



RADÔNIO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ESTÂNCIAS TERMAIS  
SELECIONADAS DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL E  
SUDOESTE DE SANTA CATARINA.

PORTO ALEGRE, 2015

**Ana Júlia Gehlen Bregolin**

**RADÔNIO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ESTÂNCIAS TERMAIS  
SELECIONADAS DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL E  
SUDOESTE DE SANTA CATARINA.**

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

**Orientador(a):** Jaqueline Ozorio Chies

**Supervisor 1:** Arí Roisenberg

**Supervisor 2:** Marcos Alexandre de Freitas (CPRM)

PORTO ALEGRE, 2015.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Bregolin, Ana Júlia Gehlen

Radônio em águas subterrâneas de estâncias termais selecionadas do noroeste do Rio Grande do Sul e sudoeste de Santa Catarina. / Ana Júlia Gehlen Bregolin. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015. [72 f.] il.

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

Orientador(es):Jaqueline Ozorio Chies

Coorientador(es):Ári Roisenberg e Marcos Alexandre de Freitas

1. Balneário 2. Guarani 3. Hidrogeoquímica 4. Radioatividade I. Título.

CDU 55

---

**Catálogo na Publicação**

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Miriam Alves

CRB 10/1947

---

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6329 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “RADÔNIO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ESTÂNCIAS TERMAIS SELECIONADAS DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL E SUDOESTE DE SANTA CATARINA” elaborado por “Ana Júlia Gehlen Bregolin”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Comissão Examinadora:**

---

Prof. Dr. Ana Maria Xavier

---

Prof. Dr. Norberto Dani

---

Prof. Dr. Teresinha Guerra

**Das utopias**

Se as coisas são inatingíveis... ora!  
não é motivo para não querê-las...  
Que tristes os caminhos, se não fora  
a mágica presença das estrelas

**Mario Quintana**

## **Agradecimentos**

À Deus pelas possibilidades e inspirações. Aos meus pais, Delair e Jorge, por tudo que fazem e farão por mim, por me ensinarem a me defender na vida; À minha irmã, Emanoela. Ao Kelvyn, meu amor, além de namorado, meu melhor amigo. À minha família por todos os momentos de descontração e pelo interesse pelo conhecimento que adquiri durante o curso. Aos meus amigos por compartilharem seu tempo e suas experiências.

À Geologia os laços de amizade, os trabalhos de campo, os lugares que conheci, uma nova visão do mundo. À UFRGS pela oportunidade e pelas experiências tanto acadêmicas como de convívio. Aos meus supervisores e orientadores Arí Roisenberg e Marcos Alexandre de Freitas, e Jaqueline Ozorio Chies pela dedicação e orientação. À engenheira química Ana Cristina Bomfim Peixoto por nos acompanhar no trabalho de campo e por sua dedicação. Ao físico Carlos Eduardo Lima dos Santos por ajudar com os detectores.

À CPRM por emprestar o equipamento Pylon e disponibilizar a engenheira química Ana Cristina. À CNEN por nos fornecer os detectores de traços nucleares. Às estâncias termais (Balneário Municipal de Vicente Dutra; Balneário Osvaldo Cruz; Thermas Ilha Redonda; Balneário Águas de Pratas; e Termas São João) que permitiram a realização deste estudo.

## Resumo

Águas termais de balneários no sudoeste de Santa Catarina e o noroeste do Rio Grande do Sul foram selecionadas para este estudo, considerando-se suas características hidroquímicas, condições de funcionamento e potencialidade em acumular radônio. Este elemento é um gás nobre radioativo com meia vida curta resultado do decaimento do rádio e, conseqüentemente do urânio. Acumulado em recintos, pode causar danos a saúde como câncer de pulmão. A geologia da região é caracterizada pela grande extensão e volume de rochas basálticas com ocorrências restritas de rochas vulcânicas ácidas, sobrepondo-se às rochas sedimentares da Bacia do Paraná que compõem o Sistema Aquífero Guarani e outros aquíferos sotopostos. Lineamentos tectônicos conectam este conjunto de aquíferos viabilizando a ascensão e mistura de águas com características hidrogeoquímicas distintas. A presença de radônio na água foi determinada com uso do equipamento desgaseificador e contador de decaimento Pylon. Nos recintos fechados de piscinas dos balneários foram fixados detectores sólidos de traços nucleares que ali permaneceram por período de 30 dias, com a finalidade de analisar a concentração de radônio no ar. Análises químicas das águas identificaram águas sódicas, predominantemente mistas, representando o Sistema Aquífero Guarani, passando a sulfatadas e cloretadas, representando aquíferos sotopostos. As concentrações de radônio, tanto na água quanto no ar, não excederam as recomendações da Organização Mundial da Saúde e da Agência Internacional de Energia Atômica e mostrou correlação positiva com cloreto, sódio, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, sendo inversa com o fosfato. Recomenda-se a continuidade dos trabalhos em balneários da região sudeste de Santa Catarina, cujas águas têm origem no Aquífero Fraturado Pré-Cambriano.

Palavras chave: balneário, Guarani, hidrogeoquímica, radioatividade,

## **Abstract**

The thermal waters from springs in Southeastern Santa Catarina and Northeastern Rio Grande do Sul were selected for this study, considering its hydrochemical characteristics, working conditions and radon accumulation potential. This chemical element is a radioactive noble gas with short half-life that results from radium decay and, consequently, from uranium decay. When accumulated in enclosed places, it can cause damage to human health, including lung cancer. The geology of the region is characterized by the large extension and volume of basaltic rocks with limited occurrence of acid volcanic rocks, superimposed to the sedimentary rocks from the Paraná Basin which compose the Guarani Aquifer System and other subjacent aquifers. Tectonic lineaments connect this group of aquifers, making possible the rise and mixing of waters with different hydrochemical characteristics. The presence of radon in the water was measured with the use of a degasser and decay counter equipment from Pylon. Solid State Nuclear Track Detectors were attached in the enclosed areas of the spring pools, where they stayed for 30 days, determination of the concentration of radon in the air. Chemical analyses of the waters identified sodic water, predominantly mixed, representing the Guarani Aquifer System, shifting sulfated and chlorinated waters, which represent subjacent aquifers. The concentrations of radon in the air and in the water didn't exceed the World Health Organization and International Atomic Energy Agency recommendations, and they showed positive correlation with chloride, sodium, electric conductivity and total dissolved solids, and negative correlation with phosphate. It is recommended the continuity of studies on the springs of the Southeastern region of Santa Catarina, where the waters come from the Fractured Pre-cambrian Aquifer.

**Keywords:** springs, Guarani, hydrogeochemistry, radioactivity.



## Lista de Figuras

Figura 1. Decaimento do U 238 até o Rn 222.....	1
Figura 2 Mapa geológico da região sudoeste de Santa Catarina (modificado de CPRM, 2014). .....	7
Figura 3 Mapa geológico da região noroeste do Rio Grande do Sul (modificado de CPRM, 2006).....	8
Figura 4 Mapa de lineamentos da região noroeste do Rio Grande do Sul (modificado de CUNHA, 2014).....	13
Figura 5 Mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul (modificado de CPRM, 2005). .....	14
Figura 6 Mapa hidrogeológico do Estado de Santa Catarina (modificado de CPRM, 2013).....	15
Figura 7 Mapa de localização da área de estudo na região sudoeste de Santa Catarina (Mapa modificado de IBGE 2009). .....	21
Figura 8 Mapa de localização da área de estudo na região noroeste do Rio Grande do Sul (Mapa modificado de IBGE 2009).....	22
Figura 9 Estrutura da piscina coberta do Thermas Ilha Redonda em Palmitos. ....	23
Figura 10 Poço do qual a é extraída a água termal que abastece o Thermas Ilha Redonda.....	24
Figura 11 Piscina interna do Balneário Água de Pratas, em São Carlos. ....	25
Figura 12 Piscina interna das Termas de São João no Município de São João do Oeste.....	25
Figura 13 Piscina interna do Balneário Municipal de Vicente Dutra.....	26
Figura 14 Estrutura do Balneário Osvaldo Cruz em Iraí. ....	27
Figura 15 Poço que supre de água termal o Balneário Osvaldo Cruz. ....	27

Figura 16 Equipamentos Pylon. 1- tubo de água; 2- bomba de vácuo; 3- agitador; 4- mangueira; 5- tubo desumidificador; 6-Célula de Lucas. ....	29
Figura 17: 1-Monitor portátil Pylon AB-5; 2- Célula de Lucas; 3- Monitor. ....	30
Figura 18 Plástico detector CR39. ....	32
Figura 19 Detector instalado em ambiente reservado para banhos de submersão em água termal no Thermas Ilha Redonda. ....	35
Figura 20 Detector instalado na piscina coberta do Thermas Ilha Redonda. ....	35
Figura 21 Detector instalado na piscina interna do Balneário Água de Pratas. ....	36
Figura 22 Detector instalado na piscina coberta das Termas São João. ....	36
Figura 23 Detector instalado nas dependências da piscina do balneário Osvaldo Cruz. ....	37
Figura 24 Detector instalado no edifício do Balneário Osvaldo Cruz. ....	37
Figura 25 Detector instalado na piscina coberta em funcionamento do Balneário Municipal Vicente Dutra. ....	38
Figura 26 Concentração de radônio dissolvido nas águas dos sítios termais dos municípios de Vicente Dutra, Iraí, Palmitos, São Carlos e São João do Oeste. ....	40
Figura 27 Diagrama Piper para as fontes termais. ....	41
Figura 28a Correlação de parâmetros químicos das águas dos balneários termais estudados. ....	43
Figura 28b Correlação de parâmetros químicos das águas dos balneários termais estudados. ....	43
Figura 29 Correlação: concentração de $^{222}\text{Rn}$ vs Condutividade Elétrica nas águas termais dos balneários estudados. ....	45
Figura 30 Correlação: concentração de $^{222}\text{Rn}$ vs concentração de $\text{Cl}^-$ nas águas termais dos balneários estudados. ....	45
Figura 31 Correlação: concentração de $^{222}\text{Rn}$ vs concentração de $\text{F}^-$ nas águas termais dos balneários estudados. ....	46
Figura 32 Correlação: concentração de $^{222}\text{Rn}$ vs quantidade de $\text{PO}_4^{3-}$ nas águas termais dos balneários estudados. ....	46
Figura 33 Correlação: concentração de $^{222}\text{Rn}$ vs concentração de $\text{Na}^+$ nas águas termais dos balneários estudados. ....	47

Figura 34 Correlação: concentração de $^{222}\text{Rn}$ vs concentração de STD nas águas termais dos balneários estudados.....	47
Figura 35 Correlação entre as concentrações de radônio na água e no ar. ....	49

**Lista de Tabelas**

Tabela 1 Concentração de radônio obtida com o equipamento Pylon.....	39
Tabela 2 Classificação das águas termais pelo diagrama Piper.....	41
Tabela 3 Análises químicas dos balneários selecionados obtidas com o Geol. Marcos Alexandre de Fretais.....	44
Tabela 4 Concentrações de $^{222}\text{Rn}$ no ar de recintos fechados dos balneários. .....	49

## Sumário

Agradecimentos .....	V
Resumo .....	VI
Abstract.....	VII
Lista de Figuras .....	VIII
Lista de Tabelas.....	XI
Sumário .....	XII
1 Introdução.....	1
2 Objetivos.....	5
2.1 Objetivo geral.....	5
2.2 Objetivos Específicos.....	5
3 Estado da Arte .....	6
3.1 Contexto Geológico .....	6
3.1.1 Formação Rio do Rasto .....	9
3.1.2 Formações Sanga do Cabral, Santa Maria, Guará, Piramboia e Botucatu.....	9
3.1.3 Formação Serra Geral.....	11
3.2 Contexto Hidrogeológico.....	13
3.2.1 Aquífero Rio do Rasto .....	16
3.2.2 Sistema Aquífero Guarani .....	16
3.2.3 Sistema Aquífero Serra Geral .....	17

3.3	Contexto Hidrogeoquímico .....	18
4	Balneários Seleccionados .....	20
4.1	Thermas Ilha Redonda .....	23
4.2	Balneário Água de Pratas .....	24
4.3	Termas São João .....	25
4.4	Balneário Municipal de Vicente Dutra .....	26
4.5	Balneário Osvaldo Cruz .....	26
5	Metodologia .....	28
5.1	Análise de Radônio.....	28
5.1.1	Na água.....	28
5.1.2	No ar .....	32
6	Resultados e Interpretações .....	39
6.1	Concentrações de radônio dissolvido em água .....	39
6.2	Relação entre as características hidroquímicas e a concentração de radônio na água .....	40
6.3	Concentrações de radônio no ar ambiente / detectores CR39 .....	48
7	Considerações finais .....	51
	Referências Bibliográficas .....	53

## 1 Introdução

Este trabalho visa caracterizar as águas termais de balneários selecionados no sudoeste do Estado de Santa Catarina e no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul em relação à sua concentração de radônio (Rn). O radônio é um elemento gasoso e radioativo encontrado livre na atmosfera, emanando a partir das rochas, através de fraturas, dos solos e da água subterrânea. A Organização Mundial da Saúde (OMS/WHO) considera que este elemento constitui a segunda maior causa do câncer de pulmão, por se concentrar em ambientes fechados, como cavernas, túneis, garagens subterrâneas e recintos fechados de edificações.

O radônio é um elemento radioativo com 86 elétrons e 86 nêutrons, massa atômica de 222 u e meia vida de 3,823 dias. Descoberto por Ernest Rutherford e por Friedrich Ernst Dorn, pertence à família dos gases nobres. Ocorre em várias formas isotópicas, das quais o isótopo radônio 222 é a mais comum e resulta do decaimento do  $^{238}\text{U}$  (Figura 1).

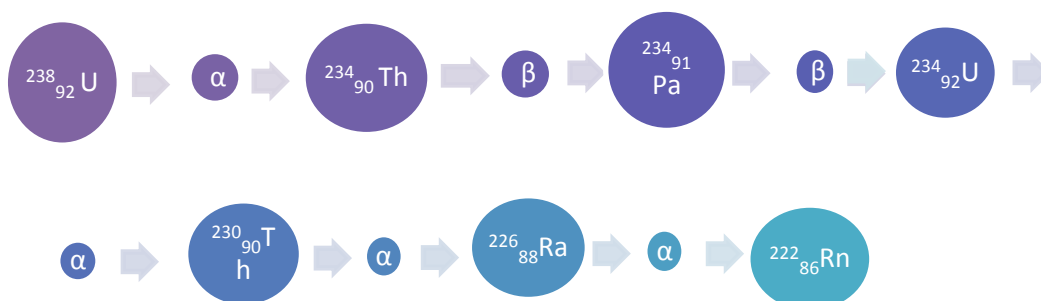


Figura 1- Decaimento do  $^{238}\text{U}$  até o  $^{222}\text{Rn}$ .

Decai através de uma partícula  $\alpha$  para uma série de elementos sólidos, como o  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , entre outros. É um gás pouco abundante na atmosfera, considerado insípido, inodoro e incolor à temperatura ambiente. Sua reação com outros compostos é rara, porém pode formar moléculas estáveis com materiais altamente eletronegativos, e é altamente solúvel em água. Tem comportamento em ambientes geológicos simples e pode ser envolvido a partir de processos físicos, como dissolução, absorção, difusão e advecção fluida, bem como, decaimento radioativo (Igarashi *et al.* 1995). A emissão do radônio pode ser definida como o escape de um átomo de radônio do sítio de localização de um átomo de rádio (isótopo-pai) de um grão para o espaço de um poro. Muitas pesquisas têm medido experimentalmente a fração e emissão do radônio em vários exemplos naturais e demonstraram a influência de fatores ambientais. Os fatores que afetam mais diretamente esta emissão são a temperatura, tamanho de grão, pressão atmosférica, tamanho de poros e teor de umidade (Sakoda *et al.* 2011). As emissões atmosféricas do  $^{222}\text{Rn}$  resultam na formação de produtos de desagregação, radioisótopos de metais pesados, que rapidamente se ligam a partículas transportadas no ar.

As concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  nas águas subterrâneas são bastante variadas e estão relacionadas com a composição do aquífero. As maiores concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  são observadas em águas de aquíferos associados às rochas ígneas ácidas alcalinas e rochas feldspatoidicas. Estes dois tipos de rochas tendem a apresentar altos teores de urânio e prováveis zonas de enriquecimento ao longo de fraturas em contato com o fluxo de água. Águas subterrâneas provenientes de aquíferos de rochas básicas tendem a apresentar baixos valores de  $^{222}\text{Rn}$  em razão do baixo teor de urânio e a ausência de mecanismos que levem a um enriquecimento secundário do urânio nestes aquíferos. Os mecanismos que podem causar a liberação de  $^{222}\text{Rn}$  dos fragmentos de rocha e, conseqüentemente, contribuir para o teor de radônio observado nas águas subterrâneas são: (1) recuo do  $^{222}\text{Rn}$  após o decaimento alfa dos átomos de rádio ( $^{226}\text{Ra}$ ) próximos da superfície da rocha, sendo a distância de recuo do  $^{222}\text{Rn}$  correspondente a  $0,036\ \mu\text{m}$ ; (2)



difusão do  $^{222}\text{Rn}$  através do retículo cristalino, a partir dos locais de produção não localizados na superfície da rocha; (3) difusão do  $^{222}\text{Rn}$  ao longo de defeitos cristalinos, contornos de grãos ou microfaturas, a partir de posições distantes da superfície da rocha (Bonotto,2003).

Os efeitos deste gás nas pessoas foram comprovados e reconhecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS/WHO) como uma substância cancerígena e causadora de mortes por câncer de pulmão e esôfago. O primeiro artigo científico ligado ao câncer do pulmão em consequência à exposição ao radônio, descreve a alta mortalidade por doenças respiratórias entre mineiros na região de Erz Mountains no leste da Europa (Agricola, 1556 apud Henshaw, 1991). Nos anos 2000, estudos utilizando animais e tecidos humanos em laboratório confirmaram a relação de câncer no pulmão com exposição ao radônio (Frumkin & Samet, 2001).

A presença de radônio está diretamente relacionada à presença de rochas que apresentam minerais com conteúdo de urânio e seus outros isótopos-pais. O radônio exalado pelos solos, água, rochas, materiais de construção tende a escapar para a atmosfera e, encontrando locais ou ambientes fechados e mal ventilados, tende a ficar retido.

A concentração de radônio no meio ambiente tem duas importantes fontes: a exalação (fluxo) a partir dos solos e a emissão de materiais de construção (Nazaroff & Nero, 1988). Em muitos casos, o radônio pode entrar no ambiente através da água subterrânea que pode conter elevadas concentrações deste gás. Muitos fatores construtivos governam o modo que o radônio se distribui no ambiente (Gunby *et al.*, 1993). O elemento pode ser arrastado para as construções devido à pressão reduzida no seu interior, causada pelo aquecimento interno. A entrada do radônio pode ocorrer através do piso, de pequenas fissuras no concreto e nas tubulações de água. As variações das condições meteorológicas afetam o solo e, conseqüentemente, o nível de acumulação deste elemento. Ambientes fechados em regiões de climas frios são mais suscetíveis à concentração deste gás, pois a ventilação fica limitada ao período mais quente do ano e no turno diurno (Henshaw, 1991). A Organização Mundial da Saúde

(OMS/WHO) recomenda que a concentração de radônio dissolvido em águas de abastecimento público não deve exceder 100 Bq/L (WHO, 2004). A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA/IAEA) recomenda que a concentração de radônio no ar interno de habitações e edificações com alto fator de ocupação não deve exceder 300 Bq/m<sup>3</sup> e para locais de trabalho 1000 Bq/m<sup>3</sup> de média anual de atividade (IAEA, 2014).

A presença de radônio em estações de águas termais tem sido registrada em várias partes do mundo (Bertolo & Bigliotto, 2004), onde este recurso hídrico é explorado tanto para lazer como para fins curativos.

O presente estudo realizou-se no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul e sudoeste do Estado de Santa Catarina, regiões que possuem muitas estações de águas termais que são centros turísticos nestes estados. Na região proposta no presente trabalho existem somente informações sobre as características hidroquímicas das águas termais, mas são inexistentes dados que demonstrem a presença de radônio no ambiente. Os vários balneários de águas termais possuem temperaturas variáveis entre 30°C e 53°C.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo geral**

O presente estudo visa avaliar a concentração de radônio em ambientes fechados de balneários termais selecionados no sudoeste de Santa Catarina e noroeste do Rio Grande do Sul, tendo em vista o potencial cancerígeno deste gás radioativo.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar a concentração de radônio nas águas termais que abastecem os sítios de lazer;
- Obter a concentração de radônio no ar dos ambientes fechados dos sítios de lazer;
- Correlacionar as características hidrogeoquímicas das águas termais com a presença de radônio.

### **3 Estado da Arte**

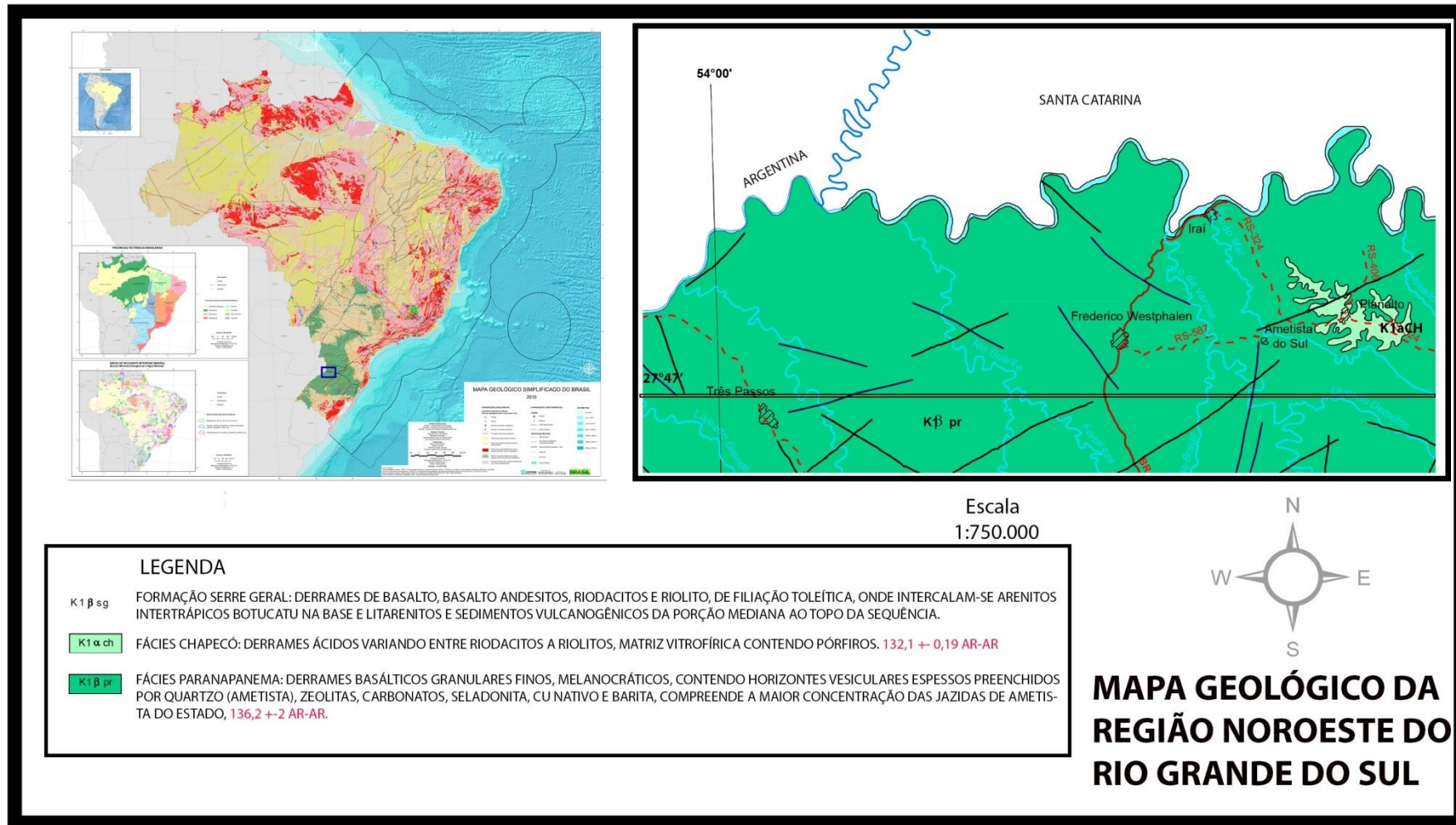
#### **3.1 Contexto Geológico**

A área de estudo abrange o noroeste do Estado do Rio Grande do Sul e o sudoeste do Estado de Santa Catarina, sendo recoberta pelo vulcanismo da Bacia do Paraná, gerado no Cretáceo Inferior e relacionado à ruptura do continente gonduânico, que ocasionou a abertura do Oceano Atlântico na sua porção meridional. Este vulcanismo é considerado a continuidade do vulcanismo da região do Etendeka, Namíbia (Erlank *et al.*, 1984; Bellieni *et al.*, 1984), razão pela qual é denominado de vulcanismo da Bacia do Paraná-Etendeka. Assim, os vulcanitos da Bacia do Paraná-Etendeka constituem um pacote com espessura média de 800 metros, com máximo de 1500 metros no eixo da bacia, entre os estados de São Paulo e Mato Grosso (Figura 2 e 3).

As águas termais possuem fluxo ascendente e, portanto, representam uma mistura geoquímica que contém registros de recarga meteórica e águas que atingiram unidades litoestratigráficas mais profundas. Por esta razão, serão descritas as sequências sedimentares pré-vulcânicas, representadas, da base para o topo pelo pacote sedimentar Permiano da Formação Rio do Rastro, sobreposto pelas formações juro-cretáceas das formações Sanga do Cabral, Santa Maria, Guará, Piramboia e Botucatu.



Figura 3- Mapa geológico da região noroeste do Rio Grande do Sul (modificado de CPRM, 2006).



### **3.1.1 Formação Rio do Rasto**

Gordon Jr. (1947) divide a unidade Rio do Rasto em dois membros: Serrinha (basal) e Morro Pelado (superior). Os dois membros estão associados à mudanças geométricas e litológicas. Enquanto no Membro Serrinha predominam siltitos e arenitos esverdeados a acinzentados com geometria tabular e espessura métrica, no Membro Morro Pelado as camadas são de siltitos e arenitos creme amarelados, arroxeados e avermelhados com geometria lenticular e sigmoidal, de espessura decimétrica a métrica (Warren *et al.*, 2008). A unidade litoestratigráfica apresenta espessuras variáveis de acordo com sua localização na Bacia do Paraná, sendo menor nas regiões marginais e progressivamente maior em direção ao interior. Em Santa Catarina, os levantamentos estratigráficos realizados indicam uma espessura total entre 180 a 250 metros (Warren *et al.*, 2008), dos quais o Membro Serrinha perfaz 90 a 130 metros, mantendo um contato transicional com o Membro Morro Pelado, que possui espessura variável entre 80 metros e 150 metros.

### **3.1.2 Formações Sanga do Cabral, Santa Maria, Guará, Piramboia e Botucatu**

Os arenitos das formações Botucatu, Santa Maria, Guará, Piramboia e Sanga do Cabral correspondem a unidades que compõem o chamado Sistema Aquífero Guarani, que será descrito adiante.

A Formação Sanga do Cabral é constituída na sua porção inferior por arenitos avermelhados, quartzosos, de granulação bimodal fina a média, com grãos foscas e arredondados. Esses arenitos apresentam estratificação cruzada tangencial de médio porte e intercalam-se com arenitos avermelhados de granulometria fina a média, matriz argilosa e estratificação sub-horizontal. Constituem, respectivamente, depósitos de dunas e interdunas úmidas. (Soares *et al.*, 2008a). A secção superior da Formação Sanga do Cabral é representada por arenitos avermelhados de granulometria predominantemente fina, contendo lentes conglomeráticas com estratificação cruzada acanalada, e concreções carbonáticas (Andreis *et*

*al.*, 1980 e 1982). Esta porção constitui um depósito fluvial entrelaçado, com canais rasos, tendo espessuras de 100 m a 600 m (Soares *et al.*, 2008a).

A Formação Santa Maria é representada por uma sucessão de 100 m de arenitos e pelitos depositados em condições continentais, provenientes de sistema deposicional flúvio-lacustre. A Formação é limitada por discordâncias, sendo composta por três unidades verticalmente empilhadas e interdigitadas. Compreende a seguinte divisão litoestratigráfica da base para o topo: Unidade Passo das Tropas (psamítica), Unidade Alemoa (pelítica) e Unidade Caturrita (psamítica). Possui conteúdo fossilífero notável, porém, sua ocorrência na bacia é restrita (Soares *et al.*, 2008a).

A Formação Guará encontra-se sobreposta, em discordância aos arenitos eólicos e fluviais da Formação Sanga do Cabral (Soares *et al.*, 2008a). Predominam na sua porção sul arenitos finos bem selecionados, de cor bege, grãos arredondados, com estratificação cruzada tangencial na base, intercaladas com arenitos finos de estratificação plano-paralela e sub-horizontal, maciços, por vezes contendo intercalações de níveis centimétricos de pelito avermelhado. A unidade é interpretada como um sistema eólico úmido, com dunas e lençóis de areia (Soares *et al.*, 2008a). Na porção norte prevalecem arenitos bege a esbranquiçados, com granulometria grossa a média, com arcabouço quartzoso sub-anguloso e mal selecionado, tendo uma matriz argilosa. Possuem estratificação cruzada acanalada a plano-paralela e intercalam-se com camadas centimétricas de pelitos. São depósitos fluviais atribuídos a rios entrelaçados (Soares *et al.*, 2008a).

A Formação Piramboia é composta por arenitos eólicos e subordinadamente fluviais, com cimentação parcial de sílica e limonita ou goethita, atribuindo cor acastanhada, com pintas e manchas brancas e ocre. Na parte basal desta unidade, ocorrem arenitos fluviais de granulometria grossa, imaturos, feldspáticos, contendo clastos de lamito vermelho. Apresentam uma sucessão de unidades centimétricas com estratificação cruzada acanalada, intercaladas com arenitos maciços. Sobrepostos aos arenitos fluviais encontram-se arenitos avermelhados, com maturidade mineralógica



moderada e grãos de quartzo foscos e bem selecionados, com predomínio de estratificação cruzada associada com estratificação sub-horizontal. São depósitos de dunas, com interdunas úmidas onde ocorrem delgadas lâminas de lamito, de sistema eólico. No conjunto esta formação atinge 300m no centro da Bacia do Paraná (Soares *et al.*, 2008a e 2008b).

A Formação Botucatu é representada por arenitos continentais eólicos de granulação fina a média, localmente grossos e conglomeráticos, bem selecionados, maduros e, localmente, feldspáticos. A Formação Botucatu varia de 0 a 150m, espessura esta que se relaciona com morfologia dunar e a cobertura por derrames (Soares *et al.*, 2008b). Ficaram preservados em extensos campos de dunas e *ergs*. Como estrutura característica desses arenitos deve ser citada a estratificação cruzada tangencial de grande porte.

