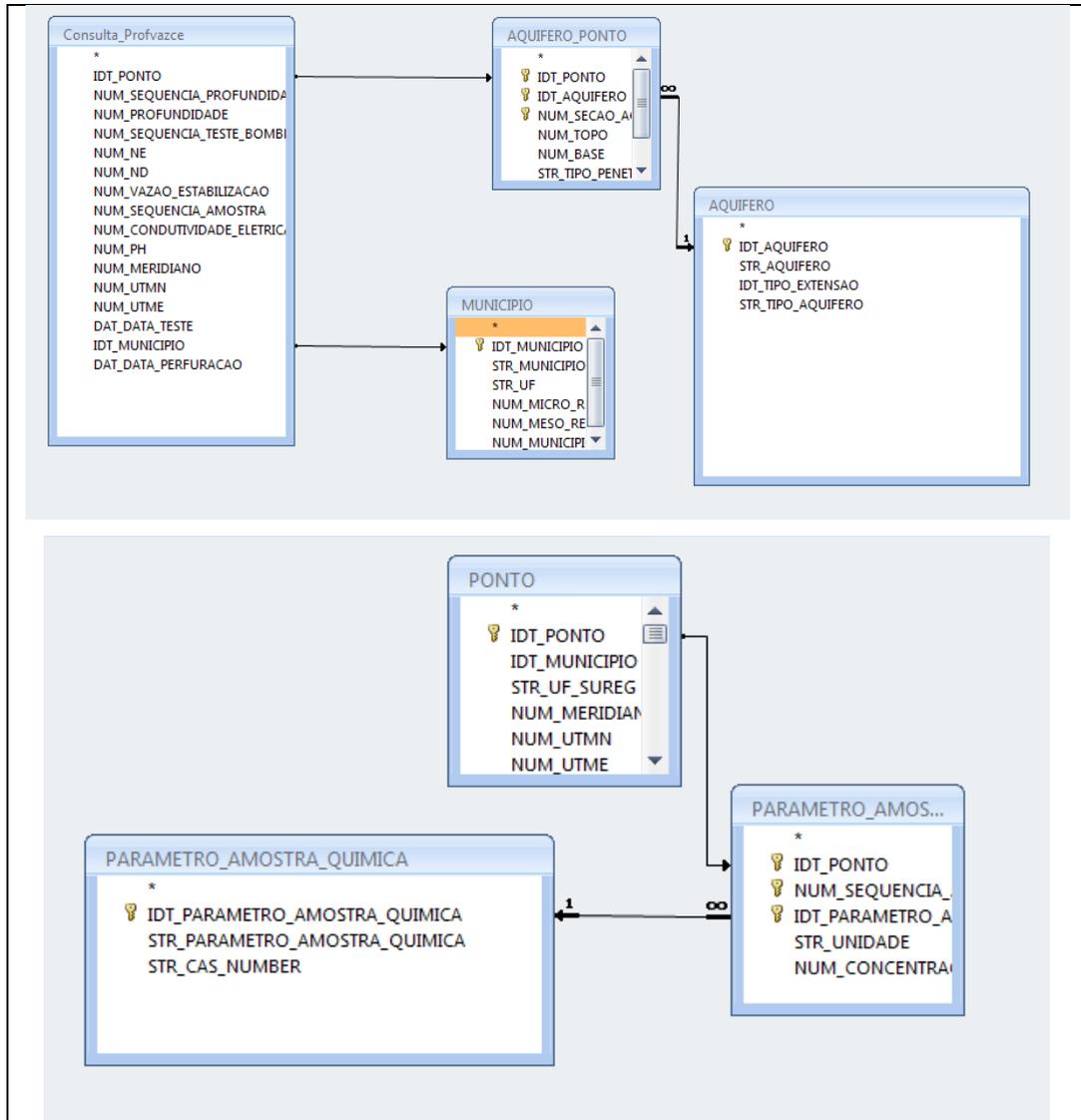


Figura 4 - Arquitetura das consultas automáticas no banco de dados do SIAGAS, em plataforma Access.

Utilizando os poços cadastrados no SIAGAS até junho de 2015, construiu-se um banco de dados com 607 poços para a área da Bacia. Para a construção do banco de dados final houve uma avaliação geral dos pontos, a fim de corrigir alguma inconsistência e excluir os poços duplicados. Com isso o banco final ficou constituído de 514 poços. A informação sobre o aquífero captado foi checada observando os perfis construtivos dos poços, na qual foi comparada a litologia onde

havia entradas da água com as litologia descritas na bibliografia. A tabela 2 fornece as variáveis extraídas para cada poço presente na BHBJ.

Tabela 2 - Itens e suas respectivas informações que compõe o banco de dados do estudo, para todos os poços.

ITEM	INFORMAÇÕES DOS POÇOS
Localização	Município Coordenadas UTM
Construtivo	Profundidade
Uso	Situação do poço Uso da água
Hidrodinâmica (ensaio de bombeamento)	Vazão(Q) Nível estático (NE) Nível dinâmico (ND), Capacidade específica (calculada)
Hidroquímico	Condutividade elétrica (CE) pH Sólidos totais dissolvidos (STD) Cátions: cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+) Ânions: Cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), Bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}) e fluoreto (F^-)
Hidrogeológico	Aquífero captado

3.2 Caracterização Geológica - Hidrogeológica

A) AGRUPAMENTO DAS UNIDADES

O arcabouço geológico é uma importante fonte de informação que contribui para o entendimento do seu comportamento hidrológico. O arranjo entre as unidades litoestratigráficas, tanto na superfície como em subsuperfície, são determinantes na distribuição e circulação das águas subterrâneas. Ou seja, são diversos os fatores que influenciam na forma com que a água precipitada converte-se em escoamento superficial e ou escoamento subterrâneo mediante infiltração vertical.

Utilizando como referência o mapa geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005b) se observa que a BHBJ é composta por uma grande diversidade geológica, traduzida por 129 unidades litoestratigráficas. Dada esta diversidade, se propôs um agrupamento onde as variáveis influentes nos processos hidrológicos são consideradas homogêneas. Este agrupamento foi classificado segundo critérios de classificação de aquíferos, em consonância com as metodologias de cartografia hidrogeológica adotada pela CPRM. Com relação ao agrupamento das litologias aflorantes, dentre as variáveis mais importantes estão a temporal e afiliação genética que de uma forma ou outra impõe condicionantes para a permeabilidade e a porosidade.

A técnica de agrupamento é comumente utilizada em estudos de hidrogeologia regional, pois facilita a interpretação e manipulação dos dados a cerca da relação entre água subterrânea o ambiente geológico.

A delimitação das Unidades geológicas foi realizada pelo agrupamento e renomeação dos polígonos já existentes, a partir de técnicas de SIG, através do *software ArcGis® 10.1*. A técnica de agrupamento comumente é utilizada em estudos de hidrogeologia regional, pois isso facilita a interpretação e manipulação dos dados a cerca da relação entre água subterrânea o ambiente geológico. Esta técnica de agrupamento assemelha-se ao que vários autores sugeriram como sendo as províncias hidrogeológicas.

Nesta parte da metodologia empreende-se uma caracterização geológica para o desenvolvimento de uma coluna hidroestratigráfica da BHBJ e com isso estimar as proporções de ocorrência de cada uma das unidades na Bacia.

B) CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA QUANTITATIVA

A caracterização quantitativa avalia os dados hidrodinâmicos que estão inseridos no bando de dados, bem como a situação dos poços (se estão em funcionamento ou não) e o destino de uso das águas subterrâneas da Bacia.

A estimativa da quantidade de água explotada de uma região utiliza dados de vazão (Q) dos poços, expressa por m³/h. A produtividade dos aquíferos é indicada pela capacidade específica (qs), ou vazão específica, geralmente expressa em m³/h/m. A qs é determinada pela razão entre a vazão (Q) e o rebaixamento do poço (s) – diferença entre o nível estático (NE) e o nível dinâmico (ND) para um determinado tempo, ou seja, indica o volume de água extraído do poço que faz o nível da água baixar um metro a cada hora de bombeamento. (Feitosa *et al*, 2008).

A produtividade dos aquíferos foi baseada na classificação proposta por Struckmeier & Margat (1995) modificada em Diniz (2012), contudo com algumas simplificações foram utilizadas. A metodologia classifica a produtividade em seis classes de acordo com o intervalo da capacidade específica do aquífero. Trata-se de um critério para classificação aquífera, o qual se constitui na base da metodologia de cartografia geológica implementada pela CPRM em seus mapeamentos de caráter nacional.

A cartografia hidrogeológica da bacia BHBj foi desenvolvida segundo as diretrizes estipuladas no Manual de Cartografia Hidrogeológica, lançado pela CPRM(2014). Neste manual, a grade básica de classificação dos aquíferos está baseada na qs, nas vazões, na transmissividade e condutividade hidráulica, conforme a tabela 3. No mapa gerado para este trabalho a classificação foi estabelecida pelos dados de qs.

A caracterização quanto ao uso dos poços tubulares e exploração das águas subterrâneas, foi realizada calculando as porcentagens para o tipo de uso e o volume de água extraído de cada unidade aquífera da BHBj. Nesta caracterização, se utilizou o *software Excel* para apresentar os dados em forma de gráficos de pizza.

Importante ressaltar que, em casos de omissão das informações de vazão nos poços e, constatando-se estar o respectivo poço em funcionamento (bombeando), agregou-se o valor médio de vazão do aquífero captado ao referido poço. Este artifício tende a superestimar volumes extraídos, prática comum nos Planos de Bacia, pois representa um fator de segurança.

Tabela 3. Caracterização hidráulica das classes dos aquíferos de acordo com a capacidade específica. Onde q_s - Capacidade específica; T – transmissividade; K – condutividade hidráulica e Q – vazão.

q_s (m ³ /h/m)	T (m ² /s)	K (m/s)	Vazão (m ³ /h)	Produtividade	Classe
$\geq 4,0$	$\geq 10^{-2}$	$> 10^{-4}$	≥ 100	Muito Alta: Fornecimentos de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes irrigações). Aquíferos que se destaquem em âmbito nacional.	(1)
$2,0 \leq q_s < 4,0$	$10^{-3} \leq T < 10^{-2}$	$10^{-5} \leq K < 10^{-4}$	$50 \leq Q < 100$	Alta: Características semelhantes à classe anterior, contudo situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos.	(2)
$1,0 \leq q_s < 2,0$	$10^{-4} \leq T < 10^{-3}$	$10^{-6} \leq K < 10^{-5}$	$25 \leq Q < 50$	Moderada: Fornecimento de água para abastecimentos locais em pequenas comunidades, irrigação em áreas restritas.	(3)
$0,4 \leq q_s < 1,0$	$10^{-5} \leq T < 10^{-4}$	$10^{-7} \leq K < 10^{-6}$	$10 \leq Q < 25$	Geralmente baixa, porém localmente moderada: Fornecimentos de água para suprir abastecimentos locais consumo privado.	(4)
$0,04 \leq q_s < 0,4$	$10^{-6} \leq T < 10^{-5}$	$10^{-8} \leq K < 10^{-7}$	$1 \leq Q < 10$	Geralmente muito baixa, porém localmente baixa: Fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos.	(5)
$< 0,04$	$< 10^{-6}$	$< 10^{-8}$	$< 1,0$	Pouco produtiva ou não aquífera: Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimentos restritos ao uso de bombas manuais.	(6)

Fonte: Struckmeir & Margat – Modificado in Diniz (2012)

C) CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA QUALITATIVA

Foi realizado, para cada aquífero, a classificação dos diferentes tipos de águas subterrâneas e avaliação das principais características hidroquímicas. Nas águas subterrâneas a grande maioria das substâncias se encontra no estado iônico (cátions e ânions). Alguns dos principais íons são: sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), bicarbonato (HCO_3^-), cloreto (Cl^-), nitrato (NO_3^-) e sulfato (SO_4^{2-}). (FEITOSA *et al.*, 2008). A representação das análises de água pode ser realizada através do uso de gráficos e diagramas que visem ilustrar variações na qualidade, enfatizar diferenças e similaridades e também identificar processos químicos. O uso dessas técnicas encontra-se descrito a seguir.

