

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISES DAS OCORRÊNCIAS ANÔMALAS DE
FLUORETO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Mariana Ribeiro Santiago

Santa Maria, RS, Brasil

2010

ANÁLISES DAS OCORRÊNCIAS ANÔMALAS DE FLUORETO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

por

Mariana Ribeiro Santiago

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Gestão de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Tecnológicas
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ANÁLISES DAS OCORRÊNCIAS ANÔMALAS DE FLUORETO EM
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

elaborada por
Mariana Ribeiro Santiago

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

José Luiz Silvério da Silva, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Valderi Luiz Dressler, Dr. (UFSM)

Leandro Machado de Carvalho, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 20 de Agosto de 2010.

*Dedico esta vitória:
A minha mãe, Mary Lucy,
Por seu apoio e dedicação extrema.
Ao meu pai, Walter,
Pela compreensão e carinho.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me conceder tantas graças mesmo sem eu as merecer.

Agradeço a meus irmãos, Anderson e Meiva, pelos exemplos que me passam, e pelos conselhos que me dão. Eu os amo muito!

Agradeço a minha mãe, Mary Lucy, por tudo que fez e faz por mim. Teu exemplo é meu ensinamento!

Agradeço a meu pai, Walter, que mesmo distante algumas vezes sempre me proporcionou compreensão e apoio.

Agradeço a meu Lindo, Rodrigo, por me proporcionar as horas mais alegres da minha vida.

Agradeço a família De David e Forgiarini, pela acolhida e pelo carinho repassado.

Agradeço a meu orientador, José Luiz Silvério, pela amizade, exemplo e pela orientação.

Agradeço a todos os estagiários do LAQIA, por me ajudar e trazer ensinamentos em metodologias analíticas e por me proporcionar resultados imprescindíveis para minha pesquisa. Gostaria de deixar meu carinho e admiração por duas pessoas, a Marcinha por sua sabedoria e paciência e ao Marcelo por sua dedicação, seu dinamismo e simpatia.

A meus amigos de mestrado principalmente aqueles que sempre me acompanharam nessa jornada, Leandra Mann, Marco Alésio e Thiago Formentini.

Ao secretário do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Eliomar, pelas piadas, apoio e ajuda nos assuntos burocráticos durante o período do curso.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nivel Superior), pelo suporte financeiro, durante um ano de curso.

E por fim, agradeço a todos, que de alguma forma, colaboraram para realização e conclusão dessa dissertação.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISES DAS OCORRÊNCIAS ANÔMALAS DE FLUORETO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

AUTORA: MARIANA RIBEIRO SANTIAGO

ORIENTADOR: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de agosto de 2010.

Este trabalho apresenta uma discussão sobre as problemáticas relacionadas às anomalias de concentração do fluoreto em águas subterrâneas destinadas ao abastecimento humano e os problemas de saúde pública e desperdício de finanças que podem proporcionar. Como contribuição, elaborou-se um mapa com a espacialização das ocorrências anômala de fluoreto nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Considerando a importância de entender um pouco mais sobre o comportamento das águas que sofrem essa anomalia de concentração de fluoreto, efetuou-se um detalhamento das composições e dos polítipos das águas verificando-se quais as tendências que elas apresentam. Para isso a área de estudo, foi dividida em três zonas que compõem o Sistema Aquífero Guarani: Zonas de Afloramento, Confinamento e Forte Confinamento, tomando uma ênfase maior para Zona de Afloramento, devido a esta apresentar a maior quantidade de poços com concentrações excessivas de fluoreto em uma mesma região, que coincide com a Depressão Central do Rio Grande do Sul. Após avaliar quais as tipologias das águas analisadas foi possível constatar que houve uma maior tendência nas três zonas, para o polítipo de águas bicarbonatadas sódicas. Com base nas verificações de estudos anteriores que atestam a existência de flutuações de parâmetros químicos em águas subterrâneas, o estudo avaliou e identificou qual o seu percentual de variação em 17 parâmetros físico-químicos. Para isto foram realizadas análises multivariadas de dados, para 13 amostras de água de um poço tubular profundo (276 m), monitorado por uma período de 6 meses, chegando-se a variações na ordem de 1,5 a 200%. O parâmetro que mais apresentou variação foi a cor, nela pode-se verificar que no período de 15 min de bombeamento do poço houve uma variação de coloração da água em cinco cores distintas, podendo atentar-se o quanto é importante considerar-se uma mesma tomada de água para monitorar poços tubulares profundos, pois ele pode receber diversas contribuições de água com características diferenciadas entre si. O pH foi o que apresentou a menor (percentual) variação, permanecendo sempre com as características de pH neutro.

Palavras-chave: águas subterrâneas; anomalias de concentração de fluoretos; flutuações de parâmetros físico-químicos.

ABSTRACT

Master's Degree Dissertation
Post-Graduation Program in Civil Engineering
Universidade Federal de Santa Maria

Analyses of the Anomalous Occurrences of Fluoride in Groundwaters

Author: Mariana Ribeiro Santiago
Advisor: José Luiz Silvério da Silva
Date and Place of Defense: Santa Maria, August 27 2010.

The present work shows a discussion about the problematic related to the anomalies of fluoride concentrations in groundwaters intended for human provisioning and also about the public health issues and financial waste generated by them. As a contribution, a map was elaborated containing the spacing of the occurrences of anomalous fluoride in the states of Rio Grande do Sul and Santa Catarina.

Taking in to account the importance of understanding a little more about the behavior of the waters which suffer this anomaly of fluoride concentration, we have carried out a detailed description of the compositions and of the polytypes of water, verifying what tendencies they present. For that, the area of study has been split in three zones composing the Gurany Aquiferous System: Zones of Blooming, Confinement and Strong Confinement, with a greater emphasis to the Blooming Zone, once that the later presents the greatest amount of wells with excessive fluoride concentrations in the same area, which coincides with the Central Depression of Rio Grande do Sul. After evaluating the typologies of the analyzed waters it was possible to verify the occurrence of a higher tendency in the three zones for the polytype of the sodic Bicarbonate waters.

On the basis of the verifications of previous studies attesting the existence of flotations of chemical parameters in underground areas this study has evaluated and identified its percentage of variation in 17 physical-chemical parameters. For that, multivariate data analyses were accomplished for 13 water samples of a deep tubular well (276m), monitored during a six months period, reaching variations of 1,5 – 200%. The most variable pattern was color. In it was possible to verify that during the pumping period of 15 minutes there has been a coloring variation of water of six different colors attesting how important it is to consider same water taking in order to monitor deep tubular wells because it can receive several water contributions with differentiated characteristics among each other. The pH has shown the smallest percentage of variation, always remaining with the characteristics of neutral pH.

Keywords: Groundwaters, anomalies of fluoride concentrations, flotations of physical-chemical parameters.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1. OBJETIVO GERAL.....	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. HIPÓTESE DE TRABALHO	12
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
4.1. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	14
4.1.1. Qualidade das águas subterrâneas	16
4.1.2. Frequentes variações na qualidade das águas subterrâneas.....	17
4.2. CONCEITOS EM HIDROGEOLOGIA.....	18
4.2.1. Aquíferos, aquícludes e aquíardos.....	18
4.1.2. Unidades hidroestratigráficas	19
4.2. SISTEMA AQUÍFERO GUARANI.....	20
4.2.1. As unidades hidroestratigráficas que compõem o Sistema Aquífero Guarani	23
4.2.2. Aspectos hidroquímicos do SAG	24
4.2.3. Zonas do Sistema Aquífero Guarani	26
5. FLUORETOS	28
5.1. FLÚOR NOS AMBIENTES NATURAIS.....	28
5.1.1. Rochas e Minerais	28
5.1.2. Águas	29
5.2. IMPORTÂNCIA E EFEITOS DO FLÚOR NA SAÚDE HUMANA.....	29
5.3. OCORRÊNCIAS DE FLÚOR NO PAÍS	31
5.4. HIPÓTESES SOBRE A ORIGEM E MODO DE OCORRÊNCIA DO FLÚOR NAS ÁGUAS FLUORETADAS DOS SISTEMAS AQUÍFEROS	33
5.5. RELAÇÃO ENTRE SISTEMA DE GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E ENRIQUECIMENTO DE FLUORETO.....	36
6. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	38
6.1. CLIMA.....	38
6.2. TEMPERATURA	39
6.3. PRECIPITAÇÃO	39
6.4. BALANÇO HIDROLÓGICO.....	39
6.5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO	40
6.6. VOLUME DE ÁGUA DISPONÍVEL.....	40
6.7. RELEVO	41
6.8. GEOLOGIA	41
6.9. HIDROGEOLOGIA	42
7.0. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA REGIÃO DE MAIOR ÊNFASE DO ESTUDO.....	44
7. METODOLOGIA.....	45

7.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS E CADASTRO DOS POÇOS EM BANCOS DE DADOS PRÉ-EXISTENTES	45
7.2. ESPACIALIZAÇÃO DOS POÇOS CADASTRADOS	46
7.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NO POÇO ÚNICO ESTUDADO	46
7.4. TRATAMENTOS ESTATÍSTICOS.....	48
7.5. DETERMINAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL DO POÇO ÚNICO ESTUDADO.....	49
7.6. CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS.....	50
8. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
8.1. ESPACIALIZAÇÃO DOS POÇOS CADASTRADOS NA ÁREA DE ESTUDO	52
8.2. COMPOSIÇÃO DAS ÁGUAS	54
8.2.1. Zonas do Sistema Aquífero Guarani	54
8.2.2. Diagramas de Stiff.....	60
8.3. COMPORTAMENTO ESPACIAL DE PARÂMETROS QUÍMICOS NA ZONA DE AFLORAMENTO.	63
8.4. CÁLCULO DO ERRO PRÁTICO A PARTIR DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	67
8.5. ANÁLISES DE MONITORAMENTO EM POÇO ÚNICO.....	70
8.5.1. Análise de solos e ou rochas sedimentares.....	70
8.5.2. Flutuações dos parâmetros monitorados em poço único.....	71
8.5.3. Comportamento dos parâmetros com maior coeficiente de variação.....	77
8.5.4. Diagramas Box & Whisker	79
9. CONCLUSÕES.....	87
10. REFERÊNCIAS	90

1. INTRODUÇÃO

Cerca de um quarto dos países enfrentam hoje problemas de abastecimento de água (CARNEIRO et al. 2008). Mesmo no Brasil uma das maiores reservas de água doce do planeta a escassez e inviabilidade de uso desse recurso essencial é sentida em vários lugares, com destaque a qualidade desfavorável da água subterrânea, no que se refere a presença de quantidades excessivas de fluoreto.

Apesar do fluoreto ser, habitualmente adicionado à água de abastecimento público devido a sua ação inibidora da cárie, o consumo prolongado de água com concentração excessiva deste elemento pode resultar em crianças numa patologia denominada fluorose dental (SHAFER et al., 1979, OMS, 1995) e, em concentrações extremas, a fluorose esquelética (OMS, 1995).

Machado (2008) demonstra que em alguns lugares do Rio Grande do Sul abastecido pelo Sistema Aquífero Guarani, a água não é de boa qualidade, por ser salobra. Obtendo ainda, em diversas localidades, resultados que demonstram ocorrências anômalas de fluoreto acima do Valor Máximo Permissível (VMP) de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, conforme estabelece a Portaria nº 518/2004, o que tem comprometido a utilização da água para consumo humano. Sérios problemas de saúde pública e desperdício de finanças públicas na busca de alternativas para o abastecimento das comunidades, sobretudo rurais, são ocasionados devido a essas concentrações excessivas de fluoreto nas águas.

Diante da preocupação com a notória contaminação do corpo hídrico de subsuperfície, seja de origem natural ou antrópica, cresce o interesse em saber qual o motivo do enriquecimento de fluoreto em águas subterrâneas, apontando assim uma infinidade de hipóteses, sendo que uma delas é através da interação água-rocha em prolongado tempo, bastante aceito no meio científico (MARIMON, 2006). Outra hipótese está alicerçada no controle estrutural e baseia-se na conexão hidráulica entre diferentes Aquíferos, por intermédio de estruturas tectônicas que possibilitam a ascensão de águas de Aquíferos sotopostos ao aquífero contaminado. Como produto, tem-se águas com diversas condições de mistura, gerando desta forma, várias fácies hidroquímicas (BITTENCOURT et al., 2003). Ambas, revelam-se de origem natural.

Considerando, a afirmativa anterior feita por Machado (2008) e que existem várias hipóteses para explicar as ocorrências anômalas de fluoreto, sem, contudo confirmar a fonte

pode-se perceber no Estado do Rio Grande do Sul, o elemento químico flúor, torna-se relevante como parâmetro de monitoramento e enquadramento das águas subterrâneas destinadas ao abastecimento humano, visando à utilização segura deste recurso.

Recentemente foi aprovada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, a Resolução nº 396/2008, que veio para facilitar e especificar a classificação das águas subterrâneas e sua utilização. No entanto, nesta resolução o elemento flúor não foi contemplado como Valores de Referência de Qualidade – VRQ, estando também ausente da tabela de elementos advindos de contaminação natural.

Tendo em vista que ainda não se sabe qual a origem e as formas de ocorrência do fluoreto e que ocorrências anômalas em águas subterrâneas são realidades de alguns Estados do país. Esta legislação apresenta algumas lacunas, porém deve-se lembrar que esta por ser a nível federal, a mesma veio para facilitar os trâmites necessários para tornar constitucionais as leis estaduais específicas. Nestas leis devem ser abordados os aspectos ainda não abordados, ou pouco aprofundados, aspectos estes que devem ser considerados segundo as problemáticas locais e regionais, como o caso do Estado do Rio Grande do Sul em que em várias regiões sofrem com o problema de anomalias de fluoreto nas águas subterrâneas.

Configuram-se então, como justificativa desse trabalho, a necessidade de espacialização das áreas dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, que sofrem com a problemática abordada, no intuito de melhor conhecer as ocorrências de anomalias de concentração do fluoreto em águas subterrâneas e os riscos potenciais que elas proporcionam.

Para escolha da área de ênfase do estudo, foram consideradas as dimensões do Sistema Aquífero Guarani que abrangem grandes áreas, de ordem de 1.200.000 km² (MACHADO, 2008), buscando também áreas que apresentam ocorrências de anomalias da concentração do fluoreto em águas subterrâneas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar as ocorrências anômalas de concentrações de fluoreto em águas subterrâneas captadas em poços.

2.2. Objetivos Específicos

- Reconhecer, inicialmente, áreas potencialmente vulneráveis à ocorrência de concentrações anômalas de fluoreto nas águas subterrâneas;
- Avaliar o fenômeno das concentrações excessivas e as possíveis origens do fluoreto nas águas subterrâneas;
- Espacializar as ocorrências anômalas de fluoreto, apontando o nível de concentração juntamente com suas feições geológicas e/ou Domínios hidrogeológicos;
- Verificar a existência de correlação com as formações geológicas penetradas pelas captações;
- Verificar a existência de flutuações de componentes químicos presentes na composição das águas subterrâneas em poço único;
- Verificar as alterações espaciais e temporais na qualidade das águas subterrâneas, tentando ressaltar tendências observadas.

3. HIPÓTESE DE TRABALHO

Existem flutuações na concentração de elementos químicos nas águas subterrâneas?

Existe flutuação na concentração de flúor em águas subterrâneas?

Buscando-se responder a estas questões serão elencados vários elementos na discussão. Em primeiro lugar deve-se conceituar água subterrânea e saber como ela se forma. De acordo com a Resolução nº 15 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, Art. 1º § I – Águas subterrâneas são aquelas que ocorrem natural ou artificialmente no subsolo. Esta faz parte do ciclo hidrológico e, portanto sua composição está relacionada aos tipos rochosos e/ou Aquíferos que percola. Existem três diferentes tipos de Aquíferos:

Aquífero poroso ou intergranular relacionado às rochas sedimentares clásticas ou terrígenas;

Aquífero Fissural associado a rochas cristalinas de origem ígneas, metamórficas e/ou sedimentares cimentadas;

Aquífero cárstico associado a rochas sedimentares químicas (calcários, margas) e as metamórficas como os mármore.

Considerando a relação entre a composição da água e tipos rochosos, pode-se esperar que uma amostra de água subterrânea coletada em uma captação (poço tubular, poço escavado ou uma nascente), resulta da interação da água com o solo ou rochas contendo diferentes composições químicas e como resultado do contato de diferentes minerais.

Para entender a dinâmica do flúor nas águas subterrâneas e o que este pode acarretar na composição das águas, foram considerados como anomalia de concentração de flúor os valores acima Valor Máximo Permissível – VMP, fixado em $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ pela Portaria nº518/2004, que regulamenta os padrões de potabilidade da água destinada ao abastecimento humano.

A pesquisa não tem como objetivo explicar qual a origem do fluoreto presente de forma anômala nas águas subterrâneas, no entanto serão retratadas quais as diversas hipóteses que tem sido propostas no meio científico e qual a dimensão que esta problemática atinge nas áreas dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, tomando uma atenção maior as zonas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani destas duas grandes regiões, no intuito de integrar informações disponíveis, formando uma base de dados que possa auxiliar em tomadas

de decisão para autorização de futuras instalações residenciais ou industriais e podendo também acrescentar com dados a novas pesquisas.

Na pesquisa propõe-se, adicionalmente, diferenciar uma água mineral de uma água potável, baseado no código de Mineração. Falcão (1978), afirma que, águas minerais diferem das águas potáveis em composição e concentração de sais minerais, nele foram consideradas a composição química, a temperatura na emergência e a radioatividade na fonte.

Após feito o levantamento sobre as águas minerais brasileiras com concentrações superiores ao VMP, notou-se que elas ocorriam nos Estados de Rio Grande do Sul e São Paulo. Revisando os trabalhos anteriores relativos a este tema, pode-se verificar que elas ocorrem associadas aos três tipos de Aquíferos, portanto, associadas a vários tipos litológicos. Desta forma, incluiu-se o conceito de domínio hidrogeológico CPRM (2007), buscando-se agrupar os tipos de águas, utilizando também as faixas de temperaturas para explicar uma fonte termal DNPM (BRASIL, 2010).

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Águas subterrâneas são todas as águas que ocorrem abaixo da superfície da terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas que sendo submetidas a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenham um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos (ABAS, 2010).

Conforme o Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (2009), as águas subterrâneas são parte integrante do ciclo hidrológico, perfazendo 98% das águas doces e líquidas do planeta. São responsáveis pela alimentação e pela regularização (perenização) dos rios, dos córregos, dos lagos e outros, permitindo que estes continuem fluindo na época de estiagem/seca.

Essas águas têm importância estratégica, pois normalmente apresentam elevado padrão de qualidade físico-química e bacteriológica. Além disso, não são afetadas por períodos de estiagem prolongada e evaporação e sua obra de captação (poço) pode ser construída próxima ao local da demanda, com custos e prazos geralmente inferiores às obras de captação de água superficial (PNRH, 2009).

Segundo Paiva et al. (2001), a distribuição desse recurso no mundo não é uniforme, ocorrendo regiões de escassez e outras com relativa abundância, de toda água existente na terra 97,3% é salgada e 2,7% corresponde aos reservatórios de águas subterrâneas. As águas superficiais são menos de 1% do total onde 0,33% encontram-se no lagos, 0,0035% na atmosfera e 0,03% flui nos rios.

Apesar da distribuição desigual a água subterrânea para abastecimento público, nas últimas décadas, vem sendo priorizada, pois a mesma apresenta algumas vantagens com relação à exploração às águas superficiais, sendo algumas já citadas anteriormente (FEITOSA & MANOEL FILHO, 1997):

1. Na maioria das vezes, dispensa tratamento químico que onera bastante as águas superficiais em dispendiosas estações de tratamento de águas (ETA's);
2. Não acarreta inundação de áreas aproveitáveis na superfície, muitas vezes representadas por excelentes solos agricultáveis;

3. A área de captação e proteção é extremamente reduzida;
4. Permite uma distribuição setorizada, com baterias de exploração constituindo sistemas isolados ou interligados;
5. A rede de adução até a caixa d'água, é em geral, de pequena extensão, ao contrário das barragens que requerem linhas adutoras de vários quilômetros de extensão;
6. A implantação do sistema pode ser efetuada de maneira gradativa, ao longo do tempo, na medida que aumente a demanda, evitando períodos de sobre logo que se constrói uma barragem e períodos de déficit quando a demanda ultrapassa a sua capacidade. Essa flexibilidade evita a aplicação de grandes investimentos concentrados em curto espaço de tempo;
7. Não implicam em desapropriação de grandes áreas como barragens, que representam vultosos gastos financeiros;
8. O prazo de execução de um poço é de dias, em contraposição a meses e até anos no caso do barramento de um rio;
9. As águas subterrâneas não estão sujeitas como as superficiais, ao intenso processo de evaporação, que implica na região semi-árida numa perda de cerca se 2.500 mm de lâmina d'água acumulada na superfície;
10. O sistema é muito melhor protegido de eventuais contaminações químicas ou atômicas em período de guerra;
11. Não se verificam impactos ambientais como os decorrentes do barramento dos cursos d'água superficiais;
12. A manutenção é mais segura, pois a paralisação para conservação de uma unidade de bombeamento, até mesmo, a sua substituição pode ser efetuada sem prejuízos do conjunto;
13. Os poços que apresentam um bom nível técnico nas fases de projeto, construção e operação, segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), têm vida útil superior a 20 anos, com amortização dos investimentos realizados em apenas 5 a 8 anos.

Além de todas estas vantagens, as águas subterrâneas também apresentam algumas desvantagens, como principais para este trabalho o problema de detecção e identificação de fontes de contaminação seja ela de origem natural ou antrópica; manutenção periódica preventiva é mais cara, devido à multiplicidade de equipamentos de bombeamento (em

baterias de poços); apresenta em geral maior consumo de energia elétrica no sistema de bombeamento.

No Brasil, segundo dados do IBGE (2000), cerca de 16% dos municípios brasileiros utilizam exclusivamente água subterrânea para o abastecimento. Cidades como Ribeirão Preto (SP), Maceió (AL), Mossoró (RN) e Belém (PA) suprem, parcial ou integralmente, suas necessidades por meio desse tipo de fonte. Além de serem usados no abastecimento humano, esses recursos hídricos são largamente empregados na agricultura (irrigação), na indústria (incluindo o engarrafamento de águas minerais e potáveis de mesa), no lazer e no turismo (principalmente nas estâncias hidrotermais).

Em função desta crescente demanda na busca pela água subterrânea como fonte de abastecimento e desenvolvimento econômico, este recurso natural se encontra sob forte pressão. Devido a insuficiente implementação de mecanismos de gestão integrada e a falta de conhecimento básico sobre este recurso hídrico, os problemas ambientais são cada vez mais comuns, podendo ser agrupados em duas principais categorias: os causados por superexploração e aqueles por contaminação.

4.1.1. Qualidade das águas subterrâneas

A qualidade da água é definida por sua composição e pelo conhecimento dos efeitos que podem causar os seus constituintes, que como mostrados no Quadro 1, se dividem em constituintes maiores, quando estão presentes com teores superiores a 5 mg L^{-1} ; menores, quando os teores ficam entre 0,01 e 10 mg L^{-1} ; e traços, quando os teores são inferiores a $0,01 \text{ mg L}^{-1}$.

Conforme Feitosa (2009), os processos e fatores que influem na evolução da qualidade das águas subterrâneas podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero. Devido ao escoamento lento em diferentes aquíferos, a água subterrânea tende a aumentar concentrações de substâncias dissolvidas presentes no meio, onde além deste interferente temos alguns outros fatores que podem influenciar na qualidade das águas subterrâneas como: clima composição da água de recarga, tempo de contato água/meio físico, litologias atravessadas, além da contaminação do homem.

Constituintes maiores ($>5\text{mg L}^{-1}$)	Constituintes menores ($0,01 - 10 \text{ mg L}^{-1}$)	Constituintes Traços ($<0,1\text{mg L}^{-1}$)
Bicarbonato Cálcio Cloreto Magnésio Sílica Sódio Sulfato	Boro Carbonato Estrôncio Ferro Fluoreto Nitrato Potássio	Alumínio, Arsênio, Antimônio, Bário, Berílio, Bismuto, Bromo, Cádmio, Césio, Chumbo, Cromo, Cobalto, Cobre, Escândio, Estanho, Fosfato, Gálio, Germânio, Índio, Iridio, Selênio, Iodo, Lantânio, Lítio, Mercúrio, Manganês, Molibdênio, Níquel, Nióbio, Ouro, Prata, Platina, Rádio, Tálcio, Titânio, Tungstênio, Urânio, Vanádio, Zinco, Zircônio

Quadro 1. Classificação dos constituintes dissolvidos nas águas subterrâneas de acordo com sua abundância relativa (CUSTODIO e LLAMAS, 1983 apud FEITOSA, 2009)

As análises de água mais frequentes em estudos hidroquímicos de água subterrânea são: análises físico-químicas com determinação dos constituintes maiores e menores, análises bacteriológicas, análises microbiológicas, análises radioativas e análises ambientais.

4.1.2. Frequentes variações na qualidade das águas subterrâneas

De acordo com Ronen et al.(1981), o fenômeno de flutuações dos parâmetros químicos, é um fator de extrema importância para o monitoramento das águas de subsuperfície, já verificados e constatados por estudos anteriores, no entanto este fenômeno é ignorado na gestão e monitoramento em águas subterrâneas. O problema pode-se tornar mais crítico quando comparado às concentrações com os padrões permissíveis. O autor exemplifica as variações detectadas em seu estudo com o parâmetro analisado, nitrato (NO_3^-), que variou nos meses de abril a setembro em percentuais de 4% a 20%.

O mesmo autor ainda comenta que essas tendências de flutuações nas concentrações dos parâmetros químicos de qualidade da água subterrânea podem depender do esquema de amostragem e de quais fatores estão relacionados às flutuações, sendo assim o ideal seria determinar qual a frequência ideal da amostragem, quais as várias possibilidades para monitoramento e estudar a relação entre flutuações e os fatores que a ocasionam.

4.2. Conceitos em Hidrogeologia

4.2.1. Aquíferos, aquícludes e aquíardos

De acordo com Maciel Filho (1994), aquíferos são rochas ou solos saturados de água e permeáveis, isto é, que permitem o fluxo de água. É uma estrutura contendo capacidade de armazenamento e libertação de água subterrânea para ser retirada em poços.

Os aquíferos são normalmente alimentados pela água da chuva infiltrada no solo. A descarga natural se processa através de fontes que são surgências do nível freático na superfície topográfica. Segundo Boscardin Borghetti et al. (2004), existem três tipos primários de Aquíferos ilustrados na Figura 1:

- **Aquífero poroso ou sedimentar** - aquele formado por rochas sedimentares nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Constituem os mais importantes Aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas. Esses Aquíferos ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. Uma particularidade desse tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre homogeneamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existente.
- **Aquífero fraturado ou fissural** - formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico. A capacidade dessas rochas de acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo da água. Poços perfurados nessas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora, sendo que a possibilidade de se ter um poço produtivo dependerá, tão somente, desse poço interceptar fraturas capazes de conduzir a água. Nesses Aquíferos, a água só pode fluir onde houverem fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais
- **Aquífero cárstico** - formado em rochas calcáreas ou carbonáticas, onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades (diáclases) que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando, nesse caso, verdadeiros rios subterrâneos. São Aquíferos heterogêneos, descontínuos, com águas duras, com fluxo em canais. As rochas são os calcários, dolomitos e mármore.

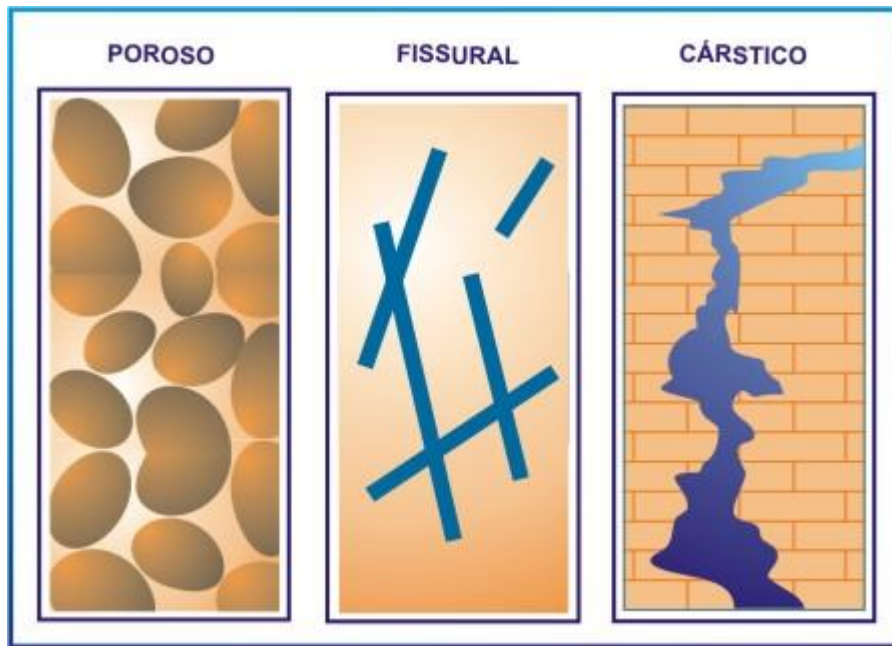


Figura 1 - Tipos de Aquíferos quanto à porosidade
 FONTE: Boscardin Borghetti et al. (2004)

Aquicludos são rochas ou solos impermeáveis que podem ou não conter água (MACIEL FILHO, 1994).