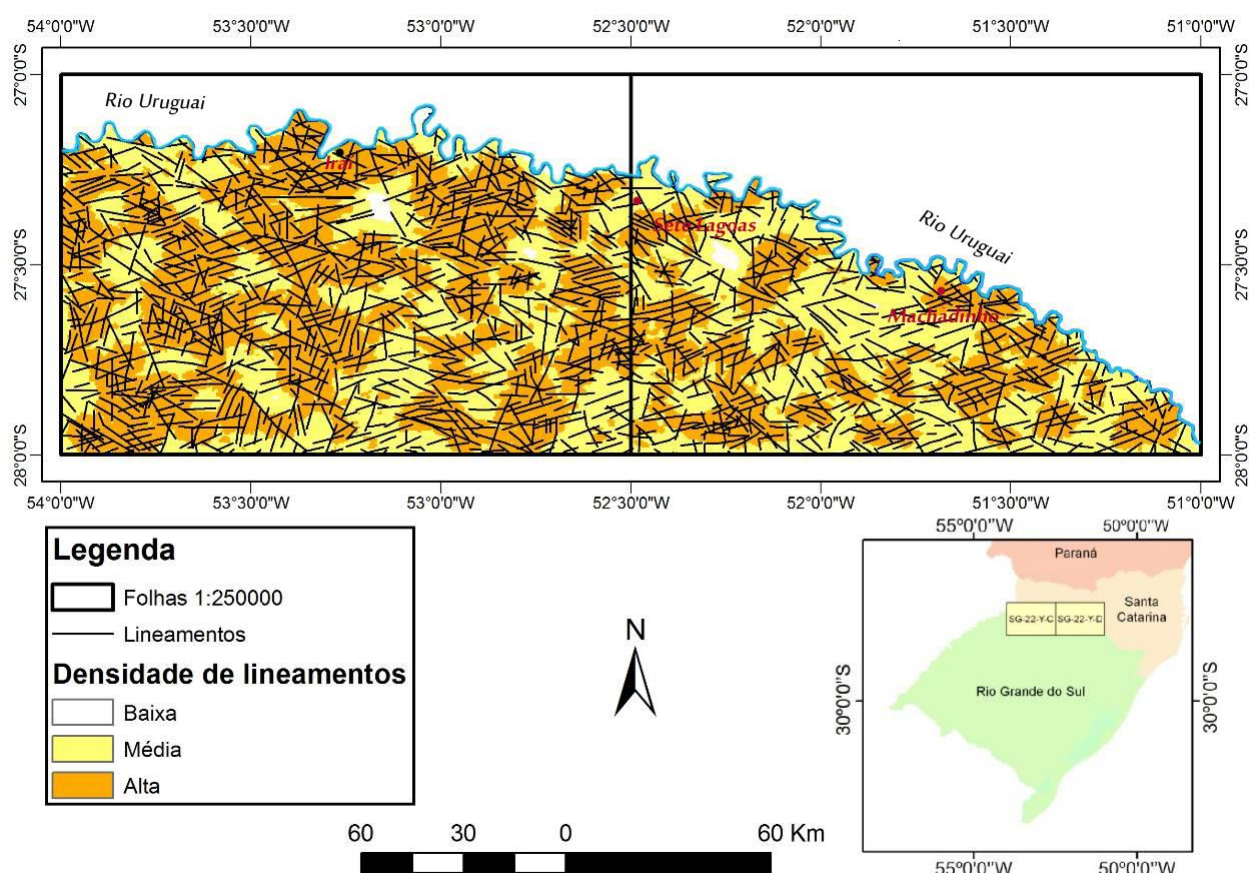
### **3.1.3 Formação Serra Geral**

O pacote vulcânico abrange uma área aproximada de 917.000 km<sup>2</sup> (Frank *et al.*, 2009) na porção meridional da América do Sul, estando 80% da área aflorante no Brasil e a restante na Argentina, no Paraguai e no Uruguai. Do lado americano predominam as rochas basálticas, com andesitos subordinados. A interdigitação de derrames ácidos e básicos é frequente na porção média até o topo da pilha vulcânica (Roisenberg & Viero, 2000). São também frequentes lentes de arenitos eólicos, com espessuras métricas a decamétricas, que se intercalam com os primeiros derrames básicos e podem aparecer com menor frequência nos níveis superiores da pilha vulcânica (Roisenberg & Viero, 2000). No noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, basaltos do tipo alto-TiO<sub>2</sub>, (TiO<sub>2</sub>>3,0%) aparecem intercalados nas partes superiores da pilha vulcânica com basaltos baixo-TiO<sub>2</sub>, (TiO<sub>2</sub><2,0%), estando em contato com uma ocorrência restrita de vulcânicas ácidas porfíricas, tipo Chapecó. A idade do vulcanismo ácido determinada pelo método Ar-Ar é de 132,1 ± 0,19 Ma (CPRM, 2001), que é aproximadamente a mesma do vulcanismo básico, com o qual encontra-se interdigitado.

Na região em estudo, são registrados no preenchimento de fraturas e amígdalas, cobre nativo e minerais oxidados de cobre, além de vários tipos de zeólitas, carbonatos e sulfatos (Roisenberg & Viero, 2000). No Distrito

Mineiro de Entre Rios, no Estado de Santa Catarina, Hartmann *et al.*(2014) registrou uma unidade de riodacito tipo Chapecó intercalada com sete derrames de basalto pertencentes às Formações Esmeralda, Pitanga e Paranapanema (Figuras 2 e 3). Este é o resultado de intensa variação nos processos mantélicos e crustais responsáveis pela geração do vulcanismo presente na região.

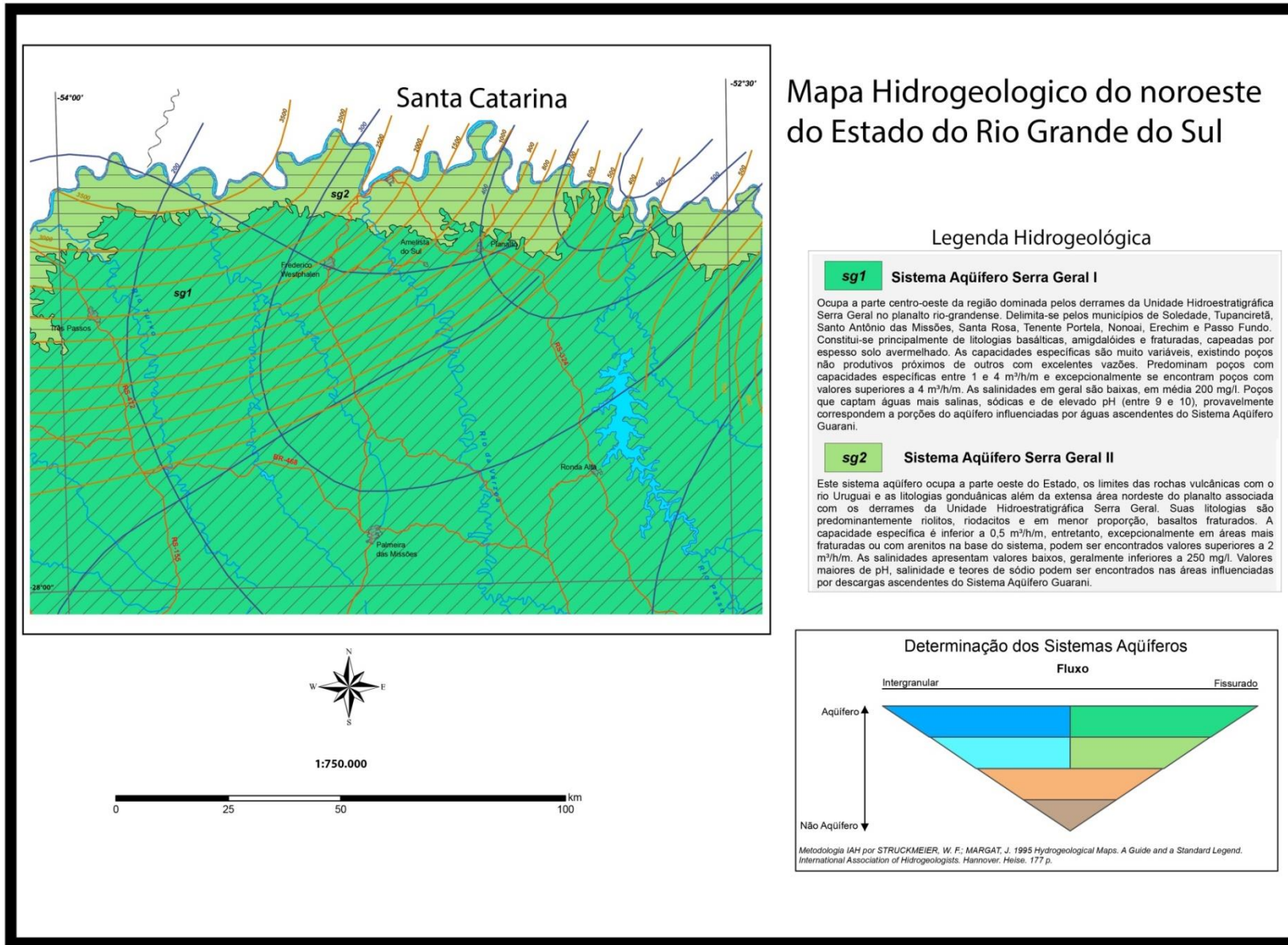
A região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul apresenta-se sensivelmente afetada pela tectônica rígida, expressa através de lineamentos na Formação Serra Geral, embora não estejam presentes lineamentos contínuos de grande porte (Figura 4) (Cunha, 2014). As principais direções de lineamento estabelecidas pelo autor são representadas pelos azimutes  $060^{\circ}$  a  $070^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$  a  $015^{\circ}$  e  $290^{\circ}$  a  $315^{\circ}$ . A porção ocidental da área apresenta maior densidade de lineamentos, predominando os lineamentos de pequeno porte com uma distribuição homogênea (Figura 4).



**Figura 4 -Mapa de lineamentos da região noroeste do Rio Grande do Sul (modificado de CUNHA, 2014).**

### **3.2 Contexto Hidrogeológico**

A região de estudo encontra-se situada na chamada Província Hidrogeológica Paraná (CPRM, 2008). A unidade hidrogeológica mais importante na região sul do País é o chamado Sistema Aquífero Guarani (SAG) que representa 80% do potencial da província, destacando-se, a seguir, o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), que se comporta como um aquífero fraturado (Figuras 5 e 6). De forma mais restrita deve ser mencionado o Aquífero Rio do Rasto, que influencia características hidrogeoquímicas de alguns dos balneários estudados.



**Figura 5- Mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul (modificado de CPRM, 2005).**



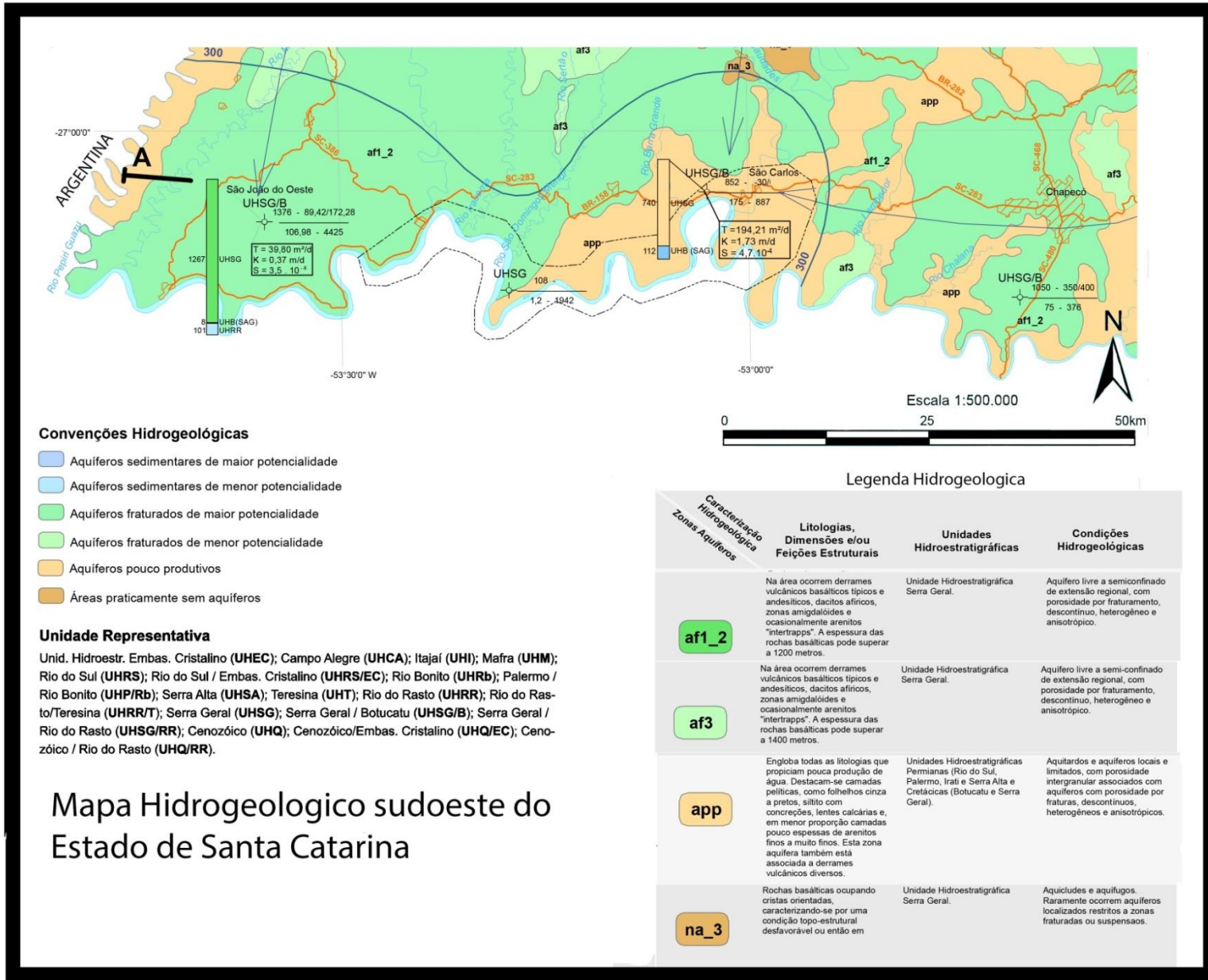


Figura 6- Mapa hidrogeológico do Estado de Santa Catarina (modificado de CPRM, 2013).

### **3.2.1 Aquífero Rio do Rasto**

A Unidade Hidroestratigráfica Rio do Rasto é constituída por litologias areníticas intercaladas com siltitos e em condições favoráveis pode ser classificada como um aquífero de média a baixa produtividade, com águas de boa qualidade (Machado, 2011). Essa unidade é a base do conjunto litológico do SAG, comportando-se como um aquífero, porém sua porção superior, com arenitos lenticulares, pode ser considerada como um intervalo aquífero importante. Em profundidade, geralmente a água apresenta grande quantidade de sais minerais, sendo predominantes os tipos químicos cloretados e sulfatados sódicos (Machado, 2005).

### **3.2.2 Sistema Aquífero Guarani**

O Sistema Aquífero Guarani está localizado em parte na Bacia do Rio da Prata, se estendendo da Bacia Sedimentar do Paraná para a área do Chaco Paranaense. Ocupa uma área aproximada de 1.088.000 km<sup>2</sup>, que se estende pela Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai.

A espessura média é de 250 m, enquanto que as vazões variam entre 60 a 200 m<sup>3</sup>/h em áreas próximas às zonas de afloramentos e de 200 a 400 m<sup>3</sup>/h nas áreas confinadas (Machado, 2005). As unidades confinantes no topo e na base do Sistema Aquífero Guarani seriam respectivamente as Unidades Hidroestratigráficas Serra Geral e Rio do Rasto. As unidades identificadas para compor o arcabouço hidroestratigráfico do SAG no Rio Grande do Sul, são definidas como: Unidade Hidroestratigráfica Botucatu, Unidade Hidroestratigráfica Guará, Unidade Hidroestratigráfica Arenito Mata, Unidade Hidroestratigráfica Caturrita, Unidade Hidroestratigráfica Alemoa, Unidade Hidroestratigráfica Passo das Tropas 1, Unidade Hidroestratigráfica Passo das Tropas 2, Unidade Hidroestratigráfica Sanga do Cabral, e Unidade Hidroestratigráfica Pirambóia (CPRM, 2005).

O SAG apresenta porosidade primária e secundária, esta através de fraturas. A hidrogeoquímica é bastante variada e se vincula diretamente com a composição dos sedimentos, sendo as águas gradativamente enriquecidas em íons na medida que as condições de confinamento aumentam (Nanni, 2008).

As águas são bicarbonatadas cálcicas e magnesianas próximo das áreas de afloramento e sódicas nas zonas mais profundas. O pH é alcalino e os valores de resíduo seco variam de 200 a 600 mg/L. A temperatura das águas varia de 18 a 63 ° C, dependendo da profundidade de ocorrência do aquífero (CPRM, 2014).

### **3.2.3 Sistema Aquífero Serra Geral**

O sistema aquífero Serra Geral apresenta uma área de 540.000 km<sup>2</sup> nos territórios do Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai. Constitui um sistema aquífero do tipo livre a semiconfinado, fraturado e constituído por derrames de lavas basálticas das formações Alto Paraná (Paraguai), Serra Geral (Brasil) e Arapey (Argentina e Uruguai). Devido as suas características de aquífero fraturado, apresenta vazões muito variáveis, com valores entre 10 e 100 m<sup>3</sup>/h. A exploração deste aquífero para abastecimento público e industrial é alta e tem grande potencial turístico, razão pela qual possui grande importância para a conservação do ecossistema e garantia de fluxo de base dos rios da região (CPRM, 2014).

É inferida conexão hidráulica entre o SAG e o SASG através de lineamentos tectônicos (CPRM, 2014). O armazenamento de água do SASG se desenvolve ao longo de fraturas e descontinuidades, compreendendo zonas vesiculares e amigdaloidais de topo de derrame e zonas de disjunção horizontal. Estas feições, quando interceptadas fraturas, interconectam-se e podem armazenar grandes volumes de água (Nanni, 2008).