• Balanço iônico

O balanço iônico constitui um fator de validação da análise química da água por meio do cálculo do erro da análise. Numa análise hidroquímica completa e correta, a soma dos cátions deve ser aproximadamente igual à soma dos ânions para uma mesma amostra, em miliequivalentes por litro (meq/L). O erro prático que pode ser cometido em análises químicas de água foi definido por Custodio & Llamas (1983). Os valores acima do erro permitido podem indicar que houve erro analítico (técnica de laboratório) ou de cálculo (erros acumulados em cada uma das determinações individuais).

O cálculo balanço iônico foi realizado no *software* livre QualiGraf® (Mobus, 2015) elaborado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), onde o valor do Erro Prático (Ep) permitido é calculado levando em consideração os valores dos ânions e cátions presentes na análise, conforme a equação 1 e tabela 4:

$$Ep(\%) = \frac{\left| r \sum \hat{a}nions - r \sum cations \right|}{\left| r \sum \hat{a}nions + r \sum cations \right|} \times 100 \quad (1)$$

Tabela 4 Erro prático (Ep) para os diferentes valores do somatório de cátions e ânions.

Σ cátions ou Σ ânions	<1	1	2	6	10	30	>30
Ep permitido (%)	15	10	6	4	3	2	1

- **Diagrama de Piper**

O diagrama hidroquímico de Piper (figura 5) é utilizado para classificar e comparar distintos grupos de água em relação ao seu íon predominante (cálcica, cloretada, bicarbonatada, sódica, magnésiana, sulfatada ou mista) ou de acordo com os cátions ou ânions mais abundantes. Com isso, são inseridas as proporções relativas dos íons principais, e não suas concentrações absolutas. Este diagrama possui dois triângulos equiláteros e um losango ao centro, ambos possuem lados divididos em 10 segmentos proporcionais, onde o vértice corresponde a 100% da concentração do íon. No triângulo esquerdo são plotados os valores em porcentagem de miliequivalentes das concentrações dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) e no da direita são plotados os valores dos ânions (CO_3^- , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}). O cruzamento do prolongamento dos pontos na área do losango define sua posição e com isso a classificação da amostra de acordo com sua composição hidroquímica.

A confecção do diagrama é realizada com o uso do *software* de uso livre QualiGraf (Mobus, 2015). Para o cálculo da distribuição percentual de cada cátion e ânion, o programa utiliza as equações 2 e 3, respectivamente, onde as concentrações das espécies iônicas estão expressas em unidade de meqL^{-1} :

$$X(\%) = \frac{C}{([\text{Na}^+] + [\text{K}^+]) + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]} \times 100 \quad (2)$$

$$X(\%) = \frac{A}{[\text{HCO}_3^-] + [\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}]} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

X = distribuição percentual de cada espécie iônica C ou A.

C = concentração de Na^+ + K^+ , Ca^{2+} ou Mg^{2+} .

A = concentração de HCO_3^- , Cl^- ou SO_4^{2-} .

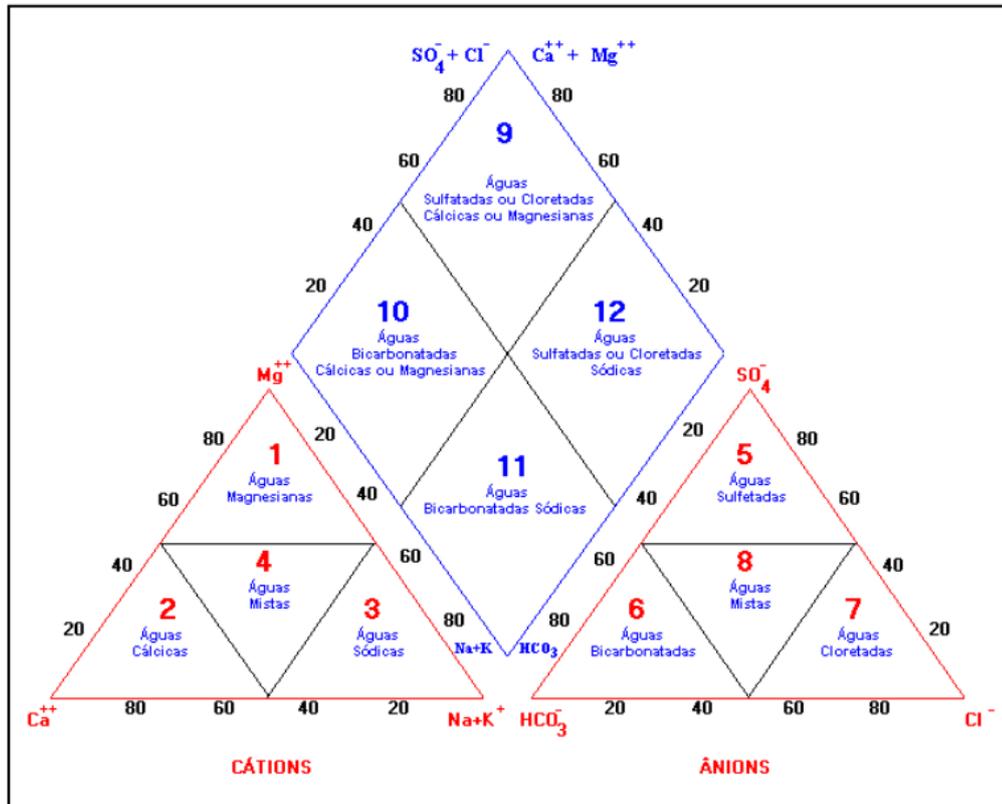


Figura 5 - Modelo de diagrama de Piper.

- **Parâmetros químicos e padrões de potabilidade**

O enquadramento das águas foi estabelecido através da comparação dos valores das concentrações das espécies químicas presentes nas águas com os valores definidos na legislação vigente.

A avaliação da potabilidade foi baseada na Portaria MS 2914/11, do Ministério da Saúde (MS), que define os Valores Máximos Permitidos (VMP) de diferentes parâmetros orgânicos, inorgânicos, agrotóxicos e microorganismos da água para consumo humano. A Resolução CONAMA nº 396/08 trata das águas subterrâneas e dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento e estipula os VMP de parâmetros que possuem maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas.

Com base na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), e através do software Qualigraf (2009), as águas foram classificadas em função da concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), que são: Doces (0 - 500 mg/L), Salobras (500 – 1500 mg/L) e Salinas (> 1500 mg/L).

- **Classificação para uso na agricultura**

A classificação das águas para irrigação é determinada pela concentração de alguns íons, tais como o sódio, potássio, cloreto e sulfato, e parâmetros como os sais dissolvidos, condutividade elétrica e a concentração total de cátions, que influenciam de maneira diferenciada no crescimento de cada espécie vegetal.

Dentre os critérios existentes para classificar a água para uso na irrigação, um dos mais aceitos e usados, o do *United States Salinity Laboratory* (USSL), de Riverside. Essa classificação é baseada na razão de adsorção de sódio (SAR) e na condutividade elétrica (CE) da amostra, que classifica a água subterrânea de acordo com os efeitos que sua aplicação provoca no solo e na vegetação. As categorias de água para irrigação segundo o USSL são:

C1 – Águas de Salinidade Baixa: podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de incidentes quanto à salinização do solo.

C2 - Águas de Salinidade Média: devem ser usadas com precaução, em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-siltosos, quando houver uma lixiviação moderada do solo. Os vegetais de fraca tolerância salina podem ser cultivados, na maioria dos casos, sem perigo.

C3 – Águas de Alta Salinidade: só podem ser usadas em solos bem drenados. Apenas vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados.

C4 - Águas de Salinidade Muito Alta: geralmente não servem para irrigação, todavia podem ser excepcionalmente utilizadas em solos arenosos, permeáveis, abundantemente irrigados. Apenas os vegetais de altíssima tolerância salina podem ser cultivados.

C5 - Águas de Salinidade Extrema: utilizáveis apenas em solos excessivamente permeáveis e, unicamente para palmeiras.

S1 - Águas Fracamente Sódicas: presta-se ao cultivo de quase todos os vegetais.

S2 - Águas Medianamente Sódicas: podem ser utilizadas para solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica e com boa permeabilidade.

S3 - Águas Altamente Sódicas: há perigo de formação de teores nocivos de sódio na maioria dos solos, salvo nos solos gipsíferos.

S4 – Águas Extremamente Sódicas: geralmente imprestáveis para irrigação, salvo se a salinidade global é fraca ou pelo menos média.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização Hidrogeológica Quantitativa

A avaliação quantitativa dos poços da BHBJ abordou aspectos sobre os usos, situação dos poços e a produtividade das diferentes Unidades Hidrogeológicas. Numa avaliação geral do banco de dados quantifica-se que 75% dos poços possuem dados hidrodinâmicos completos ou parciais, 56% com dados de uso e 82% com dados da situação dos poços.

A) SITUAÇÃO E USO DOS POÇOS

A distribuição geral da situação dos poços da BHBJ está discriminada na figura 6. Dos poços que apresentam condições de uso, 42% estão em pleno funcionamento (bombeando) e 3% deles estão equipados, mas ainda sem funcionamento. Existe em torno de 22% de poços que possuem possibilidade de uso se realizadas as devidas melhorias (recursos de recuperação, limpeza, conserto ou instalação de equipamento e aprofundamento), pois 11% estão abandonados, 4% fechados, 6% não instalados e 1% estão precários. Ainda há poços que estão sem condições de uso, pois 4% estão obstruídos, e 11% são poços que não produzem água (poço seco ou poço nulo). Ainda há um significativo número de poços sem informação – 18%.

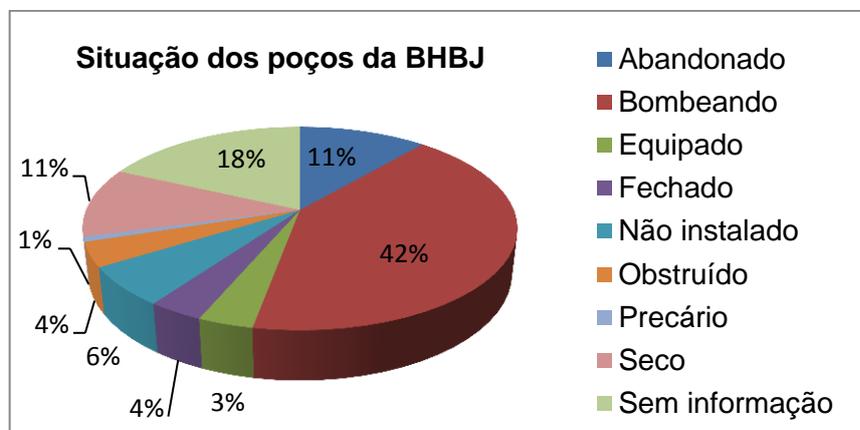


Figura 6 - Distribuição da situação em que se encontram os poços da BHBJ a partir da análise de 514 poços do SIAGAS.

Conforme a figura 7, a maior parte dos poços não possui informação sobre seu uso (44%). Dos poços que possuem informações, a maior quantidade deles (34%) é destinada ao abastecimento humano (23% ao consumo doméstico e 11% ao abastecimento urbano). O abastecimento múltiplo (usos múltiplos, como abastecimento humano e dessedentação animal e/ou irrigação) fica com a parcela de 17%. O abastecimento industrial e a irrigação exclusiva utilizam 2% dos poços, cada uma. Cerca de 1% dos poços é utilizado para outros fins, como recreação.