Aquitardos é uma formação geológica que, embora possa armazenar quantidades importantes de água, é de natureza semipermeável e, portanto, transmite água a uma taxa muito baixa - o que inviabiliza o seu aproveitamento a partir de poços e/ou furos de captação de água. Trata-se portanto de rochas capazes de armazenar e transmitir águas subterrâneas, embora a possibilidade de sua exploração econômica seja inferior à dos Aquíferos; estes podem não só armazenar mas também transmitir água, já que o material de origem é permeável. Entretanto, em determinadas condições, os aquitardos podem ser muito importantes para a recarga vertical dos Aquíferos (FORMIGA, 2008).

4.1.2. Unidades hidroestratigráficas

Os dois termos “Aquífero” e “unidades hidroestratigráficas” são comumente empregados para subdividir a subsuperfície em unidades de maior importância para a hidrogeologia das águas subterrâneas. O termo Aquífero, porém é mais utilizado quando leva em consideração o seu uso no abastecimento de água em termos econômicos. O conceito de

aproveitamento econômico torna relativos os conceitos aqui tratados, pois eventualmente formações geológicas pouco permeáveis terão seu aproveitamento baseado em disponibilidades e necessidades momentâneas ou mesmo duradouras (MACHADO, 2005).

4.2. Sistema Aquífero Guarani

Devido a área de maior ênfase nesse estudo envolver o Sistema Aquífero Guarani (SAG), é importante ressaltar sobre esse conjunto heterogêneo de "unidades hidroestratigráficas" que podem conter muita, pouca ou nenhuma água, podendo muitas vezes ter água, mas a mesma estar em qualidades desfavoráveis aos padrões de potabilidade. Envolvidos nessas características diversas do SAG, servindo como fonte de exploração há mais de cem anos, diversos pesquisadores dos países do Mercosul estudaram e estudam até hoje características qualitativas e quantitativas deste manancial tão importante.

No Brasil, Machado (2006) aponta que, oito estados abrigam partes do Aquífero Guarani, demonstrado na Figura 2. Estudos realizados em quase todos indicaram grande descontinuidade na estruturação geológica. Isso ocorre, por exemplo, no Arco de Ponta Grossa (Paraná), onde as estruturas geológicas e as intrusões vulcânicas dividem o sistema aquífero em diversos fluxos independentes e limitados ao Brasil.

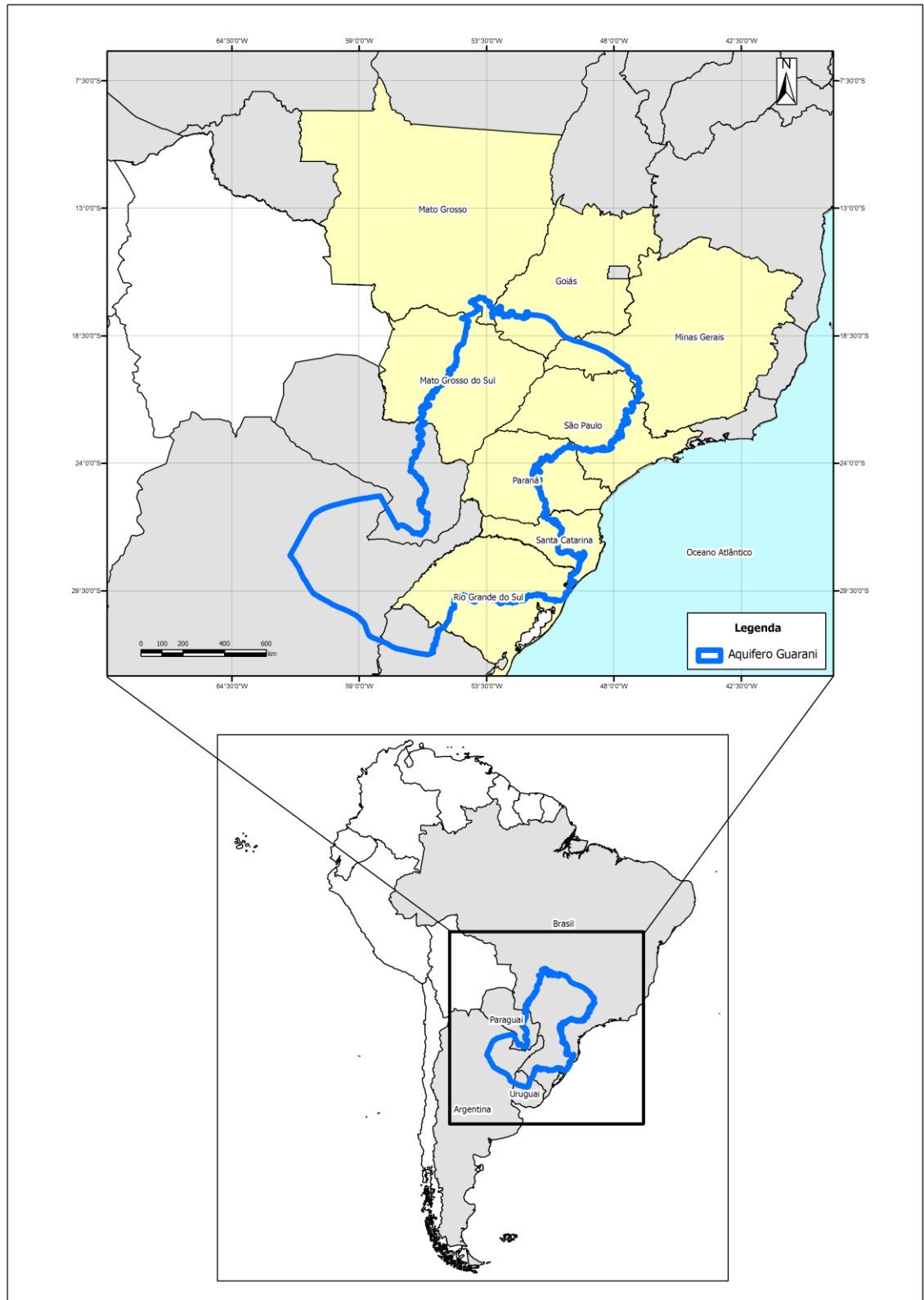


Figura 2. Delimitação do Sistema Aquífero Guarani

O Estado de São Paulo apresenta excelente conformação estrutural, o que facilita a recarga, circulação e descarga das águas subterrâneas. A recarga ocorre principalmente pela penetração das águas de chuva, e a descarga é a saída da água do subsolo, em direção aos rios ou outras estruturas geológicas, após lenta circulação no aquífero. O fluxo das águas, entretanto, não é transfronteiriço, restringindo-se aos limites paulistas (MACHADO, 2006).

No Brasil, São Paulo está entre os estados mais privilegiados, pois é onde a potencialidade do Aquífero Guarani mais se aproxima da noção divulgada pela imprensa. No Mato Grosso do Sul as medidas de pressão das águas do aquífero indicam fluxos das águas principalmente em direção ao rio Paraná. Com relação à qualidade das águas, em Santa Catarina e Paraná extensas áreas do aquífero têm águas com alta salinidade (salobras), não potáveis. Em São Paulo e Mato Grosso do Sul, elas tornam-se mais salinas nas proximidades do rio Paraná, embora as condições geológicas e de fluxos da região sejam favoráveis a uma boa qualidade das águas (MACHADO, 2006). Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais carecem de estudos mais aprofundados. Como as camadas aquíferas estão próximas das áreas de recarga, as águas tendem a ter boa qualidade nesses três estados.

No Uruguai, a hidroestratigrafia do aquífero é complexa e muito semelhante à que ocorre na fronteira oeste do Rio Grande do Sul. Sua conformação estrutural é favorável ao fluxo das águas, entretanto, os valores de salinidade aumentam próximo ao rio Uruguai, assim como a temperatura das águas (MACHADO, 2006).

Na Argentina predominam as águas termais e o sistema aquífero é totalmente confinado em grandes profundidades. Na Província de Entre Rios, por exemplo, é possível observar-se um incremento exagerado na salinidade do aquífero logo a partir do rio Uruguai, quando poços termais que tinham águas com aproximadamente 1.000 mg L^{-1} de sais passam a apresentar águas com mais de $100.000 \text{ mg L}^{-1}$ de sais, quase três vezes o valor encontrado na água do mar (MACHADO, 2006).

O Paraguai, apesar da extensa área aflorante, mostra também grande heterogeneidade hidrogeológica e águas de boa qualidade. Entretanto, apresenta em sua porção confinada pelas rochas basálticas, nas proximidades do rio Paraná, uma extensa faixa de águas salobras e termais (MACHADO, 2006).

4.2.1. As unidades hidroestratigráficas que compõem o Sistema Aquífero Guarani

A unidade hidroestratigráfica Botucatu tem uma ampla distribuição em toda a área de ocorrência do Sistema Aquífero Guarani. É constituída por arenitos de grãos finos a médios, rosados e com grandes estratificações cruzadas relacionadas com dunas de ambiente desértico. Os poços perfurados nessa unidade apresentam uma potencialidade muito variável. Nos compartimentos Oeste e Norte-Alto Uruguai é possível conseguir uma excelente vazão, que pode superar $200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Entretanto, essa unidade também pode se apresentar como improdutiva em partes dos compartimentos Oeste, Central-Missões e Leste (MACHADO, 2005).

A unidade hidroestratigráfica Guará restringe-se unicamente ao compartimento Oeste, tendo sido confundida com a Botucatu, apesar das grandes diferenças de caráter sedimentológico. Compõe-se de arenitos finos a médios, amarelados a esbranquiçados, estratificação planar (horizontal) e por vezes cruzada (inclinada). É um dos principais aquíferos do Rio Grande do Sul e as vazões dos poços podem alcançar até $150 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, sendo que sua área de ocorrência avança em direção ao Uruguai (MACHADO, 2005).

As unidades hidroestratigráficas Arenito Mata e Caturrita ocorrem apenas no compartimento Central-Missões. Suas litologias variam entre um arenito predominantemente fino e um siltito (rocha intermediária entre arenito e argila) avermelhado, muitas vezes em forma de lente. Sua disposição geomorfológica e estrutural não permite grande armazenamento de águas. São raros os poços com vazões acima de $5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (MACHADO, 2005).

As unidades hidroestratigráficas Alemoa e Sanga do Cabral também aparecem apenas no compartimento Central-Missões. Suas litologias são respectivamente siltitos argilosos avermelhados e arenitos muito finos, argilosos e avermelhados. As duas unidades são praticamente improdutivas e isolam camadas aquíferas (MACHADO, 2005).

As unidades hidroestratigráficas Passo das Tropas I e II também se restringem ao Central-Missões. Sua composição é de arenitos médios a grosseiros, rosados a avermelhados, com estratificação cruzada acanalada, de origem fluvial. Diferenciam-se pelas menores vazões e melhor qualidade da água na primeira unidade e vazões que podem ser superiores a $100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ na segunda unidade (MACHADO, 2005).

A unidade hidroestratigráfica Pirambóia é aquela que está por baixo de todas as camadas no Sistema Aquífero Guarani. Pelo conhecimento atual da geologia do Rio Grande do Sul, ela se encontra nos compartimentos Oeste, Central-Missões e Leste. Ela compõe-se predominantemente de arenitos finos a muito finos avermelhados e siltitos, com estratificações cruzadas de grande porte, relacionadas com dunas de ambiente desértico. As vazões variam entre $3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e $100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (MACHADO, 2005).

Com essa composição hidroestratigráfica, o Sistema Aquífero Guarani não apresenta homogeneidade com relação à sua potencialidade, com poços secos em camadas quase impermeáveis, que isolam outras camadas aquíferas de boa permeabilidade e poços de ótima vazão. Além da disponibilidade variável, nem sempre é possível obter água potável de boa qualidade nesse sistema. Não há homogeneidade tampouco com relação à qualidade. Extensas áreas de águas ficam aquém dos padrões de potabilidade, no caso da área estudada estes padrões são alterados pela ocorrência de água com teores excessivos de fluoreto, em alguns pontos identificados concentrações dez vezes maiores do que o teor padrão, mas têm excelente potencial para outros uso preponderantes das águas, com exceção das indústrias alimentícias.

4.2.2. Aspectos hidroquímicos do SAG

A avaliação detalhada das principais características hidroquímicas e isotópicas do SAG foram realizadas com base em amostras de água coletadas durante campanhas de amostragem promovidas durante a execução do projeto SAG (PSAG) realizado por um período de seis meses de campanhas. Utilizaram-se também informações pré-existent.

Sendo assim, o modelo conceitual sobre os principais processos responsáveis pela composição das águas do SAG, proposto por vários autores, foi confirmado. Esse modelo engloba as zonas mais estudadas (setor norte do aquífero e, especificamente o Estado de São Paulo), todavia os dados produzidos ao longo da execução do projeto permitiram comprovar que esse modelo é válido para quase todo o aquífero, com algumas particularidades para zona situada a sudoeste do arco de Rio Grande-Assunção. Nesta zona, os processos hidrogeoquímicos e os tipos de águas são basicamente os mesmos do norte, mas sua evolução espacial e sua origem são diferentes.

Em todo aquífero há três tipos básicos de águas (do ponto de vista hidroquímico):

-Tipo A: são águas bicarbonatadas cálcicas (Ca-HCO_3) ou cálcio-magnesianas (Ca-Mg-HCO_3), pouco mineralizadas (condutividade elétrica – CE, em geral inferior a $250 \mu\text{S cm}^{-1}$) e com pH entre 4,0 e 8,0 sua composição se deve a dissolução de CO_2 edáfico (solo) e de carbonatos sólidos do terreno na zona de afloramento

-Tipo B: são águas bicarbonatadas sódicas (Na-HCO_3) com mineralização baixa – media (CE entre 200 a $600 \mu\text{S cm}^{-1}$) e pH entre 7 e 10, sua composição se deve principalmente, os íons de Ca e Mg, em solução, por Na absorvido nas superfícies de intercambio de troca iônica das argilas presentes nos arenitos do SAG e, possivelmente, nas formações subjacentes. Essa troca modifica a ordem de abundancia dos cátions na águas da zona de recarga, onde o processo de troca iônica é dominante e a alcalinidade da água aumenta progressivamente.

As águas do tipo B estão divididas em dois subtipos, denominados B1 e B2. As águas do subtipo B1 têm $\text{Cl} < \text{SO}_4$ e as águas do subtipo B2 tem $\text{Cl} > \text{SO}_4$. Diferentemente do subtipo B1, as águas do subtipo B2 podem ser encontradas geralmente mais para o centro da bacia, mas é comum encontrar alternâncias das seções estudadas. Visto que em águas do tipo A sempre se observa $\text{Cl} > \text{SO}_4$, a presença de águas com $\text{Cl} < \text{SO}_4$ implica uma fonte de SO_4 e, visto que nas formações do SAG não há evaporitos nem sulfetos, essa fonte deve estar relacionadas a fluxos ascendentes. De águas em contato com gessos nas formações do pré-SAG, a proporção de água salina na mistura não precisa ser relevante, bastando 1% ou menos para produzir as mudanças observadas.

A identificação de subtipos em águas do subtipo B tipo Na-HCO_3 é uma novidade com relação a estudos anteriores, assim como a informação sobre a existência de misturas com águas de maior salinidade do pré-SAG.

- Tipo C: são águas cuja composição oscila entre bicarbonatadas-sulfatadas-cloretadas sódicas ($\text{Na-HCO}_3\text{SO}_4\text{Cl}$) e cloretadas-sódicas. Encontram-se, em geral, nas partes mais internas da bacia. Tem mineralização media e alta (CE entre 500 e $6000 \mu\text{S cm}^{-1}$) e pH entre 7 e 9. Sua composição deve-se a mistura das águas do tipo B com outras águas mais profundas de maior salinidade.

As águas do tipo C estão divididas em três subtipos, denominados C1, C2, C3. As águas do subtipo C1 têm $\text{Cl} < \text{SO}_4$, ainda que predomine o HCO_3^- . as águas do subtipo C2 têm $\text{Cl} > \text{SO}_4$, ainda que também predomine o HCO_3^- . As águas do subtipo C3 são do tipo Na-Cl ou Na- SO_4 . As águas do subtipo C3 são as mais salinas de todas e costumam ser encontradas no

centro da bacia, nos estados de São Paulo, Santa Catarina ou ao longo do Rio Paraná, entre o Paraguai, Argentina e o Brasil. Segundo o cálculo realizado, bastaria 5% ou menos de água com salinidade semelhante a da água do mar para produzir as águas mais salinas encontradas. Além disso, basta uma pequena quantidade de água salobra para modificar significativamente a composição da água do SAG e para modificar os equilíbrios químicos favorecendo os processos de intercâmbio iônico e precipitação de carbonatos.

O flúor está associado águas mais salinas, termais e com relação rNa/rCl ($r = meq L^{-1}$), mais próxima a 1, o que sugere que a fonte de flúor (pelo menos a principal) está nas formações salinas do pré-SAG (PSAG, 2009).

4.2.3. Zonas do Sistema Aquífero Guarani

Estudos do PSAG (2009) levaram à identificação de três grandes zonas do SAG: Zona de Afloramentos (ZA), Zona de Confinamento (ZC) e Zona de Forte Confinamento (ZFC) com características hidrogeológicas diferentes, de polítipos de águas que devem ser considerados na gestão das águas subterrâneas.

Zona de afloramento (ZA), constituída por rochas sedimentares porosas, formando Aquíferos intergranulares os quais podem ou não, estar conectados.

Zona de confinamento (ZC) próximo a área de afloramento (faixa de terreno de 10 a 50 km de largura) e/ou onde a cobertura pós-SAG apresenta até 100 m de espessura. Exemplo na região do Estado de São Paulo, Aquífero Bauru. Já no Estado do Rio Grande do Sul, pode constituir-se de rochas sedimentares com intervalos de siltito-argilitos os quais podem apresentar características de semi-confinamento, como por exemplo, Formação Santa Maria, Membro Alemoa e Membro Passo das Tropas. Estas formações podem localmente apresentar águas contendo fluoretos acima do valor máximo permissível para consumo humano (SILVÉRIO DA SILVA et al. 2000, 2002, 2008 e 2009). No Brasil a Portaria nº 518/2004 fixa em $1,5 mg L^{-1}$ a concentração de fluoretos em águas para consumo humano. Já o Estado do Rio Grande do Sul apresenta uma legislação mais restritiva, valores entre 0,6 até $0,9 mg L^{-1}$ de flúor.

Zona de Forte confinamento (ZFC) é a porção que apresenta capas de espessura variada de rochas vulcânicas no Brasil denominadas de Formação Serra Geral equivalente a

Formação Arapey no Uruguai, Formação Alto Paraná no Paraguai e Formação Serra Geral (Curuzú- Cuatiá) na Argentina. Nesta zona ocorrem importantes recursos termiais, Piloto (Salto/Concórdia) Uruguai e Argentina. Nos Estados brasileiros no Rio Grande do Sul nos municípios de Nova Prata, Três Arroios, Marcelino Ramos e Santa Catarina em (Itá, Palmitos, Presidente Castelo Branco, São Carlos, Foz do Chapecó) ocorrem estâncias hidrominerais termiais, algumas delas contendo fluoretos acima do VMP, para consumo humano através de envasamento de águas minerais. Resultados hidroquímicos obtidos pela PROINSA para o PSAG (2009) indicaram 7 ocorrências no Estado de Santa Catarina e 8 no Estado do Rio Grande do Sul.

Esses estudos são de fundamental importância porque comumente se acredita que homogeneamente as águas do SAG são de excelente qualidade. Como se observa, é um corpo hídrico heterogêneo em suas características hidrogeológicas, físico-químicas, de hidrotermalidade, fatos esses que obriga à realização de novos e permanentes estudos de monitoramento qualitativo e quantitativo. Neste projeto os níveis da água nos poços foram considerados os da perfuração, portanto desconsiderou-se os rebaixamentos que já possam estar existindo como nos casos comprovados em Ribeirão Preto no estado de São Paulo e também em Ivoti/RS, Heine (2008).

5. FLUORETOS

5.1. Flúor nos ambientes naturais

Um dos elementos mais abundantes na natureza, o flúor, nunca é encontrado livre, pois é muito reativo. Ele é muito importante bioquimicamente fazendo parte da composição dos dentes e dos ossos. Pode ser ingerido principalmente através do consumo de água, sendo considerado essencial para a saúde humana, embora a ingestão em excesso deste elemento possa causar problemas nos dentes e ossos, doença conhecida como fluorose.

Sua ocorrência está relacionada comumente aos processos ígneos. Durante a evolução magmática, o flúor ocorre geralmente como um componente da fase volátil, concentrando-se nas fases finais da evolução em rochas alcalinas, carbonatitos, depósitos hidrotermais, zonas de alteração e pegmatitos, geralmente como fluorita e fluorapatita, em anfibólitos e micas, o flúor pode substituir o grupo hidróxila (ADREAZZINI, 2005).

O fluoreto (F^-) na forma do HF pode aparecer com um pH bastante ácido. Na presença de cálcio, a concentração de F^- na água é determinado pelo produto de solubilidade da fluorita, que é de $10^{-10,57}$ à $25^\circ C$. As concentrações de flúor nas águas naturais são assim diretamente ligados às concentrações de cálcio.

Entre os fatores que controlam a concentração de fluoreto nas águas naturais estão a temperatura, pH, presença de íons e colóides complexantes, solubilidade dos minerais que contêm flúor, capacidade de troca iônica dos materiais do aquífero (OH^- por F^-), tamanho e tipo de formações geológicas (ADREAZZINI, 2005).

5.1.1. Rochas e Minerais

Segundo Frank et al. (2007), a maior fonte de flúor na natureza são os minerais de flúor, que ocorrem principalmente associados a rochas graníticas. Quando estes minerais se decompõem lentamente durante os processos intempéricos, o flúor é transportado como F^- e associa-se, na maior parte, a argilominerais (FRAGA, 1992). Em relação às rochas basálticas, os tholeiítos continentais contém até 540 mg g^{-1} de F^- , derivado provavelmente da fusão de

flogopitas ($\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$) do manto superior (AOKI et al. 1981 apud MARIMON, 2006). Durante os processos de cristalização fracionada, a formação de minerais anidros sem K_2O como olivinas, plagioclásios cálcicos e piroxênios concentra o flúor até a formação de minerais com flúor como hornblenda, mica (biotita) e apatita. Também é provável a adição de flúor por contaminação do magma pela fusão de rochas encaixantes crustais das câmaras magmáticas e das fissuras alimentadoras (SIGVALDSON e ÓSKARSSON, 1986 apud MARIMON, 2006).

De acordo com Feinzi (1998), a distribuição do flúor na crosta terrestre é: rochas magmáticas – 710mg/kg; resistatos – 220mg/kg; hidrolisatos – 560mg/kg; precipitados – 112mg/kg; evaporitos – 24mg/kg e água do mar – 1,3mg/kg.

5.1.2. Águas

Conforme Marimon (2006), o fluoreto contido nas águas superficiais e subterrâneas, em geral ocorre em baixas concentrações, mas o intemperismo de rochas e o aporte a partir de fontes antropogênicas podem aumentar substancialmente as concentrações. As águas de fontes hidrotermais freqüentemente apresentam altas concentrações deste elemento.

5.2. Importância e efeitos do flúor na saúde humana

Nos últimos anos tem-se observado um aumento significativo da exposição da população às diversas fontes de flúor, tais como dentifrícios e água de abastecimento público. O flúor ingerido pode ter um papel fundamental na prevenção e controle das cáries dentárias em crianças e adultos. E pode também, dependendo da dose e do tempo de exposição, ocasionar intoxicação crônica.

A fluorose dentária é o efeito tóxico mais comum da intoxicação crônica pelo flúor, caracteriza-se como uma anomalia do desenvolvimento dos dentes associada a deformações do esmalte que provoca aumento de porosidade, opacidade, manchamento e erosão do esmalte. Além de causar mudanças estéticas nos dentes (Figura 3), com o aparecimento de manchas de cor branca, marrom e até preta em sua superfície, a perda da substância do

esmalte pode gerar deformidades anatômicas nos dentes, levando, em alguns casos, à perda dos mesmos. A doença ocorre em consequência da ingestão, por períodos prolongados, de flúor em quantidade acima do limite estabelecido, durante a fase de vida em que o esmalte está em formação, ou seja, do nascimento da criança até a idade dos quatro a cinco anos. Essa ingestão de fluoreto em excesso pode causar uma lesão de hipomineralização, subsuperficial profunda até a superfície do esmalte externo, que, em casos mais severos, se rompe logo após a erupção (Who, 1984 apud Fejerskov et al., 1994).

Quanto mais acentuado for o grau de fluorose, mais opaco e até amarelo-castanho ficará o esmalte, conforme demonstrado na Figura 2, onde caracteriza uma pessoa vítima de fluorose dentária na localidade de Mocambo, município de São Francisco - MG, abastecido pelo Aquífero Bambuí.



Figura 3. Fluorose dentária em nível generalizado-Mocambo/MG
Fonte: (VELASQUEZ et al.,2005)

Esta doença tem sido identificada em vários países, como no Leste da África (NANYARO et al., 1984; GACIRI e DAVIES, 1993; GIZAW, 1996); Turquia (ORUC, 2003); no Sudeste da Coreia (KIM e JEONG, 2005), Na Província de Azerbaijão - Iran concentrações de até $5,96 \text{ mg L}^{-1}$ de fluoreto associados a rochas vulcânicas (MOGHADDAM; FIJANI, 2008), em Israel, com valores de concentrações de fluoreto de $0,5$ a 3 mg L^{-1} (KAFRI et al., 1989 apud MARIMON, 2006); China com concentrações de 1 a 45 mg L^{-1} (ZAOLI et al., 1989 apud MARIMON, 2006); Índia com valores máximos de $3,4 \text{ mg L}^{-1}$ (RAO, 1997 apud MARIMON, 2006); México com anomalia de até 16 mg L^{-1} (MAHLKNECHT et al., 2004 apud MARIMON, 2006). Cruz e Amaral (2004), relataram ocorrências associadas a rochas vulcânicas no arquipélago dos Açores, Portugal.

Já no Brasil, ocorrências pontuais têm sido associadas ao consumo de águas subterrâneas no Aquífero Guarani registradas em São Paulo e Paraná (FRAGA, 1992), Santa Catarina (CAPELLA, 1989), e no Rio Grande do Sul (BACCAR, 1998), (SILVÉRIO et al., 2002), nos municípios de Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires. Havendo registros também em outros Aquíferos do país, que afloram nos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais e Tocantins.

A seguir a Figura 4, após o exposto, apresenta uma cadeia de causa e efeito da fluorose, que faz uma interligação entre vários fatores que leva a esta problemática social.

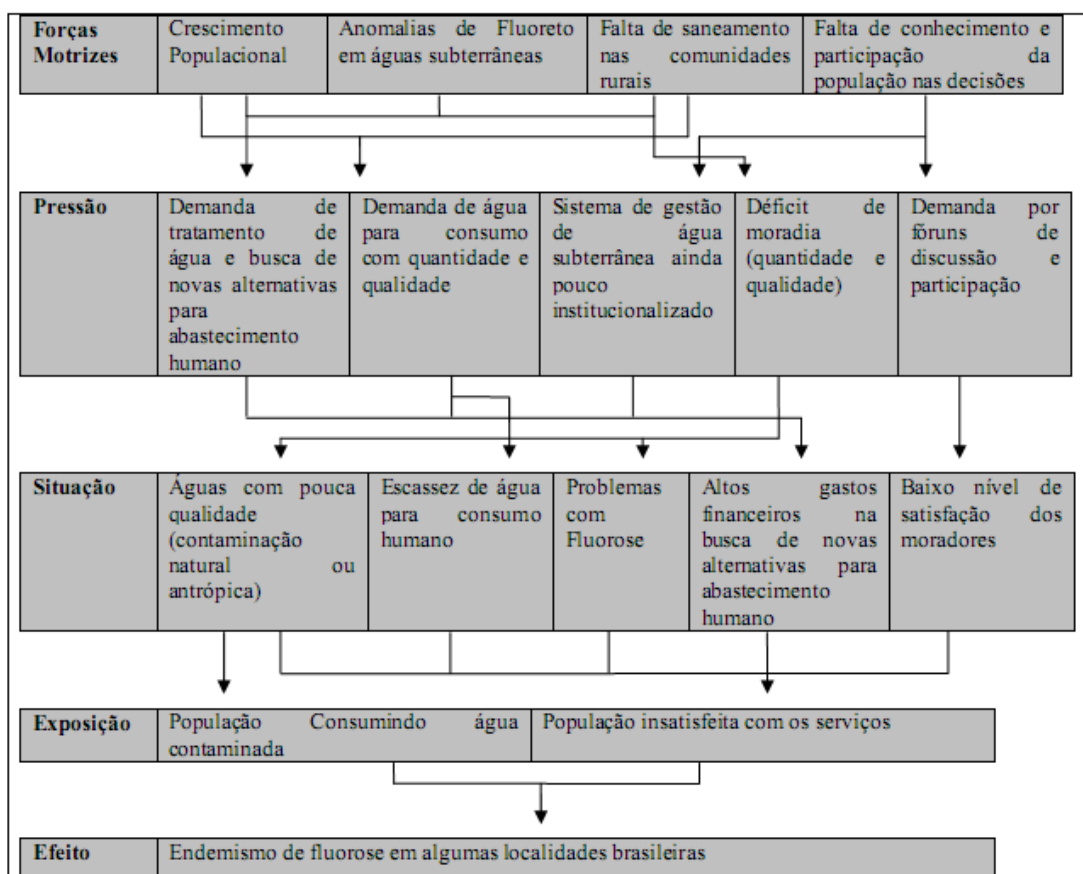


Figura 4. Cadeia de causa e efeito da fluorose
Fonte: Santiago, M. R., Silvério da Silva, J. L., (2009)

5.3. Ocorrências de flúor no país

A ocorrência do flúor está relacionada comumente aos processos ígneos ou magmáticos. Liberado pelo intemperismo dos minerais, o flúor passa às soluções aquosas

supergênicas na forma do íon fluoreto, com alta mobilidade. Nas águas subterrâneas, pode variar desde menos que 1 a mais de 35 mg L⁻¹ F⁻, enquanto em águas de rios e lagos geralmente as concentrações são baixas (0,01-0,3 mg L⁻¹) (ANDREAZZINI et al, 2006).