As águas são predominantemente bicarbonatadas cálcicas (CPRM, 2005; Bittencourt *et al.*, 2003; Buchmann Filho *et al.*, 2002), apresentam sólidos totais dissolvidos entre 23 e 210 mg/L, com média de 103,27 mg/L, os valores de pH variam entre 6,0 e 9,5, com média de 7,32. O campo das águas bicarbonatadas cálcicas possui um controle litoquímico estabelecido pelos processos de intemperismo que atuam sobre as rochas vulcânicas. As águas bicarbonatadas sódicas, localmente encontradas, evidenciam a existência de condicionadores geotectônicos e morfotectônicos que seriam responsáveis pela mistura das águas dos aquíferos sotopostos, principalmente o SAG (Bittencourt *et al.*, 2003; Reginato & Strieder, 2004).

### 3.3 Contexto Hidrogeoquímico

No meio oeste de Santa Catarina e Rio Grande do Sul ocorrem águas predominantemente bicarbonatas sódicas, magnesiano-sódicas e magnesiano-cálcicas (Machado & Freitas, 2000). O estudo realizado por Freitas *et al.* (2002) na região em estudo demonstrou que a composição química das águas dos aquíferos fraturados basálticos é predominantemente bicarbonatada cálcica e/ou magnesiana, estas sendo relacionadas com áreas de recarga dos aquíferos fraturados e com tempo menor de residência ou circulação. Menos frequentes são as águas bicarbonatadas sódicas alcalinas que apresentam semelhança com as água do Sistema Aquífero Guarani sugerindo processos de mistura. Também estão presentes águas sulfatadas sódicas, estas relacionadas com misturas de águas provenientes de regiões de circulação mais profunda dos Sistema Aquífero Guarani e do Aquífero Rio do Rasto. Ocorrem de forma reduzida, águas cloretadas, predominantemente sódicas, com pH alcalino e altos teores de sais dissolvidos, cujas características sugerem águas com alto tempo de residência, que ocorrem principalmente no aquífero da Formação Rio do Rasto ou rochas sedimentares permianas mais antigas ainda, como nos aquíferos Rio Bonito e Rio do Sul.

As águas termais existentes na região do Alto Rio Uruguai (região noroeste do Rio Grande do Sul) são provenientes da interconexão hidráulica proporcionada por falhamentos de grande magnitude entre o aquífero fraturado da Formação Serra Geral e o Sistema Aquífero Guarani. Os tipos hidrogeoquímicos com altos teores de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  sugerem que aquíferos mais profundos, pré-Sistema Aquífero Guarani, podem estar conectados hidráulicamente com o aquífero fraturado, causando a mistura de águas (Freitas *et al.*, 2011).

As fontes termais apresentam pH variando entre 7,4 e 8,8, condutividade elétrica com valores de 1450  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 6460  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e alcalinidade total entre 58,4 mg/L  $\text{CaCO}_3$  e 244,4 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . As concentrações  $\text{HCO}_3^-$  variam com valores de 71,2 mg/L a 263,5 mg/L, os teores de  $\text{CO}_3^{2-}$  estão entre 0,50 mg/L e 16,9 mg/L e  $\text{Ca}^{++}$  varia com quantidades de 4,8 mg/L a 273,8 mg/L.



Os valores de  $\text{Cl}^-$  variam de 136,8 mg/L a 1544 mg/L, a dureza total varia de 11,8 mg/L  $\text{CaCO}_3$  a 800 mg/L  $\text{CaCO}_3$  e o  $\text{Fe}^{++}$  está entre 0,005 e 0,041 mg/L. Os teores de  $\text{F}^-$  variam de 0,93 a 2,63 mg/L, o  $\text{PO}_4^{---}$  com teores de 0,025 mg/L a 0,121 mg/L e o  $\text{Mg}^{++}$  com valores de 0,025 mg/L a 28,4 mg/L. As concentrações de  $\text{Mn}^+$  variam de 0,005 mg/L a 0,116 mg/L,  $\text{K}^+$  está entre 0,005 mg/L e 13 mg/L e os teores de  $\text{SiO}_2$  com 14 a 39,4. Os valores de  $\text{Na}^+$  se situam entre 240 mg/L a 940 mg/L, enquanto o teor de sais dissolvidos (STD) está entre 792 mg/L e 2440 mg/L e o  $\text{SO}_4^{--}$  com 311mg/L a 1470,8 mg/L.

#### **4 Balneários Selecionados**

Foram utilizados como critérios de seleção dos balneários a serem estudados a análise química de suas águas e sua situação operacional, que deveria considerar estarem em funcionamento, com constante reabastecimento e troca de água termal, além de possuírem piscinas e banheiras em recintos fechados. Na região sudoeste de Santa Catarina foram selecionados os balneários: Thermas Ilha Redonda, Município de Palmitos, SC; Balneário Água de Pratas, Município de São Carlos, SC; e Termas São João, Município de São João do Oeste, SC. Na região noroeste do Rio Grande do Sul foram selecionados os balneários: Balneário Municipal de Vicente Dutra, no Município de Vicente Dutra, RS; e Balneário Osvaldo Cruz, no Município de Iraí, RS. Seguem mapas de localização (Figuras 7 e 8).

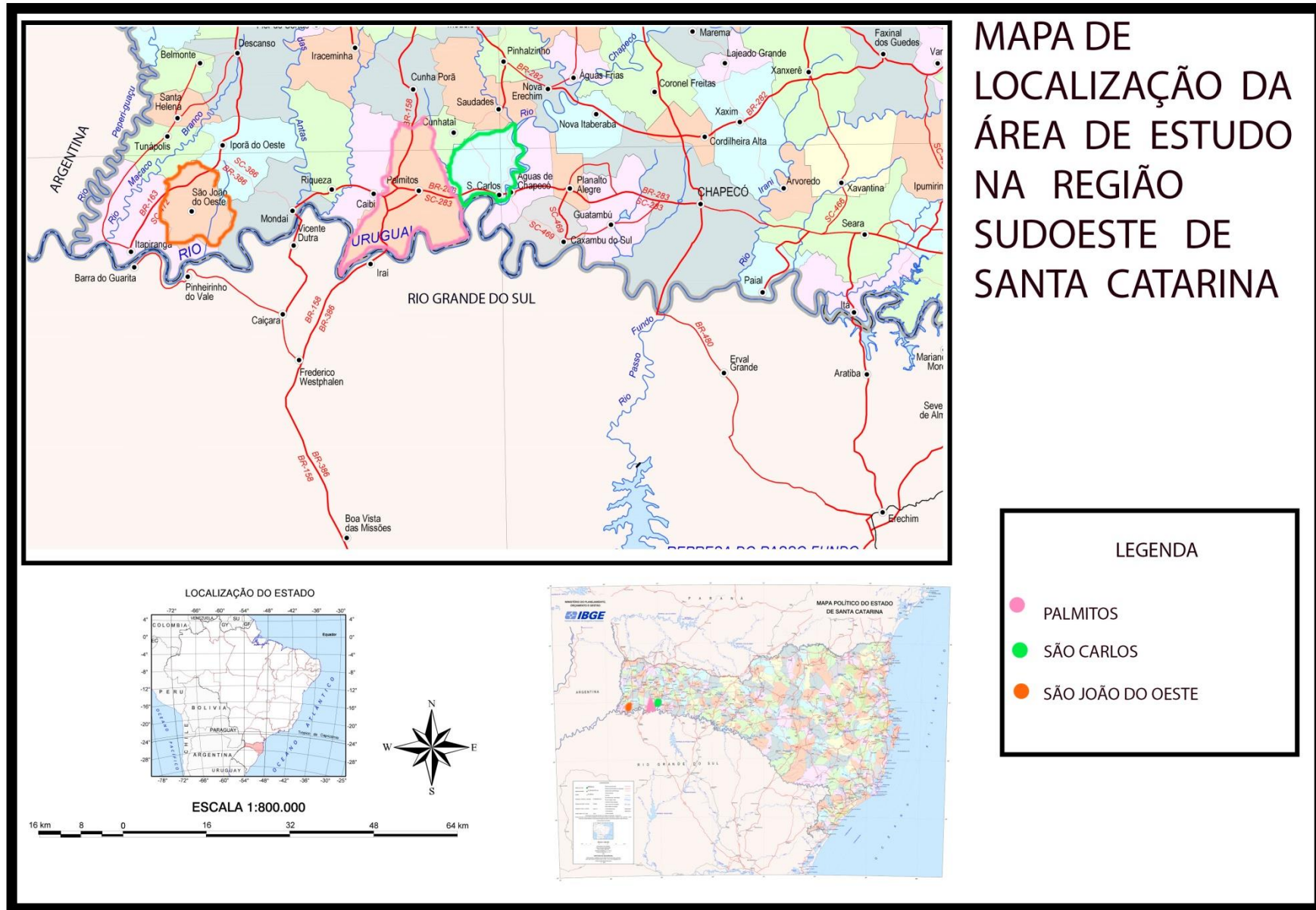


Figura 7- Mapa de localização da área de estudo na região sudoeste de Santa Catarina (Mapa modificado de IBGE, 2009).

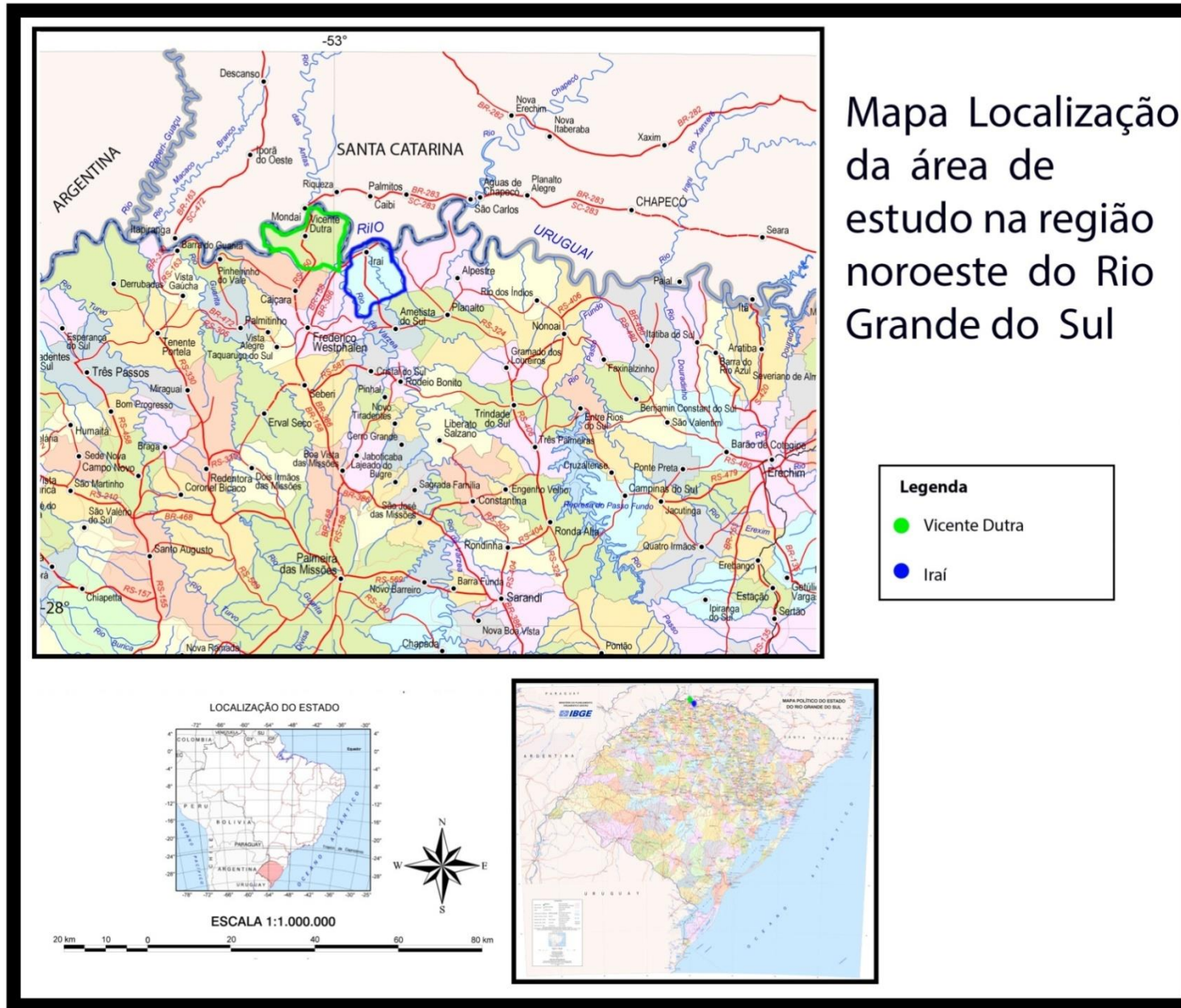


Figura 8- Mapa de localização da área de estudo na região noroeste do Rio Grande do Sul (Mapa modificado de IBGE, 2009).



#### 4.1 Thermas Ilha Redonda

Balneário localizado no Município de Palmitos, Santa Catarina, a 15 km do centro da cidade de Palmitos à beira do Rio Uruguai. Nas coordenadas 27°10'01,5" S/ 53°24'23,2" W, com cota de 309 metros. A temperatura da água é de 37°C, com um poço de 151 metros de profundidade com vazão de 27 m<sup>3</sup>/h. No entorno deste poço, a água quente surge de outros poços mais rasos de 7 metros de profundidade (Figuras 9 e 10).



Figura 9- Estrutura da piscina coberta do Thermas Ilha Redonda em Palmitos.



Figura 10- Poço do qual é extraída a água termal que abastece o Thermas Ilha Redonda.

## 4.2 Balneário Água de Pratas

O balneário é localizado no Município de São Carlos, Santa Catarina, próximo à rodovia SC-283 e às margens do Rio Uruguai, correspondendo às coordenadas 27°04'45,3" S/ 53°03'10.8" W com cota de 232 metros . A temperatura da água é de 36°C advinda de um poço de 80 metros de profundidade. No entorno, há relatos de água quente surgente (Figura 11).



Figura 11- Piscina interna do Balneário Água de Pratas, em São Carlos.

### 4.3 Termas São João

As Termas São João estão situadas no Município de São João do Oeste, Santa Catarina, na Estrada geral Linha Jabuticaba. As coordenadas de localização são  $27^{\circ}10'01,5''$  S/  $53^{\circ}24'23,2''$  W e a altitude é de 278 metros. A temperatura da água alcança  $53^{\circ}\text{C}$  e o poço perfurado alcançou 1372m de profundidade, enquanto o nível estático da água se mantém a 100 metros (Figura 12).



Figura 12- Piscina interna das Termas de São João no Município de São João do Oeste.



#### 4.4 Balneário Municipal de Vicente Dutra

O balneário é público e pertence ao Município de Vicente Dutra, Rio Grande do Sul. Com temperatura da água em 34°C, situa-se em cota de 258 metros, poço com profundidade de 120 metros, na Avenida Correia Lima 969, sendo localizado pelas coordenadas 27°09'59,7" S/ 53°24'19,6" W (Figura 13).



Figura 13- Piscina interna do Balneário Municipal de Vicente Dutra.

#### 4.5 Balneário Osvaldo Cruz

O balneário é público e pertence ao Município de Iraí, Rio Grande do Sul. Localiza-se na Avenida Antônio Siqueira, 408 em cota de 298 metros, sendo definido pelas coordenadas 27°10'01,5" S/ 53°24'23,2" W. Na fonte a água surge com 33°C, de um poço aflorante com 8 metros de profundidade, sendo a vazão de 10,8m<sup>3</sup>/h (Figuras 14 e 15).



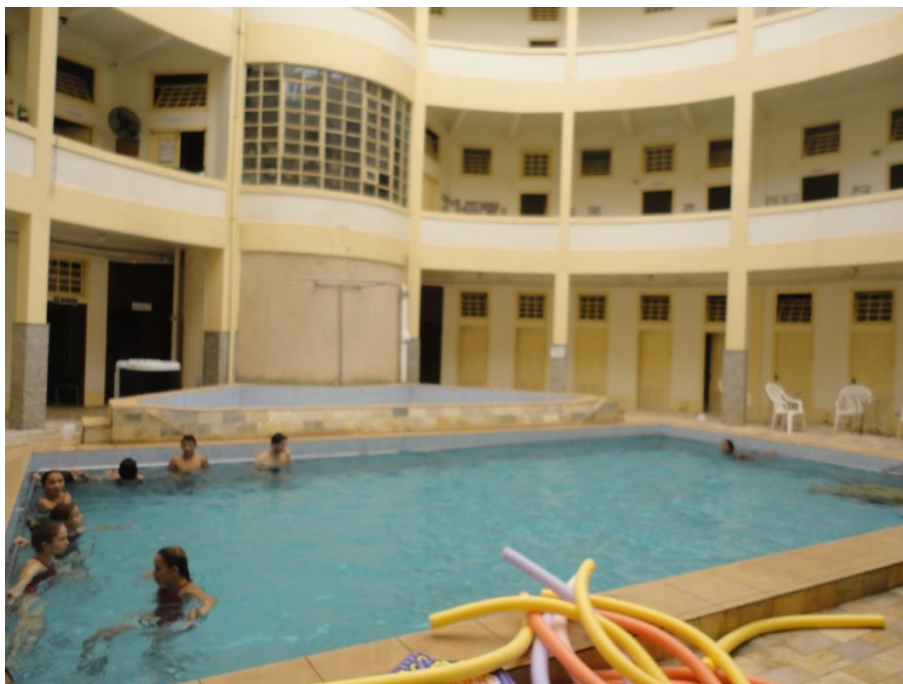


Figura 14- Estrutura do Balneário Osvaldo Cruz em Iraí.