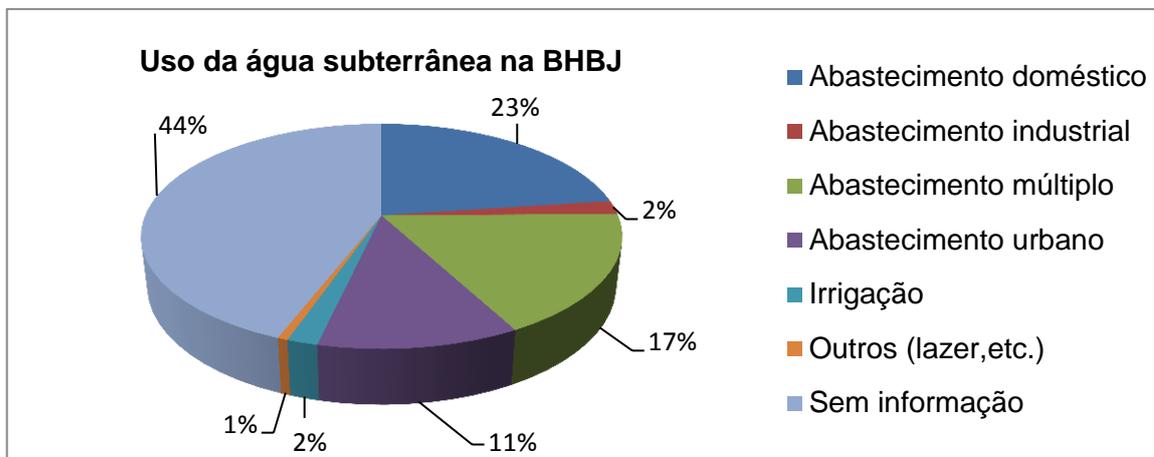


Figura 7- Quantificação dos diferentes usos das águas subterrâneas da BHBJ a partir da análise de 514 poços do SIAGAS.

Os diferentes usos dos poços refletem as diferentes condições existentes na BHBJ, áreas onde há maior densidade populacional e também áreas de agricultura e pólos industriais.

A significativa falta de informações sobre o uso e a situação dos poços é problemática, e representa um obstáculo na contabilidade hídrica. Essa lacuna na quantificação torna difícil a correta caracterização dos aquíferos e consequentemente, dificulta a gestão dos mesmos. A quantidade de poços nulos também merece atenção, pois os mesmos podem se tornar vetor de contaminação dos aquíferos quando não estiverem devidamente tamponados, podendo haver percolação esporádica de água contaminada para dentro do substrato rochoso.

Apesar da falta de informação, grande parte dos poços é utilizada para o consumo humano, o que implica na obrigatoriedade de padrões de potabilidade em conformidade com a legislação. Para tal consumo, por vezes, baixas vazões já são necessárias para o suprimento das necessidades. As indústrias e a irrigação

geralmente dependem de grandes volumes de água, ou seja, extrair maiores vazões, e por vezes por um longo tempo de bombeamento dos mesmos.

B) DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS POÇOS

Na figura 8 está representada a distribuição espacial dos 514 poços no âmbito da BHBJ. É notável uma maior concentração de poços na porção noroeste da Bacia, coincidindo com as áreas urbanas de diversos municípios, e uma baixa concentração de poços na porção sul. O município que mais contém poços é Cachoeira do Sul, mas o mesmo também possui a maior área territorial. Já os municípios que não apresentam nenhum registro de poço são Dom Feliciano, Mariana Pimentel, Montenegro e Sertão Santana, porém, os dois últimos possuem apenas uma parcela da sua área territorial contida nos limites da Bacia.

C) GEOLOGIA DA BHBJ

Utilizando o mapa da figura 9 confeccionado para a Bacia, foi calculada a porcentagem das áreas aflorantes para cada Formação, que estão discriminadas na tabela 5.

Na BHBJ, em termos de distribuição de arcabouço geológico aflorante, observa-se relativa continuidade lateral, fato que permite dividir a área da Bacia em quatro segmentos. Na porção sul afloram principalmente as rochas do Embasamento - rochas sedimentares, metamórficas e vulcânicas Neoproterozóicas e granitóides associados. Na porção Centro-Sul ocorrem as litologias Permianas e no Centro-Norte as formações Triássicas. Na porção Norte se situa as Formações Jurássicas e Cretáceas. Os Depósitos Holocênicos cobrem parte da área centro-norte, acompanhando o leito do Rio Jacuí e seus afluentes.

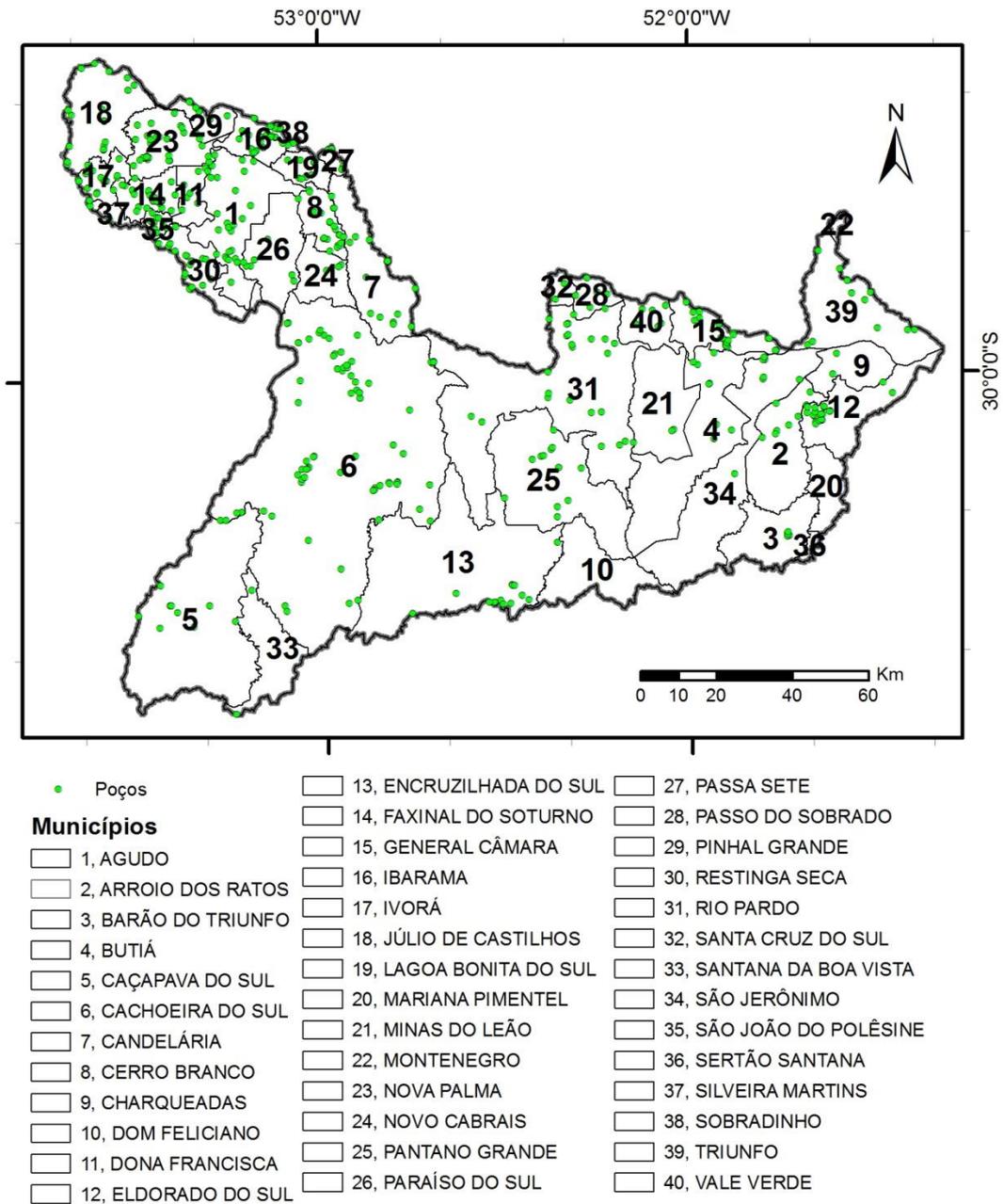


Figura 8 - Mapa com a localização dos poços nos municípios que compõe a BHB.

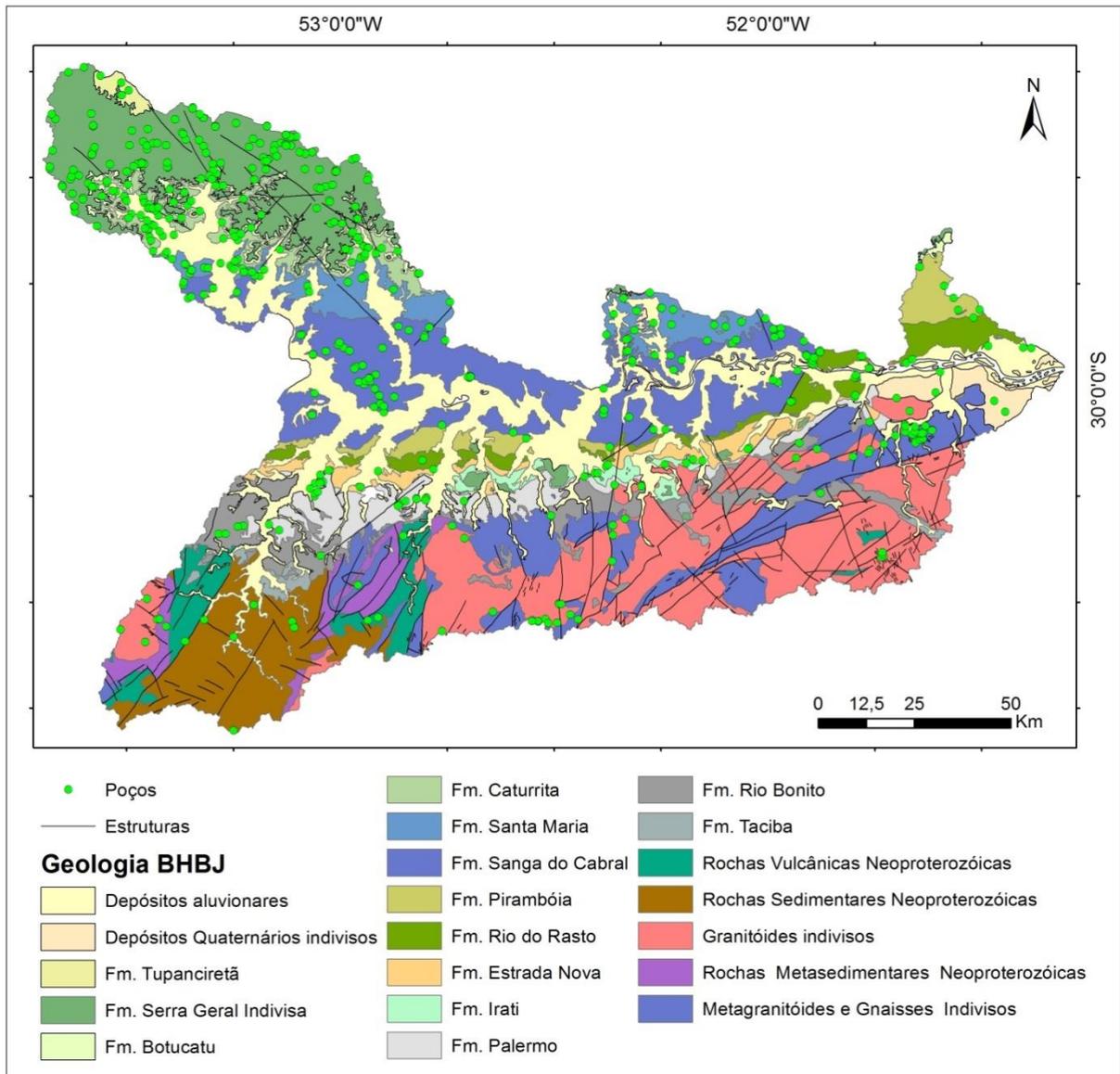


Figura 9 – Mapa geológico da BHBJ e a distribuição espacial dos poços. Fonte: Modificado de CPRM (2005).

D) PRODUTIVIDADE DOS POÇOS

As unidades aquíferas, o número de poços, bem como a capacidade específica (média, máxima e mínima) e vazão (média, máxima, mínima e extraída) estão apresentadas na tabela 5.

