

# ESTUDO DE VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO E ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NAS ÁREAS DE AFLORAMENTO

## RELATÓRIO FINAL | TOMO I

Resultados e Estratégias de Proteção do SAG nas áreas de afloramento obtidos a partir de estudos realizados na escala 1:250.000 nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás



© 2014, Agência Nacional de Águas – ANA  
Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L e M  
CEP: 70610-200, Brasília - DF  
PABX: 2109-5400 / 2109-5252  
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Equipe:

#### Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização

Adriana Niemeyer Pires Ferreira (ANA)	Everton Luiz da Costa Souza (IAP-PR)	Angélica Haralampidou (IMASUL-MS)
Leonardo de Almeida (ANA)	Jurandir Boz Filho (IAP-PR)	Cleuza Gomes Viana (IMASUL-MS)
Ellen Bassan Beneduzzi (SEMA-RS)	Emílio Carlos Prandi (DAEE-SP)	Lilian Apoitia (SEMA-MT)
Rejane B. de Abreu e Silva (SEMA-RS)	Mara Akie Iritani (IG-SP)	Renato Blat Miglorini (UFMT-MT)
Edison Pereira de Lima (SDS-SC)	Maricene Menezes de O. Paixão (IGAM-MG)	Hugo T. Soares (SEMARH-GO)
Fabio Zandonai (SDS-SC)	Maria Goretti Haussman (IGAM-MG)	Diogo Lourenço Segatti (SEMARH-GO)

#### Elaboração e Execução – Engecorps

Marcos Oliveira Godoi – Diretor Técnico  
Maria Bernadete Sousa Sender – Coordenação Geral

#### Membros da Equipe Técnica Executora

Flávio de Paula e Silva – Coordenador Técnico

Andresa Oliva	Ualfrido del Carlo Junior	Rafael Assad Luz
Marcia Regina Stradioto	Chang Hung Kiang	Marcos Alexandre Polzin
Gerardo Verolavsky	Osmar Sinelli	Eduardo Kohn
Flávio Almeida da Silva	Roger Dias Gonçalves	Milena Mariano dos Santos
Daniel Klein	Pedro Henrique D. Delmont	Francisco M. W. Tognoli
Christiane Spörl	Talita Filomena Silva	Alberto Manganelli
Aída Maria Pereira Andrezza	Henrique A. de A. Ramos	Ana Paula Ferrareze
Maria Luiza Granziera	Sibele Lima Dantas	Natalie Aubet

Todos os direitos reservados

Segundo Contrato nº 10/ANA/2012, Cláusula Terceira, Inciso II, item i) Segundo o Contrato é vedada a divulgação de informações a terceiros ou a realização de publicidade acerca do Contrato, salvo expressa autorização da CONTRATANTE;

<b>A265e</b>	Agência Nacional de Águas (Brasil). Estudo de vulnerabilidade natural à contaminação e estratégias de proteção do sistema Aquífero Guarani nas áreas de afloramento: Relatório Final / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2014. Publicado em 2016.  1p.  1. Recursos Hídricos – Contaminação 2. Aquífero Guarani 3. Águas Subterrâneas - Gestão I. Título  <b>CDU 556.33</b>
--------------	---

## **República Federativa do Brasil**

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Vice-Presidente da República no Exercício do Cargo de Presidente da República

## **Ministério do Meio Ambiente**

Sarney Filho

Ministro

## **Agência Nacional de Águas**

### **Diretoria Colegiada**

Vicente Andreu (Diretor-Presidente)

Paulo Lopes Varella Neto

João Gilberto Lotufo Conejo

Gisela Damm Forattini

Ney Maranhão

## **Superintendência de Implementação de Programas e Projetos**

Ricardo Medeiros de Andrade

Tibério Magalhães Pinheiro

## **Coordenação de Águas Subterrâneas**

Fernando Roberto de Oliveira

Adriana Niemeyer Pires Ferreira (Gestora)

Leonardo de Almeida (Gestor Substituto)

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso

Flávio Soares do Nascimento

Letícia Lemos de Moraes

Márcia Tereza Pantoja Gaspar

Marco Vinicius Castro Gonçalves

**AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS**  
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

**Estudo de Vulnerabilidade Natural à  
Contaminação e Estratégias de Proteção do  
Sistema Aquífero Guarani nas Áreas de  
Afloramento**

*RELATÓRIO FINAL*

*TOMO I*

ENGECORPS ENGENHARIA S.A.