Figura 15- Poço que supre de água termal o Balneário Osvaldo Cruz.

## 5 Metodologia

### 5.1 Análise de Radônio

#### 5.1.1 Na água

As concentrações de radônio na água foram medidas *in situ* utilizando o equipamento Pylon, disponibilizado pelo Serviço Geológico Brasileiro (CPRM), que realiza a contagem de emissão de radônio.

O Pylon modelo WG-1001 (Figura 16) é um sistema de degaseificação da água, através de um sistema de vácuo. Este vácuo é usado para isolar a amostra tornando possível ao agitar a água, extrair o ar e o gás radônio contidos nela. O excesso de humidade no gás é removido por um conjunto de tubos de secagem, isto se faz necessário para proteger o cintilômetro, a Célula de Lucas, dos danos causados pela umidade. A Célula de Lucas é usada para conservar a amostra de gás, filtrando as partículas radioativas e promovendo a contagem do decaimento radioativo. As células de Lucas, *pylon models 600<sup>a</sup>* utilizadas são sensíveis aos três isótopos radioativos: radônio ( $^{222}\text{Rn}$ ), thoronio ( $^{220}\text{Rn}$ ) e actínio ( $^{219}\text{Rn}$ ), dos quais o radônio é o mais comum. Esses gases são os produtos de decaimento do Urânio 238, Tório e serie Urânio 232, 235, respectivamente.

Após a amostra de água ser colocada na célula, passadas três horas para estabelecer equilíbrio radioativo entre o radônio e seus produtos de decaimento, a quantidade de radônio pode ser medida usando o equipamento *Pylon modelo AB-5/AB-5R*, que possui monitor portátil para exibição dos resultados. A detecção de radônio é convertida em pulsos de luz que são exibidos no monitor. A eficiência da extração do radônio da água é de 95% a partir de uma amostra de 190 ml, utilizando uma célula Pylon modelo 300A.



**Figura 16- Equipamentos Pylon. 1- tubo de água; 2- bomba de vácuo; 3- agitador; 4- mangueira; 5- tubo desumidificador; 6-Célula de Lucas.**

Um cuidado necessário antes da realização de cada análise é a descontaminação com ar comprimido da Célula de Lucas e a posterior leitura no monitor AB-5 para obter o *background* de radônio em seu interior.



**Figura 17- 1-Monitor portátil Pylon AB-5; 2- Célula de Lucas; 3- Monitor.**

O equipamento realiza 6 medidas de decaimento radioativo durante 2 minutos cada uma. A primeira medida será descartada, sendo considerada a média das outras cinco medidas (Figura 17). Estes resultados são expressos em contagens por minuto (CPM), que serão transformadas em unidades de radiação, Maches, pCi/l e Bq/m<sup>3</sup> através dos seguintes cálculos:

$$A = \frac{(C-B) \times 1000}{F \times 6.66 \times D \times S \times V}$$

Onde,

A= atividade Rn-222 em pCi/L

C= taxa de contagem bruta (CPM)

B= Background da taxa de contagem (CPM)

F= Eficiência da célula contagem = 0,745.

D= eficiência do desgaseificador = 0,9.

S= correção pelo decaimento do radônio da amostra no tempo  $T_e$  para a contagem  $T_s$ .

V= volume da amostra, 190 ml.

Sendo que:

$$S = \exp(-\lambda T_{\text{Delta}})$$

Onde ,

$$\begin{aligned} \lambda &= \text{Constante de decaimento} \\ &= \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \\ &= \frac{0.69315}{T_{1/2}} \\ &= 0.0001258 \text{ minutos}^{-1} \text{ para Radônio} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{1/2} &= \text{meia vida radioativa} \\ &= 3.825 \text{ dias para Radônio} \\ &= 91.8 \text{ horas para Radônio} \\ &= 5508 \text{ minutos para Radônio} \end{aligned}$$

$$T_{\text{Delta}} = t_2 - t_1$$

$$t_1 = \text{O tempo que a amostra foi extraída.}$$

$$t_2 = \text{O tempo do ponto médio de intervalos de contagem para os intervalos de interesse.}$$

$$\text{Sendo, } t_2 = \frac{t_e - t_s}{2}$$

Onde,

$t_e$  = O tempo da contagem final para os intervalos de interesse.

$t_s$  = O tempo da contagem inicial para os intervalos de interesse.

Para transformar nas demais unidades, utilizamos as seguintes transformações: 1,00 nCi/L = 36,81 Bq/L = 2,73 Manches.



### 5.1.2 No ar

Para a qualificação do ar, em relação ao conteúdo de radônio, foram instalados detectores fixos do tipo CR39 (Figura 18) em ambientes fechados dos sítios de lazer, em especial nas áreas cobertas de piscinas alimentadas pelas águas termais.

O CR39 é um detector de traços nucleares do estado sólido, sensível à radiação alpha. No método de detecção com detectores sólidos de traços nucleares, quando uma partícula pesada incide sobre a superfície do detector, provoca um desarranjo na sua estrutura molecular (traço). O CR39 é transparente e cria um contraste entre o traço produzido e o próprio corpo plástico. Após um período de 30 dias de exposição ao ar, os detectores foram recolhidos para a análise de seus dados.



**Figura 18- Plástico detector CR39.**

Para analisarmos os dados obtidos através do detector plástico, este precisou passar por um ataque químico para tornar possível a visualização de seus desarranjos moleculares em microscópio ótico. Os traços formados no detector CR39 possuem aproximadamente 10 nanômetros de diâmetro. Assim, para tornar possível a visualização é necessária a realização do ataque químico para alargar os traços. Sua superfície é dissolvida por uma solução básica (Mishra *et al*, 2005), no caso, 30% KOH por 5,5 horas a

80°C. A velocidade com que a solução dissolve o plástico ao longo do traço é maior que a velocidade na região não danificada. (Tommasino, 1980).

O formato do traço visualizado é resultado da função direta do ângulo de incidência da partícula no detector e do ângulo de observação. Quando observado transversalmente à superfície do detector se parece com um cone e quando observado sobre a superfície do detector, assemelha-se a uma elipse ou círculo.

Após o procedimento de ataque químico os traços são contados. O microscópio óptico utilizado para a contagem dos traços nucleares é da marca *Leitz Wetzlar Germany*, com ocular de 10x, objetiva de 10x (aumento total de 100x). Foram seguidos os seguintes critérios: a) contar toda a grade e apenas os traços que estão dentro de grade; b) iniciar a contagem da esquerda para a direita e de cima para baixo; c) contar mais de 1200 traços nucleares; e d) não contar traços abertos (não fechados), claros e/ou defeituosos. A densidade de traços foi calculada seguindo a fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum N}{\sum n}$$

onde,  $N$  é número de traços,  $n$  é número de campos e  $\bar{X}$  é a média de traços por campo.

$$d = \frac{\bar{X}}{A}$$

onde,  $\bar{X}$  é a média de traços por campo,  $A$  é a área total contada ( $A=0,01 \text{ cm}^2$ .  $n$ ) e  $d$  é a densidade de traços por  $\text{cm}^2$ .

A incerteza da densidade de traços,  $I_d$ , foi calculada da seguinte maneira:

$$I_d = \left( \frac{1}{\sqrt{N}} \right) \cdot d$$

onde,  $N$  é o número de traços e  $d$  é a densidade de traços.

Conforme Mishra *et al* (2005) o valor médio da sensibilidade de resposta ( $S$ ) do detector CR39, obtido em diversos laboratórios é:

$$S = (2,8 \pm 0,2) \frac{\text{traço} \times m^3}{cm^2 \times kBqxh}$$

Assim, a concentração de radônio no ar é obtida por:

$$C_{Rn} = \frac{d}{S \cdot t}$$

onde,  $d$  é a densidade de traços,  $S$  é a sensibilidade do detector CR-39,  $t$  é o tempo de amostragem, em horas, e  $C_{Rn}$  é a concentração de radônio no ar, em Bq/m<sup>3</sup>.

A incerteza da concentração de radônio no ar,  $I_{Rn}$ , foi calculada da seguinte maneira:

$$I_{Rn} = \frac{d}{2,8} \cdot \left( \sqrt{\left(\frac{I_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{0,2}{2,8}\right)^2} \right)$$

onde,  $d$  é a densidade de traços e  $I_d$  é a incerteza da densidade de traços (Santos, 2008).

Os detectores foram instalados em ambiente fechados dos balneários com um barbante e com pelo menos 10 cm de distância das paredes, como expressam as instruções.

#### **5.1.2.1 Thermas Ilha redonda:**

Dois detectores foram instalados em um ambiente destinado a banhos de banheira com a água termal e na piscina coberta do balneário (Figura 19 e 20).





Figura 19- Detector instalado em ambiente reservado para banhos de submersão em água termal no Thermas Ilha Redonda.



Figura 20- Detector instalado na piscina coberta do Thermas Ilha Redonda.

### 5.1.2.2 Balneário Água de Pratas

Um detector CR39 foi instalado na piscina coberta do local (Figura 21).



Figura 21- Detetores instalados na piscina interna do Balneário Água de Pratas.

### 5.1.2.3 Termas São João

Um detector foi instalado na piscina coberta (Figura 22).



Figura 22- Detetores instalados na piscina coberta das Termas São João.

#### 5.1.2.4 Balneário Osvaldo Cruz

Dois detectores foram instalados no edifício do balneário (Figuras 23 e 24).



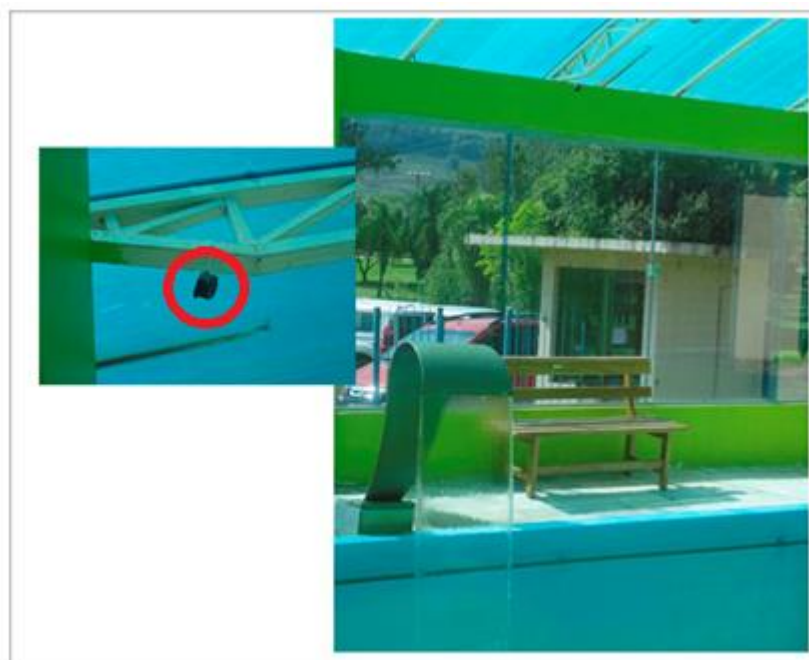
Figura 23- Detector instalado nas dependências da piscina do balneário Osvaldo Cruz.



Figura 24- Detector instalado no edifício do Balneário Osvaldo Cruz.

### 5.1.2.5 *Balneário Municipal Vicente Dutra*

Um detector foi instalado na piscina coberta (Figura 25).



**Figura 25-** Detector instalado na piscina coberta em funcionamento do Balneário Municipal Vicente Dutra.

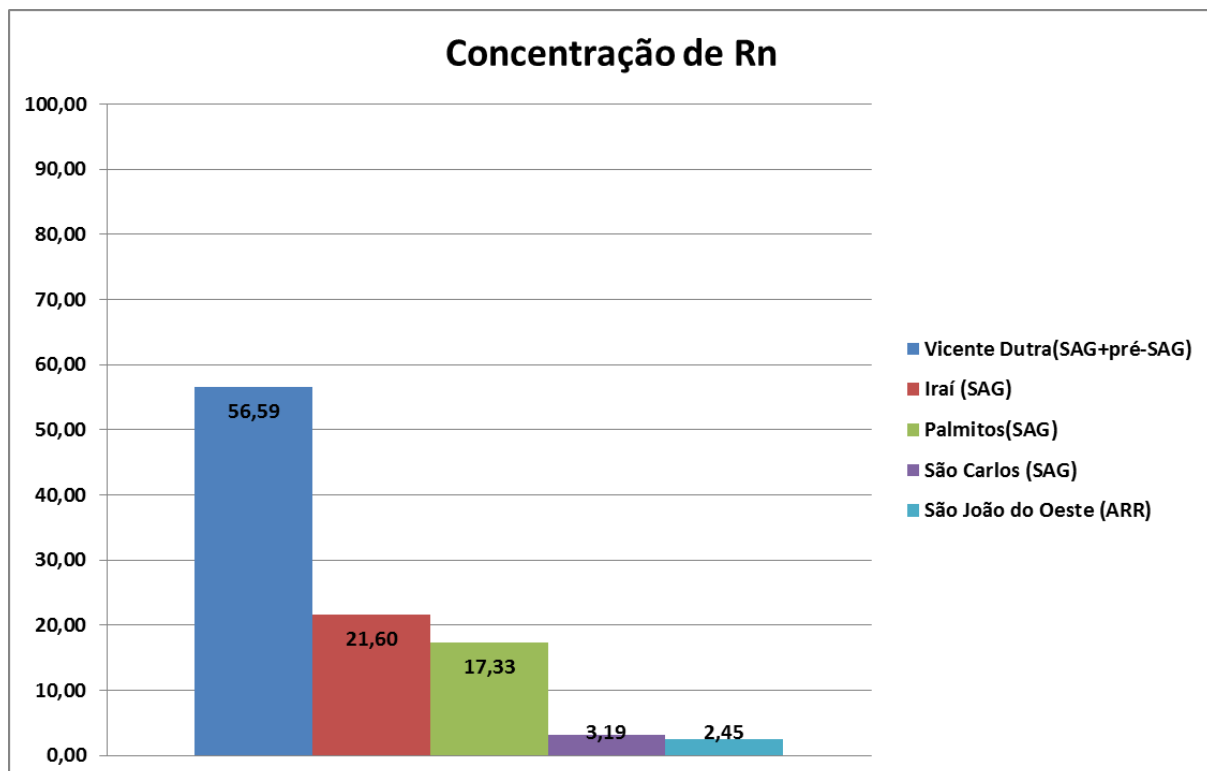
## 6 Resultados e Interpretações

### 6.1 Concentrações de radônio dissolvido em água

Os resultados das medidas de radônio dissolvido na água (Bq/L) são apresentados na Tabela 1 e expressos na Figura 26.

**Tabela 1-Concentração de radônio obtida com o equipamento Pylon.**

<b>Ponto</b>	<b>Rn (Bq/L)</b>	<b>Município</b>
1	56,59	Vicente Dutra /RS
2	21,60	Iraí / RS
3	17,33	Palmitos/SC
4	3,19	São Carlos / SC
5	2,45	São João do Oeste / SC



**Figura 26- Concentração de radônio dissolvido nas águas dos sítios termais dos municípios de Vicente Dutra, Iraí, Palmitos, São Carlos e São João do Oeste.**

A Figura 26 demonstra claramente que existem três patamares distintos de concentração de radônio dissolvido na água: 2,5 a 3,5 Bq/L; 17,0 a 22,0 Bq/L; e > 50 Bq/L.

## **6.2 Relação entre as características hidroquímicas e a concentração de radônio na água**

As águas termais dos balneários estudados são classificadas (Tabela 2) como do tipo Sódica Mista (São Carlos, Palmitos e Iraí); Sódica Sulfatada (Vicente Dutra) e Sódica Cloretada (São João do Oeste), como demonstra o diagrama de Piper na Figura 27, realizado com uso do Pacote computacional Qualigraf 1.17.