As vazões e capacidades específicas foram baseadas nas informações dos poços, independente deles estarem em funcionamento (bombeando) ou não, pois mesmo que não estejam em atividade possuem dados da época de sua perfuração, trazendo assim importantes informações sobre o sistema subterrâneo. A vazão

extraída (2557,5m³/h) foi calculada com base nos poços que estavam em funcionamento (bombeando), e naqueles que, apesar de estarem em funcionamento não dispunham da informação de vazão, agregou-se um valor médio do aquífero captado.

Como parâmetro de avaliação da produção dos poços, considerou-se a capacidade específica, pois esta, quando comparada à vazão, é mais diretamente relacionada ao potencial do aquífero, pois também leva em conta o rebaixamento do nível da água, visto que a vazão está mais condicionada pela potência da bomba instalada.

A figura 10 ilustra o mapa hidrogeológico confeccionado em função da capacidade específica dos aquíferos. As unidades hidrogeológicas foram classificadas de 1 a 6 conforme os intervalos definidos por Struckmeir & Margat, na tabela 3 (capítulo 3, item 3.2.B). Para as unidades hidrogeológicas porosas foram atribuídos tons de azul escuros e claros, os quais indicam melhor e pior produtividade respectivamente. Nas unidades hidrogeológicas fraturadas a cor verde indica melhores aquíferos do que os da região bege do mapa. Assim, correlacionando as cores e as siglas das Formações torna-se mais fácil prever se o aquífero subjacente à unidade aflorante possui maior ou menor produtividade.

De uma forma geral, pode-se dizer que os aquíferos da porção norte da Bacia possuem melhores rendimentos que os aquíferos da porção Sul. Este fato está diretamente relacionado ao tipo de rocha onde a água está contida.

Vale ressaltar que as qs dos Depósitos Aluvionares e Quaternários Indivisos foram estimados com base no mapa Hidrogeológico do RS (CPRM, 2005a), que embora possuam elevada qs, possuem uma espessura reduzida e geralmente baixas vazões, devido, principalmente, ao tipo de poço construído (ponteira ou cacimba) para a captação dessas águas. Também se deve ressaltar que por serem sedimentos de cobertura são mais suscetíveis à contaminação antrópica.

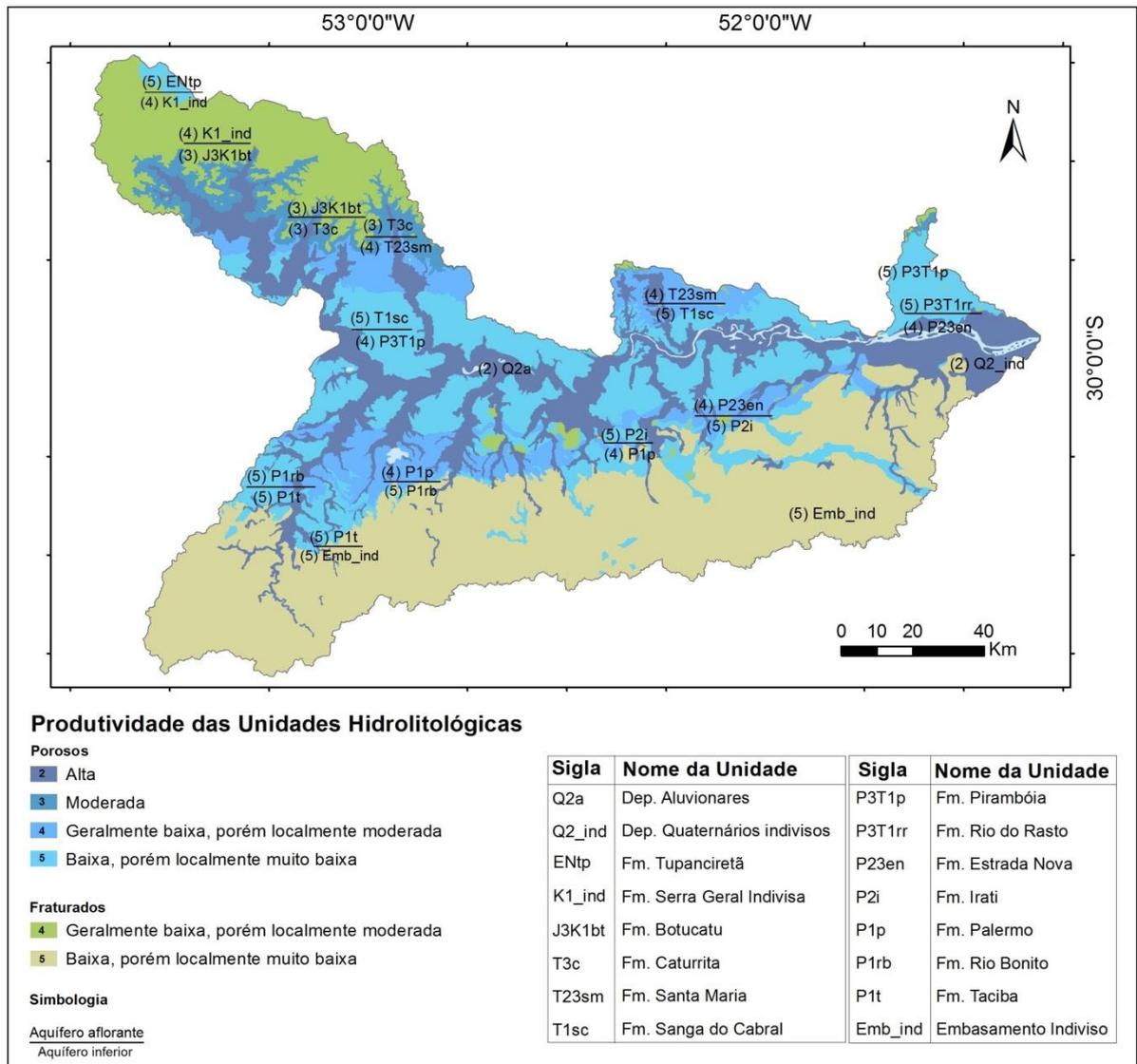


Figura 10 - Mapa hidrogeológico da BHBj. As classes de produtividade estão representadas de acordo com as cores, distinguindo as unidades porosas das fraturadas.

Tabela 5 - Quantificação da área aflorante, número de poços, vazões (Q) e Capacidade Específica (qs) dos poços das diferentes Unidades hidrogeológicas. *Ni: informação insuficiente.

Unidade hidrogeológica	% de área aflorante	Nº poços	Q média (m³/h)	Q mínima (m³/h)	Q máxima (m³/h)	Q extraída (m³/h)	qs média (m³/h/m)	qs mínima (m³/h/m)	qs Máxima (m³/h/m)
Depósitos Aluvionares	23,72	0	-	-	-	-	-	-	-
Depósitos Quaternários Indivisos	1,35	0	-	-	-	-	-	-	-
Fm. Tupanciretã	0,41	4	2,1	1,2	3,0	3,6	0,23	*Ni	*Ni
Fm. Serra Geral Indivisa	6,6	132	7,0	0,8	35,26	538,3	0,82	0	7,2
Fm. Botucatu	7,41	19	12,2	1,9	40,0	118,5	1,05	0,11	2,94
Fm. Caturrita	5,01	64	12,4	1,4	60,0	440,2	1,06	0,08	4,14
Fm. Santa Maria	4,13	58	11,4	0,8	85,0	415,9	0,87	0,04	4,66
Fm. Sanga do Cabral	7,76	45	6,8	0,1	56,5	181,6	0,36	0,02	2,17
Fm. Pirambóia	1,62	7	2,1	1,5	3,1	8,1	0,03	0,01	1,5
Fm. Rio do Rasto	2,84	78	4,9	0,3	30,0	272,8	0,32	0	1,36
Fm. Estrada Nova	2,63	8	7,11	2,9	11,51	49,7	0,41	0,06	0,71
Fm. Irati	1,67	3	5,3	5,0	5,6	5,6	0,3	*Ni	*Ni
Fm. Palermo	4,38	4	7,4	5,0	9,0	24,7	0,44	0,13	0,86
Fm. Rio Bonito	6,78	16	3,44	0,5	11,5	27,5	0,3	0	1,68
Fm. Taciba	1,29	0	-	-	-	-	-	-	-
R. Vulcânicas Neoproterozóicas	2,78	4	3	2,7	3,5	6,3	0,17	0,06	0,28
R. Sedimentares Neoproterozóicas	3,02	6	5,9	0,1	23,3	31,4	0,97	0	3,88
Granitóides indivisos	7,83	32	6,5	1,4	35,7	133,9	0,76	0,02	3,57
R. Metassedimentares Neoproterozóicas	2,04	3	1,6	1,3	1,9	4,7	0,056	*Ni	*Ni
Metagranitóides e Gnaisses Indivisos	6,55	31	10,0	0,5	45,0	253,71	0,31	0,03	1,1

A capacidade específica, obtida a partir da análise de 239 poços que continham valores de NA, ND e Q, indica que a produtividade da Bacia é geralmente baixa, porém localmente moderada, com valor médio de $0,95 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Os valores médios de q_s variam de $0,23$ a $1,06 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ nas Unidades porosas e de $0,056$ a $0,97 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ nas Unidades fraturadas.

A vazão média da BHB, de $8,02 \text{ m}^3/\text{h}$, é considerada baixa, evidenciando o relativo baixo potencial de água subterrânea na Bacia se comparado a outras regiões do Estado. A vazão dos poços é bem heterogênea ao longo da BHB, pois varia desde poços secos até vazões de $85 \text{ m}^3/\text{h}$ nas diferentes unidades hidroestratigráficas.

Algumas considerações específicas sobre as unidades aquíferas cartografadas podem ser identificadas:

- **Unidade Hidroestratigráfica do Quaternário**

Na BHB as coberturas Holocênicas abrangem uma área de $25,07\%$, distribuídas ao longo das principais drenagens. Como em geral os poços possuem profundidades inferiores a 20m , não se capta água dessas unidades.

- **Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral**

A Formação Serra Geral mesmo ocupando $6,60\%$ da área, possui grande importância do ponto de vista hidrogeológico, pois nela ocorre o maior número de perfurações, com 132 poços extraíndo uma vazão total de $538,3 \text{ m}^3/\text{h}$. A produtividade dos poços pode ser classificada como geralmente baixa, porém localmente moderada, e localmente pode ser moderada a muito alta, indicando nesse caso, que as fraturas da rocha são constantemente recarregadas. Esses valores são convergentes com os descritos por Machado e Freitas (2005), que indicam q_s inferior a $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, e em áreas mais fraturadas podem ser encontrados valores superiores a $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

- **Unidades Hidroestratigráficas Botucatu, Caturrita, Santa Maria, Sanga do Cabral e Pirambóia**

O SAG abrange 25,93% da área aflorante da BHBJ, distribuído nas Formações Botucatu, Caturrita, Santa Maria e Sanga do Cabral e Pirambóia, que juntas somam 193 poços. As vazões médias das unidades estão entre 2 e 12 m³/h, mas podem chegar a vazões de até 85m³/h. Embora possuam significativas vazões, a produtividade é geralmente baixa a muito baixa, os valores médios de qs das diferentes unidades variam de 0,03 a 1,06 m³/h/m, porém localmente a produtividade pode ser alta podendo ultrapassar 4 m³/h/m nas Unidades Caturrita e Santa Maria.

Embora Machado e Freitas (2005) caracterizem a Unidade Caturrita como de menor importância hidrogeológica, na BHBJ ela aparece como a Unidade mais perfurada do SAG, possui 64 poços e extrai-se dela uma vazão total de 440,2 m³/h. As unidades Caturrita e Botucatu apresentam as melhores produtividades dentro do SAG.

A unidade hidroestratigráfica Pirambóia raramente ultrapassa a vazão de 3 m³/h e sua produtividade é sempre inferior. Já a unidade hidroestratigráfica Santa Maria, apresenta capacidade específica baixa e raramente chega à média e muito alta, mas por vezes tem significativas vazões. A unidade Sanga do Cabral possui vazão média de 6m³/h, e produtividade geralmente muito baixa, porém localmente baixa, mas localmente pode ter produtividade moderada.