No Brasil foram identificadas concentrações de fluoreto acima do Valor Máximo Permissível de 1,5 mg L⁻¹, nos três tipos diferentes de Aquíferos; no poroso granular do Sistema Aquífero Guarani/SAG; no cristalino fissural como no Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia Sedimentar do Paraná; no cristalino do Estado do Rio de Janeiro, no Cristalino e Bacia Sedimentar em São Paulo e ainda no Cárstico-poroso, Grupo Bambuí, em rochas carbonáticas no NE de Goiás e na região de São Francisco no Estado de Minas Gerais.

Desta forma pode-se perceber a extensa área que esta problemática abrange, onde a mesma deve ser considerada e mapeada, como feito por Lobo et al, (2000), identificando 37 poços nos Municípios de Venâncio Aires, Santa Cruz do Sul e Vera Cruz no Rio Grande do Sul.

Nas localidades de Mocambo e Boca do Mato, município de São Francisco, norte de Minas Gerais, os teores na água subterrânea de algumas áreas variam entre 1,17 e 5,2 mg L⁻¹ F⁻ (ANDREAZZINI et al, 2006). Nesse município desenvolveram-se trabalhos prospectivos para fluorita e galena em áreas de ocorrência de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

Diversos trabalhos (Licht et al. 1996, Licht et al., 1997; Licht 2001) baseados no Levantamento Geoquímico Multielementar de Baixa Densidade do Paraná, delimitaram uma grande área fluoranômala na região do Norte Pioneiro do Estado do Paraná, onde foram determinados teores de até 1,9 mg L⁻¹ F⁻ em amostras de água superficial. Na localidade de São Joaquim do Pontal, município de Itambaracá - PR, a prevalência de fluorose dental encontrada na população em idade escolar foi de 72 %, sendo 61 % com níveis 4 e 5 de severidade (ANDREAZZINI et al, 2006). E ainda no Estado do Paraná, um estudo feito pela Agência Nacional de Águas - ANA (2005), identificou concentrações de fluoreto acima 5 mg L⁻¹ no município de Londrina, região pertencente ao Sistema Aquífero Guarani Confinado.

Panagoulas e Silva Filho (2006), observaram em seu estudo no Estado do Rio de Janeiro, os municípios de Tanguá e Rio Bonito que se tornaram mais evidentes devido as concentrações superiores a 6mg L⁻¹ de F⁻, região com ocorrências de veios de Fluorita, especialmente para poços profundos. Poços rasos apresentaram baixas concentrações do elemento, sugerindo diluição dessas águas por infiltração de águas de chuva e/ou superficial nesses poços.

Em um trabalho feito pela Agência Nacional de Águas - ANA (2005) retratou-se o panorama geral da qualidade das águas subterrâneas no Brasil, onde foi possível detectar teores elevados de fluoreto, acima de 5 mg L^{-1} , em alguns poços de grande profundidade que captam o Sistema Aquífero Guarani confinado em Presidente Prudente, no Estado de São Paulo.

Rocha et al. (2005) em um estudo realizado em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, detectaram em zonas aflorantes do Sistema Aquífero Guarani, o componente Flúor em altas concentrações.

Diante desta problemática de gestão para águas subterrâneas e a sua contaminação por flúor, podendo este ser de origem natural ou antrópica, é reconhecido a necessidade de se ter um conhecimento mais aprofundado do comportamento hidrogeológico dos Aquíferos, perante aos órgãos gestores destes recursos, reafirmando assim, a importância para desenvolvimento de pesquisas que dêem subsídios a gestão das águas subterrâneas, devido esta se apresentar com algumas lacunas a serem preenchidas.

5.4. Hipóteses sobre a origem e modo de ocorrência do flúor nas águas fluoretadas dos Sistemas Aquíferos

Visto a problemática em que anomalias de fluoreto representam, algumas das várias hipóteses merecem ser consideradas, no intuito de explicar qual as possíveis fontes deste flúor enriquecido. No entanto, a grande maioria aponta uma ou várias possibilidades agindo sozinha ou simultaneamente, sem, contudo, confirmar a fonte. Portanto existem trabalhos que relacionam como fontes os fertilizantes fosfatados enriquecidos em flúor e aplicados em solos para diversos cultivos, Marimon (2006) descartou o fertilizante como fonte de enriquecimento do flúor em águas subterrâneas. As fontes de interação rocha/mineral/águas subterrâneas são de origem Geogênica e foram tentativamente avaliadas em Silvério da Silva et al. (2002), Marimon (2006) e Oliveira et al. (2007).

Nanni (2006) já aponta o enriquecimento em flúor em águas subterrâneas seja através da interação água-rocha em prolongado tempo de residência é bastante aceito no meio científico Fraga (1992), Carrilo-Rivera et al. (2002) e Kim & Jeong (2005). Ainda Nanni (2006) cita que esta hipótese de filiação litogeoquímica para explicar as concentrações

anômalas de flúor foi descrita como atreladas em zonas de fluxo lento no Sistema Aquífero Serra Geral/SASG no Estado do Paraná Fraga (1992).

Outra hipótese esta alicerçada no controle estrutural para a origem de flúor nas águas do SASG e baseia-se na conexão hidráulica entre diferentes Aquíferos, por intermédio de estruturas tectônicas que possibilitam a ascensão de águas de Aquíferos sotopostos ao SASG, neste caso as unidades pertencentes ao SAG. Como produtos têm-se águas com diversas condições de mistura (LISBOA E MENEGOTTO, 1997), (PORTELA FILHO et al, 2002), (MACHADO, 2005).

Neste sentido os trabalhos iniciados por Silvério da Silva (no prelo) desde 2001 mapearam cerca de 19 diques de rochas vulcânicas de composição variada e ainda não estudada petrograficamente. Salienta-se que os afloramentos do SAG na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul estudados por Silvério da Silva (2000 e 2002) ainda apresentam outros diques de materiais de composição ainda pouco conhecida imersos nas rochas sedimentares da Formação Santa Maria Membro Alemoa em Venâncio Aires/RS. Estes materiais já foram estudados por Difração de Raios-X e indicaram a presença de traços de alofana e imogolita, indicando possível associação com fumarólas tardias e enriquecidas em flúor. Estes materiais necessitam de estudos mais detalhados, pois ocorrem em algumas áreas de afloramento próximo de poços tubulares com elevadas concentrações de flúor nas águas. Recentemente novas hipóteses para explicar a origem do flúor dos Aquíferos da Bacia do Paraná foram apresentadas por Frank et al. (2007) associando a desgaseificação de intrusivas da Formação Serra Geral. Descrevem que a completa ausência de minerais de flúor tais como (fluorita, criolita, topázio, lepidolita, apatita, etc.) nas rochas sedimentares da Bacia fez com a origem dos teores anômalos de flúor tenha sido atribuída a três origens:

Silvério da Silva et al. (2002), flúor associado a águas muito sódicas de pH elevado (>8), encontraram correlações de cerca de 60% das águas ricas em Na com ocorrências anômalas de flúor, mas também notaram que este elemento ocorria em águas de pH ácido (<7). Portanto ainda questionam-se a origem de flúor associado a ambientes sedimentares de características desérticas das Formações Botucatu e Pirambóia (Rosa Filho et al. 1987; Fraga, 1992). Estes autores nunca mostraram as ocorrências desses minerais em afloramento e ou no subsolo, portanto hipótese sem comprovação até o momento.

Silvério da Silva (1997) em sua tese de doutoramento em Geociências notou que algumas unidades pertencentes à Formação Santa Maria (Membro Alemoa) mostravam características em parte evaporíticas estudando calcretes (concreções carbonáticas) o que

concordavam os estudos Kiel/Frankfurt Böger e Kowalczyk (1993). Realizaram-se estudos detalhados de diversos materiais contendo inclusive apatitas em osso de répteis fósseis Silvério da Silva et al. (2002), com concentrações de 25000 mg g⁻¹.

Considerações genéricas a processos hidrotermais associados a lineamentos tectônicos de grande porte (Campos, 1993; Bittencourt, 1996; Marimon, 2006 e Provenzano, 2006), por onde ascenderiam águas de Aquíferos profundos que conteriam flúor proveniente das rochas do embasamento (granitóides) seguindo o Modelo de Kim e Jeong (2005). Silvério da Silva (2002) levantou a hipótese de serem as micas negras, que sofrendo alteração liberariam o flúor para as águas de formação e assim para o Sistema Aquífero Guarani na região Central do Estado do Rio Grande do Sul. Hipótese não comprovada.

Uma origem contemporânea aos derrames da Formação Serra Geral foi aventada por Rosa Filho et al (1987) sem apresentar documentação das fases minerais geradoras de flúor.

Assim surgiu uma hipótese nova da desgaseificação de rochas intrusivas da Formação Serra Geral (FRANK et al, 2007), infere-se que a partir desta hipótese a mesma poderia ter validade para uma área de grande extensão da ordem de 1.000.000 km² na Bacia do Paraná em parte de oito Estados brasileiros. Ainda devesse esclarecer estes derrames de rochas vulcânicas recebem outra denominação no Uruguai, Argentina e Paraguai formam as Lavas Arapey Montaña et al. (1998).

Tais fatos demonstram, que existem muitas hipóteses não comprovadas para esclarecer a origem ou origens das concentrações anômalas de flúor tanto no Sistema Aquífero Guarani como no Serra Geral e ainda mais recentemente em calcários do Grupo Bambuí onde (MENEGASSE et al, 2004) aponta como origem ser atribuída à dissolução do mineral fluorita presente nos calcários.

Em estudos feito por Velásquez (2006), foi observada ainda uma grande influência das estruturas geológicas na concentração de fluoreto encontrado nessas águas. No aquífero cárstico-fraturado, o fluxo das águas infiltradas é facilitado ao longo das fraturas abertas, ocorrendo o inverso com aquelas fechadas. Assim, as fraturas distensivas propiciam maior vazão aos poços do que as interceptam, com menores teores de fluoreto dissolvido, ao passo que as fraturas compressivas, como as de cisalhamento, propiciam baixas vazões aos poços que as interceptam e mais elevado teor de flúor a essas águas.

5.5. Relação entre sistema de gestão das águas subterrâneas e enriquecimento de fluoreto

É notória a importância em se estudar regiões que sofrem com anomalia de concentração do fluoreto no aquífero que abastece regiões tanto urbanas quanto rurais, pois a primeira há existência de redes públicas, obedecendo aos padrões estabelecidos pelo Decreto nº 5444/2005, sendo que na segunda o cenário é completamente diferente, onde o meio rural é a zona que mais sofre com doenças relacionadas à anomalia de fluoreto. Normalmente as vigilâncias sanitárias municipais ainda não estão equipadas para realizar o monitoramento dos parâmetros mínimos de qualidade, incluindo-se o flúor.

Diante do exposto, se torna relevante abordar as legislações relacionadas a gestão das águas subterrâneas, na busca de tentar interligá-las a problemática abordada, problema este que acarreta sérios problemas de saúde pública e desperdício de finanças na busca de alternativa de abastecimento das comunidades atingidas.

Para que o abastecimento humano cumpra os seus objetivos é fundamental que ele seja feito de forma a respeitar a legislação ambiental, de modo que os recursos naturais possam ser bem utilizados, oferecendo-os com qualidade, confiabilidade e que a sua disponibilidade esteja garantida para as futuras gerações com qualidade e quantidade consideráveis. Esse é um preceito básico da legislação do Brasil, a qual, também, considera a água como um bem de domínio público, cabendo ao Estado estabelecer a sua alocação entre os diversos setores usuários de modo a garantir um uso equilibrado, sem conflitos e com um mínimo de impactos ambientais.

Nesse sentido a **Constituição Federal (1988)**, traz definições em relação às águas subterrâneas, onde no art. 26 diz que incluem-se como bens dos Estados: I- as águas superficiais ou subterrâneas, emergentes em depósito, ressalvados neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da união. A partir desta cabe aos Estados realizarem as outorgas de direitos de uso da água.

A **Lei 9.433 (1997)** vem refletir uma maneira adequada de administrar e promover o processo de desenvolvimento na conduta de utilização dos Recursos Hídricos do país, passando a tratar a água como um recurso escasso e finito, sendo a ela atribuído um valor econômico. Esta mesma lei institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que estabeleceu cinco instrumentos de

gestão, estando em destaque neste artigo o enquadramento que, por sua vez, é visto como o elo entre os aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos.

Após a publicação da Portaria do Ministério da Saúde **nº 518 (2004)**, a qual alterou a Portaria do n.º1469/2000, houve um incremento em relação ao estudo das águas subterrâneas e pode-se efetivar um pouco melhor o conhecimento dos Aquíferos e até propostos alguns modelos conceituais. Esta portaria estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Nesta Portaria os valores recomendados para a concentração de íon fluoreto presente na água para consumo humano é de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$.

O **Decreto nº 5.440 (2005)**, veio para auxiliar no controle da qualidade das águas distribuídas pelas empresas fomentadoras de águas para abastecimento público, e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação mensais ao consumidor sobre os resultados das análises referentes aos parâmetros básicos de qualidade da água e anuais informações referentes as particularidades próprias da água do manancial ou do sistema de abastecimento, como presença de algas com potencial tóxico, ocorrência de flúor natural no aquífero subterrâneo, ocorrência sistemática de agrotóxicos no manancial, intermitência, dentre outras, e as ações corretivas e preventivas que estão sendo adotadas para a sua regularização.

E por fim recentemente, foi aprovada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, a Resolução **nº 396/2008** cujo assunto trata da Classificação e Diretrizes Ambientais para enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. O elemento flúor, parâmetro relevante para o estudo, não foi contemplado nesta resolução, como Valores de Referência de Qualidade – VRQ, estando também ausente da tabela de elementos advindos de contaminação natural.

Dessa forma, devido a não saber qual a origem e as formas de ocorrência do flúor esta legislação apresenta-se com algumas lacunas, no entanto é necessário considerar que a mesma por ser a nível federal, esta veio para facilitar os trâmites necessários para tornar constitucional as leis estaduais específicas. Nestas leis estaduais, devem ser abordados os aspectos ainda não abordados, ou pouco aprofundados, aspectos estes que devem ser considerados segundo as problemáticas locais e regionais.

6. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo engloba os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, destas duas regiões ênfase a pesquisa tem enfoque maior as Zonas de Afloramento do SAG no Rio Grande do Sul que coincidem em localização a área da Depressão Central, nela ocorrem às baixas altitudes, que variam de 0 a 200 m. Esta região abrange uma área de aproximadamente 5.400.000 ha no Estado (STÜRMER, 2007).

Do ponto de vista econômico a região caracteriza-se como um importante pólo industrial metal-mecânico, alimentício e da cultura do tabaco. A cultura de tabaco é coadjuvada por milho, feijão, soja e erva-mate. O uso dos recursos hídricos na indústria de transformação como um insumo, no abastecimento humano, bem como o uso na agricultura vem ampliando com a expansão populacional.

A seguir serão descritos algumas características da região onde se encontra a área a ser estudada, conforme a literatura de Hausman (1995) que descreve as Províncias hidrogeológicas do Rio Grande do Sul.

6.1. Clima

O clima do Estado pode ser classificado em dois grupos e seis subgrupos, onde a altitude e a latitude representam os elementos predominantes na diferenciação dos tipos climáticos. A área de estudo se encontra dentro do Grupo Sub-tropical obedecendo o sistema de Köppen, onde o subgrupo que recobre a área é o Cfa, característicos das áreas mais continentais junto ao vale do rio Uruguai, e a faixa Central do Estado entre Porto Alegre e Uruguaiana.

6.2. Temperatura

A temperatura média anual ao se encontrar na porção da planície Central, como dito anteriormente porção que compreende a área de estudo, varia entre as temperaturas 18° a 19,4°C.

6.3. Precipitação

As chuvas que atingem o Estado estão intimamente ligadas ao avanço da frente Polar, formada pela superfície de contato entre as massas de ar polar e tropical.

Generalizando, as chuvas estão distribuídas por todo o ano, havendo uma pequena diferença entre as médias mensais dos meses de maior e menor precipitação. Elas mostram uma distribuição bastante equilibrada entre as estações do ano, sem que isto represente ausência de déficit de pluviosidade de um ano para outro se deve exclusivamente à dinâmica atmosférica que rege as condições de deslocamento das massas de ar. A precipitação média anual na Depressão Central varia entre 1500 mm a 1650 mm.

A intensidade das precipitações no Estado em geral, variam em média a fraça nas estações frias, enquanto que nas estações quentes as chuvas são de curta duração mas de grande intensidade. Estes fatos fazem com que o balanço hídrico se torne mais favorável nas estações quentes, sem falar na ação da temperatura.

6.4. Balanço hidrológico

Apesar das médias não mostrarem a existência de uma estação seca, e as chuvas apresentarem-se distribuídas por todo o ano, com pequenas diferenças entre o mês de maior e menor média, as estações quentes apresentam déficit de pluviosidade, determinando redução das reservas de água no solo com reflexo sobre a vegetação. Além deste balanço, há elementos que aumentam ou reduzem esta deficiência, em função de um complexo geográfico, que pode ser resumido da seguinte forma:

- Quedas pluviométricas de volume apreciável em curto espaço de tempo no verão, contrastando com a predominância de chuvas de duração prolongada e intensidade menor no inverno.
- Na estação quente as chuvas de grande intensidade, encharcam apenas a superfície diminuindo a permeabilidade superficial e dificultando a infiltração da água.
- As temperaturas mais elevadas no verão, aumentam a evapotranspiração determinando a redução do nível da água no freático.
- Nas áreas em que o solo é pouco espesso, a sua umidade é eliminada com maior rapidez, reduzindo o armazenamento útil, o que se reflete com maior intensidade sobre a vegetação e o fluxo superficial, em resposta a qualquer anomalia negativa a precipitação.
- A análise da precipitação anual mostra uma distribuição irregular das chuvas. Essas irregularidades gravam o déficit de pluviosidade, sempre que as mínimas de precipitação coincidem com as máximas térmicas. As médias acumuladas mascaram estas anomalias.

6.5. Evapotranspiração

A evapotranspiração calculada segundo a fórmula de Banley-Cardelai, mostra um aumento de Leste para Oeste, coincidindo com a direção do decréscimo do quociente de pluviosidade.

Os cálculos da evapotranspiração real mostram uma oscilação entre 686 mm/ano a 981 mm/ano. Na área estudada a evapotranspiração varia entre 780 mm/ano a 820 mm/ano.

6.6. Volume de água disponível

A diferença entre a precipitação e evapotranspiração, permite estimar o volume de água disponível para escoamento superficial e a acumulação no subsolo. A tendência da disponibilidade de água durante o ano climatológico na área estudada varia de 600 mm/ano a 700 mm/ano.

6.7. Relevo

O relevo do Estado é um reflexo da litologia e estrutura geológica. As áreas recobertas pelas rochas duras e mais resistentes à erosão, como basaltos e granitos, são salientes topograficamente, e estão circundadas por áreas rebaixadas, onde afloram as formações mais brandas e erodidas, representadas pelas sedimentares. As grandes linhas de relevo apresentam uma estruturação relativamente simples, onde além da litologia, que marca as formas principais, a tectônica e a erosão modelarem os elementos secundários. As formas de relevo mais conspícuas são: a Planície Litorânea, o Planalto, a Planície Central, a Cuesta e o Maciço de Sudeste.

A Planície Central, referente à área de estudo, constitui o que se denomina geomorfologicamente de Depressão Periférica. Situada entre o Maciço (área geológica e morfológica do Escudo) e a Cuesta (porção sudoeste do Estado), por um lado e o Planalto (porção Norte da linha Leste – Oeste do Estado) por outro, forma uma calha que separa os dois blocos mais elevados do Estado. Nela forma-se a área de afloramento das formações sedimentares gondwânicas. Na mesma a planície apresenta-se suavemente ondulada, em forma de semicírculo, contornando o Maciço. Os divisores de água, dentro da planície, são superfícies planas, com banhados que funcionam como divisores das bacias hidrológicas secundárias. O semicírculo sedimentar tem um desenvolvimento de 661 Km com largura média de 80 Km.

6.8. Geologia

A região é pertencente da Formação Santa Maria, constituída por dois membros arenosos, um basal constituído por areias grossas a média de paleoambiente fluvial, formando um aquífero de grande potencialidade em termos de vazões. O Membro Alemoa constituído por fácies predominante pelíticas (argilo-siltosas) formam um Aquicludo (camadas de baixa permeabilidade), são de cores vermelhas intensas, podem conter fósseis de répteis fósseis do Período Triássico, também apresentam concreções calcárias (calcretes estudadas por Silvério da Silva, 1997 e Silvério da Silva et. al., 2002). Salienta-se que tanto os ossos de répteis fósseis, de composições originalmente fosfáticas, podem conter até 2,5% de flúor formando

fluorapatitas, o que pode participar na composição das águas subterrâneas, tornando-as inclusive impróprias para consumo humano (SILVÉRIO DA SILVA, 2002). Estas rochas de baixa permeabilidade natural são os melhores terrenos para serem dispostas obras de engenharia que necessitem realizar disposição de efluentes no subsolo.

6.9. Hidrogeologia

Uma vez que os aquíferos são compostos por uma ou por várias unidades hidroestratigráficas, e ainda, relacionando-se sua ocorrência em área de uma bacia hidrográfica ou mesmo de um estado, vários estados e/ou vários países, neste trabalho utilizou-se o conceito de Domínio e Subdomínio Hidrogeológico da CPRM (BRASIL, 2007). Este conceito refere-se a um conjunto de unidades geológicas com afinidades hidrogeológicas, tendo como base principal as características litológicas (composição/texturas) das rochas penetradas pelas captações de águas subterrâneas enquadradas em sete Domínios e Subdomínios. Serão citados nesta pesquisa somente aqueles considerados nas discussões.

Visando facilitar o entendimento do arcabouço da Bacia Sedimentar do Paraná na área de estudos consideraram-se três domínios e subdomínios hidrogeológicos. Estes são aqui detalhados, em função do já sistematizado arranjo no Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul, proposto por Freitas et al. (2005), na escala de 1:50.000.

Os três Domínios avaliados na área do estudo são:

1) Domínio das Bacias Sedimentares constituída pela Bacia Sedimentar do Paraná a qual neste trabalho esta inserida nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina constituindo diferentes aquíferos e/ou aquíferos de Idades geológicas distintas.

Aquíferos Porosos Permianos- são os aquíferos contínuos intergranulares relacionados às formações areníticas Rio Bonito e Grupo Itararé;

Aquíferos Permianos- são aquíferos relacionados aos sedimentitos finos (argilitos e siltitos) pertencentes às formações Palermo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto. Neste trabalho serão referenciados como Pré-SAG e tem importância uma vez que podem conter diferentes tipos de sais e/ou evaporitos, ou ainda cimentos dos arenitos com diferentes constituições.

O SAG é constituído por nove unidades Hidroestratigráficas, duas unidades destas estão presentes na área de estudo sendo elas:

Aquíferos Porosos Triássicos constituem aquíferos contínuos, intergranulares, relacionados às formações arenosas Pirambóia, Sanga do Cabral e Santa Maria. Exemplos ocorrem em zona de afloramentos nos Municípios de: Santa Maria, Restinga Seca, Faxinal do Soturno, Candelária, Vera Cruz, Santa Cruz do Sul, Venâncio Aires, Pântano Grande, Tabaí, Taquari.

Aquíferos Porosos Eo-Cretáceos são aquíferos intergranulares relacionados às formações areníticas Guará e Botucatu.

O SAG quando em Zona de Forte Confinamento pode estar associada a fontes hidrominerais termais (exemplo: Nova Prata, Erechim, Três Arroios no RS), os quais penetram o SASG e o SAG, Silvério et al. (2008), PSAG (2009).

2) Domínio das Vulcânicas constituído por Aquíferos Fissurais Serra Geral ou Sistema Aquífero Serra Geral/SASG. São aquíferos descontínuos relacionados às lavas básicas e/ou ácidas da Formação Serra Geral. Estes corpos podem ter espessura variável na bacia e estão em situação topográfica sotopostos (em cima do SAG, condição de confinamento). Podem conter vesículas, amígdalas, diques e brechas vulcânicas de constituição ainda pouco conhecida. Exemplos são os poços estudados em municípios de Santa Catarina: Piratuba, Itá, Foz do Chapecó, Presidente Castelo Branco. No Estado do RS alguns exemplos, são em Iraí, Nova Prata, Erechim. Salienta-se que várias das perfurações penetram o SASG e podem atingir o SAG, aqui consideradas como Zona de Forte Confinamento. Neste conjunto também podem ocorrer águas minerais com conteúdo anômalo de flúor, ex. Iraí/RS em águas frias (Temperatura <25°C).

3) Domínio do Cristalino, constituído por rochas cristalinas granitóides, Aquíferos fissurais do Escudo Cristalino. Neste trabalho foi incluído, uma vez que pode ser uma das fontes primárias de flúor para as águas subterrâneas, pode conter minerais como a fluorita e/ou fluorapatita. Forma também águas minerais captadas no Município de Porto Alegre, algumas delas com conteúdo de flúor elevado acima do VMP da Portaria N°518/2004 para consumo humano.

7.0. Caracterização hidrogeológica da região de maior ênfase do estudo

Marimon (2006), afirma que no compartimento da depressão, o aquífero da Formação Santa Maria é o mais importante e procurado, nela indicam as fácies sedimentares, Membro Alemoa e Passos das Tropas. A percolação das águas no Aquífero Guarani, através de arenitos do Membro Passo das Tropas, é condicionada pela natureza deposicional da unidade, pelas descontinuidade físicas entre as camadas e pela tectônica rúptil. O comportamento Hidrogeológico das duas unidades hidroestratigráficas são como Aquitardo ou Aquiclude (Membro Alemoa) e aquífero granular (Membro Passo das Tropas).

7. METODOLOGIA

7.1. Delimitação da área de estudos e cadastro dos poços em bancos de dados pré-existent

A primeira fase da pesquisa corresponde à realização de levantamentos e a seleção das informações sobre os aspectos naturais e antrópicos. Foram coletados dados extraídos de trabalhos anteriores, tais como cartas topográficas do exército, mapas geológicos, além de outros mapas temáticos.

Neste nível buscou-se um conhecimento das características regionais que auxiliou para delimitação da área de estudo. O critério básico para escolha da área selecionada levou em consideração maior ocorrência de municípios com concentrações de fluoreto acima de 1,5 mg L⁻¹.

Foram utilizados dados secundários produzidos pela CPRM junto ao Sistema de Informações de Águas Subterrâneas/SIAGAS (Figura 5) e pelo DNPM junto ao Sistema de Recursos Hidrogeológicos do Brasil contendo informações das fontes hidrominerais e águas minerais/SIGHIDRO. Informações hidrodinâmicas complementares foram buscadas em outros cadastros tais como: Companhia Rio-grandense de Saneamento/CORSAN, Prefeituras Municipais. Posteriormente, foi elaborado um banco de dados e avaliado a consistência dos dados secundários obtidos. Finalizando esta etapa da pesquisa, com busca de informações hidrogeológicas complementares, coletadas em levantamento de campo. Foram utilizados dados do cadastro de poços da SEMAE – Serviço Municipal de Água e Esgoto do município de Vera Cruz. Ainda considerou-se quartzos resultante de captações de águas subterrâneas realizadas pela Proinsa para o PSAG (2009.)

The screenshot shows the 'PESQUISA GERAL' (General Search) page of the SIAGAS system. The interface includes a navigation menu on the left with options like 'Home', 'Apresentação', 'Visualizar Mapa', 'Pesquisa', 'Créditos', and 'Informações Complementares'. The main search area contains several input fields and dropdown menus for filtering results. At the bottom, there is a table for defining search conditions.