Tabela 2- Classificação das águas termais pelo diagrama Piper.

Município	Balneário	Classificação
São Carlos/ SC	Balneário Água de Pratas	Sódica Mista
Palmitos/SC	Thermas Ilha Redonda	Sódica Mista
São João do Oeste/ SC	Termas São João	Sódica Cloretada
Iraí/ RS	Balneário Osvaldo Cruz	Sódica Mista
Vicente Dutra/ RS	Balneário Municipal Vicente Dutra	Sódica Sulfatada

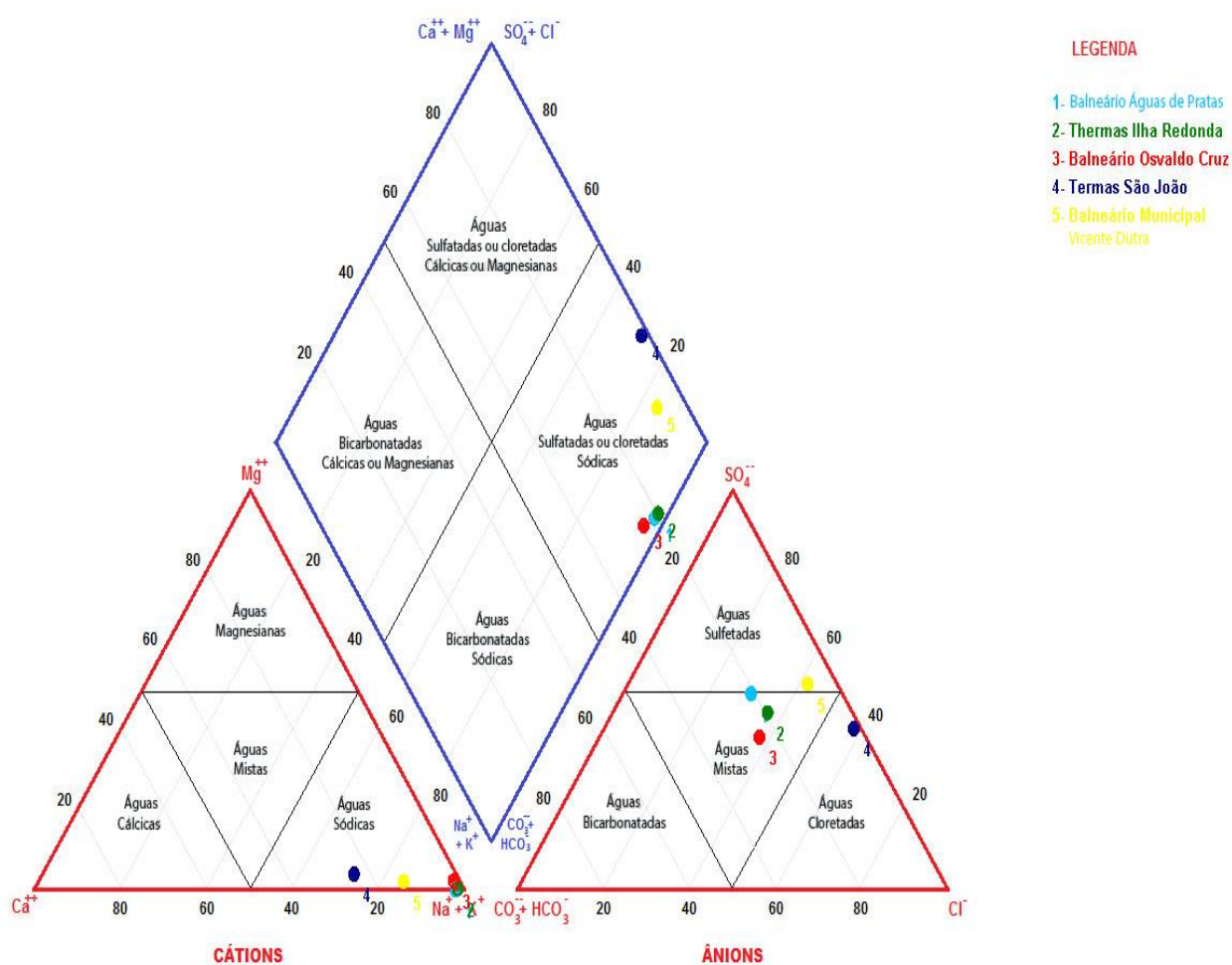


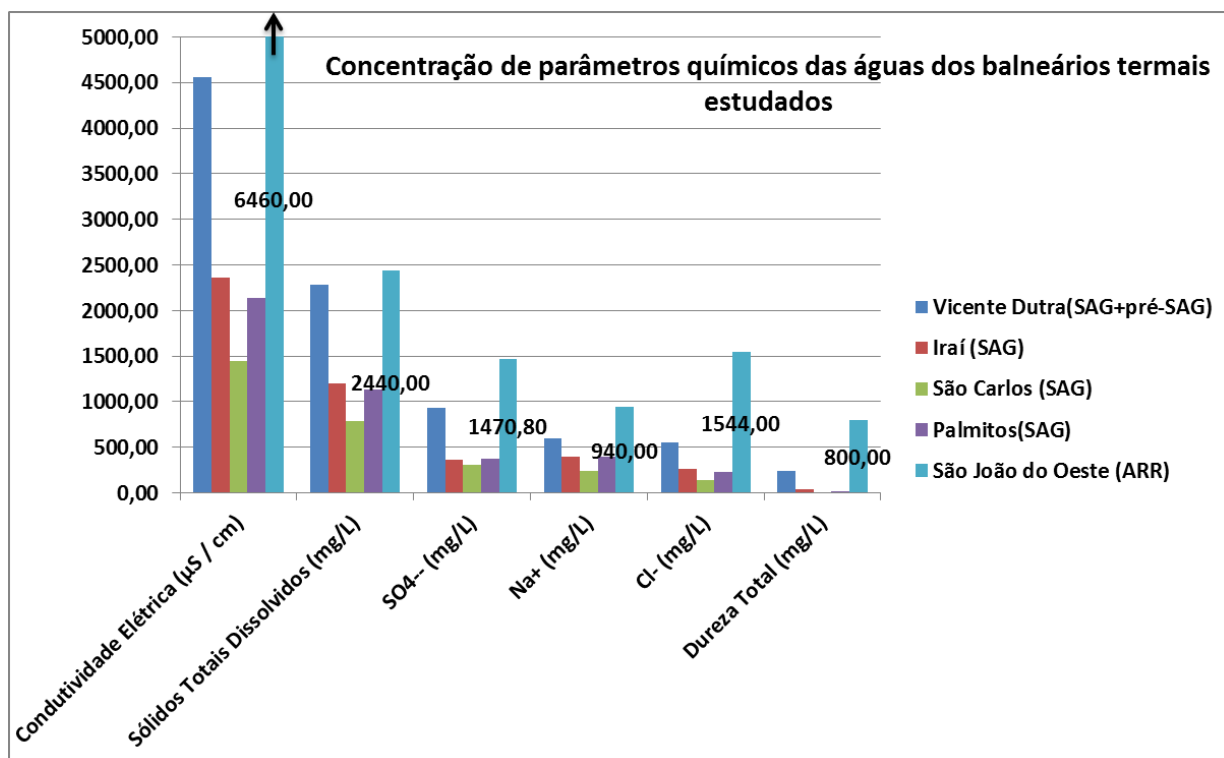
Figura 27- Diagrama Piper para as fontes termais.

As características hidroquímicas demonstram que as águas termais representam diferentes aquíferos. No Termas São João (São João do Oeste), a água é extraída de poço com 1376 metros de profundidade e capta água do Aquífero Rio do Rasto (ARR), daí a classificação Sódica Cloretada. Considerando a temperatura da água e o gradiente geotérmico de 1°C por 33 m de profundidade, as águas termais têm origem em profundidade maior

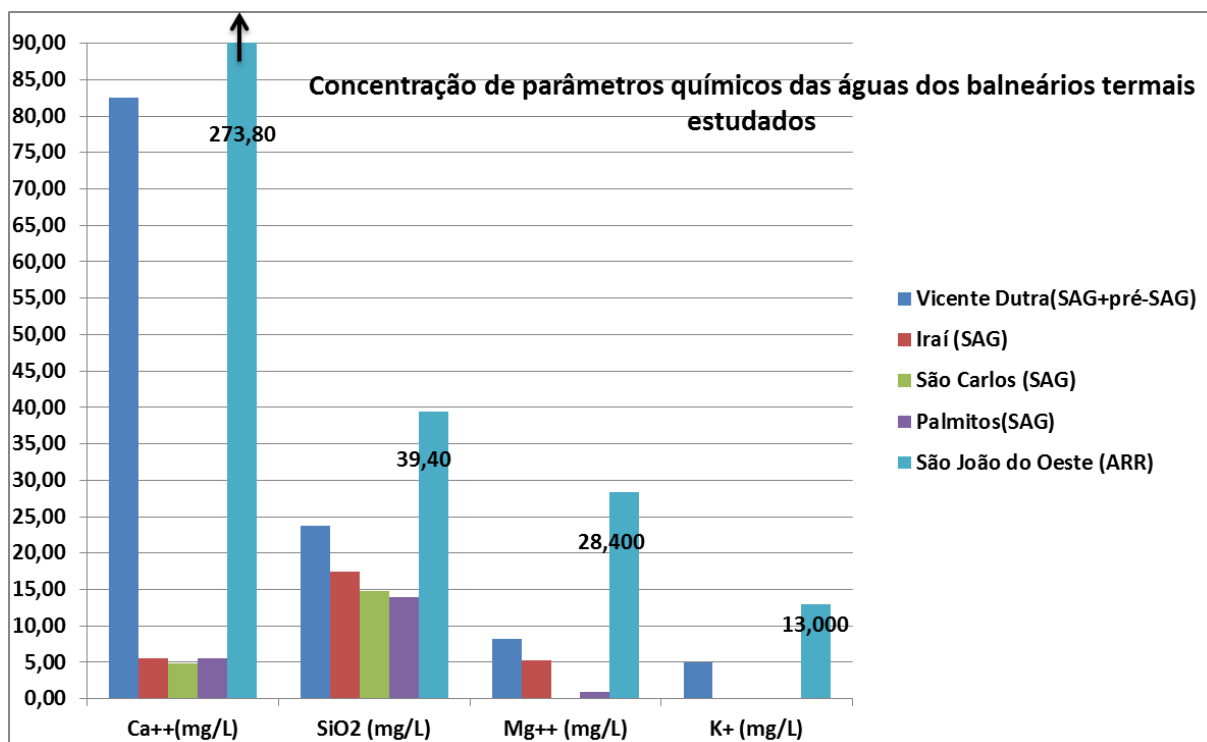
que seu ponto de captação. No Balneário Água de Pratas (São Carlos) com temperatura de 36°C, a água é extraída retirada de poço com 80 metros de profundidade e a água tem origem, no mínimo, a 476 metros, o que corresponde às condições do Sistema Aquífero Guarani. O mesmo ocorre no Thermas Ilha Redonda (Palmitos), onde o poço possui entrada d'água a 151 metros de profundidade, sendo a temperatura da água de 37°C, condizente com a profundidade de 580 metros, correspondente, igualmente ao SAG. No Balneário Osvaldo Cruz (Iraí), onde o poço tem 7 metros, e, portanto, trata-se de uma fonte surgente, a temperatura de 33°C corresponde a profundidade de 304 metros, que confirma o SAG como origem. No caso de Vicente Dutra, o poço com 120 metros de profundidade e água com temperatura de 34°C, 350 metros, representa, igualmente, as condições do SAG. No entanto, embora as profundidades de origem da água sejam as mencionadas anteriormente, sua composição química permite inferir que são águas mistas, resultantes de conexão hidráulica entre os sistemas aquíferos Serra Geral (SASG) e Guarani (SAG) ou até mesmo aquíferos mais profundos.

A composição das águas termais de Vicente Dutra apresentam teores bem mais elevados de diferentes elementos em comparação com as águas dos demais balneários associados ao Sistema Aquífero Guarani. Segundo Freitas, Roisenberg & Cunha (2011), os tipos hidrogeoquímicos com altos teores de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  sugerem aquíferos mais profundos, pré-Sistema Aquífero Guarani. Efetivamente, se observado o valor de  $\text{Cl}^-$  (552,1 mg/L) nas águas de Vicente Dutra, o dobro das demais fontes relacionados com o SAG;  $\text{SO}_4^{2-}$  (936 mg/L) o triplo dos valores obtidos nas outras fontes estudadas; condutividade elétrica, dureza total e sólidos totais dissolvidos são também superiores aos demais balneários do SAG (Figuras 28a e 28b). Desta forma, pode-se inferir que as águas termais de Vicente Dutra são resultado de misturas por conexão hidráulica de águas pré-Sistema Aquífero Guarani e devem ser mais antigas que as de Iraí, Palmitos e São Carlos.





**Figura 28a- Concentração de parâmetros químicos das águas dos balneários termais estudados.**



**Figura 298b- Concentração de parâmetros químicos das águas dos balneários termais estudados.**

Estão apresentados, a seguir, gráficos que relacionam as análises hidroquímicas das águas termais dos balneários estudados (informação oral do Geól. Marcos Alexandre de Freitas/CPRM) (Tabela 3 e Figuras 29 a 34).

**Tabela 3- Análises químicas dos balneários selecionados obtidas com o Geól. Marcos Alexandre de Freitas.**

<b>Análises Químicas</b>					
<b>Cidade</b>	Vicente Dutra-RS	Iraí-RS	São Carlos-SC	Palmitos-SC	São João do Oeste-SC
<b>Balneário</b>	Municipal Vicente Dutra	Oswaldo Cruz	Águas de Pratas	Thermas Ilha Redonda	Termas São João
<b>Aquífero</b>	SAG + pré SAG	SAG	SAG	SAG	ARR
<b>Latitude</b>	-27,1663	-27,197042	-27,07894754	-27,15627277	-27,09869
<b>Longitude</b>	-53,4057	-53,24613	-53,05333651	-53,07702268	-53,59182
<b>Cota (m)</b>	200	218	239	251	305
<b>Temperatura (°C)</b>	34	33	36	37	53
<b>pH</b>	7,65	8,56	8,81	8,63	7,40
<b>CE (µS / cm)</b>	4560,00	2360,00	1450,00	2140,00	6460,00
<b>Alcalinidade Total (mg/L)</b>	126,30	244,40	138,40	174,70	58,40
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	153,90	263,50	146,50	200,50	71,20
<b>CO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,50	16,90	10,90	6,10	0,50
<b>Ca<sup>++</sup> (mg/L)</b>	82,50	5,60	4,80	5,60	273,80
<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>	552,10	259,00	136,80	224,80	1544,00
<b>Dureza Total (mg/L)</b>	239,60	35,60	11,80	17,80	800,00
<b>Fe<sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,04	0,01	0,01	0,01	0,04
<b>F<sup>-</sup> (mg/L)</b>	2,63	2,47	1,77	1,76	0,93
<b>PO<sub>4</sub> (mg/L)</b>	0,03	0,03	0,07	0,09	0,12
<b>Mg<sup>++</sup> (mg/L)</b>	8,19	5,27	0,03	0,95	28,40
<b>Mn<sup>+</sup> (mg/L)</b>	0,07	0,01	0,01	0,01	0,12
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>K<sup>+</sup> (mg/L)</b>	5,00	0,01	0,01	0,01	13,00
<b>SiO<sub>2</sub> (mg/L)</b>	23,70	17,50	14,80	14,00	39,40
<b>Na<sup>+</sup> (mg/L)</b>	600,00	400,00	240,00	400,00	940,00
<b>STD (mg/L)</b>	2286,00	1203,00	792,00	1133,00	2440,00
<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	936,00	366,70	311,00	380,60	1470,80

Legenda: CE – Condutividade Elétrica; STD – Sólidos Totais Dissolvidos; SAG – Sistema Aquífero Guarani; ARR – Aquífero Rio do Rasto.