- **Unidades Hidroestratigráficas Rio do Rasto, Estrada Nova, Irati, Palermo, Rio Bonito.**

As unidades Permianas Pré-SAG representam 19,59% da área e tem 109 poços perfurados. Normalmente os poços que captam água somente dessas litologias apresentam vazões baixas ou estão secos. A produtividade em geral é baixa, porém localmente moderada, não ultrapassando 1,68 m³/h/m.

Os volumes mais significativos extraídos dessas unidades estão relacionados com fraturas e com as intercalações arenosas, que ocorrem entre os siltitos e argilitos. As unidades Permianas possuem relativa importância na BHBJ, visto que são retirados 421,3 m³/h. Da Formação Rio do Rasto é retirada uma vazão na ordem de 272,8 m³/h, em 90 poços, possuindo assim, o maior volume de água extraído das unidades Permianas pré-SAG.

- **Unidade Hidroestratigráfica do Embasamento**

O Embasamento da BHBj, que é representado por rochas Vulcânicas e Sedimentares Neoproterozóicas, Granitóides Indivisos, Metagranitóides e Gnaisses e Metassedimentares ocupam 22,22% da área e possuem 76 poços perfurados que juntas extraem 430,01 m³/h. Dentre as rochas do embasamento, os Granitóides Indivisos e Metagranitóides e Gnaisses possuem maior quantidade de poços, visto que também possuem maior área aflorante, também possuem as maiores vazões médias, 6,5 m³/h e 10 m³/h respectivamente. A produtividade da Unidade geralmente é muito baixa, ou baixa a localmente baixa. As rochas Granitóides Indivisos e Rochas Sedimentares Neoproterozóicas, podem ser localmente não aquífera (quando não associada a fraturas) a moderadamente produtiva (com presença de fraturas).

4.2 Caracterização hidrogeológica qualitativa

A composição química das águas subterrâneas depende fundamentalmente do arcabouço geológico por onde escoam e se armazenam as águas e do tempo no qual esta dinâmica se processa. Por esta razão, em função do tipo de aquífero e do tipo de rocha com a qual os fluídos mantêm contato, é possível realizar previsões sobre sua qualidade. A avaliação qualitativa levou em consideração as análises químicas existentes no SIAGAS, no qual seus resultados foram comparados com a legislação vigente a fim de avaliar seu grau de potabilidade. A caracterização dos tipos das águas da BHBj foi realizada pela construção de diagramas Piper.

A) AVALIAÇÃO DO BANCO DE DADOS

A inserção das informações sobre qualidade da água no Banco de dados é trabalhosa, visto que se insere manualmente item por item de cada dado da análise química, e algumas vezes ainda são necessárias conversões de unidades. Por isso podem ocorrer inconsistências de dados, seja por erros humanos, como, por exemplo, na digitação, ou frente ao uso de diferentes metodologias empregadas nas mais diversas empresas e laboratório que geram essas informações. Com isso checkou-se que 62% dos poços utilizados neste estudo apresentam análise química completa ou parcial.

B) BALANÇO IÔNICO

Foi realizado o balanço iônico em 118 amostras que possuíam análise química completa (dados de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} e condutividade elétrica). O Erro Máximo Permitido (EMP) de 10% indicou que 54 amostras estavam com o balanço iônico correto, ou seja, aptas para uso nas interpretações. O número significativo de amostras que não atenderam ao balanço iônico pode estar relacionado com erros no processo de coleta, análise e/ou armazenamento das amostras, bem como pela disparidade entre as metodologias utilizadas.

C) CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SEGUNDO DIAGRAMA PIPER

Utilizando os poços que possuíam balanço iônico dentro do EMP, foi confeccionado um Diagrama de Piper para cada conjunto de amostras da mesma unidade hidroestratigráfica. As figuras 11, 12, 13, 14 e 15 ilustram as classificações segundo esse Diagrama.

Foram encontradas mais de um tipo hidroquímico nas águas subterrâneas da BHBJ, sendo que em sua maioria predominaram águas bicarbonatadas cálcicas, seguidas por bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas mistas.

A presença de diferentes grupos de água pode estar relacionada ao grau de confinamento dos aquíferos, pois sendo a circulação e o tempo de residência

diferente, implicará em diferentes tipos de água. Geralmente as águas bicarbonatadas cálcicas estão associadas aos aquíferos livres e ao tempo de residências menores (circulação mais rápida), mas podem ter relação com o cimento da rocha, pois se os arenitos tiverem como cimento carbonato de cálcio as águas serão mais cálcicas.

A Unidade hidroestratigráfica Serra geral apresenta predominantemente águas do tipo Bicarbonatadas cálcicas. Para Reginato (2009) o campo das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas está de acordo com a composição química das litologias que hospedam o sistema aquífero fraturado. Essa relação indica que a fonte original dos cátions Ca^{+2} , Na^{+} e Mg^{+2} está associada com a alteração dos silicatos que constituem as rochas vulcânicas da região. O valor anômalo para o conjunto de amostras pode indicar uma mistura de águas, que ocorrem quando há presença de extensas e/ou profundas fraturas.

A Formação Caturrita apresenta águas do tipo Bicarbonatadas cálcicas a bicarbonatadas sódicas. A Formação Santa Maria apresenta águas do tipo Bicarbonatadas sódicas a bicarbonatadas cálcicas e sulfatadas. Para Hausman (1995) as águas da Formação Santa Maria também apresentam águas Bicarbonatadas sódicas podendo conter teores mais elevados dos íons SO_4^{2-} em direção ao oeste do Estado.

A Formação Rio do Rasto apresenta águas do tipo Bicarbonatadas sódicas, apresentando boa correlação com trabalhos anteriores, como o de Hausman (1995).

Os Granitoides Indivisos apresentam águas do tipo Bicarbonatadas mistas. Para Hausman (1995) as águas da província cristalina apresentam águas bicarbonatadas sódicas a levemente mistas. Para esse autor, as águas intensamente mineralizadas são esparsas e estão relacionadas com percolação em fraturas mineralizadas.

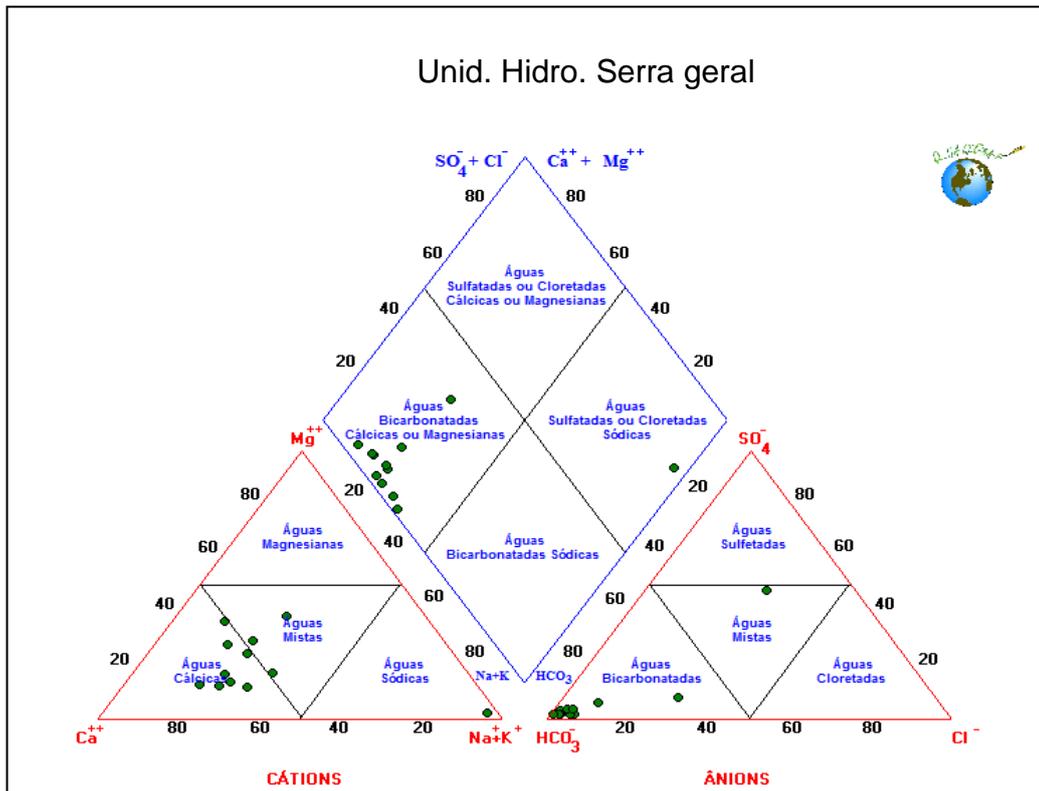


Figura 11 - Classificação segundo o diagrama Piper da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral indicando a predominância de águas bicarbonatadas cálcicas a mistas.

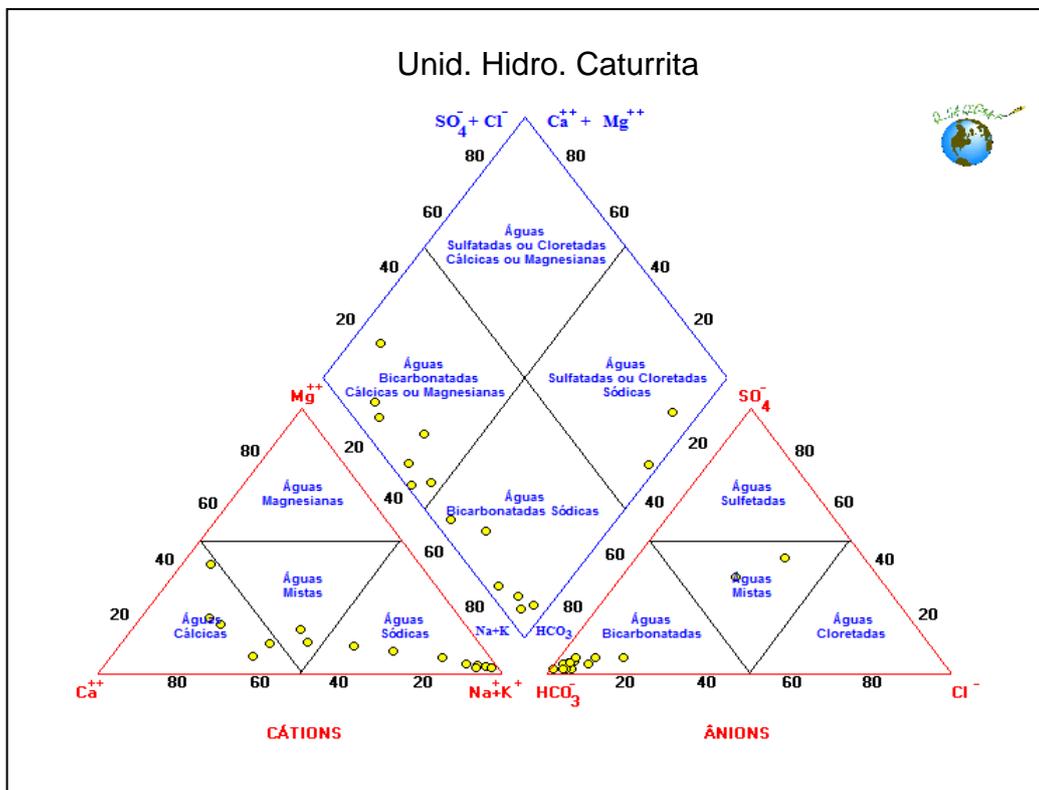


Figura 12 - Classificação segundo o diagrama Piper da Unidade hidroestratigráfica Caturrita indicando a predominância de águas bicarbonatadas cálcicas a bicarbonatadas sódicas