Campos		Condições					
Seleção	Remover	(Campo	Crítério	Valor)	Condição
<input type="text"/>	<input type="text"/>	(<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>)	<input type="text"/>

Figura 5. Página de Busca SIAGAS - CPRM

7.2. Espacialização dos poços cadastrados

Corresponde à fase de sobreposição dos planos de informações buscando-se interpretar sua distribuição espacial em mapas georreferenciados com uso de coordenadas no *Sistema Transversa de Mercator* UTM/SAD 69, Datum vertical porto de Imbituba – SC e também em sistema de coordenadas geográficas quando existe necessidade de apresentar um mapa em escala reduzida espacializando-se poços nos fusos 21 e 22. Para tanto foram utilizadas as coordenadas do SIAGAS, SGHIDRO, Ben da Costa, et al (2004), Baccar (2005), Marimon (2006), PSAG (2009) e em trabalhos de campo.

Os documentos cartográficos gerados nesta etapa representam uma síntese parcial da pesquisa.

7.3. Determinação dos parâmetros físico-químicos no poço único estudado

A análise das flutuações dos parâmetros físico-químicos iniciou-se a partir da escolha de um poço de monitoramento, localizado dentro das instalações da Universidade Federal de Santa Maria/UFSM. A escolha deste é devido às características da água apresentar-se fora dos limites máximos estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004, que estabelece os padrões de qualidade da água destinada ao consumo humano.

As coletas de água foram feitas quinzenalmente, onde se bombeava o poço por um tempo de 15 min, esperando sempre coletar a mesma tomada d'água. Após a coleta a amostra era encaminhada ao Laboratório de Análises Químicas Industriais e Ambientais – LAQIA – UFSM, as determinações das concentrações dos íons foram feitas usando os métodos padrões do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*.

Em cada amostra recebida pelo laboratório eram determinados os seguintes parâmetros físicos: cor, turbidez, condutividade elétrica; parâmetros químicos: pH, carbonatos, bicarbonatos, cloretos, fluoretos, sódio, potássio, sulfato, dureza, cálcio, magnésio, ferro, manganês, nitrato e fosfato. Os resultados obtidos eram tabulados, onde se observava as flutuações dos parâmetros de uma campanha para outra.

A determinação da cor foi feita por colorimetria. O aparelho usado trabalha com a comparação entre a intensidade de luz absorvida pela amostra em condições definidas o método é por comparação visual da cor da amostra, que é expressa mg L^{-1} Pt-Co.

A determinação da turbidez foi feita pelo método nefelométrico. O nefelômetro é calibrado com três padrões próprios do aparelho, e em seguida é feita a determinação da turbidez da amostra.

Para determinação da condutividade elétrica, o condutivímetro é calibrado antes da leitura. A solução padrão de condutividade elétrica para a calibração do instrumento foi preparada de acordo com a Norma da ABNT NBR 14340:1999 (Determinação da condutividade e da resistividade elétrica), utilizando cloreto de potássio, KCl a $0,001\text{mol L}^{-1}$. Depois da calibração do aparelho eram feitas a leitura das amostras, na mesma havia o controle da temperatura.

Para a determinação do pH, foi determinado por potenciometria com eletrodo de pH (eletrodo de vidro). A calibração é feita com soluções tampão de pH igual a 4,00 e 7,00. Após a calibração, o pH das amostras era determinado.

A determinação do carbonato e bicarbonato partiu do método de determinação da alcalinidade total, utilizando ácido sulfúrico a $0,02\text{ mol L}^{-1}$, que indica a presença de hidróxido, carbonato e bicarbonato. Para quantificação dos íons OH^- e CO_3^{2-} , o indicador utilizado foi a fenolftaleína, cuja faixa de pH de viragem é de 8,3 a 9,8. Na quantificação de íons HCO_3^- o indicador utilizado foi o alaranjado de metila, sua faixa de viragem é em pH 4,4 a 6,2.

O cloreto é um dos ânions inorgânicos presentes em maior quantidade em água e efluentes, sua determinação foi feita por titulação pelo método de Mohr. O método baseia-se

em titular a amostra com nitrato de prata (AgNO_3 a $0,01 \text{ mg L}^{-1}$), usando solução de cromato de potássio (K_2CrO_4) como indicador.

Uma vez que uma única análise não fornece informações sobre a variabilidade dos resultados, foram utilizadas duas **réplicas** de uma amostra para realizar um procedimento analítico completo. Os resultados individuais obtidos para um conjunto de medidas não eram iguais, assim sendo, considerou-se que o “melhor” resultado é o valor central do conjunto.

Para determinação de fluoretos foi utilizado o método potenciométrico, com eletrodo íon seletivo. A curva de calibração foi feita no frasco de $0,25 \text{ mg L}^{-1}$ a $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ de F. Tempo de ajuste de força iônica total (TAFIT) foi utilizado em todas as medições. Para tal, 5ml do padrões ou amostras forma misturados com 5 ml de TAFIT.

A determinação de (Na), (K), (Ca), (Mg), (Fe) e (Mn), foi por espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS). Ar e acetileno foram usados para gerar a chama.

A amostra original antes de ser analisada passava por diluições de 5 e 10 vezes, nelas eram adicionadas 1% de Schinkel, solução composta de cloreto de cézio e cloreto de lantânio. O lantânio servirá para desestabilizar o fosfato, caso o mesmo esteja presente na amostra e possa se ligar aos elementos Ca e Mg. O potencial de ionização do cézio por possuir uma energia mais baixa que o sódio (Na) e o cálcio (Ca), ionizará primeiro que estes dois elementos e deixará elétrons sobrando para ligação com os elementos de baixa energia, deixando a solução em equilíbrio e favorecendo para permanência tanto do Na como Ca fiquem no seu estado fundamental.

De posse das informações coletadas e das análises realizadas a interpretação dos resultados após sobrepor-se vários planos de observação e ter-se realizado inferências estatísticas dos parâmetros avaliados e sua distribuição no terreno. Pode-se então buscar as generalizações apoiadas em probabilidades estatísticas e testando-se hipóteses de trabalho elaboram-se gráficos no Programa Excel, para facilitar a interpretação e a observação das flutuações dos parâmetros analisados.

7.4. Tratamentos estatísticos

Com os resultados das 13 amostras analisadas para os 17 parâmetros, elaborou-se uma planilha no programa Microsoft Office Excel. As variáveis que receberam tratamento

estatístico foram os teores dos elementos (mg L^{-1}), a condutividade (mS cm^{-1}), a dureza (mg L^{-1} de CaCO_3), a Alcalinidade (mg L^{-1} de HCO_3^-), o nitrato, o fosfato, o sulfato e o pH. O programa utilizado foi o STATISTICA 7. Inicialmente foram calculados:

- Médias aritméticas, valores máximos e mínimos, desvios-padrão e coeficiente de variação;

- Houve a plotagem de todas as variáveis em gráficos de linhas, feitas separadamente, na qual são expostas as variações das mesmas entre uma campanha a outra, tomando como base para geração do gráfico a média de cada variável;

7.5. Determinação granulométrica do perfil do poço único estudado

Para a determinação da composição granulométrica do perfil do poço único estudado, foram realizados testes nos materiais coletados amostras de calhas durante a perfuração e acondicionados em sacos plásticos, onde obteve-se amostras de 6 em 6m. O método de análise baseou-se na NBR 7181 MB-32 (ABNT, 1997), a medida é realizada através do peneiramento (peneiramento da fração areia 2 – 0,062mm e as frações silte 0,062-0,002mm e argila <0,002 mm por decantação) e da sedimentação. O peneiramento tem como objetivo determinar as frações grossa do solo. O peso do solo seco retido em cada peneira é determinado e baseado nesses pesos é determinada o percentual acumulado que passa nas peneiras. Para a fração fina do solo, emprega-se o método da análise por sedimentação contínua em meio líquido. Neste método, certa quantidade de solo é dispersa num becker volume 1000 mL com água em um agente anti-floculante, a fim de se obter uma suspensão fina.

São tomadas amostras em tempos específicos, sifonadas alíquotas para beckeres de volume 50 mL, tarados, as amostras são então colocadas em estufas e realizadas a diferença de peso em balança analítica com erro na quarta casa.

Para classificação das frações coletadas no perfil do poço tubular estudado, partiram da análise granulométrica e depois lançados no triângulo textural (Figura 6). Pela intersecção de pelo menos duas frações têm-se a classe textural (Figura 6). Observa-se que a utilização do triângulo textural é bastante simples, mas apresenta o inconveniente de demandar tempo para a determinação da classe textural e principalmente pode ser susceptível a erros de

identificação. Mas como o objetivo principal da pesquisa não é trabalhar com as tipologias das frações do solo e somente entender qual a sua estrutura, os erros intrínsecos na metodologia adotada não interferiram nos resultados.

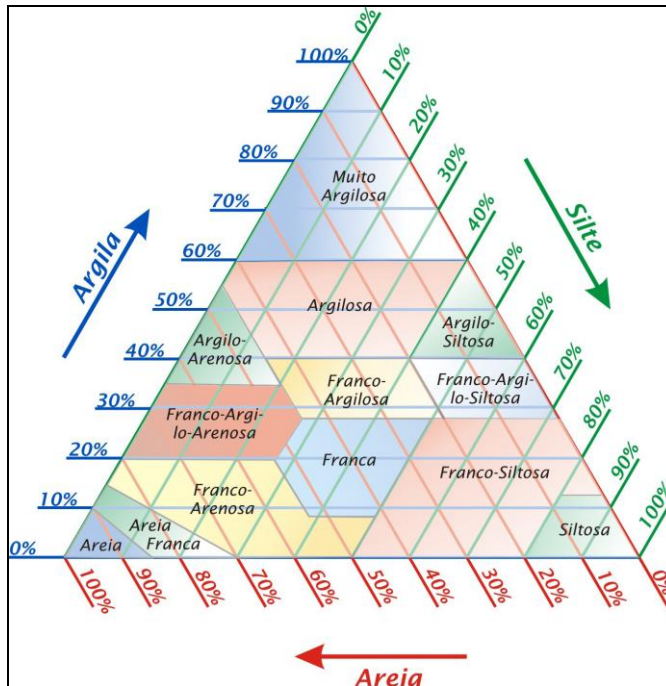


Figura 6. Triângulo das classes texturais do solo
Fonte: Azevedo e Dalmolin (2004)

7.6. Classificação e caracterização das águas

Os dados de análises de água obtidos tanto em dados pré-existentis como em análises obtidas no LAQIA, foram analisados a partir de um conjunto de dados referentes a área de estudo que engloba tanto os municípios que compõem as três zonas do SAG e que estão dentro do território do estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Gerou-se os dados em diagramas de Piper e Stiff (DREVER,1997) buscando-se separar os polítipos das águas verificando qual a tendência de cada zona, para isso empregou-se o uso do Programa *Aquachem Waterloo hydrogeologic's*.

O diagrama de Piper é, frequentemente, utilizado para classificação e comparação de distintos grupos de águas quanto aos cátions e ânions dominantes. Os diagramas de Piper, também chamados de *diagramas trilineares* (Piper, 1944; Back, 1966), são extraídos

plotando-se as proporções dos cátions principais (Ca^{2+} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) e dos ânions principais (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2}) em dois diagramas triangulares respectivos, e combinando as informações dos dois triângulos em um losango situado entre os mesmos (Lucena et al., 2004). As proporções são traçadas nos gráficos triangulares e suas escalas, para a proporção das variáveis, correspondem a 100 por cento. Os gráficos mostram, assim, as proporções relativas dos íons principais, mas não suas concentrações absolutas.

No diagrama de Stiff (DREVER,1997) todas as concentrações iônicas são transformadas em meq L^{-1} , a representação das concentrações é feita sobre linhas paralelas horizontais, sendo que, do lado direito, ficam os ânions e do esquerdo, os cátions, resultando numa figura geométrica característica da amostra de água analisada. Essa representação tem como objetivo facilitar a visualização da composição química das águas e poder comparar rapidamente as diferentes amostras.

Para alguns parâmetros químicos de características dos poços tubulares selecionados houve o uso de mais uma geotecnologia além do Programa Aquachem *Waterloo hydrogeologic's*, o uso do Programa SURFER 8.0, nele são testados diversos interpoladores matemáticos pelo método Krigagem, servindo para espacializar as informações com uso de coordenadas em cartogramas. Simulou-se as informações disponíveis para cada captação, tendo sido espacializada as concentrações anômalas de flúor, a faixa de variação pH, da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), da concentração de Cl^- (mg L^{-1}), da concentração de Na (mg L^{-1}) e ainda a razão Na/Cl (meq L^{-1}).

O Programa GPS Trackmaker possibilitou a transformação de coordenadas em sistema UTM e/ou geográfico para o sistema de coordenadas em graus decimais. Estas coordenadas foram adicionadas ao Programa Arc GIS gerando-se o Mapa contendo os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, Figura 7.

8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.1. Espacialização dos poços cadastrados na área de estudo

A partir dos valores de concentração de fluoreto acima do VMP de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, aparentes em poços cadastrados na área de estudo que engloba os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, foi elaborado o mapa que espacializa 132 poços com anomalias de concentração de fluoreto (Figura 7), e no mesmo pode-se perceber uma maior concentração de poços na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. Os dados descritivos das concentrações de F^- , condutividade elétrica, pH, Na e Cl^- dos poços espacializados demonstrados no ANEXO A.

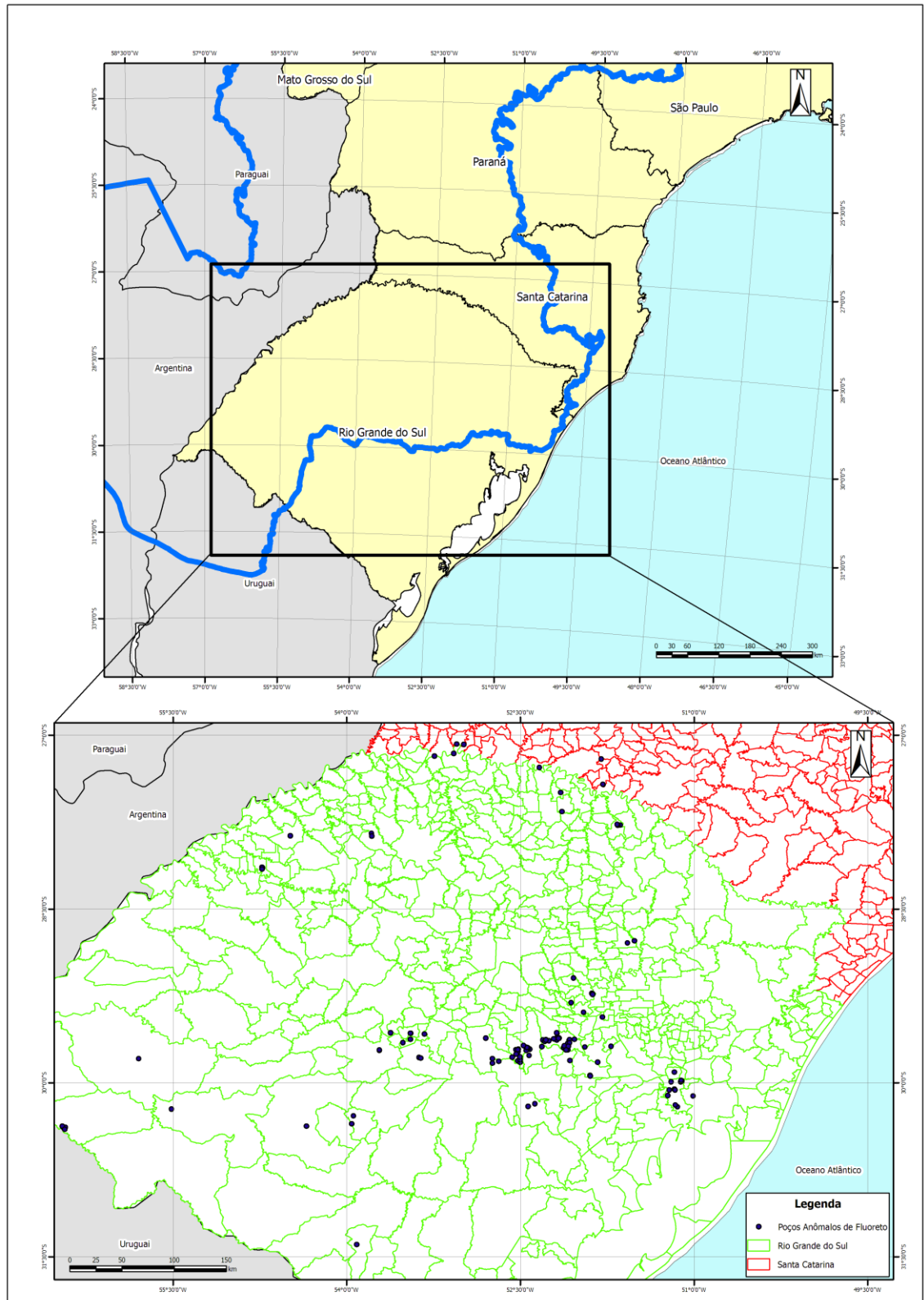


Figura 7. Espacialização de poços cadastros na área de estudo com flúor acima de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$

Observando este mapa nota-se uma grande dispersão nas ocorrências de fluoreto anômalo englobando três Domínios Hidrogeológicos.

8.2. Composição das águas

8.2.1. Zonas do Sistema Aquífero Guarani

O SAG foi dividido em três grandes zonas. A Zona de Forte Confinamento, a Zona de Afloramento e Zona de Confinamento, dentro dessas três zonas foram cadastrados os municípios com anomalias nas concentrações de fluoreto e que apresentavam características em que os classificavam dentro de uma das três zonas. Dessa forma gerou-se os diagramas de Piper e Stiff no intuito de verificar quais as tipologias de águas e quais as suas tendências dentro de cada zona.

Das três zonas consideradas para o SAG a Zona de Forte Confinamento - ZFC foi a que mais teve dados gerados no Diagrama de Piper, não sendo possível gerar dentro do banco de dados, apenas os municípios de Itá, Piratuba e Relvado, destacados no Quadro 2. Destas doze contém informações de temperaturas da água na fonte, sendo deste conjunto 83% com características hidrotermais.

Tipos de Água	Diagrama Piper (Polítipos de Águas)	Fonte Inf.	UF	Município	Geologia	Temp. na Fonte
Na-Cl-HCO ₃ -SO ₄	Sulfatada- cloretada- Sódica	PROINSA	SC	Águas de Chapecó	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	Mesotermal
Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃ -	Sulfatada- cloretada- Sódica	PROINSA	SC	Águas de Prata	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	Hipotermal
Na-Cl-SO ₄	Sulfatada- cloretada- Sódica	PROINSA	SC	Itá	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	Hipotermal
Na-Cl-SO ₄	Sulfatada- cloretada- Sódica	PROINSA	SC	Palmitos	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	Isotermal
Na-Cl-HCO ₃ -	Bicarbonatada-Sódica	PROINSA	SC	Presidente Castelo Branco	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	Mesotermal
Na-Cl-HCO ₃	Bicarbonatada-Sódica	PROINSA	SC	Piratuba	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	Hipertermal
Na-SO ₄ -Cl-HCO ₃	Sulfatada- cloretada- Sódica	LAQIA/UFSM	RS	Santa Rosa	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	Hipotermal
Na-SO ₄ -Cl	Sulfatada- cloretada- Sódica	DNPM	RS	Tres Arroios (Zanoello)	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	Hipotermal
Ca-Na-SO ₄ -Cl	Cloretada-Sulfatada-Cálcica	PROINSA	SC	Piratuba	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	Fria
Na-HCO ₃	Bicarbonatada-Sódica	CPRM	RS	Teutônia	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	
Na-CO ₃	Bicarbonatada-Sódica	CPRM	RS	Cacequi Doble	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	
Na-CO ₃	Bicarbonatada-Sódica	CPRM	RS	Cacequi Doble (pitangueira)	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	
Na-SO ₄	Sulfatada-Sódica	Estimada	RS	Nova Prata (Fonte da Aventura)	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	Hipotermal
Na-SO ₄	Sulfatada-Sódica	DNPM	RS	Nova Prata (Fonte Santa Barbara)	Vulcânica SASG + Arenitos SAG	Hipotermal
Mg-HCO ₃	Bicarbonatada-Magnésiana	CPRM(2062)	RS	Cacique Doble (prox. ponte rio carazinho)	Vulcânicas SASG	

Na-CO ₃ -HCO ₃	Bicarbonatada-Sódica	CPRM(2606)	RS	Cerro Largo (sede)	Vulcânicas SASG	
Na-CO ₃ -HCO ₃	Bicarbonatada-Sódica	CPRM(2595)	RS	Cerro Largo	Vulcânicas SASG	
Na-CO ₃ -HCO ₃	Bicarbonatada-Sódica	CPRM(2601)	RS	Cerro Largo (Prox. arroio encantado)	Vulcânica+ Aren. Interderrames SAG	
Na-HCO ₃ -CO ₃	Bicarbonatada-Sódica	CPRM(2586)	RS	Santo Augusto	Vulcânicas SASG	
Na-HCO ₃ -CO ₃	Bicarbonatada-Sódica	CPRM(2732)	RS	Santo Augusto	Vulcânicas SASG	
Na-HCO ₃ -SO ₄	Bicarbonatada-Sódica	CPRM(2583)	RS	Santo Augusto (bairro São Francisco)	Vulcânicas SASG	
Na-HCO ₃	Bicarbonatada-Sódica	CPRM(13713)	RS	Relvado	Vulcânicas SASG	Fria

Quadro 2. Banco de dados para plotagem do Diagrama de Piper na ZFC

Conforme a Quadro 2, verifica-se que dentro da ZFC houve a predominância de águas sódicas, apresentando 5 tipologias diferenciadas. A tipologia de águas bicarbonatadas sódicas, foi a mais encontrada, num total de 11 poços que penetram o Sistema Aquífero Serra Geral e/ou Sistema Aquífero Guarani, caracterizando em sua maioria como águas termais.

Para a segunda tipologia águas sulfatadas cloretadas sódicas, 6 municípios apresentam este polítipo, os mesmos penetram o Sistema Aquífero Serra Geral, tendo como característica principal, serem águas termais ($T > 25^{\circ}\text{C}$). A terceira tipologia sulfatas sódicas esteve presente em 2 municípios, que penetram Sistema Aquífero Serra Geral e/ou SAG, caracterizando com águas termais ($T > 25^{\circ}\text{C}$). A quarta cálcicas sódicas sulfatadas Cloretadas e quinta magnesianas bicarbonatadas teve dentro destes polítipo apenas 1 município cada, neste dois poços as características termais da água apresentam-se como frias.

O caráter predominante de dureza foram as brandas que demonstram que as águas apresentam baixas concentrações de Ca e Mg. A faixa de variação do pH esteve entre 7,2 a 10 indicando desde de meios neutros a alcalinos.

Na classificação das fácies hidroquímicas das águas ilustradas no diagrama de Piper (Figura 8), 52,6% são de águas bicarbonatadas sódicas, 26,3% sulfatadas cloretadas sódicas, 10,5% sulfatadas sódicas, 5,3% cloretadas sulfatadas sódicas e 5,3% são classificadas como bicarbonatadas magnesianas, reforçando a tendência predominante de águas bicarbonatadas sódicas.

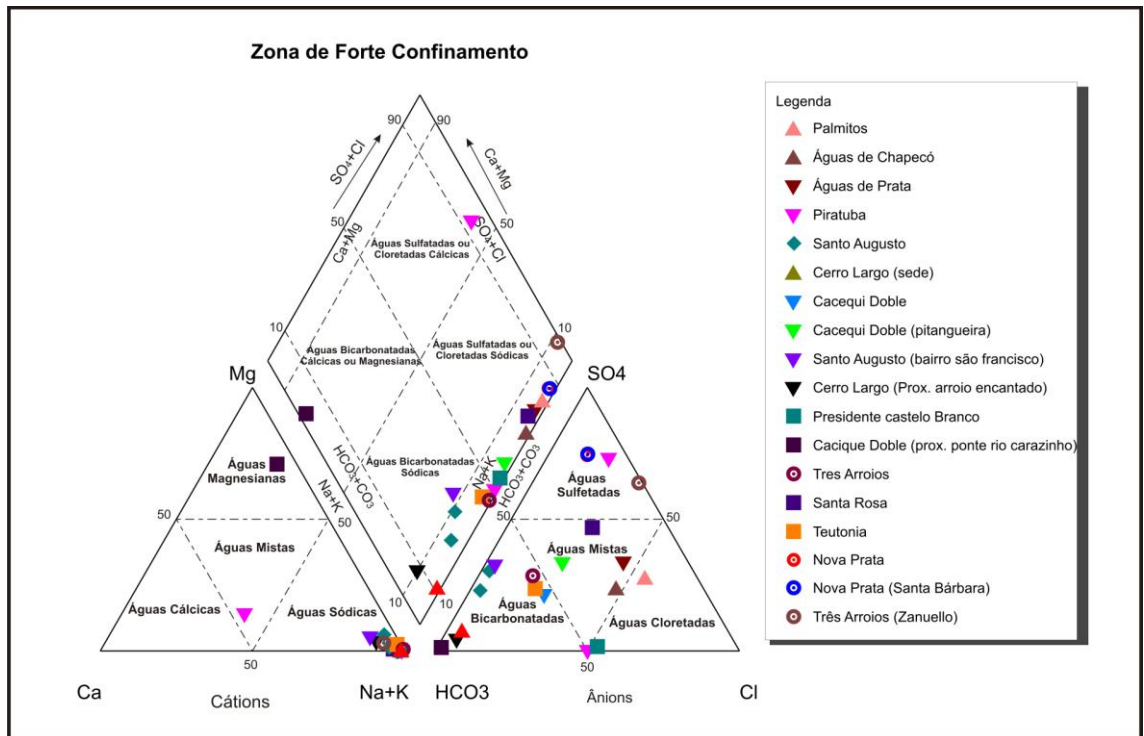


Figura 8. Diagrama de Piper para águas da ZFC.

Não diferindo da zona anterior, a Zona de Afloramento também apresentou uma predominância de águas sódicas, conforme o Quadro 3 as tipologias pertencentes foram 6 que puderam classificar um total de 21 poços, sendo que apenas 14 conseguiram ser gerados no Diagrama de Piper (Figura 9).

Considerando a termalidade das águas, nesta zona, todos os poços caracterizaram como águas frias, que penetram o SAG podendo receber contribuições Pré-SAG (Aquíferos e Aquitardos Permianos).

Para a primeira tipologia obteve-se águas bicarbonatadas sódicas, num total de 7 municípios. A segunda, águas sulfatadas cloretadas sódica, compõem-se de 8 municípios. A terceira e quarta tipologia, águas cloretadas sódicas e sulfatadas sódicas, esteve integrante em 2 municípios cada. E por fim, para quinta e sexta tipologia, águas bicarbonatadas cálcicas magnesianas e sulfatadas cloretadas cálcicas, houve 1 município para cada polítipo.

A dureza teve predominância para águas brandas, no entanto dois poços obtiveram na suas composição águas duras e um poço como característica de águas muito duras. A faixa de variação do pH esteve entre 6,7 a 9,5 indicando desde meios neutros a alcalinos.

Tipos de água	Diagrama Piper (Polítipos)	Fonte de Inform.	UF	Município	Geologia	Temperatura na Fonte
Na-SO4-Cl	Sulfatada- cloretada- Sódica	CPRM	RS	Bom Retiro do Sul	Arenitos SAG	Fria
Na-HCO3-Cl	Bicarbonatada-Sódica	CPRM (6306)	RS	Candelária	Arenitos SAG	Fria
Na-SO4-Cl-HCO3	Sulfatada- cloretada- Sódica	CPRM (7751)	RS	Faxinal do Soturno	Arenitos SAG	Fria
Na-HCO3-Cl-SO4	Sulfatada- cloretada- Sódica	CPRM (8846)	RS	Restinga Seca	Arenitos SAG	Fria
Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada-cálcicas-magnesianas	CPRM (1783)	RS	Rosário do Sul	Arenitos SAG	Fria
Na-HCO3-CO3	Bicarbonatada-Sódica	CPRM (2868/G1528/SCZ10)	RS	Santa Cruz do Sul	Arenitos SAG	Fria
Na-HCO3-CO3	Bicarbonatada-Sódica	PROINSA	RS	Santa Cruz	Arenitos SAG	Fria
Na-Ca-HCO3	Bicarbonatada-Sódica	CPRM (0556)	RS	Santa Maria	Arenitos SAG	Fria
Na-SO4-Cl	Sulfatada- cloretada- Sódica	LAQIA	RS	Santa Maria (UFSM)	Arenitos SAG	Fria
Na-SO4-Cl-HCO3	Sulfatada- cloretada- Sódica	CPRM (7662 - IJ755)	RS	São João do Polesine	Arenitos SAG	Fria
Na-SO4-HCO3	Sulfatada-Sódica	LAQIA	RS	Tabaí	Arenitos SAG	Fria
Na-HCO3	Bicarbonatada-Sódica	CPRM (8631)	RS	Taquari	Arenitos SAG	Fria
Na-Cl-SO4	Sulfatada- cloretada- Sódica	CPRM (6346/G612 VA6)	RS	Venâncio Aires 1	Arenitos SAG	Fria
Na-Cl	Cloretada- Sódica	CPRM (6348 /G1333 VA23)	RS	Venâncio Aires 2	Arenitos SAG	Fria
Na-Cl	Cloretada- Sódica	CPRM (6356/G1625 VA29)	RS	Venâncio Aires 3	Arenitos SAG	Fria
Na-HCO3	Bicarbonatada-Sódica	CPRM (6368)	RS	Venâncio Aires 4	Arenitos SAG	Fria
Ca-Cl-SO4	Sulfatadas-cloretadas-cálcicas	CPRM (6371/G835 VA10)	RS	Venâncio Aires 5	Arenitos SAG	Fria
Na-SO4-Cl	Sulfatada- cloretada- Sódica	CPRM (6373/G1281 VA20)	RS	Venâncio Aires 6	Arenitos SAG	Fria
Na-Ca-SO4-Cl	Sulfatada- cloretada- Sódica	CPRM (6376/IQ 391)	RS	Venâncio Aires 7	Arenitos SAG	Fria
Na-SO4-HCO3	Sulfatada-Sódica	CPRM	RS	Venâncio Aires 8	Arenitos SAG	Fria
Na-HCO3-Cl	Bicarbonatada-Sódica	CPRM (6265)	RS	Vera Cruz	Arenitos SAG	Fria

Quadro 3. Banco de dados para plotagem do Diagrama de Piper na ZA

Para classificação das fácies hidroquímicas das águas ilustradas no diagrama de Piper (Figura 9), somam um total de 14 municípios da Zona de Afloramento, dentro destas 50% apresentaram águas sulfatadas cloretadas sódicas, 36% águas bicarbonatadas sódicas 7,15% águas sulfatadas sódicas e 7,15% apresentaram águas do tipo bicarbonatadas cálcicas magnesianas, conforme ilustrado na Figura 8.