**Brasília – DF**  
**ANA**

© 2016, Agência Nacional de Águas – ANA

Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L e M

CEP: 70610-200, Brasília - DF

PABX: 2109-5400 / 2109-5252

Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Equipe:

#### Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização

Adriana Niemeyer Pires Ferreira (ANA)	Everton Luiz da Costa Souza (IAP-PR)	Angélica Haralampidou (IMASUL-MS)
Leonardo de Almeida (ANA)	Jurandir Boz Filho (IAP-PR)	Cleuza Gomes Viana (IMASUL-MS)
Ellen Bassan Beneduzzi (SEMA-RS)	Emílio Carlos Prandi (DAEE-SP)	Lilian Apoitia (SEMA-MT)
Rejane B. de Abreu e Silva (SEMA-RS)	Mara Akie Iritani (IG-SP)	Renato Blat Miglorini (UFMT-MT)
Edison Pereira de Lima (SDS-SC)	Maricene Menezes de O. Paixão (IGAM-MG)	Hugo T. Soares (SEMARH-GO)
Fabio Zandonai (SDS-SC)	Maria Goretti Haussman (IGAM-MG)	Diogo Lourenço Segatti (SEMARH-GO)

#### Elaboração e Execução – Engecorps

Marcos Oliveira Godoi – Diretor Técnico

Maria Bernadete Sousa Sender – Coordenação Geral

#### Membros da Equipe Técnica Executora

Flávio de Paula e Silva – Coordenador Técnico

Andresa Oliva	Ualfrido del Carlo Junior	Rafael Assad Luz
Marcia Regina Stradioto	Chang Hung Kiang	Marcos Alexandre Polzin
Gerardo Verolavsky	Osmar Sinelli	Eduardo Kohn
Flávio Almeida da Silva	Roger Dias Gonçalves	Milena Mariano dos Santos
Daniel Klein	Pedro Henrique D. Delmont	Francisco M. W. Tognoli
Christiane Spörl	Talita Filomena Silva	Alberto Manganelli
Aída Maria Pereira Andrezza	Henrique A. de A. Ramos	Ana Paula Ferrareze
Maria Luiza Granziera	Sibele Lima Dantas	Natalie Aubet

Todos os direitos reservados

Segundo Contrato nº 10/ANA/2012, Cláusula Terceira, Inciso II, item i) Segundo o Contrato é vedada a divulgação de informações a terceiros ou a realização de publicidade acerca do Contrato, salvo expressa autorização da CONTRATANTE;

<b>A265e</b>	Agência Nacional de Águas (Brasil). Estudo de vulnerabilidade natural à contaminação e estratégias de proteção do sistema Aquífero Guarani nas áreas de afloramento: Relatório Final – Tomo I / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2016.  339p.  1. Recursos Hídricos – Contaminação 2. Aquífero Guarani 3. Águas Subterrâneas - Gestão I. Título  <b>CDU 556.33</b>
--------------	---

---

## SUMÁRIO

---

### **TOMO I**

#### APRESENTAÇÃO

1. INTRODUÇÃO
2. ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVAS
3. ATIVIDADES REALIZADAS
4. ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG EM ESCALA 1:250.000
5. ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG
6. CONCLUSÕES
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### **TOMO II**

#### APRESENTAÇÃO

1. ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)
2. ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE
3. CONCLUSÕES
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### **TOMO III**

#### APRESENTAÇÃO

1. ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ (RS)
2. ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ
3. CONCLUSÕES
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### **TOMO IV**