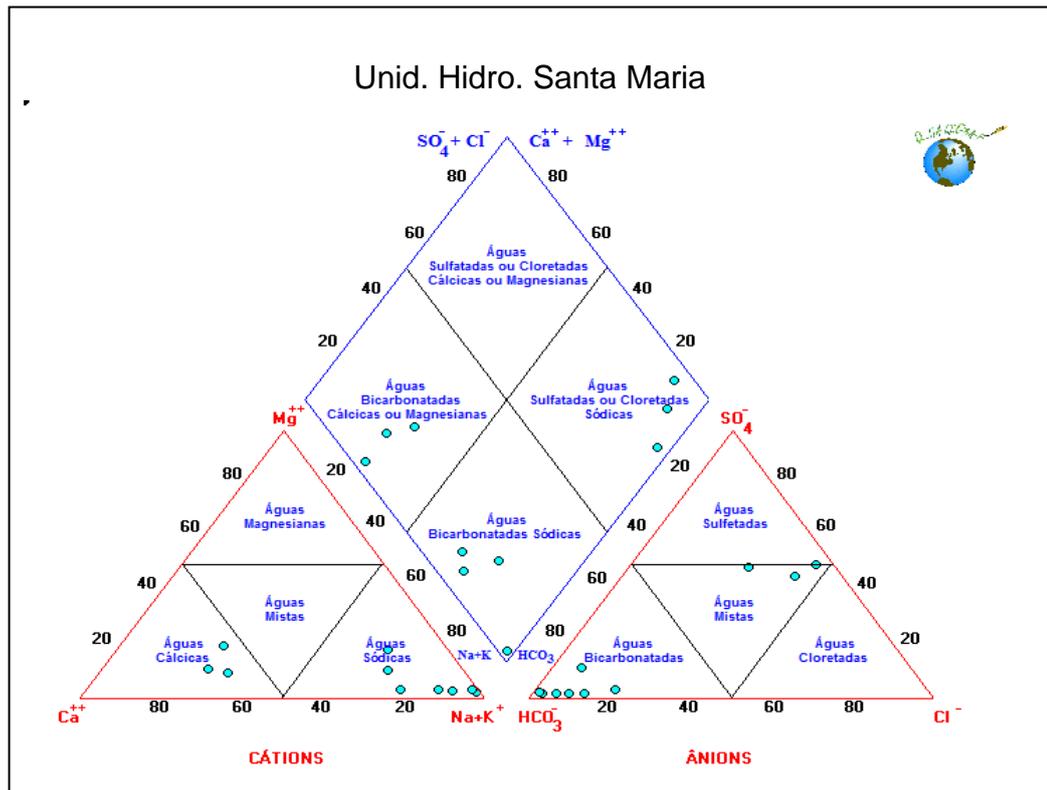


Figura 13 - Classificação segundo o diagrama Piper da Unidade hidroestratigráfica Santa Maria indicando a predominância de águas bicarbonatadas sódicas a bicarbonatadas calcica e levemente sulfatadas

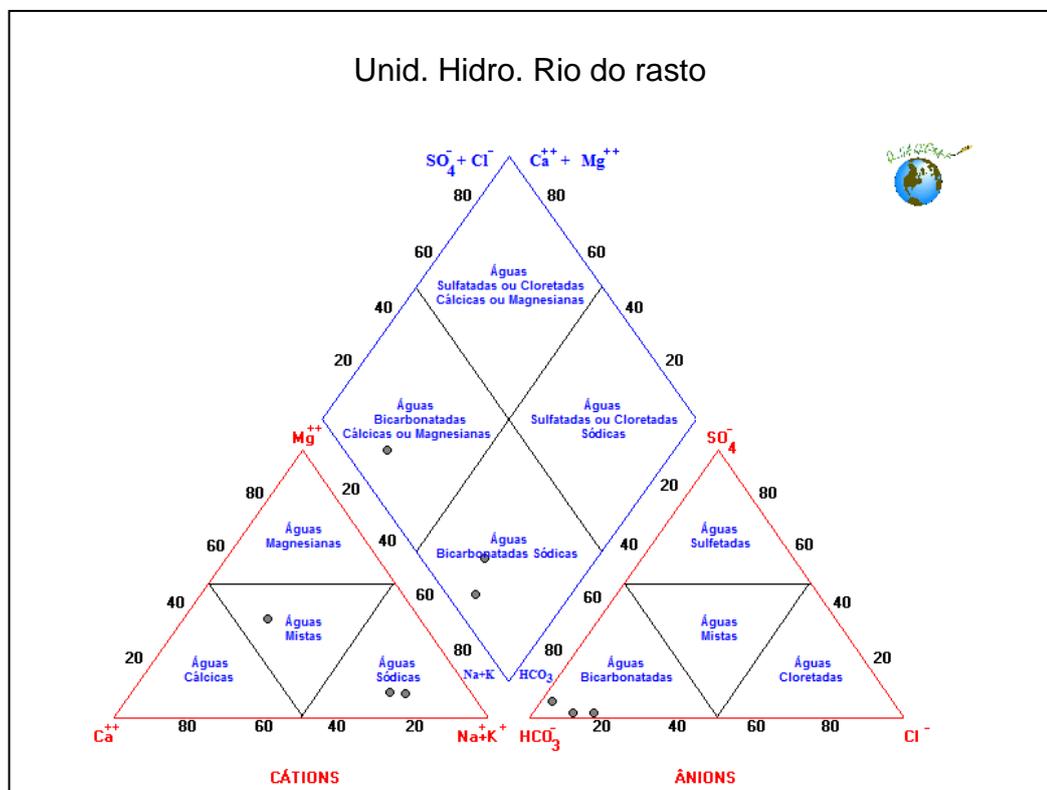


Figura 14 - Classificação segundo o diagrama Piper da Unidade hidroestratigráfica Rio do Rasto indicando a predominância de águas bicarbonatadas sódicas.

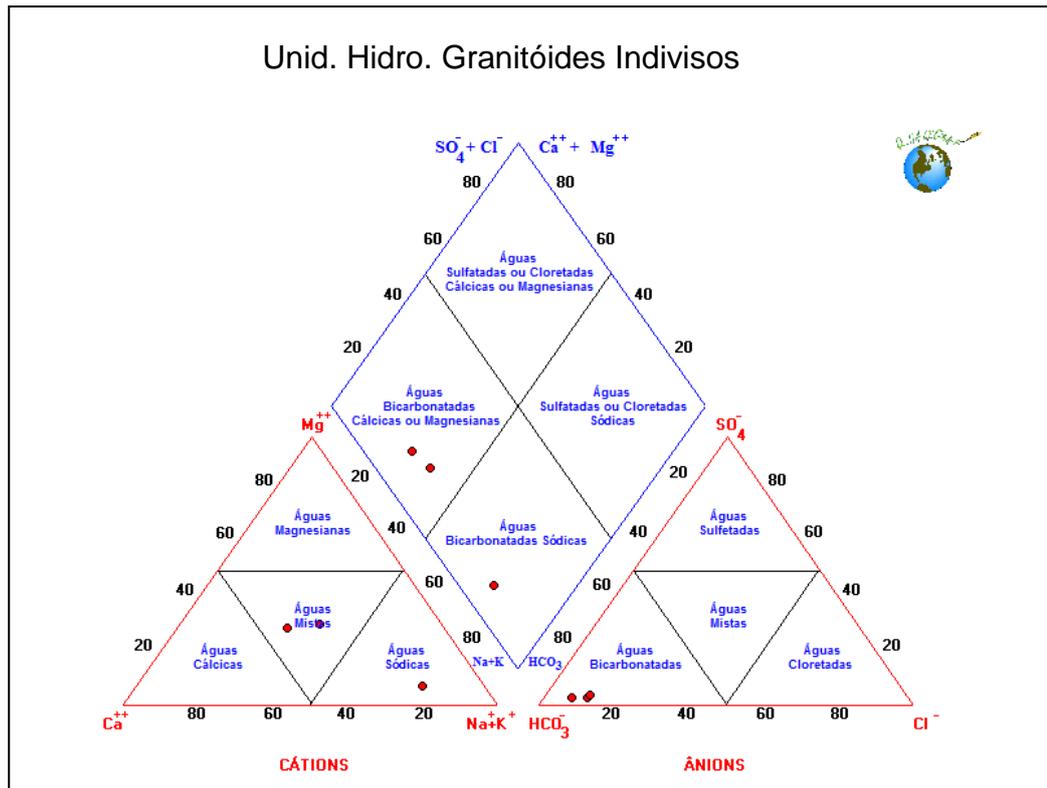


Figura 15 - Classificação segundo o diagrama Piper da Unidade hidroestratigráfica Granitóides Indivisos indicando a predominância de águas bicarbonatadas mistas.

D) PARÂMETROS QUÍMICOS E PADRÕES DE POTABILIDADE

Das águas subterrâneas extraídas da Bacia do Baixo Jacuí, 34% são destinadas ao abastecimento humano, com isso, o critério de potabilidade destas águas deve obedecer às exigências da legislação vigente. Comparando as concentrações dos íons com os valores máximos permitidos (VMP) na Portaria 2914/2011 alguns poços apresentam valores em discordância com a legislação vigente, essa comparação encontra-se descrita na tabela 6.

Considerando os poços que possuem informação quanto ao STD, e estavam com balanço iônico dentro do EP, aproximadamente 89 % dos poços apresentaram águas doces com o teor entre 0 e 500 mg/L. As águas salobras somam 6% dos poços distribuídas nas Formações Caturrita, Estrada Nova e Serra Geral. Já as águas salinas (STD>1500mg/L) ocorrem em 4% dos poços, na Formação Santa Maria.

Dos poços avaliados, sete estavam com teores de sódio acima de 200mg/L nos municípios de Triunfo, Dona Francisca, Faxinal do Soturno (3 poços) e Agudo (2 poços), este último apresenta valores até de 832 mg/L. Nos mesmos poços de

Agudo também foram observados valores de STD acima do permitido, com valor máximo de 16477,0 mg/L, também ocorre com o íon cloreto, atingindo valores de 678 mg/L. Ainda neles os valores de sulfato também estavam em discordância com a legislação, com valores de até 992 mg/L.

Tabela 6- Concentrações dos principais íons dissolvidos nas águas subterrâneas da BHBJ. VMP: Valor máximo permitido (2914). NAVMP: número de amostra com teor acima do VMP.

	Concentração em mg/L								
	Na	K	Ca	Mg	Cl	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	STD
Mínimo	1	0,6	0,5	0,2	0,36	4	10	0,38	34,0
Máximo	832	20	78	24	678	48	254	992	16477,0
Média	74,96	2,77	17,8	3,87	35,85	19,75	126,03	86,81	642,5
VMP	200				250			250	1000
NAVMP	7				2			6	2

A salinidade também pode ser avaliada pelo valor da condutividade elétrica, que é proporcional ao conteúdo de STD. A obtenção dessa informação geralmente é mais fácil, e muitas vezes é realizada *in situ*, além do que independe do balanço iônico para afirmar a qualidade do dado, talvez por isso, o SIAGAS apresente mais poços com essa informação do que a de STD.

Para visualizar espacialmente a distribuição da salinidade da água subterrânea da BHBJ, foi gerado uma mapa (figura 16) coma condutividade elétrica, através da ferramenta Vizinhos Naturais, do *software ArcGis*. Nele é realizada a interpolação a partir de pontos próximos, gerando um mapa com variações tonais que indicam diferentes valores. Para reduzir o efeito de erro das bordas, também foi utilizado os dados dos poços localizados num raio de 10km da BHBJ e foi atribuído o valor zero para os poços que não continham informação de CE. É importante ressaltar que os valores de salinidade, neste mapa, não tem correlação direta com a litologia aflorante, mas ilustra áreas com maior probabilidade de perfurar poços que apresentem maior (cores quentes) ou menor salinidade (cores frias).

Observa-se uma tendência das águas da porção NW e central da Bacia apresentar valores altos de CE enquanto no SW ocorrem valores medianos. Na porção NW os altos valores de CE estão relacionados com a Formação Santa Maria, Caturrita e Serra Geral, e por vezes pode ocorrer uma mistura das águas entre essas formações devido a estruturação estratigráfica e profundidade de captação dos poços, bem como por fraturas regionais, ou locais. Na porção central as

concentrações elevadas de CE estão relacionadas com as Formações Rio do Rasto, Irati e Estrada Nova.