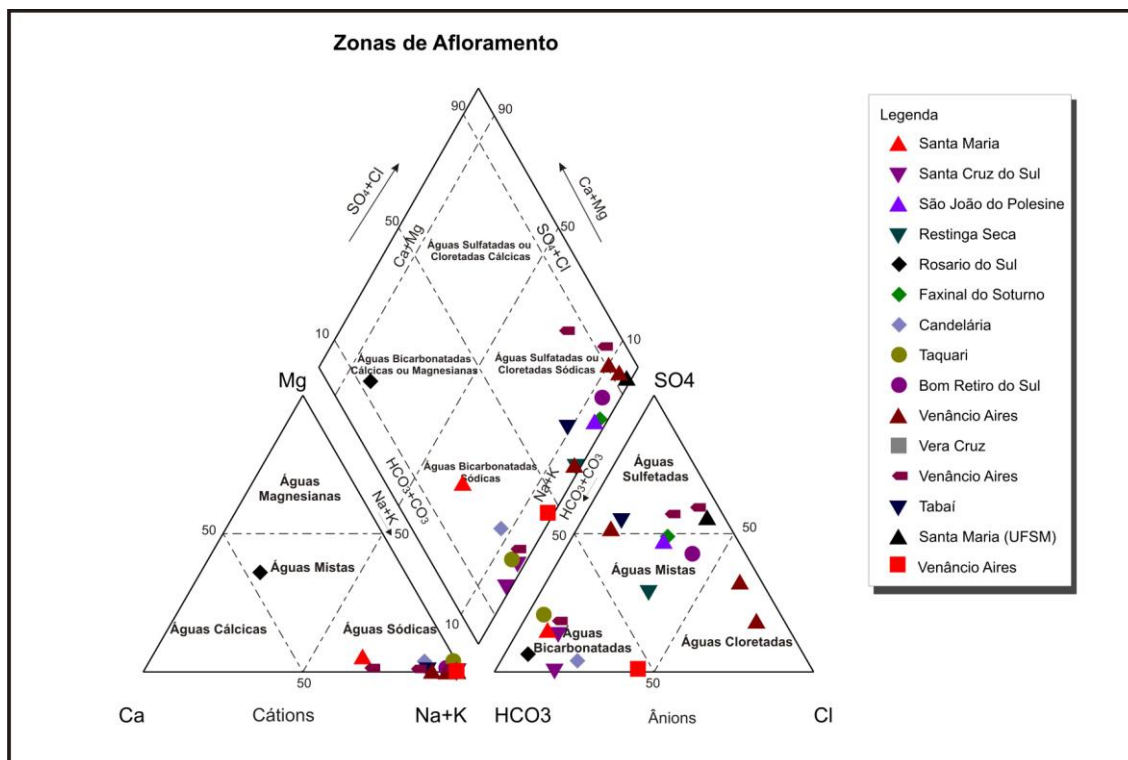


Figura 9. Diagrama de Piper para águas da ZA, 21 poços gerados.

Ao contrário da Zona de Forte Confinamento – ZFC, a Zona de Confinamento foi a que menos teve dados cadastrados e gerados no Diagrama de Piper, não sendo possível gerar dentro do banco de dados, dois municípios de Encantado e Ivorá, destacados no Quadro 4.

Verifica-se que dentro da ZC houve a predominância de águas sódicas, apresentando 5 tipologias diferenciadas (Quadro 4), os polítipos apresentaram uma multiplicidade, demonstrando tendências para águas bicarbonatadas cálcicas e secundariamente sulfatadas, esta variação de diferentes tipos de água pode ser explicada devido as contribuições que estas podem receber do Sistema Aquífero Serra Geral e/ou Sistema Aquífero Guarani, em todos os poços cadastrados obteve-se em termalidade águas frias.

As tipologias apresentadas foram Águas Sulfatadas Cloretadas Sódicas, com 2 municípios ocorrentes. A segunda, terceira, quarta e quinta tipologias, Sulfatadas Cloretadas Cálcidas e Bicarbonatadas Sódicas, respectivamente, estiveram presentes em 1 município cada. A sexta e última tipologia Bicarbonatadas Cálcidas teve dentro do seu polítipo, 3 poços em um mesmo município (Quaraí) na fronteira oeste do Rio Grande do Sul e 1 poço em Alegrete.

O caráter predominante de dureza partiram de pouco duras a águas duras que demonstram serem águas contendo maiores concentrações de Ca e Mg, o que pode estar associado a predominante das rochas vulcânicas do Sistema Aquífero Serra Geral. A faixa de

variação do pH esteve entre 7,05 a 8,3 indicando desde de meios neutros a levemente alcalinos.

Tipos de água	Diagrama Piper (Polítipos)	Fonte de Inform	UF	Município	Geologia
Na-Cl-SO ₄	Sulfatadas – cloretadas - sódicas	CPRM (1407)	RS	Arroio do Meio	Vulcânica SASG + Arenitos SAG
Na-Cl-SO ₄	Sulfatadas – cloretadas - sódicas	CPRM (2829/G970)	RS	Encantado	Vulcânica SASG + Arenitos SAG
Ca-Mg-SO ₄ -Cl	Sulfatadas-cloretadas-cálcicas	CPRM (2836)	RS	Encantado	Vulcânica SASG + Arenitos SAG
Na-HCO ₃	Bicarbonatadas – sódicas	CPRM (2838/IT342)	RS	Encantado	Vulcânica SASG + Arenitos SAG
Ca-HCO ₃	Bicarbonatadas-cálcicas	CPRM (9091)	RS	Alegrete	Vulcânica SASG + Arenitos SAG
Na-Cl	Cloretadas – sódicas	CPRM (7728)	RS	Ivorá	Vulcânica SASG + Arenitos SAG
Ca-Mg-HCO ₃	Bicarbonatadas – cálcicas	CPRM (9211)	RS	Quaraí 1	Vulcânica SASG + Arenitos SAG
Ca-Mg-HCO ₃	Bicarbonatadas – cálcicas	Proinsa (PP-B-3301)	RS	Quaraí 2	Vulcânica SASG + Arenitos SAG
Ca-HCO ₃	Bicarbonatadas – cálcicas	Proinsa (5587)	RS	Quaraí 3	Vulcânica SASG + Arenitos SAG

Quadro 4. Banco de dados para plotagem do Diagrama de Piper na ZC

Na classificação das fácies hidroquímicas das águas ilustradas no diagrama de Piper (Figura 10), 67% são de águas bicarbonatadas cálcicas, 16,66% bicarbonatadas sódicas e 16,66% são classificadas como sulfatadas cloretadas sódicas, reforçando a tendência predominante de águas bicarbonatadas cálcicas associadas a rochas vulcânicas SASG que penetram os arenitos do SAG.

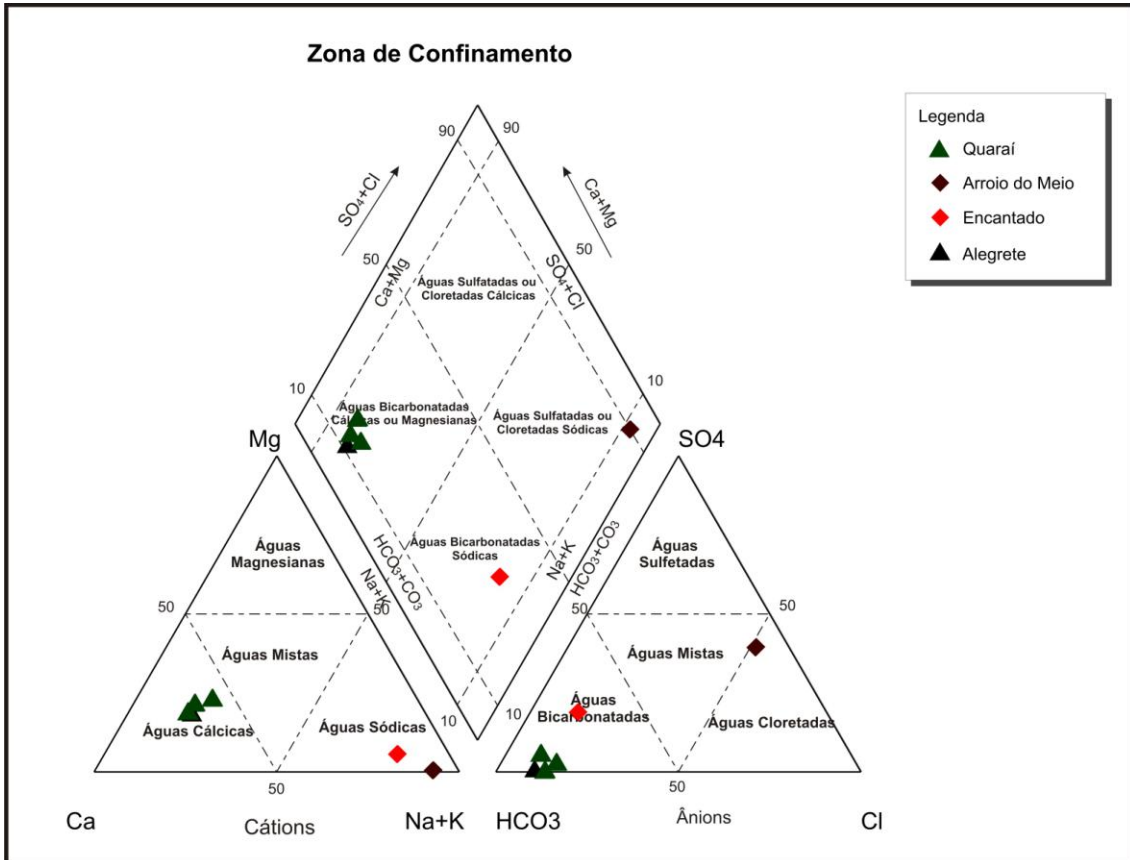


Figura 10. Diagrama de Piper para águas da ZC

8.2.2. Diagramas de Stiff

O diagrama de Stiff foi gerado para todos os poços cadastrados no banco de dados do Programa Aquachem. Nele é possível verificar quais as tendências iônicas de cada tipo de água, devido aos polítipos ser diversos adota-se as subdivisões em siglas identificadas em cada diagrama gerado, A1 caracteriza-se por águas Sulfatadas – Cloretadas – Sódica; A2 águas Bicarbonatadas – Sódicas; A3 águas Sulfatadas Sódicas; A4 águas Cloretadas – Sulfatadas - Cálcidas; A5 águas Bicarbonatadas – Magnesianas; A6 águas Bicarbonatadas – Cálcidas – Magnesianas; A7 Cloretadas – Sódicas; A8 águas Bicarbonatadas – Cálcidas; A9 Sulfatadas – Cloretadas – Cálcidas.

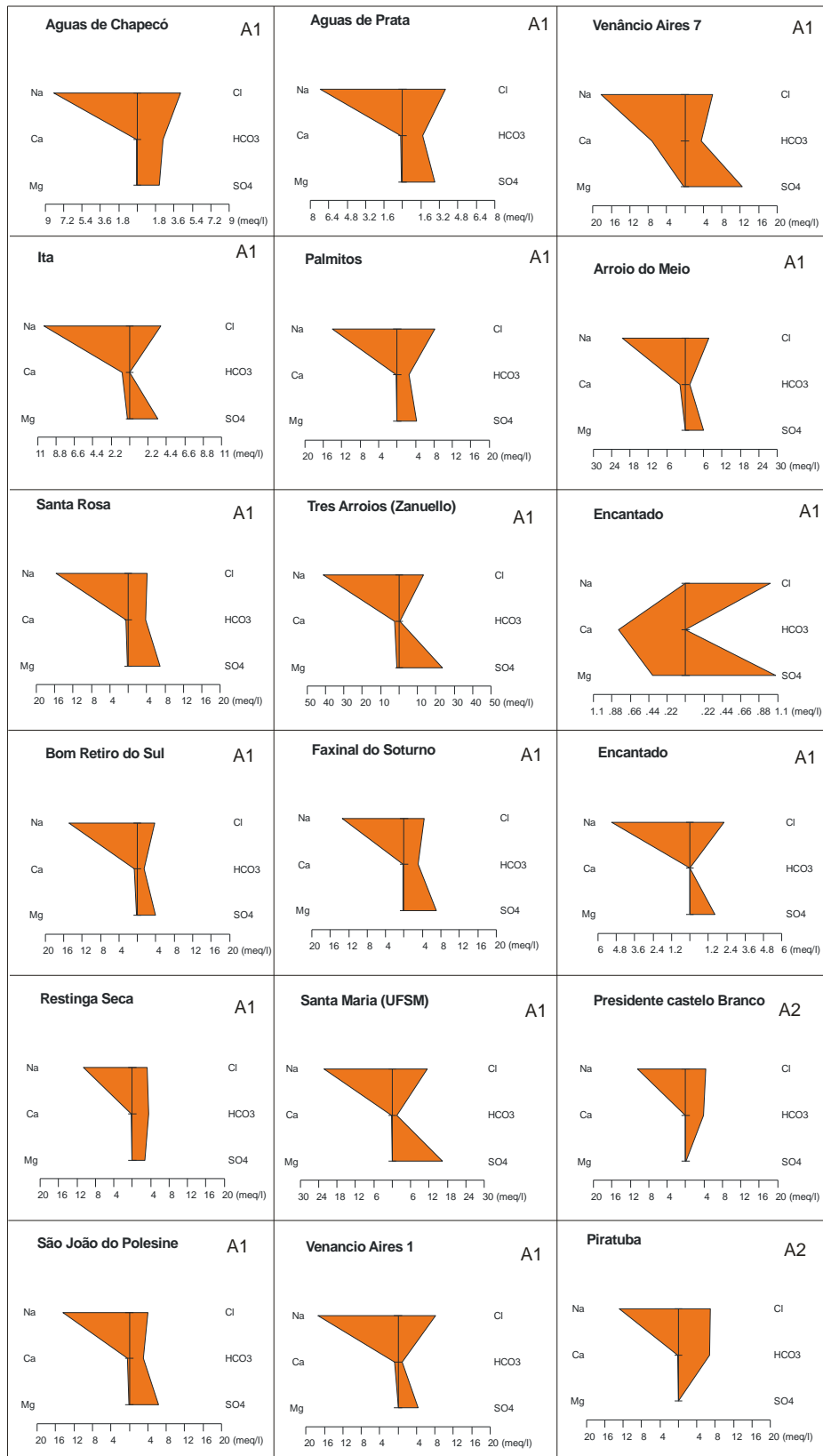


Figura 11. Diagrama de Stiff para polítipos de águas A1 e A2.

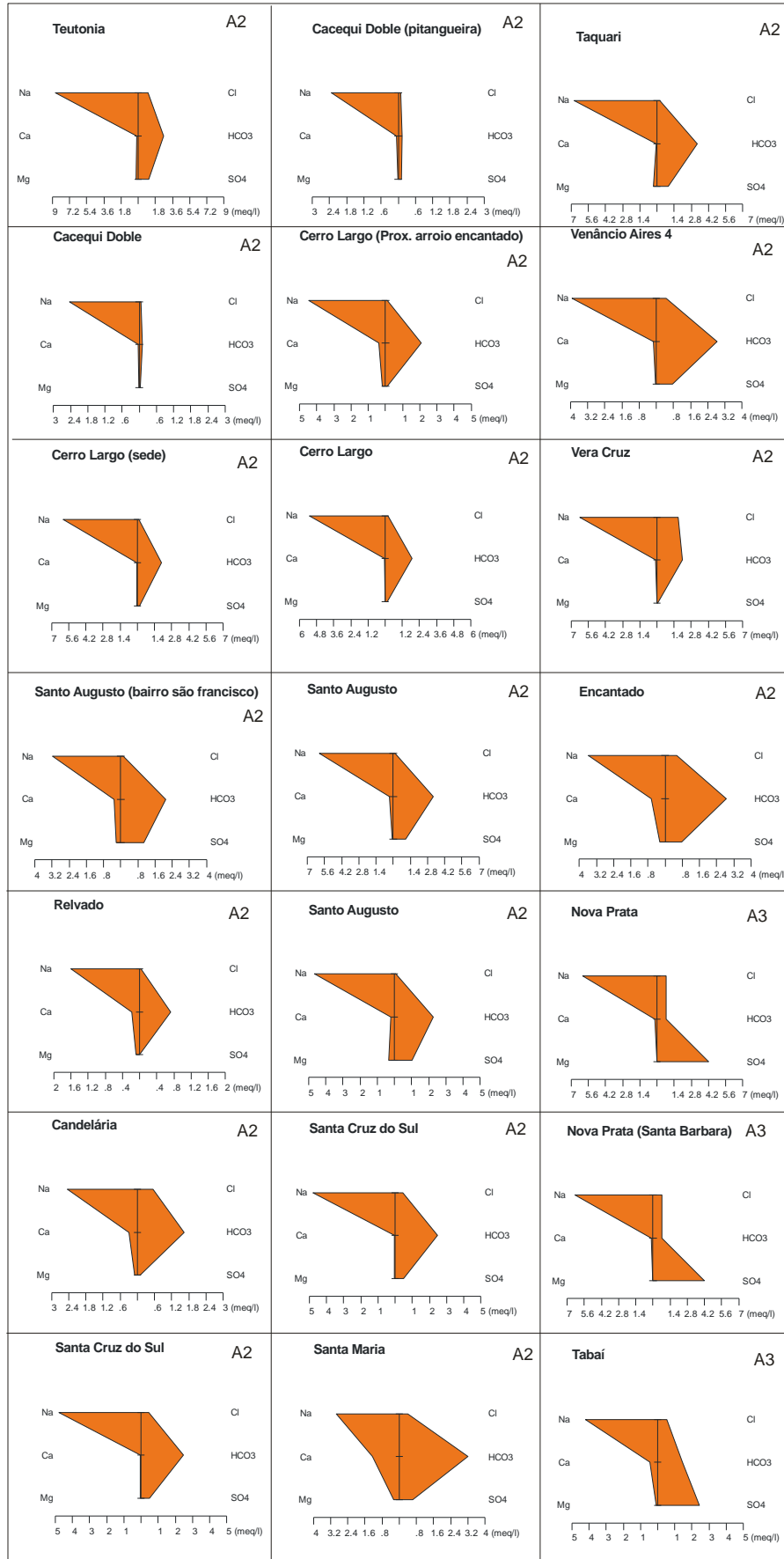


Figura 12. Diagrama de Stiff para polítipos de águas A2 e A3.

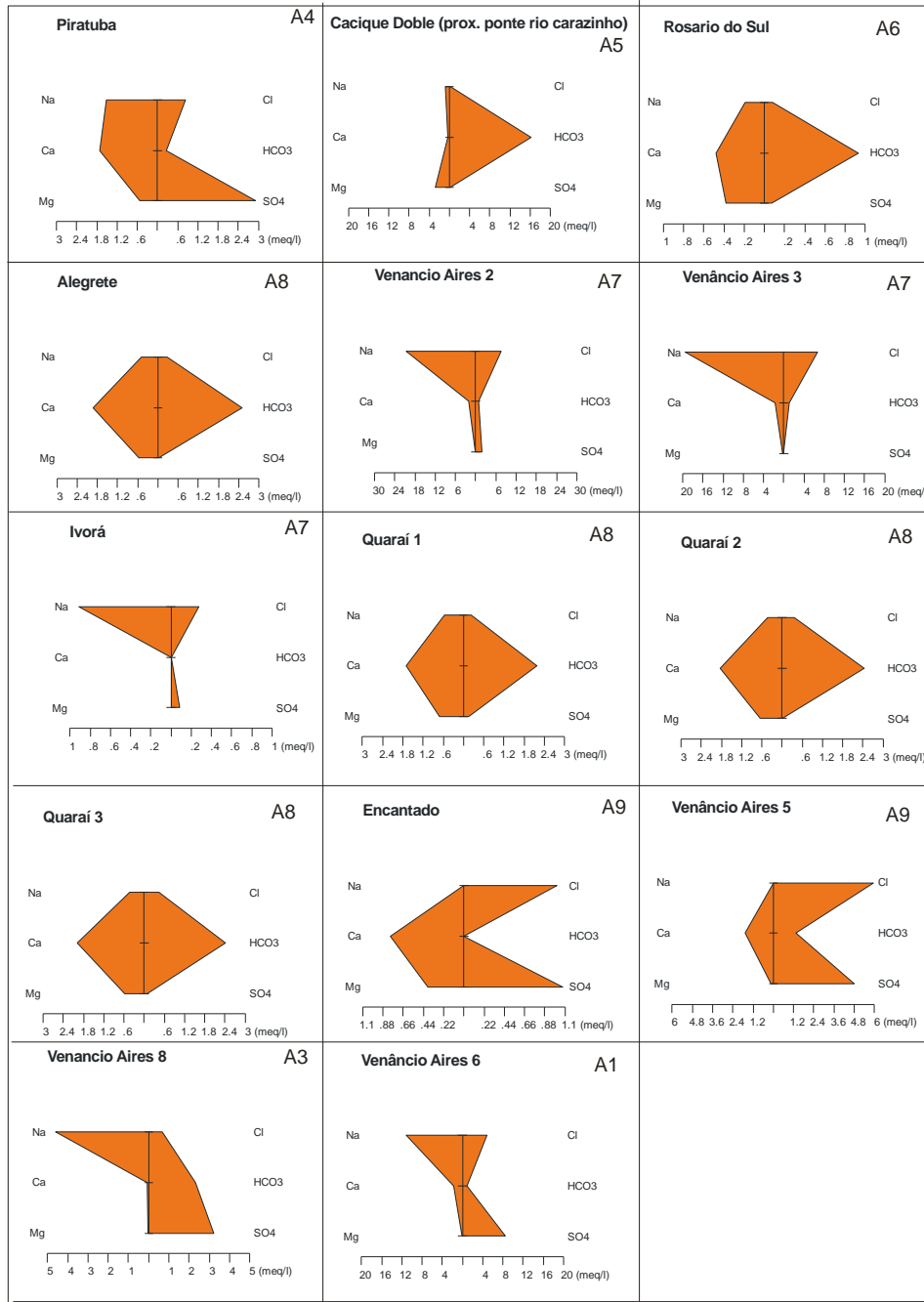


Figura 13. Diagrama de Stiff para polítipos de águas A1, A3, A4, A5, A6, A7, A8 e A9.

8.3. Comportamento espacial de parâmetros químicos na Zona de Afloramento

Para gerar os cartogramas com informações de concentrações de F^- , Cl^- , Na^+ , Na/Cl , pH e Condutividade elétrica, foi utilizado o Programa SURFER 8.0. Nele são testados

diversos interpoladores matemáticos pelo método Krigagem. Com base nas coordenadas, estimou-se para os cartogramas a distância na horizontal de 195 km e vertical de 100 km, com extremos regionais que vão desde o município de Santa Maria a Tabai - RS. Para o primeiro cartograma obtivemos a geração das concentrações de F^- em 78 poços, em concentrações tivemos mínimos de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ e máximos para dois poços de $10,8 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 14). Os poços que tem as maiores concentrações foram aqueles localizados no município de Santa Cruz do Sul, demonstrando também que para o mesmo município se encontram as concentrações mínimas estabelecidas. Dessa forma, como verificação espacial o cartograma ilustrou uma ampla faixa de variação, não demonstrando tendências e muito mesmo ser um corpo único.

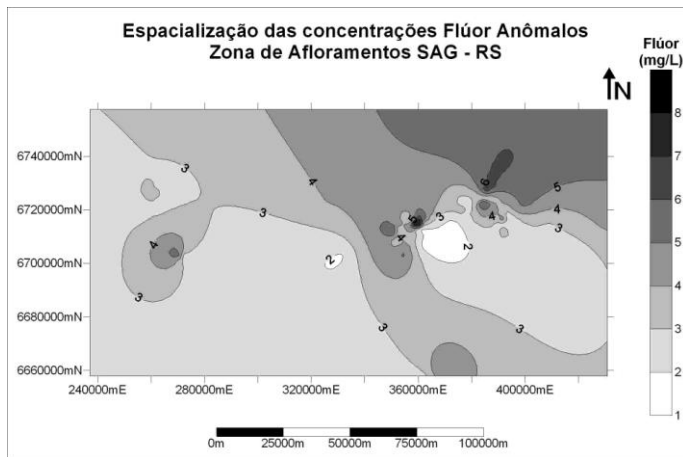


Figura 14. Cartograma com concentrações de Fluoretos.

Para o segundo cartograma, referente a espacialização de pH foram cadastrados 65 poços que partiram desde concentrações de $7,2$ a $9,3 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 15), podendo visualizar que os poços variam desde meio neutros a alcalinos.

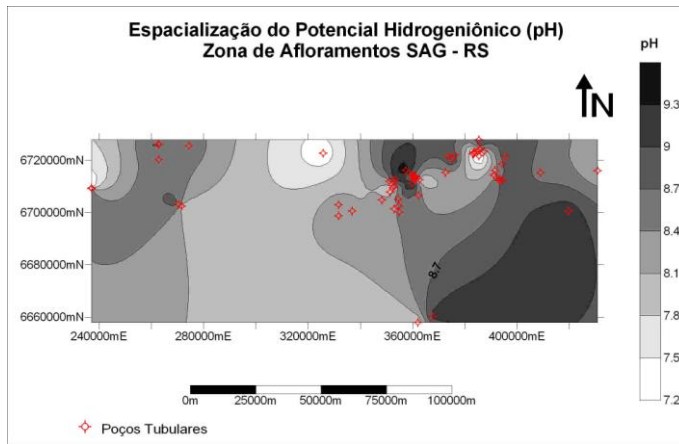


Figura 15. Cartograma do pH.

O cartograma de condutividade elétrica (Figura 16) mostra a espacialização de 62 poços, havendo uma tendência nesse cartograma de concentrações maiores na região central, com leve predominância águas doces, verificando similaridades nas quantidades de águas de caráter doces $<770 \mu\text{S cm}^{-1}$ com as de caráter salobro $>770 \mu\text{S cm}^{-1}$.

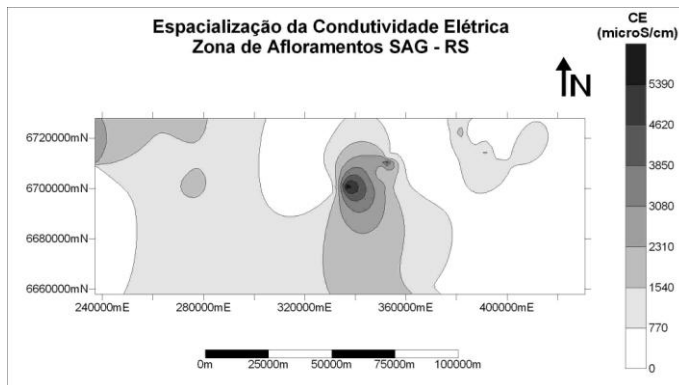


Figura 16. Cartograma com concentrações de condutividade elétrica

O quarto cartograma, tem a espacialização de concentrações de cloretos para 53 poços (Figura 17), nele pode ser observado uma predominância de concentrações abaixo de 150mg L^{-1} , podendo aferir neste cartograma, que os poços estão em sua maioria abaixo do VMP da Portaria 518/2004.