1. PRINCIPAIS MAPAS TEMÁTICOS

**SUMÁRIO**  
**TOMO I**

	<b>PÁG.</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
<b>2. ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVAS.....</b>	<b>9</b>
<b>3. ATIVIDADES REALIZADAS.....</b>	<b>10</b>
<b>4. ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG NA ESCALA 1:250.000.....</b>	<b>13</b>
4.1 MAPEAMENTO GEOLÓGICO .....	17
4.2 CADASTRO DE POÇOS .....	51
4.2.1 <i>Consolidação de informações Preexistentes.....</i>	<i>51</i>
4.2.2 <i>Cadastro de novos poços .....</i>	<i>58</i>
4.3 MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA .....	64
4.3.1 <i>Metodologia do Mapeamento de Uso e Ocupação da Terra.....</i>	<i>64</i>
4.3.2 <i>Análise do Uso e Ocupação da Terra .....</i>	<i>78</i>
4.4 CADASTRO DE FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO .....	84
4.4.1 <i>Fontes potenciais pontuais de contaminação .....</i>	<i>84</i>
4.4.2 <i>Fontes potenciais difusas de contaminação .....</i>	<i>99</i>
4.5 HIDROQUÍMICA DO SAG.....	104
4.5.1 <i>Resultados das análises hidroquímicas .....</i>	<i>110</i>
4.5.2 <i>Análise estatística multivariada.....</i>	<i>114</i>
4.5.3 <i>Classificação das águas subterrâneas .....</i>	<i>120</i>
4.5.4 <i>Parâmetros hidroquímicos acima dos Valores Máximos Permitidos .....</i>	<i>132</i>
4.5.5 <i>Parâmetros específicos .....</i>	<i>132</i>
4.5.6 <i>Comentários acerca da hidroquímica do SAG aflorante .....</i>	<i>152</i>
4.6 MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO.....	154
4.6.1 <i>Método para Elaboração do Mapa Hidrogeológico.....</i>	<i>154</i>
4.6.2 <i>Potenciometria do SAG Aflorante do Estado do Rio Grande do Sul .....</i>	<i>159</i>
4.6.3 <i>Potenciometria do SAG Aflorante do Estado de Santa Catarina .....</i>	<i>162</i>
4.6.4 <i>Potenciometria do SAG Aflorante do Estado do Paraná .....</i>	<i>164</i>
4.6.5 <i>Potenciometria do SAG Aflorante do Estado de Minas Gerais .....</i>	<i>166</i>
4.6.6 <i>Potenciometria do SAG Aflorante no compartimento noroeste .....</i>	<i>168</i>
4.6.7 <i>Comentários Gerais sobre os Aspectos Hidrogeológicos do SAG.....</i>	<i>172</i>
4.7 MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL.....	174
4.7.1 <i>Método para Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante .....</i>	<i>175</i>
4.7.2 <i>Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado do Rio Grande do Sul .....</i>	<i>178</i>
4.7.3 <i>Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado de Santa Catarina.....</i>	<i>179</i>
4.7.4 <i>Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado do Paraná .....</i>	<i>182</i>
4.7.5 <i>Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado de Minas Gerais .....</i>	<i>182</i>
4.7.6 <i>Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado do Mato Grosso do Sul.....</i>	<i>185</i>