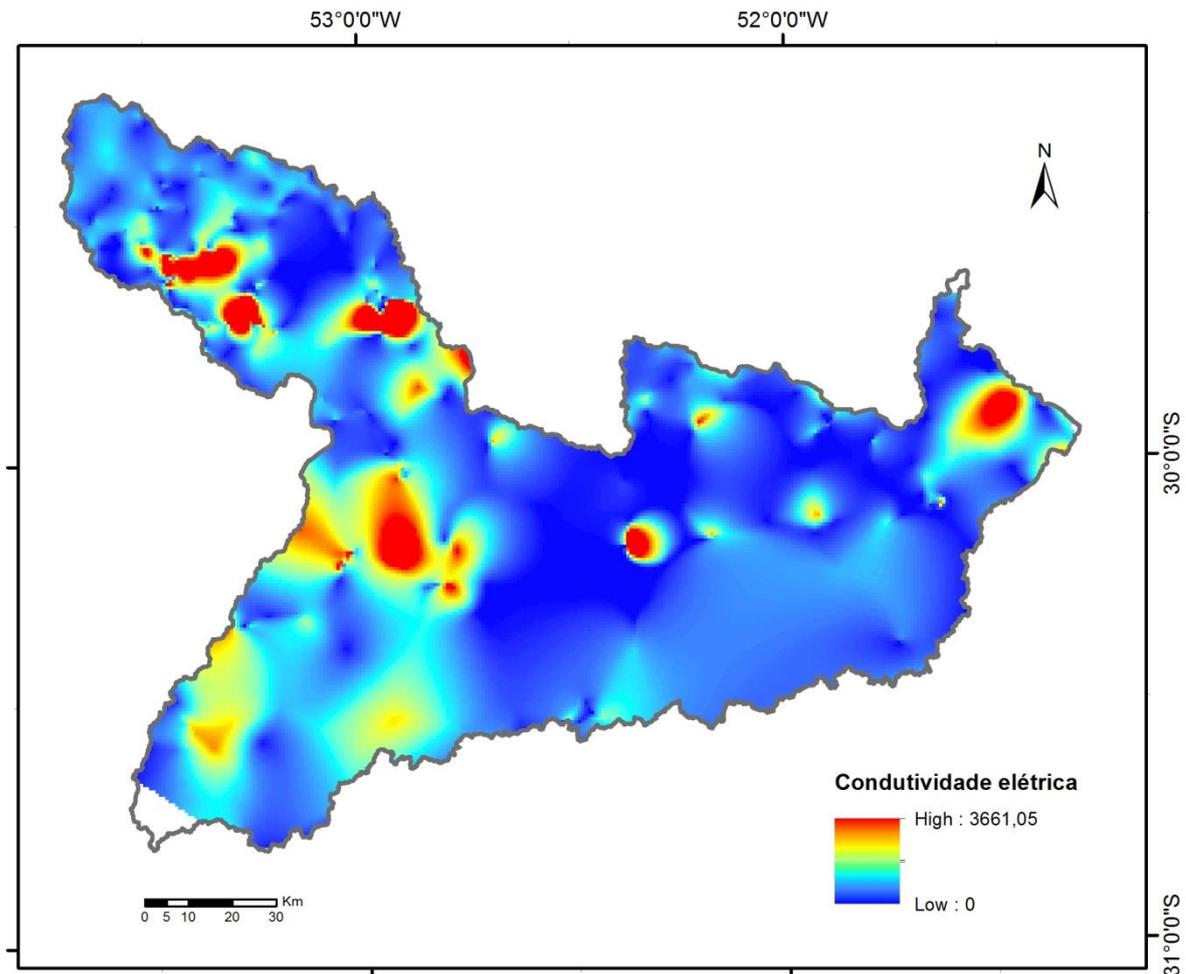


Figura 16- Mapa de condutividade elétrica utilizando o método de interpolação de vizinhos naturais. Foi levado considerado os poços situados num raio de 10km da BHBJ. Valores iguais a zero indicam pontos sem informação.

Em relação ao íon nitrato, os poços da BHBJ em geral não estão contaminados. Apenas um poço, em Caçapava do Sul, apresentou valor de 29,61 mg/L que está acima do valor máximo permitido (10 mg/L), nas rochas Sedimentares Neoproterozóicas.

Segundo a Portaria MS 2914/2011 o teor máximo permitido de fluoretos (F^-) em águas subterrâneas é 1,5 mg/L. Na BHBJ valores elevados de fluoreto aparecem em 20 poços, que ocorrem na porção central e norte da Bacia como ilustra a figura 17. Os municípios que apresentam algum poço com concentração de F^- acima do permitido são:

- Agudo com 4,20 mg/L na Formação Santa Maria;
- Arroio dos Ratos com 3,54 mg/L nas rochas Metagranitóides e gnaisses Indivisos e com 8,15 mg/L nos Granitóides Indivisos;
- Butiá com 2,18 mg/L na Formação Sanga do Cabral;
- Cachoeira do sul com 1,69 mg/L na Formação Rio do Rasto;
- Dona Francisca com 3,50 mg/L na Formação Caturrita;
- Eldorado do Sul com 2 mg/L nas rochas Metagranitóides e gnaisses Indivisos;
- Faxinal do soturno com 3,20 mg/L na Formação Serra Geral Indivisa e com 3,30 mg/L na Formação Santa Maria ;
- General Câmara com 8 mg/L na Formação Rio do Rasto e 4 mg/L na Formação Botucatu;
- Ivorá com 1,8 mg/L na Formação Serra Geral Indivisa;
- São João do Polêsine com 2,8 mg/L na Formação Caturrita .

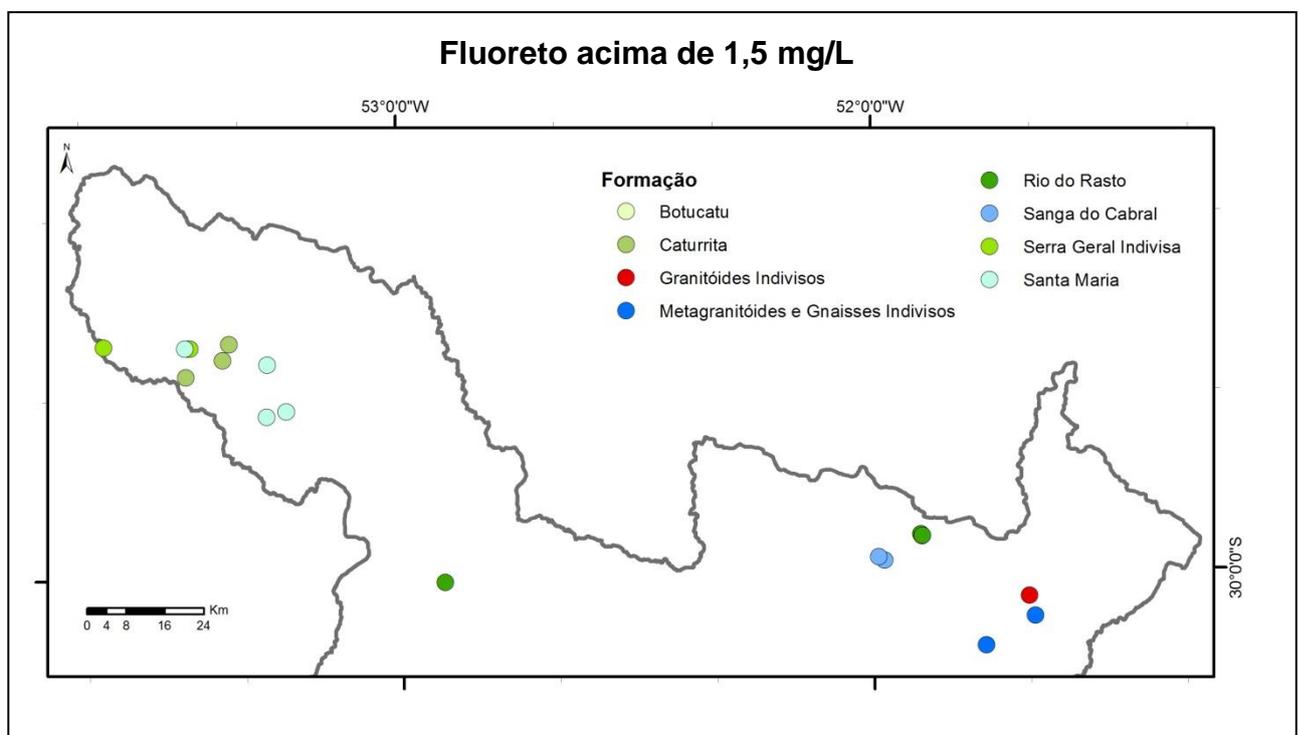


Figura 17 - Mapa com a distribuição espacial dos poços que apresentam teores de Fluoreto maior que 1,5mg/L, nas diferentes Formações Geológicas.

Os valores de fluoreto na Formação Santa Maria em geral são mais elevados na porção confinada do aquífero, com águas sulfatadas. Já nas águas bicarbonatadas sódicas e cálcicas os valores são mais baixos.

E) CLASSIFICAÇÃO PARA USO NA IRRIGAÇÃO

A irrigação, com proporções incipientes no cenário atual de consumo de água subterrânea na Bacia, impõe seus próprios padrões de qualidade a ser alcançados. A salinização aumenta a impermeabilidade das camadas profundas do solo, impedindo o uso das terras para cultivo. Já o excesso de sódio resulta na destruição da estrutura do solo, que, devido à falta de oxigênio, se torna incapaz de assegurar o crescimento das plantas e a vida animal.

De acordo com a classificação USSL, figura 18, conclui-se que é baixo o risco de sodificação dos solos pelas águas subterrâneas da região. Em relação ao risco de salinização dos solos, em geral as águas subterrâneas da BJBH apresentam baixo a médio risco. A maioria das águas é classificada como C1- S1, de baixa salinidade e fracamente sódicas, podendo ser utilizadas na maioria das culturas e solos oferecendo baixo risco de salinidade. As classificadas como C2-S1 são águas de salinidade média e fracamente sódicas, podendo ser usadas com devida precaução em solos silto-arenosos, siltosos e areno-siltosos quando houver moderada lixiviação no solo. Valores de risco à salinidade combinados com valores que indicam muito forte risco ao sódios e traduzem em águas não aproveitáveis para a irrigação e na BHBH. Com isso foram identificados quatro poços com águas imprestáveis (classes C4-S4, C3-S4 e C2-S4), dois no município de Dona Francisca, ocorrendo nas Formações Caturrita e Santa Maria, e dois poços no município de Agudo, também de ocorrência na Formação Santa Maria.

A tabela 7 lista as classificações quanto ao risco ao sódio e ao risco a salinidade nas diferentes formações. A tabela está organizada em ordem estratigráfica decrescente, evidenciando dois horizontes que podem ter restrições do uso das águas para irrigação, Formação Caturrita e Santa Maria e, Rio do Rasto e Estrada Nova.