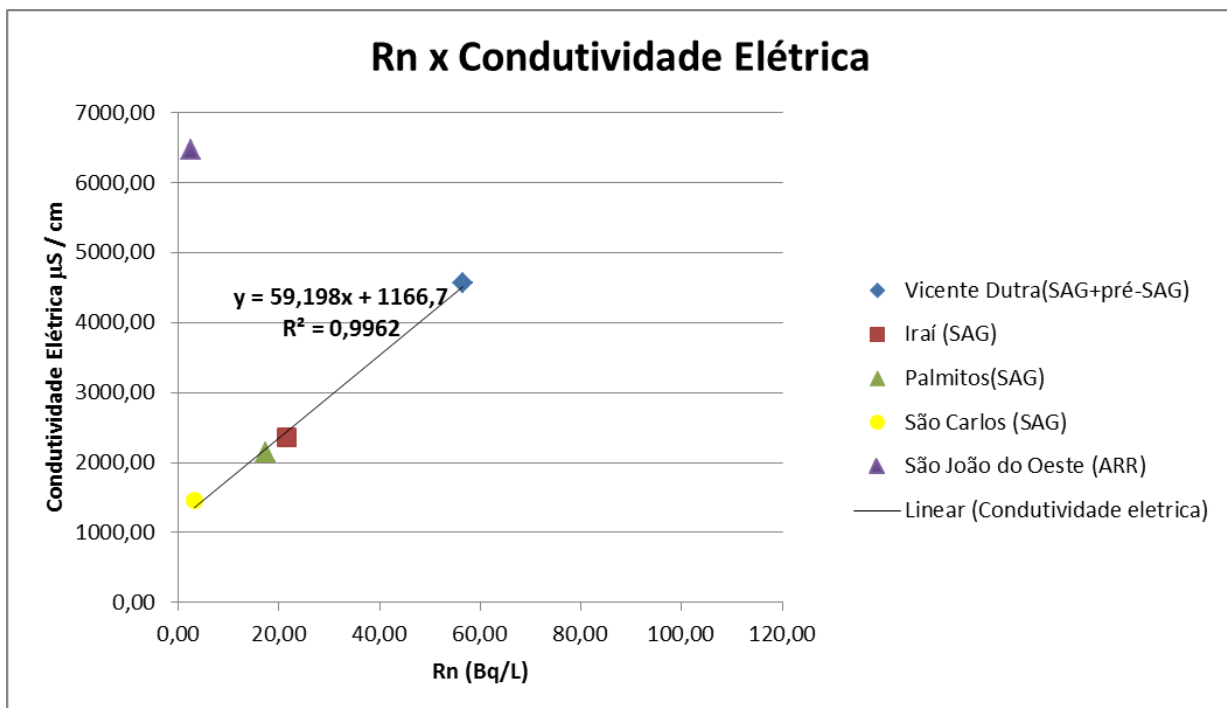


Figura 29- Correlação: concentração de  $^{222}\text{Rn}$  vs Condutividade Elétrica nas águas termais dos balneários estudados.

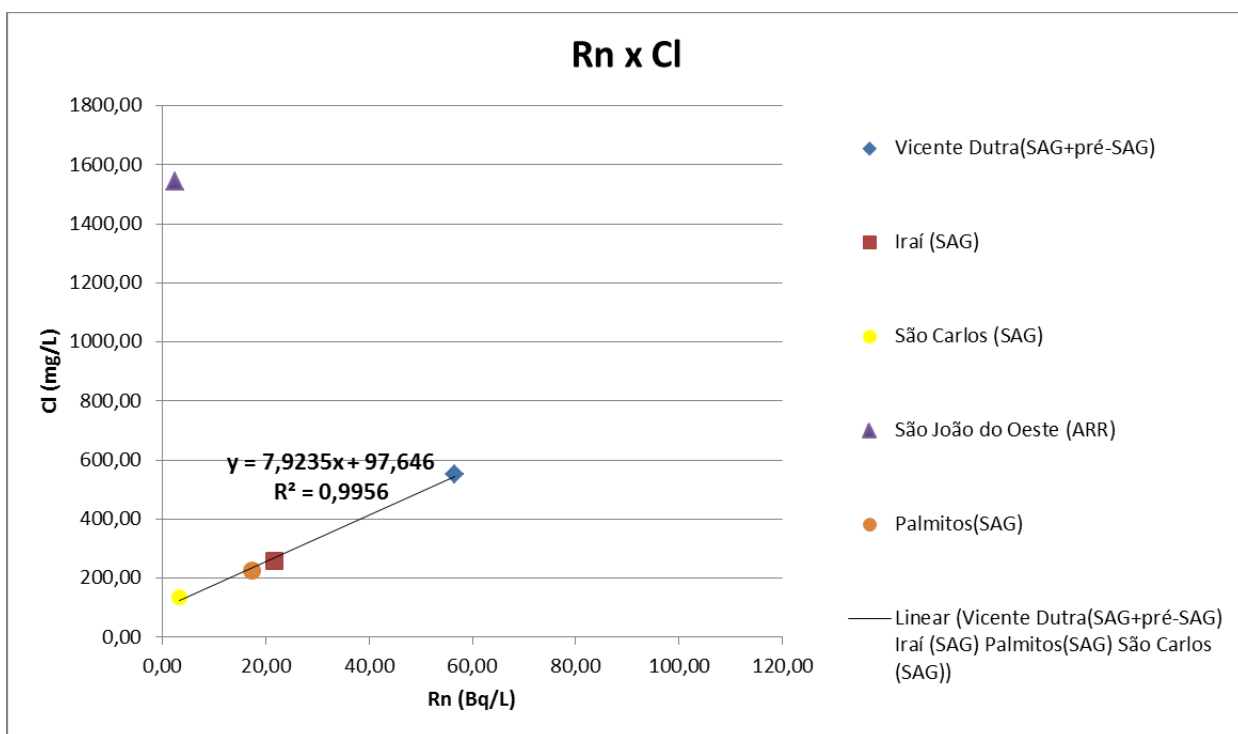


Figura 30- Correlação: concentração de  $^{222}\text{Rn}$  vs concentração de  $\text{Cl}^-$  nas águas termais dos balneários estudados.

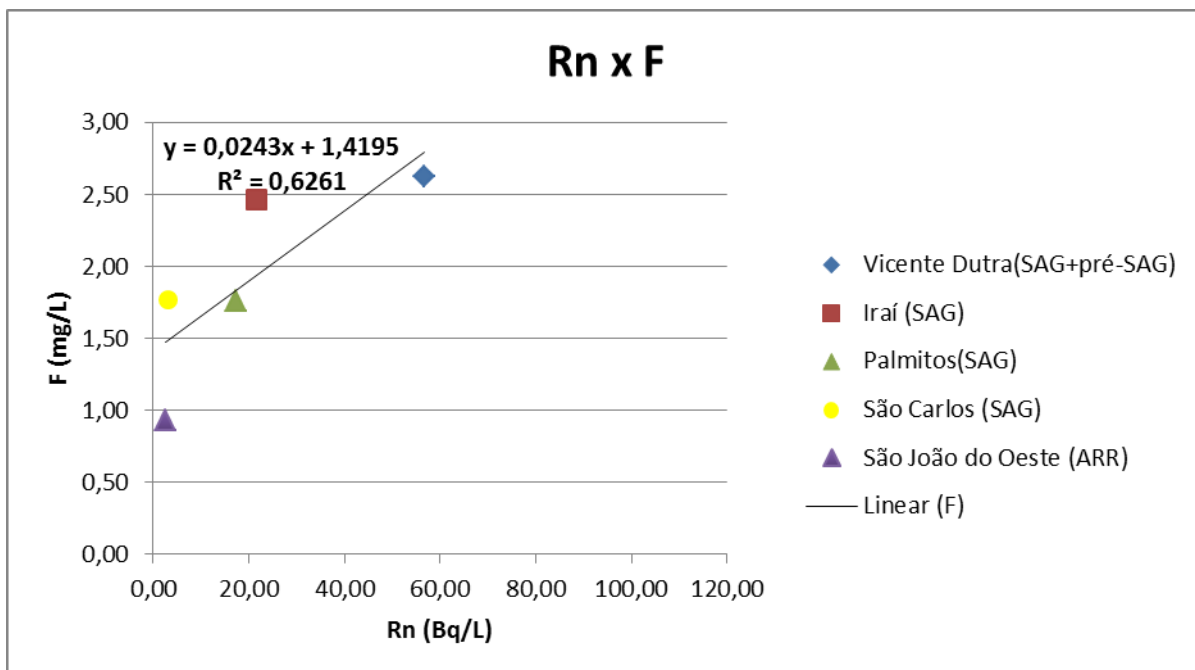


Figura 31- Correlação: concentração de  $^{222}\text{Rn}$  vs concentração de F<sup>-</sup> nas águas termais dos balneários estudados.

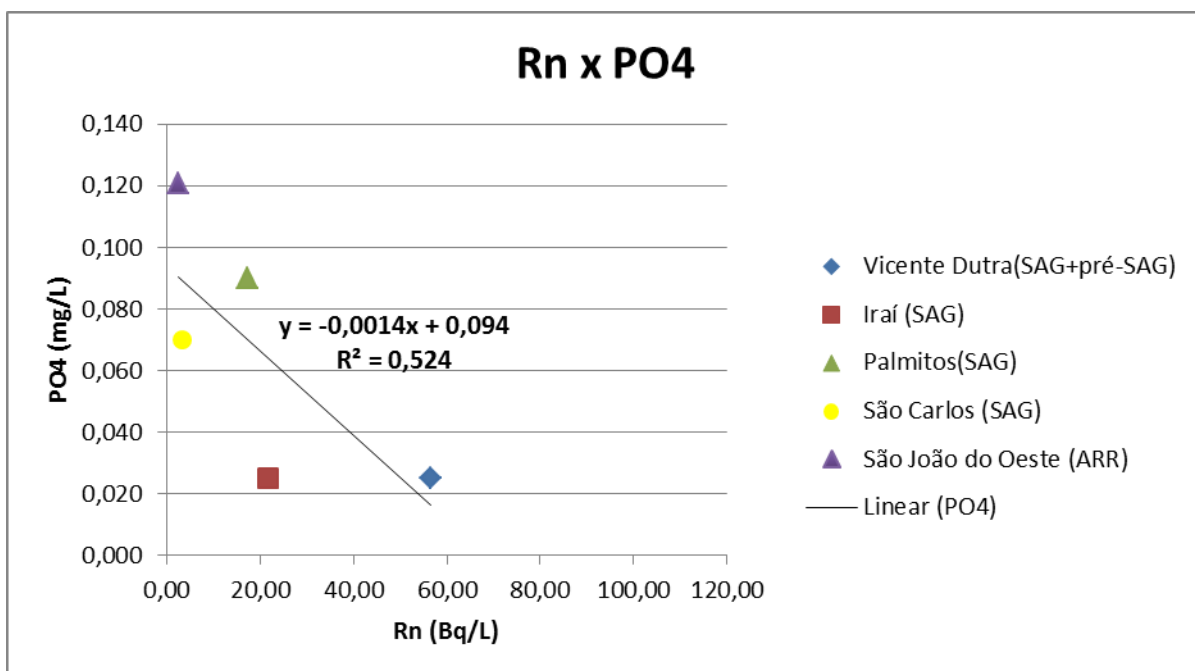


Figura 32- Correlação: concentração de  $^{222}\text{Rn}$  vs quantidade de  $\text{PO}_4^{3-}$  nas águas termais dos balneários estudados.

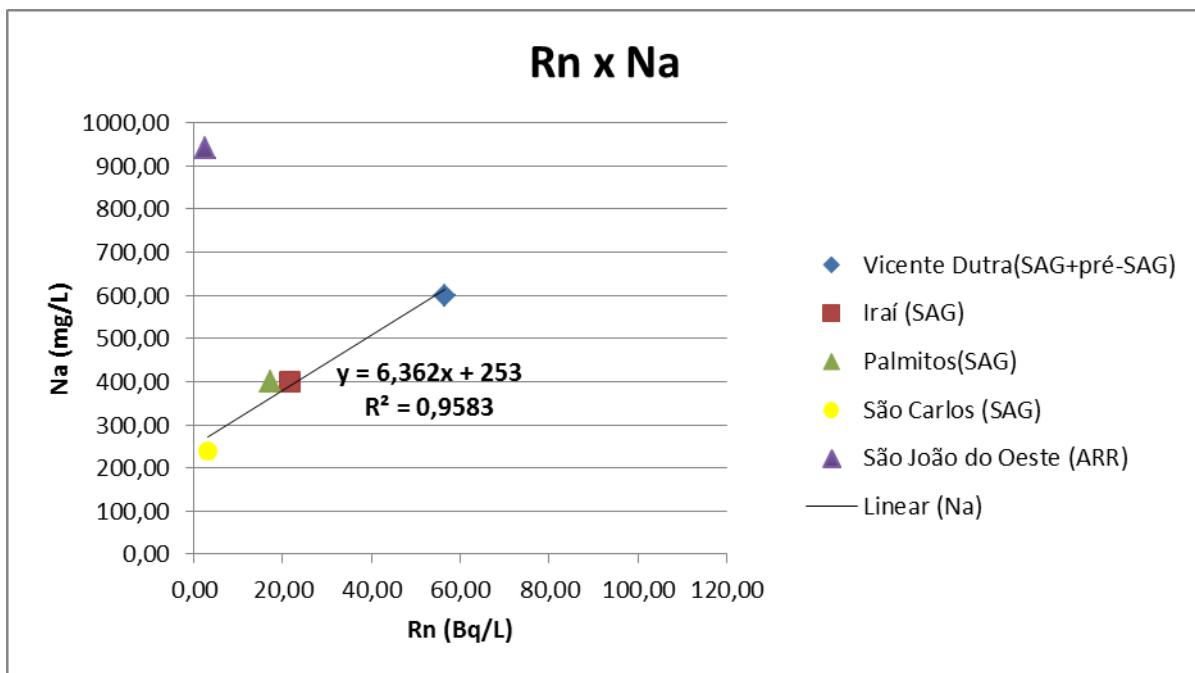


Figura 33-Correlação: concentração de  $^{222}\text{Rn}$  vs concentração de  $\text{Na}^+$  nas águas termais dos balneários estudados.

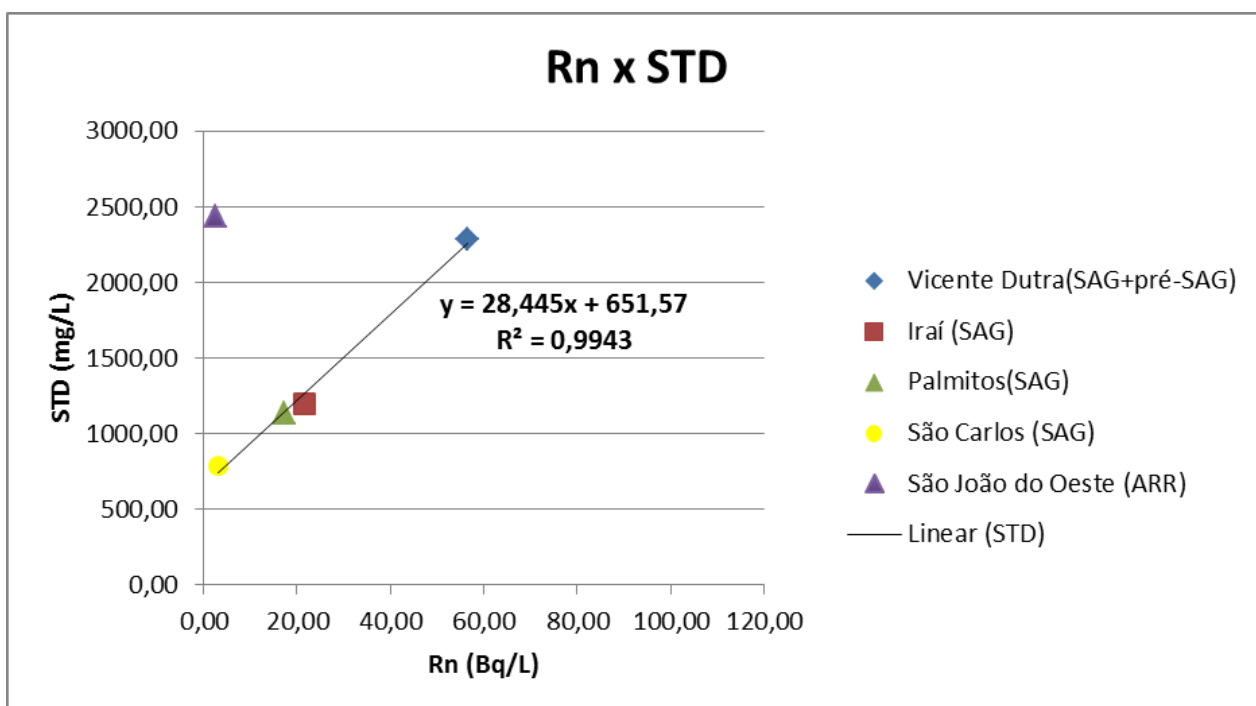


Figura 34- Correlação: concentração de  $^{222}\text{Rn}$  vs concentração de STD nas águas termais dos balneários estudados.