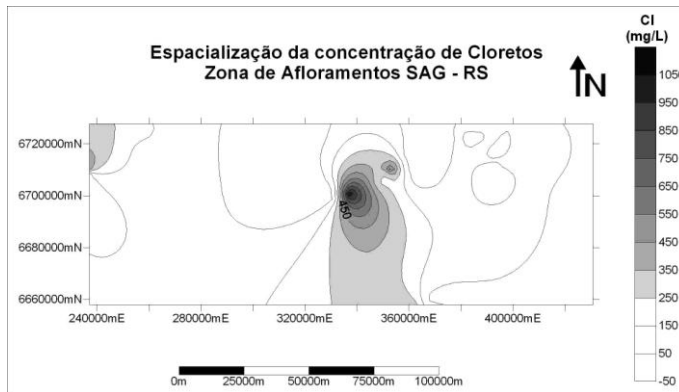


Figura 18. Cartograma com concentrações de Cloreto.

No quinto e sexto cartograma, há uma menor quantidade de poços espacializados, total de 9 poços. No cartograma que espacializa as concentrações de sódio, temos a predominância de poços com concentrações de abaixo de 250 mg L^{-1} , apresentando pontos isolados com concentrações maiores.

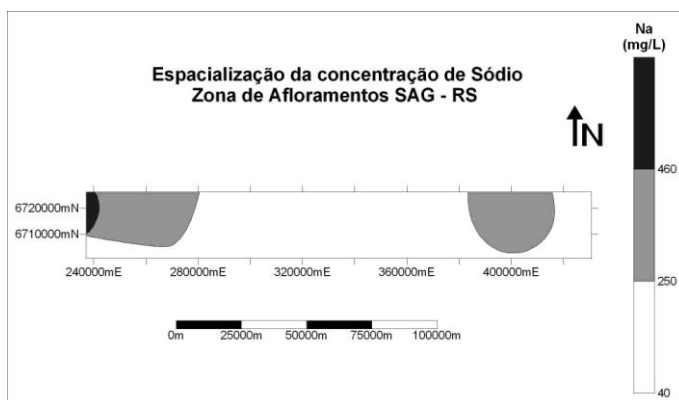


Figura 19. Cartograma com concentrações de Sódio

Já para a razão dos íons sódio e cloreto, partiu-se da afirmativa feita por PSAG, (2009), que considera que poços com anomalias de concentrações de fluoretos, tem relações de sódio e cloreto próximos de 1. Segundo a Figura 20, poucos poços obtiveram a relação afirmada pelo autor, trazendo assim novos questionamentos quanto aos comportamento de composição dessas águas que apresentam teores excessivos de fluoreto.

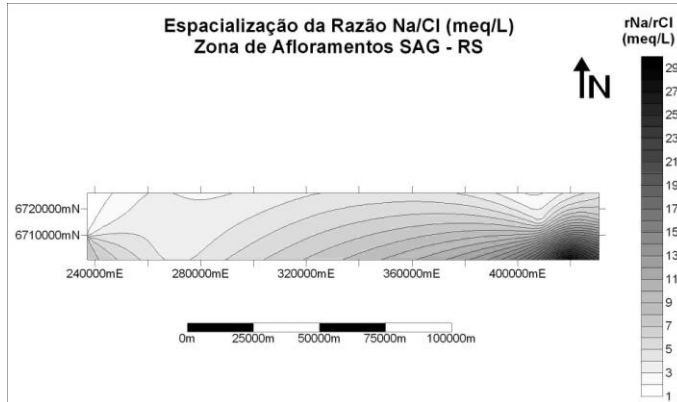


Figura 20. Cartograma com as razões de Sódio e cloreto.

8.4. Cálculo do erro prático a partir da condutividade elétrica

Em relação à avaliação do erro permitido para as análises químicas foram selecionados alguns resultados de análises químicas a partir de diferentes laboratórios, uma vez que as amostras foram analisadas por diferentes laboratórios os resultados avaliados são aqueles disponibilizados pela CPRM. Para o primeiro cálculo do erro prático selecionou-se uma amostra, do Município de Canoas/RS, contendo fluoretos de $1,7 \text{ mg L}^{-1}$. De acordo com Logan (1965) o cálculo do Erro Prático segue a seguinte fórmula:

$$Ep (\%) = (r\sum \text{cátions} - r\sum \text{ânions}) / (r\sum \text{cátions} + r\sum \text{ânions}) \times 100$$

Onde: $r\sum \text{ânions}$ = concentração total dos ânions expressos em (meq/L)

$r\sum \text{cátions}$ = concentração total dos cátions expressos em (meq/L)

Os erros permitidos no cálculo do balanço iônico em função da condutividade elétrica, segundo Custódio & Llamas (1976), estão citados na Tabela 2.

Tabela 2. Erro prático máximo permitido, considerando valores de condutividade elétrica

Cond.Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	50	200	500	2000	>2000
Erro permitido (%)	30	10	8	4	<4

Fonte: Custódio & Llamas (1976)

Para a primeira amostra foi obtido um erro de 8,15%, com condutividade elétrica igual a $0,75\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, visto a tabela anterior o erro está dentro do máximo permitido.

O Tabela 3 ilustra os resultados de poços tubulares estudados no âmbito do Projeto SAG, PSAG (2009) nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Foram selecionados poços com ocorrências de flúor com concentrações anômalas, superiores a $1,5\text{ mg L}^{-1}$ (fonte das análises PROINSA/Argentina). Estas ocorrências estão ilustradas na Figura 7.

Tabela 3. Parâmetros de flúor no PSAG com concentrações anômalas.

Poço	Localidade	Município	Zona	Estado	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	F ⁻ (mg L^{-1})	Erro Prático	rNa/rCl
CPRM 5587	QUA 6	QUARAÍ	Confinamento	RS	293	3.70	9.3	1.0
CPRM 5584	QUA4	QUARAÍ	Confinamento	RS	235	4.10	9.3	1.2
CPRM 5596	QUA1 ETA	QUARAÍ	Confinamento	RS	273	4.60	4.7	2.4
	Monastério	Ivorá	Confinamento	RS	281	1.80	5.7	3.3
	Viação União							
	Santa Cruz	Santa Cruz	Afloramento	RS	371	2.90	2.9	7.2
	Linha do Rio	Candelária	Afloramento	RS	361	4.00	0.9	4.5
	CORSAN-Pozo AG9	Alegrete	Confinamento	RS	296	1.60	7.2	1.7
	Comp. Hidromineral	Piratuba	Forte Confinamento	SC	1466	2.55	8.4	1.9
	Comp. Hidromineral	Piratuba	Forte Confinamento	SC	515	2.84	1.8	3.7
	Prefeitura Municipal	Prest. Castelo Branco	Forte Confinamento	SC	1215	1.90	5.8	1.8
	Termas	Itá	Forte Confinamento	SC	1373	1.52	2.6	2.1
	Termas	Palmitos-Ilha Redonda	Forte Confinamento	SC	1870	2.17	8.8	2.0
	Termas	São Carlos-Águas de Prata	Forte Confinamento	SC	990	2.12	4.2	1.7
	Termas Hidroeste	Águas de Chapecó	Forte Confinamento	SC	1175	2.14	8.7	1.9

Fonte: Análises PROINSA/Argentina

Nota-se que os erros práticos variaram todos em valores inferiores a 10%, indicando terem sido as análises executadas de acordo com os padrões exigidos. Neste quadro foram

ainda incluídas as razões em (meq/L) entre sódio e o cloreto. Notar que os valores variaram entre 1 a 7,2, tendo sido representados cerca de 14 amostras, sendo que 50% situaram-se entre 1 a 1,9; já 21% na faixa entre 2 a 2,9; cerca de 14% na faixa entre 3,0 a 4 e ainda 14% foram superiores a 4.

Portanto, já ilustrado anteriormente na Figura 20, discorda-se das afirmações contidas no relatório do PSAG (2009), que afirma que o F^- está associado a águas mais salinas, termais e com relação rNa/rCl ($r = meq/L$) mais próxima a 1. Isto sugere que a fonte de flúor (pelo menos a principal) esta nas formações salinas pré-SAG. Assim observando-se a Tabela 3, nota-se que associação de fluoretos anômalos com águas termais da Zona de Forte Confinamento ocorre em seis amostras no Estado de Santa Catarina (Piratuba, Presidente Castelo Branco, Itá, Palmitos, São Carlos e Águas de Chapecó) representando menos de 50%. Deve-se salientar a ocorrência de duas em zonas de afloramentos no RS, bem como na zona de confinamento e ainda, na zona de forte confinamento todas frias (temperatura $<25^{\circ}C$). Quanto a origem do flúor associado ao Pré-SAG, isto é, aos Aquíferos Permianos e/ou Aquitardos Permianos há concordância, sendo que a origem ainda não esta definida, continuam as hipóteses.

Em relação as amostras obtidas no poço de monitoramento na UFSM, pode-se dizer que houve grande variabilidade nos resultados de alguns elementos químicos o que pode estar associada as variações sazonais. Dentre as amostras analisadas foi selecionado um laudo para o cálculo do erro prático, onde se obteve um percentual de 3,57%, isto é, inferior a 4%, uma vez que a condutividade desta água é elevada, $2332 \mu S.cm^{-1}$. Por outro lado, a amostra coletada em outra campanha apresentou um erro prático de 26,6%, atribuindo-se ao ânion cloreto provavelmente a esta variação. Estudos futuros poderão ser realizados com outro método que não seja o de Mohr, para avaliação desta concentração.

No relatório de análises físico-químicas da água de um poço tubular de 1200 m , Erechim – RS, enviadas para diferentes laboratórios, pode-se perceber a variação de resultados entre um laboratório a outro, observando, por exemplo, a concentração de Na para um mesmo laboratório com períodos de análises diferenciados foram iguais a $730 mg L^{-1}$ e $460 mg L^{-1}$, enquanto que para um outro laboratório obteve-se Na igual a $278 mg L^{-1}$. Estes resultados indicam que pode haver diferenças nos resultados obtidos por diferentes laboratórios de pesquisa, sugerindo-se no futuro que a mesma amostra seja avaliada por diferentes laboratórios. Por outro lado, também sugerem que as amostras apresentem

variações sazonais devido à mistura de entradas de águas. Os resultados aqui discutidos ainda são parciais e merecem ser avaliados por outros pesquisadores.

8.5. Análises de monitoramento em poço único

8.5.1. Análise de solos e ou rochas sedimentares

A textura do solo refere-se justamente a proporção das frações de areia (2 - 0,062mm), silte (0,062 - 0,002 mm) e argila (<0,002 mm), sendo agrupadas em 13 classes, de acordo com triângulo textural (Figura 6), que classificam as frações coletadas de 6 em 6 m no perfil do poço tubular único estudado. O perfil do poço apresentou uma maior predominância de areia fina e franca, porém na profundidade entre 0 a 72 m pode-se perceber a presença de frações com composições em maior percentual de silte e argila, destacados na Quadro 5.

Profundidade (m)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação
0 - 6	66.2	15.9	17.9	Franco arenoso
6 - 12	93.6	2	4.4	Areia Fina
12 - 18	94.3	2.2	3.5	Areia Grossa
18 - 24	87	6.3	6.7	Areia franca
24-30	75.4	10.7	13.9	Franco arenoso
30-36	37.6	23.5	38.9	FRANCO ARGILOSA
36-42	55.5	30.5	14	Franco arenosa muito fina
42-48	82.3	10.1	7.6	Areia franca fina
48-54	86.8	10	3.2	Areia Franca fina
54-60	55.3	34.7	10	Franco arenosa fina
60-66	21.8	40.3	37.9	FRANCO ARGILOSA
66-72	36.7	51.8	11.6	FRANCO SILTOSA
72-78	93.2	2.6	4.2	Areia
78-84	94.5	2.2	3.3	Areia fina
84-90	94.7	3.2	2.1	Areia fina
90-96	91.2	5.2	3.6	Areia fina
96-102	91.2	4.2	4.6	Areia fina
102-108	90.8	4.9	4.3	Areia fina
108-114	85.9	9.8	4.3	Areia franca
114-120	90.9	5.8	3.3	Areia fina
120-126	90	6.2	3.8	Areia fina

126-132	89.7	7.2	3.1	Areia fina
132-138	84.2	12.1	3.7	Areia franca
138-144	88	9.2	2.8	Areia franca
144-150	76.1	17.3	6.6	Franco arenosa fina
150-156	91.7	5.5	2.8	Areia
156-162	88.4	7.9	3.7	Areia
162-168	81.1	16	2.9	Areia franca
168-174	91.3	6.7	2	Areia
174-180	92.5	4.7	2.8	Areia
180-186	91.8	5.8	2.4	Areia
186-192	92.8	4.9	2.3	Areia
192-198	94	3.3	2.7	Areia
198-204	89.5	8.3	2.2	Areia franca
204-210	91.1	5.7	3.2	Areia
210-216	83	12	5	Areia franca
216-222	76	20	4	Areia franca
222-228	87.7	9.3	3	Areia franca
228-234	81	13.5	5.5	Areia franca
234-240	77.6	12.7	9.7	Areia franca
240-246	75.9	14.2	9.9	Areia franca
246-252	73.5	20.5	6	Areia franca
252-258	88.8	7.7	3.5	Areia franca

Quadro 5. Classificação textural do Poço Tubular Profundo

8.5.2. Flutuações dos parâmetros monitorados em poço único

Em pesquisa anteriores realizadas por Lobo et al. (2000) nos anos de 1998 e 1999 e 2001 e 2003 realizado por Ben da Costa et al. (2004), foram analisadas amostras de água subterrânea nos municípios de Santa Cruz do Sul (17), Venâncio Aires (13) e em Vera Cruz (07). Observando que para o ano de 2003, 35 amostras avaliadas, uma vez que dois poços haviam sido desativados, cerca de 54% apresentavam concentrações de flúor superiores a 1,5 mg L⁻¹ (BEN DA COSTA et al, 2004).

A Tabela 4 ilustra as variações das concentrações no poço n° 2, localizado no município de Santa Cruz do Sul, nota-se que para todos os três parâmetros houveram variações entres os anos de coleta. A hipótese da existência de variações nas concentrações de parâmetros em águas subterrâneas pode ser devido as flutuações sazonais.

Considerando que haja variações e que podem ser devido a flutuações sazonais, é importante salientar que uma captação realizada por poço tubular pode apresentar várias camadas de constituições diferentes como ilustrado na Figura 21. Também pode-se inferir as

entradas de água a partir do posicionamento dos filtros em profundidades de 48 m e em cerca de 122 m. Nota-se que a perfuração poço n°4300002868, Santa Cruz do Sul, penetra diferentes litologias, as quais apresentam diferentes frações texturais com a presença das frações areia (2 - 0,062 mm), silte (0,062 - 0,002 mm) e argila (<0,002 mm). Estas rochas sedimentares, apresentam como mineralogia constituintes, o quartzo (SiO_2) componente principal das partículas minerais, os óxidos e/ou hidróxidos de Fe/Mn (minerais amorfos e/ou com certo grau de cristalização podem absorver cátions e/ou ânions, metais). Formam películas em torno dos grãos de quartzo, fornecem a cor vermelha aos produtos rochosos e/ou de alteração (DREVER, 1997).

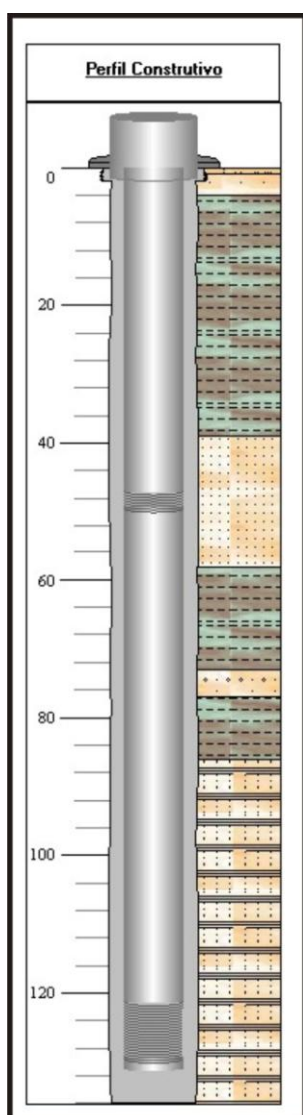


Figura 21. Perfil Construtivo do poço n°4300002868, ilustra diferentes camadas penetradas pelo poço tubular de 126m.
Fonte: CPRM/Siagas (2010)

Tabela 4. Variação da concentração dos parâmetros

Ano	Fluoreto (mg L ⁻¹)	pH	Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)
1998	2,7	8,0	629
1999	3,3	8,1	700
2001	4,5	8,6	673
2003	4,3	8,2	570
Faixa de Variação	1,8	0,6	130
Média	3,7	8,22	643

De acordo com as afirmativas anteriores, considerou-se para o presente estudo que há flutuações nos parâmetros químicos. No intuito de verificar quais os principais componentes químicos possam sofrer essas flutuações e ainda qual seu percentual de variação. Foram realizadas 13 campanhas com intervalo de 15 dias entre uma coleta a outra, feita em poço único de monitoramento que apresenta concentração de fluoreto acima do VMP de 1,5 mg L⁻¹. Para o conjunto de 13 amostras analisadas, os teores em cátions e ânions maiores em sua maioria estão acima da faixa de valores comumente encontrados nas águas subterrâneas como demonstra na Tabela 5.

Tabela 5. Teores em mg L⁻¹ dos íons analisados e os valores de pH, dureza (mg L⁻¹ de CaCO₃) e condutividade elétrica (mS cm⁻¹ à 25°C), para a população considerada de 13 amostras

Amostra	pH	Cor (mg L ⁻¹ Pt-Co)	Turbidez (UT)	Cloretos (mg L ⁻¹)	Fluoretos (mg L ⁻¹)	Sódio (mg L ⁻¹)	Potássio (mg L ⁻¹)	Sulfato (mg L ⁻¹)	Nitrato (mg L ⁻¹)	Alcalinidade (mg L ⁻¹)	Dureza (mg L ⁻¹)	Cálcio (mg L ⁻¹)	Magnésio (mg L ⁻¹)	Ferro (mg L ⁻¹)	Manganês (mg L ⁻¹)	Fosfato (mg L ⁻¹)
1	7,30	0,10	2,80	31,40	2,20	554,10		570,00	5,00	96,00						
2	7,50	0,10	4,00	345,60	2,40	485,00	1,60	579,00		94,50	14,80	4,80	0,70	0,23	0,10	
3	7,20	10,00	13,60	328,00	2,60	269,20	1,40	736,20		96,00	9,70	2,80	0,70	1,80	0,10	
4	7,30	0,10	4,00	427,30	2,20	487,50	1,40	589,70		94,20	12,50	4,10	0,50	0,40	0,10	
5	7,30	10,00	11,10	351,70	2,50	495,80	1,70	736,20	2,50	98,00	11,10	3,30	0,70	0,10	0,10	
6	7,30	5,00	6,70	341,00	2,30	480,80	1,60	339,70	2,80	97,00	11,40	3,40	0,70	0,50	0,10	
7	7,20	0,10	7,40	301,60	2,00	556,50	0,80	610,00	2,70	95,50	14,90	5,00	0,60	0,30	0,10	
8	7,20	70,00	26,10	1405,00	2,30	718,70	2,80	662,00	2,50	89,00	21,10	7,50	0,60	2,70	0,10	
9	7,20	5,00	8,00	288,00	2,20	492,80	1,80	595,80	2,50	88,50	14,00	4,70	0,50		0,10	
10	7,20	10,00	25,00	373,00	2,50	739,50	2,10	620,00	1,90	90,50	19,40	6,90	0,60	2,90	0,60	
11	7,30	0,10	24,50	360,00	2,20	450,80	1,60	549,80	2,40	88,50	30,60	11,30	0,60	3,70	0,10	
12	7,20	5,00	7,50	385,00	2,00	428,20	1,50	2972,00	3,00	88,00	24,40	8,80	0,60	0,10	2,00	
13	7,00	5,00	29,80	325,00	2,12	469,00	1,96	639,00	2,73	88,00	13,90	4,42	0,70	1,78	0,10	

A Tabela 6 apresenta os valores das médias, desvio padrão, mínimos e máximos, dos teores dos íons analisados e dos parâmetros físico-químicos determinados, na coluna da

direita está indicado os valores dos coeficientes de variação em porcentagem para cada um dos íons.

Tabela 6. Tamanho da amostra, médias, teores mínimos e máximos, desvios-padrão, coeficiente de variação

PARÂMETRO	TAM.AMOST.	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIOPAD.	C.V.	C.V.%
pH	13	7,25	7,20	7,5	0,11	0,015	1,51
Cor	13	9,27	0,10	70,00	18,67	2,01	201,40
Turbidez	13	13,12	2,80	26,10	9,69	0,73	73,85
Cloretos	13	404,82	31,40	1405,00	315,00	0,77	77,81
Fluoretos	13	2,27	2,00	2,60	0,19	0,08	8,37
Sódio	13	509,84	269,20	739,50	119,96	0,23	23,52
Potássio	12	1,69	0,80	2,80	0,48	0,28	28,40
Sulfato	13	784,57	339,70	2972,00	664,47	0,84	84,69
Nitrato	10	2,81	1,90	5,00	0,83	0,29	29,53
Alcalinidade	13	92,59	88,00	98,00	3,87	0,04	4,17
Dureza	12	16,48	9,70	30,60	6,23	0,37	37,80
Cálcio	12	5,59	2,80	11,30	2,55	0,45	45,61
Magnésio	12	0,63	0,50	0,70	0,08	0,12	12,69
Ferro	12	1,27	0,10	3,70	1,31	1,03	103,14
Manganês	12	0,30	0,10	2,00	0,55	1,83	183,33
Fosfato	7	0,70	0,50	1,10	0,28	0,40	40,00
Condutividade	9	2,60	2,04	2,93	0,29	0,11	11,15

Para a totalidade dos íons houve uma ampla faixa de variação nas treze amostras partindo de 1,5 a 200%, os parâmetros que obtiveram um menor índice de variabilidade foram pH, F⁻, alcalinidade, condutividade elétrica e Mg (Figura 22) flutuações de 1,5% a 12,7%.

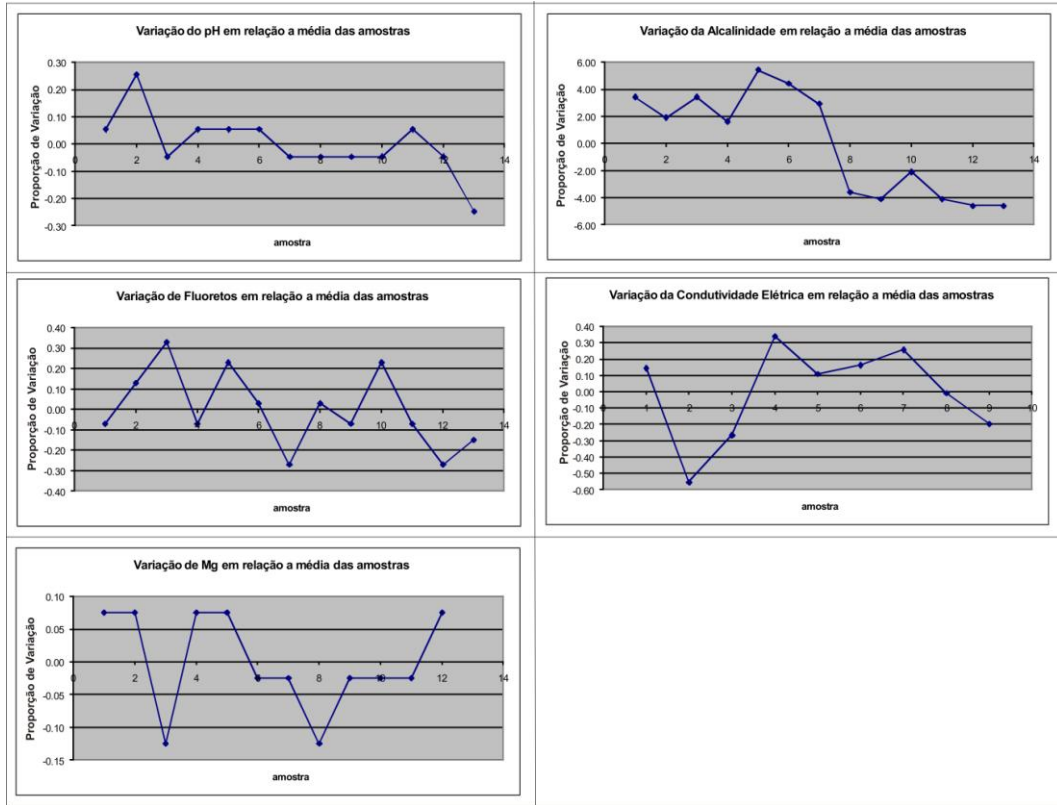


Figura 22. Variação quinzenal do pH, Alcalinidade, F⁻, condutividade elétrica e Mg

A Figura 23 representa a segunda menor faixa de variação estando presente em seis parâmetros químicos sódio, potássio, nitrato, dureza, fosfato e cálcio, com flutuações de 23% a 46%.

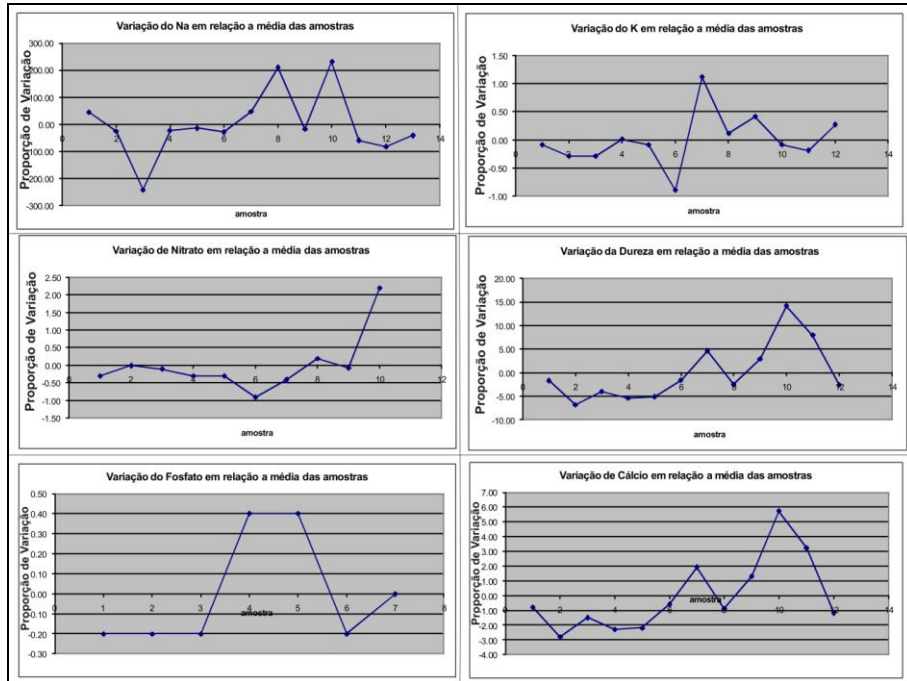


Figura 23. Variação quinzenal do Na, K, NO₃, dureza, fosfato e Ca

A Figura 24 representa a segunda maior faixa de variação estando presente em três parâmetros físico-químicos turbidez, cloreto e sulfato, com flutuações da ordem de 73% a 84,7%.

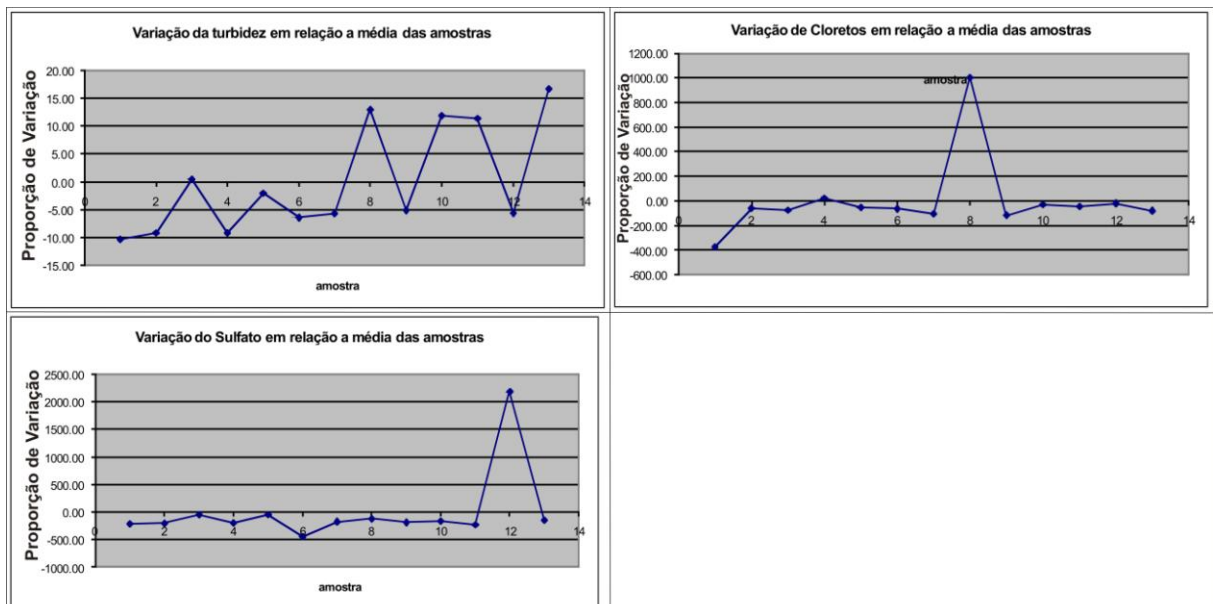


Figura 24. Variação quinzenal da turbidez, Cl e sulfato

E por fim a maior faixa de variabilidade dos parâmetros (Figura 25), representada por três parâmetros físico-químicos ferro, manganês e cor, com flutuações de 103% a 201,4%.