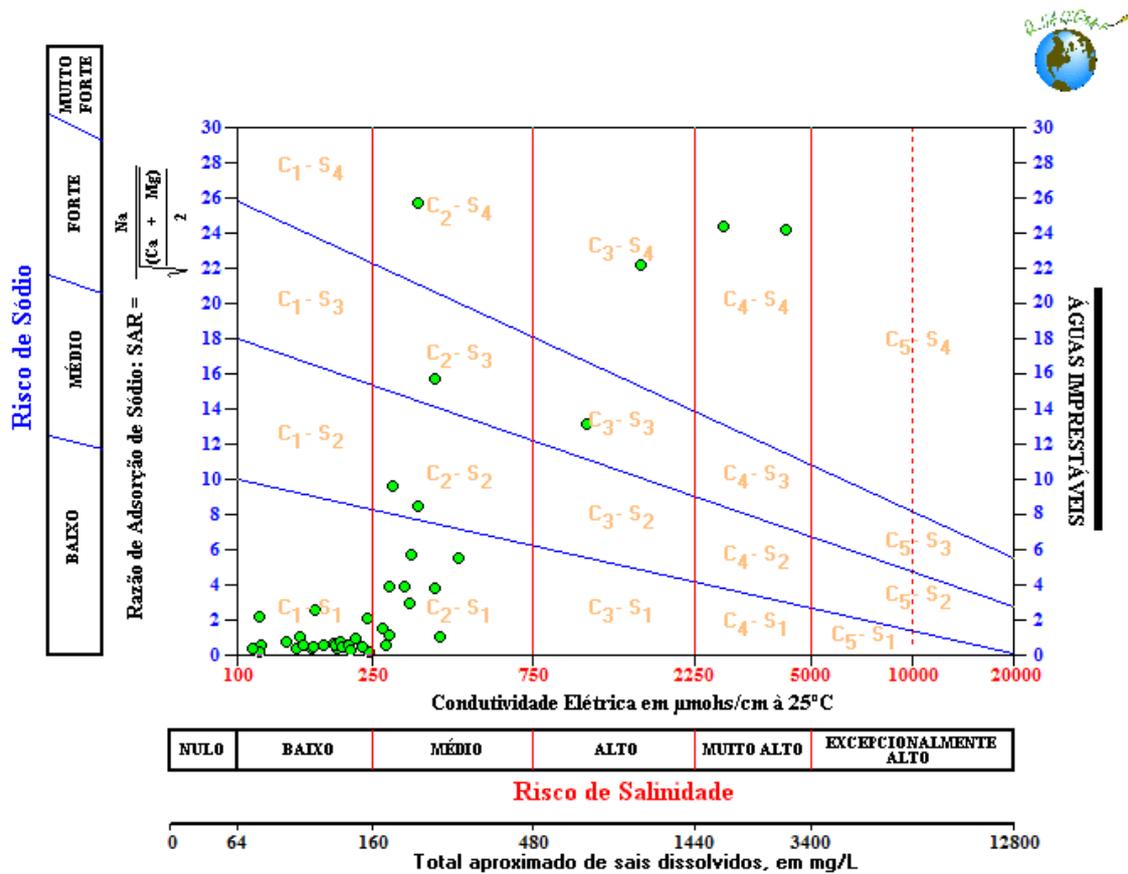


Figura 18 - Classificação das águas para uso na irrigação, segundo a classificação USSSL.

Tabela 7 - Classificação das Formações litológicas quanto ao risco de sódio e salinidade

Formação	Risco ao sódio	Risco a salinidade
Serra Geral	Baixo	Baixo
Botucatu	Baixo	Médio
Caturrita	Baixo a Muito Forte	Baixo a Alto
Santa Maria	Baixo e Muito Forte	Baixo, Médio, Muito Alto
Sanga do Cabral	Baixo	Baixo
Piramboia	Baixo	Baixo
Rio do Rasto	Baixo	Médio
Estrada Nova	Forte	Alto
Rio Bonito	Baixo	Baixo
Granitoides Indivisos	Baixo	Baixo
Metagranitóides e Gnaisses Indivisos	Baixo	Baixo

5. CONCLUSÕES

Com base nos dados contidos no banco de dados do SIAGAS para a área da BHBJ, pode-se concluir que o banco possui informações suficientes para uma adequada caracterização da produtividade dos poços, e assim, chegar a uma média para os aquíferos. No contexto da qualidade, o banco se torna menos eficiente, visto que apenas 10% dos poços possuíam informações adequadas para a caracterização. A significativa parcela com falta de informação sobre o atual funcionamento dos poços (se estão bombeando ou não), somada com a má distribuição espacial dos pontos na área de estudo também dificulta a caracterização do cenário atual.

A quantificação das águas subterrâneas para a Bacia mostrou que os poços apresentaram produtividade geralmente baixa a localmente moderada ($0,95 \text{ m}^3/\text{h/m}$), com vazão média de $8,02 \text{ m}^3/\text{h}$ e que a vazão total extraída é de $2557,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Do total dos poços avaliados, 42% estão em funcionamento, e 22% poderiam ser utilizados se realizadas as devidas melhorias, ou seja, poderiam ser reaproveitados os poços já existentes a fim de evitar novas perfurações.

Atualmente 23% dos poços são utilizados para o abastecimento humano, que exige padrões de potabilidade. Sendo assim, 20 poços apresentaram fluoreto acima do permitido e 17 estão em desacordo com as concentrações máximas de sódio, cloreto, sulfato e sólidos totais dissolvidos permitidas na legislação vigente.

No que se refere à qualidade, a classificação hidroquímica segundo Piper demonstrou a predominância de mais de um tipo hidroquímico das águas subterrâneas da BHBJ, sendo mais recorrente águas bicarbonatadas cálcicas seguidas por bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas mistas.

Em relação à salinidade, a maior parte dos poços possui águas doces, porém águas salinas e salobras somam 10% dos poços. Através da classificação da USSL, conclui-se que aproximadamente 85% possuem águas com baixo risco à salinização e a sodificação dos solos quando usadas para a irrigação. Na BHBJ, os padrões de qualidade para a irrigação podem, localmente, não ser alcançados nas Unidades Caturrita, Santa Maria e Estrada Nova.

Pode-se concluir que a BHBJ não possui nenhum aquífero considerado excelente, apenas localmente mais produtivo, como é o caso das Unidades Hidroestratigráficas Serra Geral e Santa Maria.

Destaca-se a Unidade Hidrogeológica Fraturada Serra Geral como a de melhor qualidade para a região de estudo, pois além de fornecer vazões de maneira a permitir a utilização da água subterrânea, também possui águas de boa qualidade tanto para o consumo humano quanto para atividades agrícolas. Apesar das suas melhores condições de produtividade, em relação às outras Unidades da Bacia, o planejamento e locação de futuros poços devem levar em conta as condições locais devido à grande heterogeneidade dessa Unidade. Já a Unidade Hidroestratigráfica Porosa Santa Maria, embora possua o melhor rendimento dentre as Unidades porosas, seus padrões de qualidade e potabilidade nem sempre são alcançados, apresentando por vezes elevada salinidade e concentração de fluoreto nas águas.

Vale ressaltar que a escala utilizada nesse trabalho é regional, e que para melhores detalhamentos deve-se adequar a escala ao nível de detalhe desejado.

Como sugestões de trabalhos futuros, salienta-se a importância de uma caracterização das estimativas de recarga dos aquíferos, para compreender as relações entre o meio subterrâneo e o superficial.

REFERÊNCIAS

BRASIL. 1997. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

BRASIL. 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRASIL. 2006. Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. **Moção nº 38**, de 7 de dezembro de 2006. Recomenda a adoção do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas - SIAGAS pelos órgãos gestores e os usuários de informações hidrogeológicas.

BRASIL. 2008. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 396**, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

BRASIL. 2011. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914**, de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

CHEMALE, Jr., F. 2000. **Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense**. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Eds.). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, p. 13-52.

CPRM. 2005a. **Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS. 1 CD-ROM. Escala 1:750.000.

CPRM. 2005b. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS. 1 CD-ROM. Escala 1:750.000.

CPRM.2014. **Manual de Cartografia Hidrogeológica**. Recife. 119p.

CUSTODIO, E., LLAMAS, M. R. 1983. **Hidrología subterrânea**. 2 ed. Barcelona: Omega.

DINIZ, J. A. Oliveira; 2012. **Proposta Metodológica para Elaboração de Mapas Hidrogeológicos**. Recife. CPRM (publicação interna).

FACCINI, U. F., GIARDIN, A & MACHADO, J. L. 2003. **Heterogeneidades litofaciológicas e hidroestratigráfica do Sistema Aquífero Guarani na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.** In: Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares – Estudo de casos.

FEITOSA, F.A.C., FILHO, J.M., FEITOSA, E.C., DEMETRIO, J.G.A. 2008. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** 3.ed. ver. e ampl. Rio de Janeiro. CPRM:LABHID. 812p.

GIARDIN, A., FACCINI, U. 2004 **Complexidade Hidroestratigráfica E Estrutural Do Sistema Aquífero Guarani: Abordagem Metodológica Aplicada Ao Exemplo Da Área De Santa Maria-Rs, Brasil.** Revista Águas Subterrânea nº18.

HAUSMAN, A. 1960. **Estudo das Possibilidades de Água Subterrânea no Rio Grande do Sul.** São Paulo: Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, vol. 1. p. 31 - 41.

HAUSMAN, A. 1964. **Províncias hidrogeológicas do Rio Grande do Sul. I** Semana Hidrogeológica Uruguia. Montevideu.

HAUSMAN, A. 1995. **Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul - RS.** São Leopoldo: Acta Geológica Leopoldensia, série mapas, mapa nº 2, 127p.

HIRATA, R., ZOBY, J.L.G., OLIVEIRA, F.R. 2010. **Água subterrânea: Reserva Estratégica ou Emergencial.** In: Bicudo, C. E. M., Tundise, J.G., Scheuenstuhl & M. C. B (Org.) Águas do Brasil: análises estratégicas. São Paulo: Instituto de Botânica. p. 147-161.

HOLZ, M & CARLUCCI, R. (2000). **Litoestratigrafia, Estratigrafia de Sequencias e Evolução Paleofisiográfica da zona de borda da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul durante o EoPermiano.** In: Geologia do Rio Grande do Sul. Org. por Holz, M. & De Ros, L.F. Ed. CIGO/UFRGS, Porto Alegre, RS. pp. 303-322.

LISBOA, N. A. 1996. **Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do sistema aquífero Serra Geral, na bacia do Paraná, Rio Grande do Sul.** Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 135p.

MACHADO, J. L. & FREITAS, M. A. 2005. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final.** Porto Alegre: CPRM.

MACHADO, J. L. F. 2005. **Compartimentação e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.** Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em geologia. Unisinos. São Leopoldo 237p.

MOBUS, G. **Qualigraf – Software para auxiliar na análise e interpretação gráfica de dados hidroquímicos**. Funceme – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível para download gratuito em: <http://www.funceme.br/DEHID/qualigraf/index.htm>. Acesso em: 15 de jun. 2015.

NASCIMENTO, F. M. F., CARVALHO, J. E., PEIXINHO, F. C. 2008. **Sistema de informações de água subterrânea – SIAGAS – histórico, desafios e perspectivas**. Resumo. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

PESSOA, M. S. 1982. **Banco de dados hidrogeológicos e análise estatística da vazão dos poços do Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 193p.

POLAND, J. F., LOFGREN, B. E., RILEY, F.S. 1972. **Glossary of selected terms useful in studies in the mechanisms of the aquifer systems and land subsidence due to fluid withdrawal**. U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 2025,9p.

REGINATO, P. R. 2009. **As Águas Subterrâneas Associados aos Aquíferos da Formação Serra Geral e sua Caracterização Hidroquímica**. I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo.

ROISENBERG, A. & VIERO, A. P. 2000. **O Vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul**. In: Geologia do Rio Grande do Sul. Org. por Holz, M. & De Ros, L.F. Ed. CIGO/UFRGS, Porto Alegre, RS. pp. 355-374.

SAMBERG, J. R. D. 1980. **Estudo hidrogeológico nas províncias litológicas do Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 99p.

SCHERER, C. M. S., FACCINI, U. F., LAVINA, E. L. 2000. **Arcabouço Estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná**. In: Geologia do Rio Grande do Sul. Org. por Holz, M. & De Ros, L.F. Ed. CIGO/UFRGS, Porto Alegre, RS. pp. 335-354.

SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente. 2008. **Mapa da Bacia hidrográfica do Baixo Jacuí**. Departamento de recursos hídricos (DRH).

SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente. 2010. Disponível em <http://www.sema.rs.gov.br>. Publicado em 24.09.2010. Acessado em 30 nov. 2014.

STRUCKMEIER, W. F.; MARGAT, J. 1995. **Hydrogeological maps: A Guide and a Standard Legend**. Hannover: International Association of Hydrogeologists v.17, 177 p.

WANKLER, F. L. 2006. **Arquitetura Depositional e Compartimentação Estrutural do Aquífero Passo das Tropas, na região de Santa Maria-RS: Influências no comportamento Hidrogeológico.** Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em geologia. Unisinos. São Leopoldo 193p.