A observação dos gráficos das Figuras 29 a 34 permite definir a existência de correlações positivas evidentes entre as concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  com a Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos, bem como com os íons cloro, flúor e sódio. Também pode-se assinalar que a correlação é negativa entre as concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  e o íon fosfato, embora com esta a correlação seja mais baixa. Com os demais íons as correlações são baixas, havendo forte dispersão dos pontos.

Deve-se registrar, ainda, que as análises das águas do Termas São João (São João do Oeste) representam um ponto fora da curva nos gráficos, à exceção da correlação entre  $^{222}\text{Rn}$  e flúor, o que pode ser explicado pelas características do aquífero e pelo tempo de residência maior das águas neste aquífero. Em situação similar estão as águas termais do Balneário Municipal de Vicente Dutra, que possuem valores sensivelmente aumentados em todos os elementos, à exceção do íon fosfato.

### **6.3 Concentrações de radônio no ar ambiente / detectores CR39**

Os detectores CR39 foram recolhidos dos recintos fechados (piscinas e banheiras) onde haviam sido instalados, após 30 dias de exposição. Foram levados ao laboratório onde passaram pelo processo de revelação e contagem dos traços de fissão, conforme detalhado na metodologia. Na tabela 5, são apresentados os resultados obtidos das leituras dos detectores de traços nucleares do estado sólido, com valor calculado de  $^{222}\text{Rn}$ , de acordo com a fórmula citada na metodologia.

Tabela 4- Concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  no ar de recintos fechados dos balneários.

Resultados dos detectores				
Amostra	Nº do Detector	Local	Município	Concentração $^{222}\text{Rn}$ (Bq/m <sup>3</sup> )
1	11	Piscina Balneário Municipal de Vicente Dutra	Vicente Dutra	76
2	12	Piscina Balneário Osvaldo Cruz	Iraí	29
3	13	Piscina Balneário Osvaldo Cruz	Iraí	32
4	14	Piscina Thermas Ilha Redonda	Palmitos	41
5	15	Sala para banho de imersão do Thermas Ilha Redonda	Palmitos	40
6	16	Piscina Balneário Águas de Pratas	São Carlos	36
7	17	Piscina Termas São João do Oeste	São João do Oeste	50

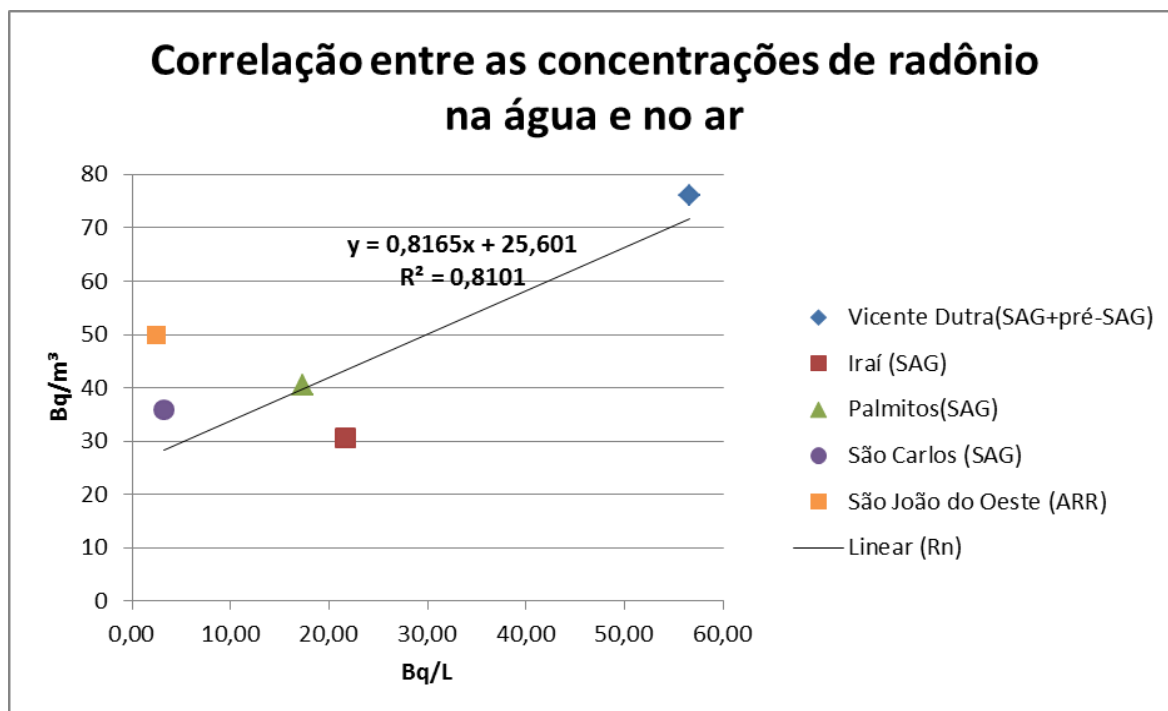


Figura 35- Correlação entre as concentrações de radônio na água e no ar.

Existe uma consistência dos valores de concentração de radônio  $^{222}\text{Rn}$  no ar dos recintos fechados com aquele medido na água através do equipamento Pylon (Figura 35). É consideravelmente maior a concentração no Balneário de Vicente Dutra ( $76 \text{ Bq/m}^3$  de ar) em relação aos demais balneários, cuja média é de  $36 \text{ Bq/m}^3$ . Nas Termas de São João do Oeste, os valores de  $^{222}\text{Rn}$  no ar do recinto da piscina foi de  $50 \text{ Bq/m}^3$ , o que não estabelece correlação com a concentração na água, na qual neste balneário foram os menores de todos os conjuntos analisados.



## 7 Considerações finais

O estudo em pauta tratou de analisar a distribuição de radônio no ar e na água termal na região noroeste do Rio Grande do Sul e sudoeste de Santa Catarina, motivado pela inexistência de informações sobre este elemento nos balneários da região.

Analisadas águas termais de cinco balneários foram registrados valores de  $^{222}\text{Rn}$  variáveis entre 2,45 e 56,59 (Bq/L), valores que se encontram abaixo da concentração recomendada como limite pela Organização Mundial da Saúde (100 Bq/L) para águas que sejam utilizadas para sedentação.

Ao relacionarmos a hidroquímica com o teor de  $^{222}\text{Rn}$  medido na água verifica-se uma correlação positiva entre as concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  na água e a Condutividade Elétrica, Sólidos Totais Dissolvidos e os íons cloro, flúor e sódio. O maior teor de radônio nas águas é registrado no Balneário Vicente Dutra, balneário que possui também o maior valor de radônio contido no ar dos recintos fechados das piscinas. A hidroquímica confirma que as águas deste balneário são mais antigas que as demais e provavelmente provém de uma mistura com aquífero pré-SAG, ao mesmo tempo que o conteúdo de sais indica um tempo de residência maior destas águas. As águas termais do Balneário São João do Oeste são as mais antigas de todas e igualmente demonstra uma mistura de diferentes aquíferos, provindo do Aquífero Rio do Rasto. As temperaturas das águas neste balneário é a maior de todas as estudadas, o que demonstra sua origem mais profunda, bem como o maior tempo de residência em relação às demais, em razão do elevado conteúdo

de sais. O conteúdo de  $^{222}\text{Rn}$  no ar de recintos fechados das piscinas se apresentou abaixo do recomendado em todas as estâncias termais estudadas não ultrapassando  $76 \text{ Bq/m}^3$ , valor que é bem menor que o limite recomendado pela Agência Internacional de Energia Atômica no ar ( $300 \text{ Bq/m}^3$ ). Assim, não são necessárias medidas preventivas para atenuar as concentrações de radônio acumulado no ambiente.

Recomenda-se a continuidade deste estudo estendendo-se aos balneários localizados na região sudeste de Santa Catarina, nos quais as águas termais são exploradas a partir do Aquífero Fraturado Pré-Cambriano, que pode conter concentrações maiores de radônio.

## Referências Bibliográficas

Andreis, R.R.; BOSSI, G.E. & Montardo, D.K. 1980. O grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 31., Camboriú (SC), *Anais...Camboriú*, SBG, v.2, p.659-673.

Andreis, R.R.; Lavina, E.L.; Montardo, D.K & Teixeira, A.M.S.1982. Considerações sobre os troncos fósseis da Formação Caturrita (Triássico Superior) no município de Mata, RS- Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 32., Salvador (BA), *Anais...Salvador*, SBG v.4,p. 1284-1295

AIEA/IAEA. Agência Internacional de Energia Atômica. 2014. *Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards: General Safety Requirements Part 3*. Viena, IAEA, 471p

Bellieni, G; Comim-Chiaramonti, P.; Marques, L.S.; Melfi, A.J.; Nardy, A.J.R.; Papatrechas, C.; Piccirillo, E.M.; Roisenberg, A.; Stolfa, D. 1984. High and low TiO<sub>2</sub> flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): Petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. *Neues Jahrbuch Miner. Abh.*, 150: 273-306.

Bertolo, A. & Bigliotto, C. 2004.Radon concentration in waters of geothermal Euganean Basin - Veneto, Italy. *Radiation Protection Dosimetry*, 111 (4) : 355–358.

Bittencourt, A.V.L.; Rosa Filho E.F.; Hindi E.C.; Buchmann Filho A. C. 2003 A Influência dos Basaltos e de Misturas com Águas de Aquíferos Sotopostos nas Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia do Rio Piquiri, Paraná – BR. *Revista Águas Subterrâneas*, 17: 67-75.

Bonotto, N.M. 2003. *Radioatividade nas águas: da Inglaterra ao Guarani*. São Paulo, Editora UNESP, 249p.

Buchmann Filho, A.C.; Rosa Filho E.F.; Hindi E.C.; Bittencourt, A.V.L.; Nadal, C.A.; Ferreira, F.J.F. Aspectos da Química da Água Subterrânea da Formação Serra Geral no Âmbito da Bacia Hidrográfica do Rio Piqueri (PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12. 2002. Florianópolis, ABAS. 2002. p.17.

CPRM. Serviço Geológico Brasileiro. 2001. *Mapa geológico da América do Sul*. Escala 1:5 000 000.

CPRM. Serviço Geológico Brasileiro. 2005. *Mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Superintendência Regional de Porto Alegre. Escala 1:750.000

CPRM. Serviço Geológico Brasileiro. 2006. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Superintendência Regional de Porto Alegre. Escala 1:750.000

CPRM. Serviço Geológico Brasileiro. 2008. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Rio de Janeiro, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 812p.

CPRM. Serviço Geológico Brasileiro. 2013. *Mapa hidrogeológico do Estado de Santa Catarina*. Porto Alegre, Superintendência Regional de Porto Alegre. Escala 1:500.000

CPRM. Serviço Geológico Brasileiro. 2014. *Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo: Nota técnica*. Recife, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 45p.

CPRM.Serviço Geológico Brasileiro. 2014. *Mapa geológico do Estado de Santa Catarina*. Porto Alegre, Superintendência Regional de Porto Alegre. Escala 1:500.000

Cunha, G.G. 2014. *Relação espacial da tectônica rúptil com a hidrogeoquímica e o potencial hidrogeológico do Sistema Aquífero Serra Geral na região do Alto Rio Uruguai, noroeste do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 96p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em

Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Erlank, A.J.; Marsh, J.S.; Duncan, A. R.; Miller, R. Mcg.; Hawkesworth, C.J.; Betton, P.J.; Rex, D.C. 1984. Geochemistry and petrogenesis of the Etendeka volcanic rocks from SWA/Namibia. *Special Publication of Geological Society of South Africa*, 13: 195-245.

Frank, H. T.; Gomes, M.E.B.; Formoso, M. L. L. 2009. Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, South America. *Pesquisas em Geociências (UFRGS)*, 36: 49-57.

Freitas, M. A. de; Caye, B. R.; Machado, J. L. F, 2002. *Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina - Projeto Oeste de Santa Catarina*. Porto Alegre: CPRM/SDM-SC/SDA-SC/EPAGRI, 100p.

Freitas, M. A. de; Roisenberg, A.; Cunha, G.G., 2011. Caracterização hidrogeoquímica preliminar das fontes termais da região do Alto Rio Uruguai-RS e SC. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA*, 13, 2011, Gramado, *Anais...* Gramado, SBGq, p.1057-1060.

Frumkin, H., Samet, J.M. 2011 Radon. *A Cancer Journal for Clinicians*, 51: 337-344.

Gordon Jr. M. 1947. Classificação das formações gonduânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Notas preliminares e estudos, Departamento Nacional da Produção Mineral, Departamento de Geologia e Mineralogia*, 38: 20.

Gunby, J. A., Darby, S.C., Miles, J.C., Green, B.M., Cox, D.R. 1993. Factors affecting indoor radon concentrations in the United Kingdom. *Health Phys*, 64: 2-12.

Hartmann, L. A. ; Antunes, L. M. ; Rosenstengel, L. M. 2014. Stratigraphy of amethyst geode-bearing lavas and fault-block structures of the Entre Rios mining district, Paraná volcanic province, southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências (Impresso)*, 86: 187-198.

Henshaw, D. L. 1991. Radon. *Structural Survey*, 9 (2): 145 – 151.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. *Mapa Político do Estado do Rio Grande do Sul*. Diretoria de Geociências. Escala 1:1.000.000

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. *Mapa Político do Estado de Santa Catarina*. Diretoria de Geociências. Escala 1:800.000

Igarashi, G., Saeki, S., Takahata, N., Sumikawa, K., Tasaka, S., Sasaki, Y., Takahashi, M., Sana, Y. 1995. Ground-Water Radon Anomaly Before the Kobe Earthquake in Japan. *Science*, 269: 60-61.

Machado, J. L. F. 2005. *Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema aquífero Guarani no Rio Grande do Sul*. São Leopoldo, 237p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Machado, J. L. F. 2011. Legenda hidrogeológica e unidades hidroestratigráficas do mapa hidrogeológico de Santa Catarina. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. *Anais...* Maceió, ABRH, 18p.

Machado, J. L. F.; Freitas, M. A. de. 2000. Hidroquímica do Aquífero Serra Geral no Oeste de Santa Catarina. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, 2000. *Anais..* Fortaleza, 2000.[S.n.]

Mishra, R., Orlando, C., Tomasino, L., Tonnarini, S. and Trevisi, R. 2005. A better understanding of the background of CR-39 detectors. *Radiation Measurements*, 40: 325-328.

Nanni, A. S. 2008. *O flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico*. Porto Alegre, 127p.

Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Nazaroff, W.W., Nero Jr., A.V.1988. Radon and its decay products in indoor air. *John Wiley& Sons*, New York.

OMS/WHO. Organização Mundial da Saúde.2006. Guidelines for drinking water quality: first addendum to third edition: Recommendations. Geneva, WHO, 595p.

Reginato, P.A.R. & Strieder, A.J. Caracterização hidroquímica dos aquíferos fraturados da Formação Serra Geral na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 13, Cuiabá, 2004.*Anais...* Cuiabá: ABAS, 2004. [S.n.]

Roisenberg, A.; Viero, A. P. 2000. O vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. *In: Holz, M.; De Ros, L.F. 2000. Geologia o Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFRGS. 355-374p.

Sakoda, A., Ishimori, Y., Yamaoka, K. 2011. A comprehensive review of radon emanation measurements for mineral, rock, soil, mil tailing and fly ash. *Applied Radiation and Isotopes*, 60: 1422-1435.

Santos, C. E. L. dos. 2008. *Determinação dos Processos de Enriquecimento e das Concentrações de Radônio em Minas Subterrâneas de Fluorita e Carvão do Estado de Santa Catarina: Critérios para Avaliação dos Riscos Radiológicos*. Porto Alegre, 125p. Dissertação mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Soares, A. P.; Soares, P. C., Holz, M. 2008. Heterogeneidades hidroestratigráficas no Sistema Aquífero Guarani. *Revista brasileira de geociência*, 38 (4): 598-617.

Soares, A. P.; Soares, P. C., Holz, M. 2008. Correlações estratigráficas conflitantes no limite permo-triássico no sul da Bacia do Paraná: o contato

entre duas seqüências e implicações na configuração espacial do Aquífero Guarani. *Revista Pesquisas em Geociências*, 35 (2): 115-133.

Tommasino, L. 1980 The present state of track etch processes in radiation dosimetry. *Radiation Protection Dosimetry, Nuclear Technology Publishing*, 34(1/4): 1-4.

Warren, L.V.; Almeida, R. P. de; Hachiro, J.; Machado, R.;Roldan, L.F.; Steiner, S. dos S.; Chamani, M. A.C., 2008. Evolução sedimentar da Formação Rio do Rasto (Permo-Triássico da Bacia do Paraná) na porção centro sul do Estado de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 38 (2 - suplemento): 213-227