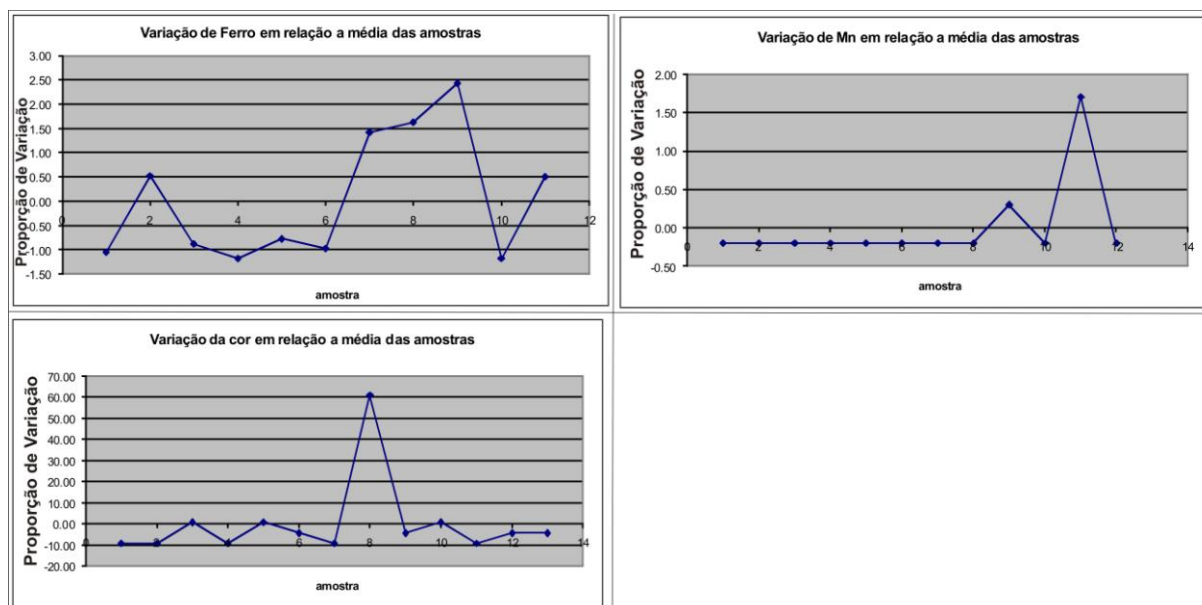


Figura 25. Variação quinzenal do ferro, Mn e cor.

8.5.3. Comportamento dos parâmetros com maior coeficiente de variação

Conforme os gráficos de linhas que caracterizam as flutuações dos parâmetros físico-químicos, nota-se que o maior percentual de variabilidade foi para o Fe, Mn e cor, respectivamente em ordem crescente. Estes parâmetros podem estar vinculados a uma mesma causa, podendo ser devido à incorporação destes íons às partículas coloidais. A partir de observações em outros estudos, houve um monitoramento de um poço próximo cerca de 50 m, que confirmam a grande concentração dos três parâmetros Fe (8 mg L^{-1}), Manganês ($0,34 \text{ mg L}^{-1}$) e turbidez (166 NTU), todos acima do VMP estabelecido pela Portaria 518/2004.

Em relação ao parâmetro cor verifica-se que este é um dos parâmetros que apresentou a maior faixa de variabilidade devido a causas que podem ser atribuídas aos fatores construtivos do poço. Nota-se na Figura 26 grande variabilidade de materiais disponíveis na água durante os quinze minutos de bombeamento antes da coleta da água.

Notou-se que mesmo na amostra que era coletada no final dos quinze minutos ainda apresentava algumas raras, partículas finas, de dimensões argilas ($<0,002 \text{ mm}$). A Quadro 6 ilustra uma breve descrição das amostras avaliadas no dia 10 de agosto de 2010, período da manhã. Na Figura 26 à direita, imagem obtida cerca de seis horas após as coletas, nota-se que os materiais particulados já foram sedimentados no fundo do recipiente plástico. Nas amostras

1, 3 e 5 pretende-se realizar estudos mais detalhados da mineralogia e da possibilidade de se encontrar fases contendo flúor associadas a argilominerais e/ou colóides. As amostras serão centrifugadas para retirar a parte líquida e posteriormente preparar lâminas para estudos de amostras orientadas em difração de raios-X. Caso positivo de encontrar-se alguma fase mineral cristalina esta será avaliada com uso de Microscopia Eletrônica de Varredura, tendo em vista as dimensões diminutas destes materiais.



Figura 26. Variações de cores nos tempos entre 10 s a 15 min no poço de monitoramento

Amostra	Aspectos	Tempo (segundos)	pH	O.D.	Temp. Água (°C)
1	Cor alaranjada, partículas coloidais em suspensão	10	5,19	3,05	17,7
2	Cor levemente azul esverdeada	30	7,42	2,42	18,2
3	Límpida com pouco resíduo no fundo fração argila	75	7,82	1,22	17,5
4	Límpida com pouquíssimo resíduo no fundo fração argila	100	7,13	1,76	16,6
5	Turva com bastante fração argilosa em suspensão	300	7,02	2,57	18,4
6	Límpida com pouquíssimo resíduo no fundo fração argila	360	6,92	2,14	18,6
7	Límpida com raro resíduo no fundo fração argila	600	7,05	1,81	18,6
8	Límpida com raro resíduo no fundo fração argila	900	7,06	2,43	18,3

Quadro 6. Amostras avaliadas com Multisonda Horiba D-55. Temp. Ar 13°C.

Este poço tubular foi perfurado em 276 m em materiais sedimentares. Seu diâmetro principal foi todo desenvolvido em 6", estando inserido no mesmo tubos de revestimento em PVC geomecânico de alta rigidez até a cota de 31 m. O Quadro 5 ilustra a variação da granulometria desta perfuração, indicando variação somente nas características granulométricas, presença de clastos rochosos retrabalhados e variação na quantidade de argilas entre os interstícios da matriz quartzosa a siltosa. Na profundidade entre 68 m até 78 m obteve-se uma significativa entrada de água na cota de 71 m, com vazão de $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Os estudos geofísicos indicaram picos na normal larga em (Ohms) associados às espessuras de cerca de 42 m e 60 m, os quais poderiam estar relacionados à ocorrência de sais nos interstícios das rochas sedimentares. Informa-se que se procedeu uma avaliação da condutividade elétrica associada as amostras de calha, amostradas de 6 em 6 m. Separou-se uma quantidade de cerca de 20 g, a qual foi inserida em um Becker com água deionizada com volume de 1000 mL, buscando-se com o auxílio de um bastão de vidro homogeneizar a amostra e assim colocar os sais em solução. Procedeu-se medições com uso de uma sonda multiparâmetros avaliando-se a condutividade elétrica da solução. Como medida padrão utilizamos a areia coletada no litoral do Estado do Rio Grande do Sul, praia do Imbé. Devido a alguns problemas analíticos os resultados não foram animadores, por isso a não divulgação dos dados no trabalho.

Estudos futuros serão realizados com uso de sonda medição de nível de água, dotada de medidor de temperatura e de condutividade elétrica, dotada com cabo de 100 m. Este equipamento esta sendo adquirido pelo Laboratório de Hidrogeologia da UFSM.

8.5.4. Diagramas Box & Whisker

A composição das amostras pode ser caracterizada através dos diagramas *Box & Whisker*, gerado no software Statistic 7. Para cada variável, visualizam-se os valores máximos e mínimos, as medianas e os valores abaixo dos quais encontram-se 25% e 75% das amostras.

A Figura 27 representa o diagrama para os valores de pH. A maioria das amostras apresenta valores de 7,2 e 7,4, com valores mínimos e máximos de 7,1 – 7,5.

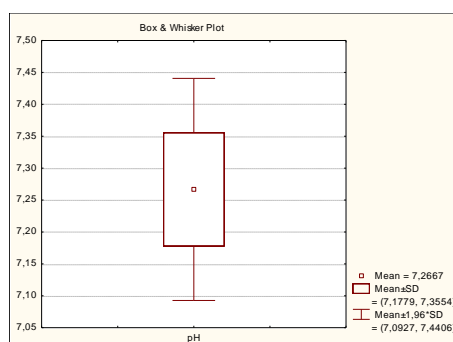


Figura 27. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de pH em mg L^{-1} para o conjunto de 13 amostras

A Figura 28 representa o diagrama para os valores de Cl^- . A maioria das amostras apresenta valores de 83,4 e 739 mg L^{-1} .

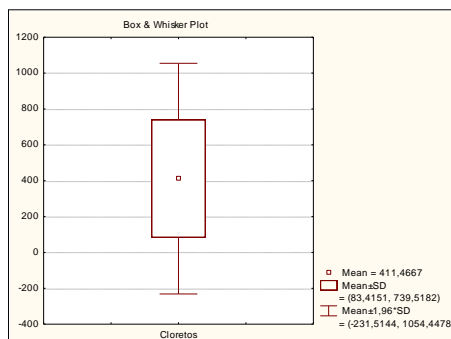


Figura 28. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de Cl^- em mg L^{-1} para o conjunto de 13 amostras

A Figura 29 representa o diagrama para os valores de cor. A maioria das amostras apresenta valores de -9,8 e 29,1 mg L^{-1} .

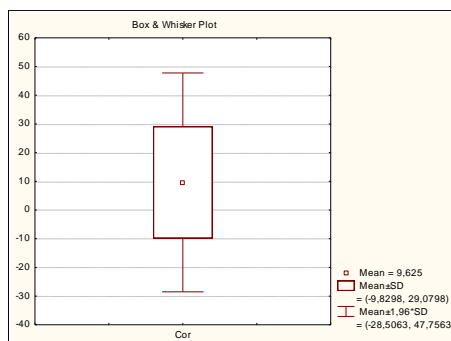


Figura 29. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de cor em mg L^{-1} Pt-Co para o conjunto de 13 amostras

A Figura 30 representa o diagrama para os valores de F^- . A maioria das amostras apresenta valores de 2,9 e 2,5 mg L^{-1} . Com valores mínimos e máximos de 1,9 a 2,65 mg L^{-1} .

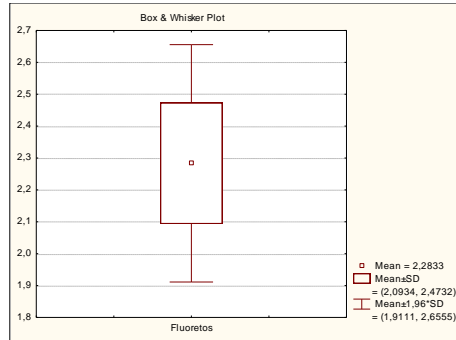


Figura 30. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de cor em mg L^{-1} Pt-Co para o conjunto de 13 amostras

A Figura 31 representa o diagrama para os valores de turbidez. A maioria das amostras apresenta valores de 3,06 e 20,38 UT. Com valores mínimos e máximos de -5,24 a 26,7 UT.

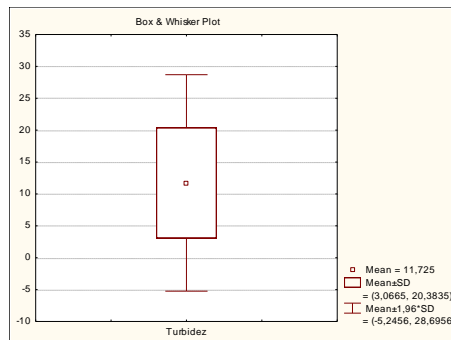


Figura 31. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de turbidez em UT para o conjunto de 13 amostras

A Figura 32 representa o diagrama para os valores de Na. A maioria das amostras apresenta valores de 388,7 e 637,9 mg L^{-1} . Com valores mínimos e máximos de 267 a 757,5 mg L^{-1} .

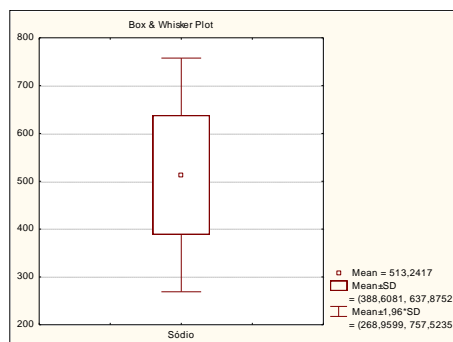


Figura 32. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de Na em mg L^{-1} para o conjunto de 13 amostras

A Figura 33 representa o diagrama para os valores de K. A maioria das amostras apresenta valores de 1,17 e 2,15 mg L^{-1} . Com valores mínimos e máximos de 0,7 a 2,62 mg L^{-1} .

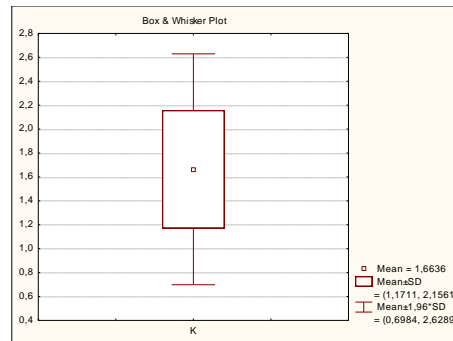


Figura 33. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de K em mg L^{-1} para o conjunto de 13 amostras

A Figura 34 representa o diagrama para os valores de sulfato. A maioria das amostras apresenta valores de 104 e 1489 mg L^{-1} . Com valores mínimos e máximos de -560,7 a 2154 mg L^{-1} .

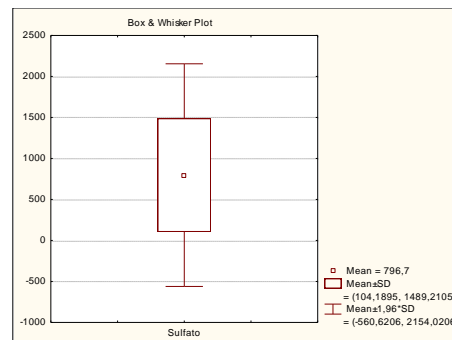


Figura 34. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de sulfato em mg L^{-1} para o conjunto de 13 amostras

A Figura 35 representa o diagrama para os valores de nitrato. A maioria das amostras apresenta valores de 1,94 e 3,7 mg L^{-1} . Com valores mínimos e máximos de 1,1 a 4,5 mg L^{-1} .

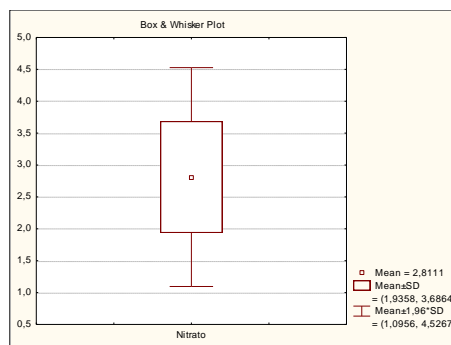


Figura 35. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de nitrato em mg L^{-1} para o conjunto de 13 amostras

A Figura 36 representa o diagrama para os valores de alcalinidade. A maioria das amostras apresenta valores de 89,2 e 96,7 mg L^{-1} . Com valores mínimos e máximos de 85,5 a 100,4 mg L^{-1} .

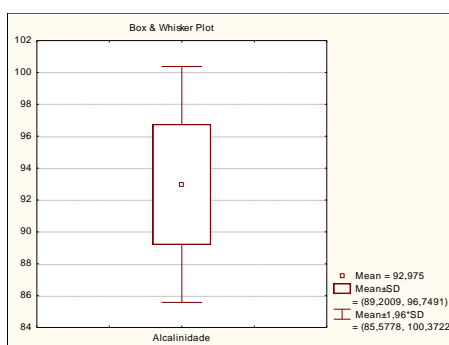


Figura 36. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de alcalinidade em mg L^{-1} para o conjunto de 13 amostras

A Figura 37 representa o diagrama para os valores de dureza. A maioria das amostras apresenta valores de 10,2 e 23,2 mg L^{-1} . Com valores mínimos e máximos de 4,02 a 29,4 mg L^{-1} .

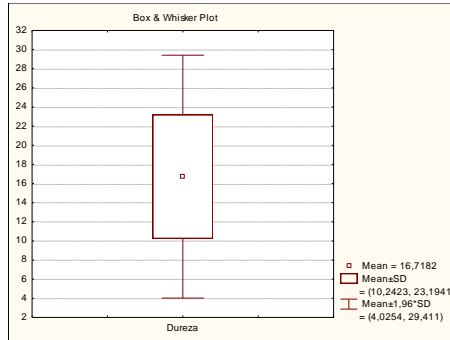


Figura 37. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de dureza em mg L^{-1} para o conjunto de 13 amostras

A Figura 38 representa o diagrama para os valores de cálcio. A maioria das amostras apresenta valores de 3,04 e 8,3 mg L^{-1} . Com valores mínimos e máximos de 0,5 a 10,9 mg L^{-1} .

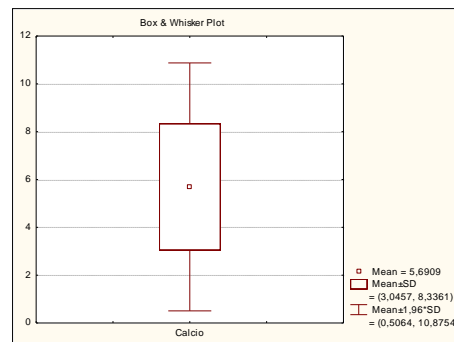


Figura 38. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de cálcio em mg L^{-1} para o conjunto de 13 amostras

A Figura 39 representa o diagrama para os valores de magnésio. A maioria das amostras apresenta valores de 0,55 e 0,69 mg L^{-1} . Com valores mínimos e máximos de 0,5 a 0,7 mg L^{-1} .

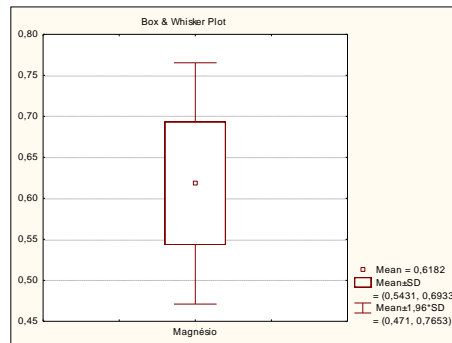


Figura 39. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de Magnésio em mg L^{-1} para o conjunto de 13 amostras

A Figura 40 representa o diagrama para os valores de Fe. A maioria das amostras apresenta valores de $-0,1$ e $2,53 \text{ mg L}^{-1}$. Com valores mínimos e máximos de $-1,3$ a $3,7 \text{ mg L}^{-1}$.

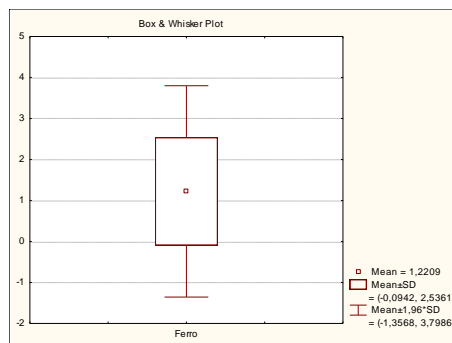


Figura 40. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de Fe em mg L^{-1} para o conjunto de 13 amostras

A Figura 41 representa o diagrama para os valores de manganês. A maioria das amostras apresenta valores de $-0,2$ e $0,9 \text{ mg L}^{-1}$. Com valores mínimos e máximos de $-0,8$ a $1,5 \text{ mg L}^{-1}$.

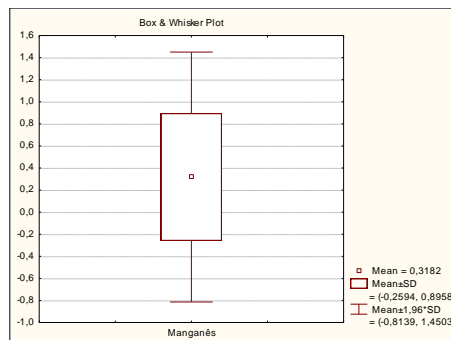


Figura 41. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de Manganês em mg L^{-1} para o conjunto de 13 amostras

A Figura 42 representa o diagrama para os valores de Fosfato. A maioria das amostras apresenta valores de 0,4 e 1,0 mg L⁻¹. Com valores mínimos e máximos de 0,1 a 1,35 mg L⁻¹.

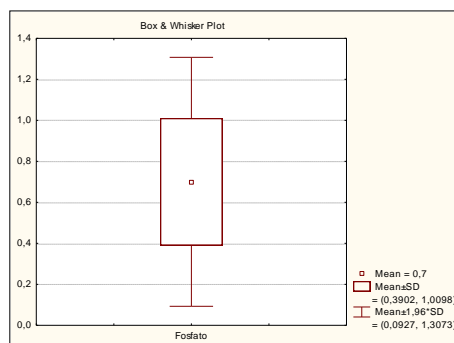


Figura 42. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de Fosfato em mg L⁻¹ para o conjunto de 13 amostras

A Figura 43 representa o diagrama para os valores de Condutividade Elétrica. A maioria das amostras apresenta valores de 2,3 e 2,9 mS cm⁻¹. Com valores mínimos e máximos de 2 a 3,2 mS cm⁻¹.

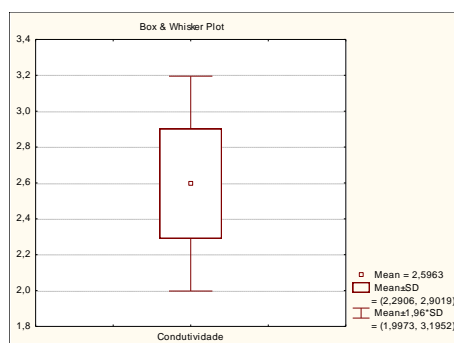


Figura 43. Diagrama Box & Whisker, representando os valores de Condutividade elétrica em mS cm⁻¹ para o conjunto de 13 amostras

9. CONCLUSÕES

Em relação aos resultados obtidos nas espacializações das concentrações anômalas de flúor considerando-se a VMP para consumo humano estipulado pela Portaria nº518/2004 pode-se dizer que esta pesquisa conseguiu reunir resultados referentes à cerca de 132 captações de águas subterrâneas as quais penetram diferentes tipos rochosos, contendo diferentes constituintes minerais.

Foram considerados três Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos principais, destes:

15 ocorrências no Domínio do Cristalino destacando-se o Município de Porto Alegre com cerca de (10) ocorrências, algumas delas inclusive são de águas minerais e são envasadas e vendidas para consumo humano. Portanto notou-se divergência nas portarias do Ministério da Saúde e aquelas referentes ao consumo de águas minerais da ANVISA. Duas ocorrências em Vila Nova do Sul, (01) em Viamão, (01) em São Gabriel e ainda uma ocorrência em Hulha Negra.

No Domínio das Vulcânicas SASG, deve-se considerar que algumas destas ocorrências devem-se somente a águas subterrâneas que penetraram este tipo de rochas em poços mais rasos, até cerca de 300 m. Acredita-se que estas captações recebam influência dos Aquíferos sotopostos (SAG, Pré-SAG) que podem contribuir com águas mais salinas. Neste domínio deve-se ressaltar que existem águas minerais, algumas termais utilizadas com fontes hidrominerais mas não são envasadas para consumo humano. Mas também existem ocorrências de águas frias utilizadas no consumo humano e/ou industrial.

No Domínio das Bacias Sedimentares seguiu-se a proposta do Projeto Sistema Aquífero Guarani PSAG (2009) para seu gerenciamento considerando três zonas:

Zona de Confinamento onde as captações podem penetrar o SASG e também o SAG são poços com profundidades não muito grandes, geralmente inferiores a 200 m, porém podem atingir maiores profundidades. Obtiveram-se nove ocorrências distribuídas entre os Municípios de Quaraí (03), Alegrete (01) localizados na fronteira oeste do Estado do RS. Já na região central do Estado, em Encantado (03), Ivorá (01) e em Arroio do Meio (01). Portanto foram consideradas cerca de nove captações nesta zona.

Zona de Forte Confinamento onde as captações podem penetrar o SASG e também o SAG poços tubulares com grandes profundidades, podendo ser superiores a 1.000 m. Estas águas apresentaram um polítipo bicarbonatado sódico, podendo ser sulfatadas e/ou cloretadas

sódicas, em menor número. O Estado do RS apresentou cerca de 15 ocorrências conhecidas nesta condição, enquanto no Estado de Santa Catarina cerca de sete. Sua distribuição ficou assim definida: Santo Augusto (03), Cerro Largo (03), Caciue Doble (03), Nova Prata (02), já em Teutônia, Relvado, Santa Rosa, Três Arroios todos apresentaram no mínimo uma ocorrência avaliada. Em SC, duas ocorrências em Piratuba uma termal e outra fonte fria ($T < 25^{\circ}\text{C}$), já no Municípios de Ita, Presidente Castelo Branco, Águas de Chapecó, Palmitos e São Carlos todos apresentaram uma ocorrência de águas termais, sendo inclusive uma mineral envasada para consumo humano. Estas avaliações somente foram possíveis devido à obtenção dos resultados inéditos produzidos pela PROINSA para o PSAG (2009).

Zona de Afloramento foi aquela que apresentou a maior ocorrência de captações por poços tubulares com fluoretos anômalos, perfazendo cerca de 79 ocorrências. Estas são conhecidas no Estado do RS nos municípios de: Venâncio Aires (33), Vera Cruz (14), Santa Cruz (12) aquele que apresentou os maiores valores com $10,8 \text{ mg L}^{-1}$ e também o menor com cerca de $1,55 \text{ mg L}^{-1}$, isto indica que não ocorre uma distribuição homogênea, portanto a idéia de Lobo da Costa (2000) da existência de um Domo Salino, parece não se confirmar com os resultados aqui apresentados. Outros Municípios como, por exemplo: Candelária (03), Santa Maria (02), São João do Polêsine (02), Restinga Seca (02), Faxinal do Soturno (02), Pântano Grande (02), enquanto que em Rio Pardo, Dona Francisca, Taquari, Tabaí, Vale Verde, Rosário do Sul e Bom Retiro do Sul, todos apresentaram apenas uma ocorrência, identificada até o presente momento. Deve-se salientar que existem vários outros municípios com captações de águas subterrâneas através de poços tubulares contendo águas salobras que ainda não foram estudados as concentrações de flúor. Assim a distribuição espacial da fluorose dentária pode ser muito maior do que aquela conhecida atualmente. Cita-se, por exemplo, na região rural do Distrito de Arroio do Só em Santa Maria existem águas salobras.

Deve-se também informar que vários destes poços tubulares utilizados nas espacializações em mapas e cartogramas tendo em vista as exigências da Portaria nº518/2004 foram desativados, lacrados e principalmente aqueles de antigas captações pertencentes não somente as companhias de Abastecimento público, como a CORSAN, mas também o poço PB-20 no CAMPUS da UFSM (MARION et al, 2007). Tal procedimento deve-se a ampliação dos estudos e surgimento de novos conhecimentos, cabendo a vigilância sanitária estadual e Municipal fiscalizar com maior eficiência, visando sempre à saúde dos consumidores, evitando-se não só o desperdício de finanças públicas, bem como todas as situações advindas

das pressões atuais, representadas na cadeia de causa e efeito elaborada por Santiago et al. (2009).

Respondendo as hipóteses sugeridas no porte inicial da pesquisa, os resultados obtidos com o poço de monitoramento comprovaram que existem flutuações em alguns parâmetros durante as variações sazonais. Não se pode descartar também o uso de diferentes equipamentos analíticos, sendo sempre os resultados comparados com padrões. Sugere-se também uma freqüente ação de intercalibração de laboratórios de análises físico-químicas de águas, buscando minimizar o Erro prático.

Conclui-se ainda que não exista uma fonte única para o fluoreto em águas subterrâneas e que este problema não é só do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, mas também ocorre em outros Estados como Rio de Janeiro e São Paulo, inclusive associado as águas minerais envasadas e vendidas à população. Estudos geológicos e geoquímicos integrados buscam entender a possível origem deste elemento o que contribui para preservar a saúde das populações não somente relacionada à fluorese dentária, mas também a osteoporose. Estudos com uso de mapas facilitam a observação e favorecem o uso de campanhas de prevenção de saúde.

Acredita-se que os resultados aqui apresentados e discutidos na forma de mapas, cartogramas, quadros, tabelas, imagens, estudos estatísticos tenham atingido todos os objetivos propostos e hipóteses levantadas nesta pesquisa.

Esta não se concluiu agora, mas ainda seguirá sendo executada com a parceria de vários pesquisadores, de diferentes áreas do conhecimento utilizando técnicas geoquímicas avançadas tais como: a difração de raios-X, a microscopia eletrônica/EDX além de estudos com Espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP/MS) e Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP/OS).

10. REFERÊNCIAS

ABAS, Associação Brasileira de águas subterrâneas. Educação/ Águas subterrâneas, o que são. Disponível em: <WWW.abas.org/educação.php>. Acesso em: 30 de Março de 2010.

AMPABIRE, W.B. et al. **Geochemistry, genesis, and health implications of fluoriferous groundwaters in the upper regions of Ghana.** Environmental Geology, Berlin, v. 33, n. 1, p. 13-24, 1997.

ANDREAZZINI, M. J.; FIGUEIREDO, B. R.; LICHT, O. A. B.. Geoquímica do Flúor em Águas e Sedimentos Fluviais da Região de Cerro Azul, Estado do Paraná: Definição de Áreas de Risco para Consumo Humano. Geologia Médica, Caderno nº18, São Paulo, 2005.

AQUACHEM USER'S MANUAL, WATERLOO HYDROGEOLOGIC'S, WATER QUALITY DATA ANALYSIS, PLOTTING & MODELING, ONTARIO-CA/2003, P.276.

ASTA, A. P. D. Zoneamento Geoambiental: Um Estudo na Cidade de Santa Maria – RS. 2008. 57f. Qualificação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. Solos e Ambiente: uma introdução. Santa Maria. Ed. Pallotti. UFSM, 2004. 100p

BACCAR, N. de M. Estudo da qualidade da água de poços artesianos da Região do Vale do Rio Pardo, RS, Brasil, com destaque para a concentração de fluoretos. 1998. 130f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Santa Cruz do Sul , Santa Cruz do Sul, 1998.

BACK, W., 1966. **Hydrochemical Facies and Groundwater Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain.** U.S. Geological Survey Professional Paper 498-A.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente/MMA, Conselho Nacional do Meio-Ambiente/CONAMA. Resolução Nº 396 de 03 de Abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 13 de setembro de 2008.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente/MMA, Conselho Nacional do Meio-Ambiente/CONAMA. Portaria Nº 518 de 25 de Março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518_2004.pdf>. Acesso em 15 de setembro de 2008.

BRASIL - Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais/SIAGAS Sistema de Informação de Águas Subterrâneas do Brasil. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/siagas>>. Acesso 12 de janeiro 2008

BRASIL - Departamento Nacional da Produção Mineral/DNPM. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/sighidro/Paginas/Pagina_Principal.asp>. Acesso em: 12 de janeiro 2008.

BRASIL/COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS, CPRM. Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil. Escala 1:2.500.000. CPRM, 1 CD – ROM. 2007.

BEN DA COSTA, A.; LOBO, E. A. KIRST, A.; SOARES, J.; GOETTEMS, C. H. **Estudo comparativo da concentração de flúor, pH e Condutividade Elétrica da água subterrânea dos Municípios de Santa Cruz do Sul, Venâncio Aires e Vera Cruz.** Brasil. In: XIII, Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá, Mato Grosso, 2004. p. 1- 16.

BITTENCOURT, A. V.L.; ROSA FILHO, E.F. HINDI, E.C.; BUCHMANN FILHO, A.C. **A influência dos basaltos e de misturas com águas de Aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral na bacia do Rio Piquiri, Paraná- BR.** Revista Águas Subterrâneas, n. 17, 67-75, 2003.

BORGUETTI, B. R. N; BORGHETTI, R. J.; ROSA FILHO, E. F. **O Aquífero Guarani.** Disponível em: < www.oaquiferoguarani.com.br>. Acesso em: 02 de maio de 2010.

CARNEIRO, C. D. R.; CAMPOS, H. C. N. S.; MENDONÇA; J. L. G.. Rios Subterrâneos: Mitos ou Realidade?. Ciência Hoje, São Paulo, Outubro. 2008. Vol. 43, nº 253, p. 18-25.

CAMPOS, D. L.; FARIAS, D. G; TOLEDO, O. A.; BEZERRA, A. C. B. Prevalência de fluorose dentária em escolares de Brasília - Distrito Federal. Rev Odontol Univ São Paulo, v. 12, n. 3, p. 225-230, jul./set. 1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-06631998000300005&script=sci_arttext>. Acesso em: 02 de fevereiro 2009.

CAPELLA, B.A. Estudos da ocorrência da fluorose dental em Cocal: dentição decídua. Florianópolis, 1991. 88 p. **Dissertação (Mestrado)** - Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Santa Catarina

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS, CPRM/Siagas. Site de busca. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=4300002868>>. Acesso em: 10 de Julho de 2010.

CRUZ, J.V., AMARAL, C. (2004) – Major ion chemistry of groundwaters from perched-water bodies at Azores (Portugal) volcanic archipelago. *Applied Geochemistry* 19: 445-459. Disponível em: <<http://www.cvarg.azores.gov.pt/Cvarg/CentroVulcanologia/publicacoes/jvcartint.htm?category=2>>. Acesso em: 05 de Março de 2009.

DEPARTAMENTO AUTONOMO DE ESTRADAS E RODAGENS - DAER, Mapa Rodoviário do Rio Grande do Sul - 2007. Disponível em: <http://www.daer.rs.gov.br/daer_maparodoviario.htm>. Acesso em: 03 de Dezembro de 2008.

DREVER, J. I. *The Geochemistry of Natural Waters: surface and groundwater environments*. 3rd ed., 1997, p. 436.

FALCÃO, H. *Perfil Analítico de Águas Minerais*. Rio de Janeiro: DNPM. 1978. 109p.

FEJERSKOV, O. et al. *Fluorose dentária*. São Paulo: Santos, 1994. 122p.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrologia. Conceitos e aplicações**. CPRM, LABHID-UFPE, 1997, 412p.

FEITOSA, Fernando A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A.. *Hidrologia: Conceitos e aplicações*. CPRM, LABHID, 2009. 812 p.

FRAGA, C. G.. *Origem de Fluoretos em Águas Subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Botucato e Serra Geral da Bacia do Paraná*. Instituto de geociências, Tese de Doutorado, USP, São Paulo- SP, 1992, 178p.

FRANK, H. T. *et al.* Contaminação de Flúor dos Aquíferos da Bacia do Paraná derivada da desgaseificação de intrusivas da Formação Serra Geral: Nova Hipótese. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS E I SIMPOSIO DE HIDROGEOLOGIA DA REGIÃO SUL-SUDESTE, CD-ROM, GRAMADO. abas/RS. São Paulo : Abas, 2007.

FLORES, E. L. M.; DUARTE, F. A.; PANIZ, F. N. G.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DRESSLER, V. L. Utilização de Pirohidrólise para a determinação de flúor em fertilizantes e sal mineral. In: Livro de resumos: 26ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2003.

FORMIGA, Klebber T. M. *Modelos Matemáticos de Águas Subterrâneas*. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Aquitardo>>. Acesso em 07 de Dezembro de 2008.

HAUSMAN, A. *Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul*. São Leopoldo/RS: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1995. 125p.

HEINE, C. A. Análise de Sustentabilidade de uso do Sistema Aquífero Guarani na Região Urbano-Industrial de Ivoti-RS. Tese de doutorado em Geologia. São Leopoldo: UNISINOS, 2008. p. 223.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2000.

LICHT, O. A. B. ATLAS Geoquímico da folha Curitiba. Curitiba: Mineropar, 2001.

LICHT, O.A.B. Geoquímica Multielementar de Superfície na Delimitação de Riscos e Impactos Ambientais, Estado do Paraná, BRASIL. P 21-35. **Geologia Médica no Brasil**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=941&sid=41>>. Acesso em: 03 de Maio de 2008.

LISBOA, D. M. Oito Questões Sobre o Sistema Aquífero Guarani. Revista ABAS, São Paulo, Ano 2, nº 7, Setembro – Outubro, 2008, p 6-9.

MACHADO, J. L. F. Mitos e Verdades do Aquífero Guarani. Revista do Conselho de Engenharia e Arquitetura do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul. 2008. Entrevista I, nº 10, p. 11-13.

MACHADO, J. L. F. Compartimentação Espacial e arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul. 2005. 237f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2005.

MACHADO, J. L. F. A redescoberta do aquífero Guarani. Reportagem Scientific American Brasil, Abril, 2006. Edição 47, p. 1-6.

MACIEL FILHO, C. L. Introdução à geologia de Engenharia. Santa Maria, Editora da Universidade federal de Santa Maria, 1994. 283p.

MARTÍNEZ, M. M. O Aquífero Guarani no âmbito do Mercosul. 2006. 145f., Dissertação (Mestrado em Integração Latino Americana) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2006.

MARIMOM, M. P. C. O Flúor na Águas Subterrâneas da Formação Santa Maria, na Região de Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires, RS, Brasil. 2006. 314f., Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MOTTA, C. L. M.; BATISTA, M. L. C.; RIBEIRO, M. M. R.; ALBUQUERQUE, J. DO P. T.; RÊGO, J. C.; 2009. Simulação da Interferência entre poços como critério de Outorga dos Direitos de Uso das Águas Subterrâneas. **In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. CAMPO GRANDE-MS. 2009.

PAIVA, J. B. D. e PAIVA, E. C. D. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas bacias hidrográficas**. 2001. 625p.

PANAGOULIAS, T. I. E SILVA FILHO, E. V. Estudo Hidrogeoquímico do Flúor nas Águas Subterrâneas das Bacias dos Rios Casseribú, Macacú e São João, Estado do Rio de Janeiro. 2006. P. 126- 129. *Geologia Médica no Brasil*. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=941&sid=41>>. Acesso em 03de Maio de 2008.

PIPER, A.M., 1944. **A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses**. Transactions - American Geophysical Union 25. 914-923.

Plano Nacional de Recursos Hídricos – Programa Nacional de águas subterrâneas / Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. – Brasília: MMA, 2009. 52 p. colorido: 28 cm.

PSAG Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. Manual de Perfuração de Poços Tubulares para Investigação e Captação de Água Subterrânea no Sistema Aquífero Guarani. 1º Edição. Montevidéu, Português e Espanhol. 2007, 176p. Esta obra esta disponível em versão eletrônica em: <<http://www.sg-guarani.org/manual>>.

PSAG Síntese hidrogeológica do Sistema Aquífero Guarani. Série Manuais e Documentos Técnicos do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. Primeira Edição. Montevidéu, Português e Espanhol. 2009, 102p. Esta obra esta disponível em versão eletrônica em:< <http://www.sg-guarani.org/manualp>>.

ROCHA, G. (COORDENAÇÃO GERAL). MAPA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, ESCALA 1:1.000.000; DAEE, IG, IPT, CPRM. NOTA EXPLICATIVA, 2005, mapa. Vários colaboradores, obra com 3v. inclui CD-ROM e mapa.

RONEN, D., SCHER, H. E BLUNT, M.. Field observations of a capillary fringe before and after a rainy season. *Journal of Contaminant Hydrology*. Elsevier, vol. 44, july 2000. Disponível em: <http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/503341/description#description>. Acesso em: 02 fev. 2010.

SANTIAGO, M. R.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.. **Flúor em Águas Subterrâneas: Um problema Social**, Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2009.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; FLORES, E. M. M.; BERTAZZO, V. M. Estudo Hidroquímico das águas Subterrâneas na Região de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul, Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2002. p. 1-10.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; HIRATA, R.C. A.; FLORES, E. L. M.; DRESSLER, V. L. Novas hipóteses sobre a origem do flúor no Sistema Aquífero Guarani na Depressão Gaúcha, Brasil. Anais do XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002. p. 20.

STÜRMER, S. L. K.; PEDRON, F. de Araújo; GONÇALVES, J. L., MICHELON, C.e R.; AZEVEDO, A. C. Mudança textural abrupta em dois Planossolos da Depressão Central do RS. XXXI Congresso Brasileiro de ciência do solo. Gramado/RS. 2007

UFMS e UFCG Simulação para aplicação da cobrança em escala real. Volume 1: relatório técnico do projeto. Chamada Publica CT/FINEP/CTHIDRO-GRH 01/2004. Convênio FATEC/UFMS/FINEP no. 01.041052.00. Universidade Federal de Santa Maria e Universidade Federal de Campina Grande. 2008.

VELASQUEZ, L. N. M.; FANTINEL, L. M.; FERREIRA E FERREIRA, E.; CASTILHOS, L. S.; UHLEIN, A.; VARGAS, A. M. D.; ARANHA, P. R. A. Fluorose dentária e anomalias de flúor na água subterrânea no município de São Francisco, Minas Gerais, Brasil. Geologia Médica, Caderno nº17, São Paulo, 2005.

WHO (World Health Organization (1984) Guidelines for drinking water quality. Drinking water quality control in small community supplies, vol 3. WHO, Geneva.

ANEXO

TABELA DE RESULTADOS ANALÍTICOS

A – Dados descritivos das concentrações de fluoretos, condutividade elétrica, pH, sódio e cloretos dos poços cadastrados.

Tabela A. Dados descritivos das concentrações de fluoretos, condutividade elétrica, pH, sódio e cloretos

Nº POÇO	Fonte de Informação	Localidade	UTM E	UTM N	MUNICÍPIO	FLUOR (mg L ⁻¹)	C.E.	pH	Na ⁺ (mg L ⁻¹)	Cl ⁻ (mg L ⁻¹)
01/U1	Baccar/Marimon/Ben Costa	Gaúcho Diesel	359323	6714643	SANTA CRUZ	10.8	582	8.7		15.8
03/U3	Baccar/Marimon	Filler	360188	6714108	SANTA CRUZ	2.7	629	8		38.3
04/U4	Baccar/Marimon	Filler	360243	6714069	SANTA CRUZ	4.1	584	8.4		20.1
06/U6	Baccar/Marimon	TVA	360378	6713313	SANTA CRUZ	1.6	543	8		19.6
51/U51	Baccar/Marimon	Souza Cruz - Unidade	362300	6706558	SANTA CRUZ	1.6	324	8.5		5.7
113/U113	Baccar/Marimon	Colégio Mauá	362678	6712611	SANTA CRUZ	1.86	670	7.7		40.7
125/U125	Baccar/Marimon	Couros Koppe	361113	6712912	SANTA CRUZ	2.28	589	9		23.4
162/U162	Baccar/Marimon	UNISC	360785	6714019	SANTA CRUZ	2.38	440	8.8		11
163/U163	Baccar/Marimon	UNISC ao lado da biblioteca	361003	6713861	SANTA CRUZ	1.55	423	8.8		9.6
178/U178	Baccar/Marimon	Linha Seival prox serralheria	373577	6721532	VENANCIO AIRES	3.61	356	8.8		7.7
7545	SIAGAS	FILLER S/A	360278	6714104	SANTA CRUZ	10.8	554	8.7		15.8
S-206-BR-SC 2868 –	Proinsa	Viação Unido Santa Cruz	359845	6711303	SANTA CRUZ	2.9	371	9.47		16.7
G.1523 SCZ10	SIAGAS	CORSAN/CAMPUS UNISC	360310	6714075	SANTA CRUZ	4.4	433.4	9.4		16
10/U196	Baccar/Marimon/Ben Costa	Rede Hídrica Tangerinas	375999	6722005	VENANCIO AIRES	2.34	324	8.8		7.7
11/U197	Baccar/Marimon/Ben Costa	Rede Hídrica Vila Arlindo	375073	6720468	VENANCIO AIRES	3.4	324	9.1		8.8
21/U207	Baccar/Marimon/Ben Costa	Escola São Judas Tadeu	385380	6727789	VENANCIO AIRES	6.97	774	8.9		69.4
U210	Marimon/Ben Costa	Sociedade Abastecedora	395532	6721424	VENANCIO AIRES	4.48	508	8.9		38.3
U213	Ben Costa/Marimon	Esc.Rui Ramos	393140	6712930	VENANCIO AIRES	4.4	1326	8.4		
U214	Marimon/Ben Costa	Breno Kwies Linha	393221	6712898	VENANCIO AIRES	2.56	781	8.8		125.2
U216	Marimon/Ben Costa	Amaro Dorneles - Linha	394357	6712330	VENANCIO AIRES	2.69	751	8.9		127.3
U217	Marimon/Ben Costa	Sergio da Silva - Linha	393076	6712184	VENANCIO AIRES	4.13	1380	8.6		307.4

U223	Ben Costa/Marimon	Universal Leaf Tabacos	383690	6723270	VALE VERDE	2.4	1024	6.9	
U228	Marimon/Ben Costa	Pedro Silva - Linha	390931	6714312	VENANCIO AIRES	1.87	647	8.5	61.1
U229	Marimon/Ben Costa	Manuel Azambuja	391119	6714340	VENANCIO AIRES	1.81	541	8.3	35.7
6349/IQ 361/ G612 VA6	SIAGAS	R.Duque de Caxias/CORSAN	384987	6723438	VENANCIO AIRES	6		8.1	290
6348/IQ 363/ G1333 VA23	SIAGAS	R.Emilio Michel/CORSAN	383489	6722788	VENANCIO AIRES	6.4	73.5	7.5	265
6356/IQ 371/ G1625 VA29	SIAGAS	RUA ARMANDO RUSCHEL ESQUINA CANCIO GOMES/CORSAN	383015	6722504	VENANCIO AIRES	5.2	2376	7.6	238
6368/IQ 383/ Vila Morsh	SIAGAS	RUA FERNANDO ABOUT/CORSAN	385586	6724326	VENANCIO AIRES	3	228.8	8.8	16
6371/IQ 386/ G835 VA10	SIAGAS	RUA BARAO DO TRIUNFO 1416/CORSAN	385685	6723998	VENANCIO AIRES	3.6		8.1	210
6373/IQ 388/ G1281 VA20	SIAGAS	RUA DAS INDUSTRIAS SN/CORSAN	385391	6721703	VENANCIO AIRES	5.5	176.8	7	171
6376/IQ 391	SIAGAS	RUA GUSTAVO BULLOV, BAIRRO CORONEL BRITO/CORSAN	387250	6723521	VENANCIO AIRES	3	717.2	8	210
22	Baccar	Associação Grupo Comunitário Linha Grão Pará	385380	6727789	VENANCIO AIRES	7.86	831	8.9	63.2
H6	Marimon	Hidrogeo - 883	394292	6718657	VENANCIO AIRES	2.3	600	8.7	24
So23	Marimon	SOPS - 4482/PIK1 - Picada Nova	399788	6722331	VENANCIO AIRES	5.35			
So24	Marimon	SOPS - 4532/RSZ3 - Rincão dos Souza	391468	6716153	VENANCIO AIRES	4.5	1074	8.3	8
A1	Marimon	Rede Hidrica Cerro	396900	6757500	VENANCIO AIRES	5.8			
A2	Marimon	Venâncio Fogões	382656	6722667	VENANCIO AIRES	4.1			
A4	Marimon	Loteamento Sol Nascente	386562	6723157	VENANCIO AIRES	5.5			
A7	Marimon	Balneário Arenhardt	385079	6728520	VENANCIO AIRES	6.1			
A10	Marimon	Ass. Hidrica S. José	396010	6722144	VENANCIO AIRES	4.5			
A11	Marimon	Posto Peteba	396029	6719005	VENANCIO AIRES	4			

A13	Marimon	Tangerinas	378571	6720975	VENANCIO AIRES	2.3			
PPCG1	Marimon	Campo Grande	393000	6712100	VENANCIO AIRES	3.65			
PPSJ	Marimon	São João	394868	6715789	VENANCIO AIRES	1.94			
PPCG2	Marimon	Campo Grande	393059	6712207	VENANCIO AIRES	4.67			
Arlindo	Marimon	Vila Arlindo	375991	6721678	VENANCIO AIRES	5.25			
	Ben Costa		353188	6712584	VERA CRUZ	3.9	636	9.1	
	Ben Costa		352664	6711935	VERA CRUZ	2.4	1070	8.8	
	Ben Costa		351049	6711925	VERA CRUZ	5.9	2790	8.3	
	Ben Costa		352489	6709647	VERA CRUZ	4.3	4340	8.1	
	Ben Costa		352861	6701414	VERA CRUZ	4.8	2260	8.2	
	Ben Costa		354913	6700241	VERA CRUZ	4.5	1442	8.5	
	Ben Costa		354708	6702628	VERA CRUZ	5.1	1720	8.4	
4300006245	SIAGAS	Pref. MUN. de VERA CRUZ	354471	6705278	VERA CRUZ	4.9	1826	8.6	
4300006258	SIAGAS	Pref. MUN. de VERA CRUZ	352954	6710304	VERA CRUZ	4.3	4340	8.1	622.8
4300006255	SIAGAS	Pref. MUN. de VERA CRUZ	348228	6704833	VERA CRUZ	4.8	2260	8.2	252.2
4300006257	SIAGAS	Pref. MUN. de VERA CRUZ	351389	6707952	VERA CRUZ	3.18	1530	7.94	225
4300006260	SIAGAS	Pref. MUN. de VERA CRUZ	351117	6711965	VERA CRUZ	5.9	2790	8.3	379.3
4300006261	SIAGAS	Pref. MUN. de VERA CRUZ	352690	6711976	VERA CRUZ	2.4	1070	8.8	
6265/IJ590	SIAGAS	PREFEITURA MUNICIPAL DE VERA CRUZ	357394	6716095	VERA CRUZ	3	607	9.5	61
11	Baccar	Rincão da Lagoa/Mauro dos Santos	331608	6698857	Candelária	2.1	714	8.3	78.2
21	Baccar	Rincão da Lagoa/Igreja	331683	6702965	Candelária	1.9	971	8.3	120.1
IJ526	PROINSA/SAG	Linha do Rio	325692	6722756	Candelária	4	361	7.26	56 19.4
12	Baccar	Batinga ao lado da BR 290	362024	6657945	Pantano Grande	2.7	1599	7.8	299.7
13	Baccar	Rio Grandino Prox Unical	367574	6660402	Pantano Grande	4.8	803	9.1	29
24	Baccar	Taquari Mirim/Sônia	372638	6715402	Passo do Sobrado	1.68	361	8.3	5.3

2	Baccar	Albardão/Posto	336914	6700654	Rio Pardo	2.93	5900	8.1		1066
	LAQIA/SILVERIO	Prof. Mun. de Tabaí	430754	6716025	Tabaí	4.4		8.1		
7662	CPRM	HORTO MUNICIPAL	262791	6720217	São João Polesine	2.8	1466	8.5	333	140
7672	CPRM	VALE VENETO	256449	6717276	São João Polesine	2.8				115
7750	CPRM	SEDE	262907	6726150	Faxinal do Soturno	2.6		8.4		120
7751	CPRM	SEDE	262538	6726105	Faxinal do Soturno	3.3	1673	8.80	308	153
7749	CPRM	CERRO DOS DAMBROS	274353	6725647	Dona Francisca	2.94	1740	8.6		
8846	CPRM	LINHA MARTIMIMIANO	270332	6703222	Restinga Seca	5.6	1053	8.8	242	116
8853	CPRM	LOMBA ALTA	271652	6702535	Restinga Seca	2.6	1859	7.90		
556	CPRM	CAMOBI- CAMPUS DA UFSM	237100	6709200	Santa Maria	2	350	8.5	67	14.2
1783	CPRM	FAZENDA POSTO ANGICO	642988	6655245	Rosário do Sul	2.8	90	6.7	4.3	2.8
8631	CPRM	Soc. Evangelica Pella Bethania	419565	6700700	Taquari	2.25	41.3	9.2	155	8.23
8594	CPRM	Serra dos Gomes	408793	6715238	Bom Retiro	2.99	991	8.56	340	130.84
	LAQIA/SILVERIO	Poço de Monitoramento	237109	6709497	Santa Maria	2.27	2600	7.25	509.84	404.82
IH883	LAQIA/SILVERIO	Prefeitura Municipal	430754	6716025	Tabaí	4.4	546	8.1	97	19.5
	PROINSA/SAG	Rua Bento Gonçalves	616265	6703815	Alegrete	1.6	296	7.35	11	10
IJ798	PROINSA/SAG	Monastério Cartuxa	245904	6726222	Ivorá	1.8	281	7.51	21	9.8
2838	CPRM	Rua Raimundo André	414150	6766647	Encantado	1.8	424.6	8	82	19
2836	CPRM	Rua Ernesto Gregorie	414931	6766154	Encantado	1.7	1152	8		36
EN-4a	PROINSA/SAG	Rua Joao Sana	414816	6765537	Encantado	6	750	7.77	117	79.4
PP-B-3301-II339	PROINSA/SAG	RS60 KM4	554762	6638562	Quaraí	4.1	235	7.05	10	13.1
	PROINSA/SAG	DUQUE DE CAXIAS	552092	6639586	Quaraí	3.7	293	7.76	10	15.8
	PROINSA/SAG	ETA 1	553932	6636569	Quaraí	4.6	273	7.32	13	8.5
1407	CPRM	Bairro Bela Vista	407502	6748318	Arroio do Meio	2.8	2450	8.3	470	269
2066	CPRM	Pitangueira	437002	6927529	Cacique Doble	6	190	9.9	54	3
2065	CPRM	Sede	435062	6927325	Cacique Doble	6	179.3	10	56	2
2062	CPRM	Proximo Ponte Rio Carazinho	434559	6928165	Cacique Doble	1.5		8.1	20	8

2601	CPRM	Prox. Arroio Encantado	723325	6884700	Cerro Largo	2.2	420.2	9.5	103	4
2606	CPRM	Sede	722675	6885200	Cerro Largo	2.2	555.5	9.8	139	4
2595	CPRM	Sede	722670	6883650	Cerro Largo	1.6	448		122	7
	PROINSA/SAG	Compania Hidromineral Piratuba	422502	6966127	Piratuba	2.55	1466	8.44	295	244
	PROINSA/SAG	Sede	422073	6966309	Piratuba	2.24	1052	8.4	328	107
	PROINSA/SAG	Prefeitura Municipal	420560	6990683	Presidente Castelo Branco	1.9	1215	8.88	240	155.6
	PROINSA/SAG	Sede	367896	6982090	Ita	4.1	1365	9.1	236	131.8
2583	CPRM	Bairro São Francisco	225475	6916800	Santo Augusto	2	330	7.2	73	4
2586	CPRM	Bairro São Francisco	225855	6916475	Santo Augusto	2.6	596	9	139	5
2732	CPRM	Acesso a Santo Augusto	225751	6914200	Santo Augusto	3	469.7	9.2	107	3
	PROINSA/SAG	Balneário Hidroeste	302822	7003168	Aguas de Chapecó	2.14	1175	8.81	188	150
	PROINSA/SAG	Ilha Redonda	294185	6994550	Palmitos	2.17	1870	8.51	322	292
IR846	PROINSA/SAG	Balneário Aguas de Prata	296586	7003479	São Carlos	2.12	990	8.75	165	133.3
8044	CPRM	RST 453 KM 15	423208	6743738	Teutonia	2.99	215	7.5	200	35.94
13713	CPRM	Linha Pontão	398630	6781114	Relvado	3.6	83.4	7.2	37	1
	LAQIA/SILVERIO	Alibem	747357	6915020	Santa Rosa	3.9	1614	8.2	360	148
13499	CPRM	Fonte Zanuello	386011	6958167	Tres Arroios	1.5	1570	8.9	950	461.6
	Dnpm	Fonte da Aventura	449648	6816795	NOVA PRATA	2.24	727	9.15	140	25.67
810175	Dnpm	Santa Barbara	443872	6814813	Nova Prata	2.47	731	8.93	146.75	25.39
810259	Dnpm	Raul Oliveira Neto	387305	6939943	Tres Arroios	5.06		8.8	473.64	118.75
1450	CPRM	Casa de Retiro São Bernardino	499300	6668650	Viamão	1.6	310	7.7		13.1
6532	CPRM	Prefeitura Mun. Vila Nova do Sul	217066	6645954	Cambaí	3.2	754	7.76	330	240
6533	CPRM	Laranjeiras	215724	6638475	Vila Nova do Sul	1.6	379	7.16	24	14
219	CPRM	Frigorifico Santo Antonio	222800	6522850	Hulha Negra	4	1800	7.4		568
1049	CPRM		483614	6675216	Porto Alegre	5.6	265	7.6		9.3
1050	CPRM		479314	6674499	Porto Alegre	3.3	145	6.7		12.1
1051	CPRM	Haras Slick	486200	6658150	Porto Alegre	1.5		7.6		41.9

1053	CPRM		478114	6669126	Porto Alegre	1.6	300	8.1		9.9
1441	CPRM	Bairro Sarandi	488800	6682200	Porto Alegre	3.3	530	7.1		
1445	CPRM		484313	6674378	Porto Alegre	1.6	300	7.1		13.1
1058	CPRM		484529	6660134	Porto Alegre	1.6	280	8.4		9.6
18119	CPRM		489650	6683134	Porto Alegre	4	687	8.1	90	91
18120	CPRM		480872	6682340	Porto Alegre	2.66	3290	7.39	625	744.9
18124	CPRM	Sarandi	489353	6683580	Porto Alegre	2.55	1598	6.97	305	524.07
1540	CPRM	Frigorifico Santa Brigida	754801	6636728	São Gabriel	1.6	770	8.2	145.4	39.1
9091	CPRM/IT013	Santo Amaro	413220	6688060	General Camara	2.7	243	7.7	45	25
9093	CPRM/IT011	Santo Amaro	413437	6687676	General Camara	4	516	8.3	77	13
801887	Dnpm	Piccinini Vila Igara	483588	6691394	Canoas	1.7	0.75	6.8	105	3
805008	Dnpm	Águas do Mel/Bairro Eng.	277744	6991844	Irai	3.5	1	8.9	181.02	130.18