4.7.7	Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado do Mato Grosso .....	185
4.7.8	Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado de Goiás .....	188
4.8	MAPEAMENTO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO .....	190
4.8.1	Método para Elaboração do Mapa de Classificação de Fontes Pontuais de Contaminação do SAG .....	191
4.8.2	Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado do Rio Grande do Sul .....	194
4.8.3	Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado de Santa Catarina.....	194
4.8.4	Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado do Paraná .....	197
4.8.5	Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado de Minas Gerais .....	197
4.8.6	Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado de Mato Grosso do Sul.....	197
4.8.7	Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado de Mato Grosso .....	197
4.8.8	Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado de Goiás .....	197
4.8.9	Método para Elaboração do Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas ...	203
4.8.10	Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado do Rio Grande do Sul .....	205
4.8.11	Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado de Santa Catarina ...	207
4.8.12	Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado do Paraná.....	207
4.8.13	Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado de Minas Gerais .....	210
4.8.14	Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado do Mato Grosso do Sul .....	210
4.8.15	Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado do Mato Grosso .....	213
4.8.16	Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado de Goiás .....	213
4.8.17	Análise Geral do Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas .....	216
<b>5.</b>	<b>ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG .....</b>	<b>218</b>
5.1	DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÕES.....	218
5.1.1	Workshops Realizados .....	218
5.1.2	Propostas de Ações de Educação Ambiental.....	220
5.2	GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, MEIO AMBIENTE E USO DO SOLO NO TERRITÓRIO DE ABRANGÊNCIA DO SAG .....	222
5.2.1	O Uso e Ocupação da Terra nas Áreas de Afloramento do SAG .....	222
5.2.2	Proposição de Alternativas para a Consolidação das Unidades de Conservação .....	227
5.2.3	Ações para Proteção de Mananciais Subterrâneos .....	228
5.2.4	Diretrizes para Controle da Contaminação das Águas Subterrâneas .....	229
5.2.5	Diretrizes para Classificação de Atividades Poluidoras .....	233
5.3	ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE.....	234



---

5.4	PROPOSIÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO DE AQUÍFEROS.....	238
5.4.1	<i>Identificação e Delimitação das Áreas de Proteção do SAG</i> .....	238
5.4.2	<i>Diretrizes Específicas para as Áreas de Proteção do Aquífero</i> .....	250
5.5	PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO.....	266
5.6	DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE NORMAS PARA PROTEÇÃO DO SAG.....	274
5.6.1	<i>Embasamento Legal e Conceitual</i> .....	274
5.6.2	<i>Diretrizes Propostas</i> .....	311
5.7	BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADO .....	322
5.7.1	<i>Poços</i> .....	323
5.7.2	<i>Fontes Potenciais de Contaminação</i> .....	323
5.7.3	<i>Uso e Ocupação da Terra e Hidroquímica</i> .....	323
5.7.4	<i>Modelo de Dados</i> .....	324
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>326</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>330</b>
	<b>ANEXO I – MAPA HIDROGEOLÓGICO DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG</b> .....	<b>1</b>

---

## **APRESENTAÇÃO**

O **Relatório Final** do Estudo de Vulnerabilidade Natural à Contaminação e Estratégias de Proteção do Sistema Aquífero Guarani nas Áreas de Afloramento apresenta os principais resultados dos trabalhos desenvolvidos no âmbito do Contrato Nº 10/ANA/2012, adjudicado pela Agência Nacional de Águas – ANA – à ENGEORPS ENGENHARIA S.A..

Trata da Consolidação dos estudos realizados, apresentados nos oito Relatórios Parciais definidos pelos Termos de Referência que orientaram o desenvolvimento dos trabalhos, além da Nota Técnica de Hidroquímica elaborada sobre esse tema específico.

O relatório está estruturado em 04 Tomos, sendo um para a apresentação geral dos resultados obtidos para a área de afloramento do SAG no Brasil, envolvendo oito estados, em escala regional, e dois tomos focados em resultados em escala maior de duas áreas piloto definidas anteriormente no citado Termo de Referência. O quarto e último tomo mostra os principais resultados obtidos nos citados Termos de Referência que podem ser representados em formato de mapas, tal como descrito a seguir:

- ✓ **TOMO I** – Resultados e Estratégias de Proteção do SAG nas áreas de afloramento obtidos a partir de estudos realizados na escala 1:250.000 nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais.
- ✓ **TOMO II** – Resultados e Estratégias de Proteção do SAG obtidos a partir de estudos realizados na escala 1:50.000 na área piloto de São Gabriel do Oeste – MS.
- ✓ **TOMO III** – Resultados e Estratégias de Proteção do SAG obtidos a partir de estudos realizados na escala 1:50.000 na área piloto de São Sebastião do Caí – RS.
- ✓ **TOMO IV** – Principais Mapas Temáticos.

O presente caderno constitui o Tomo I.

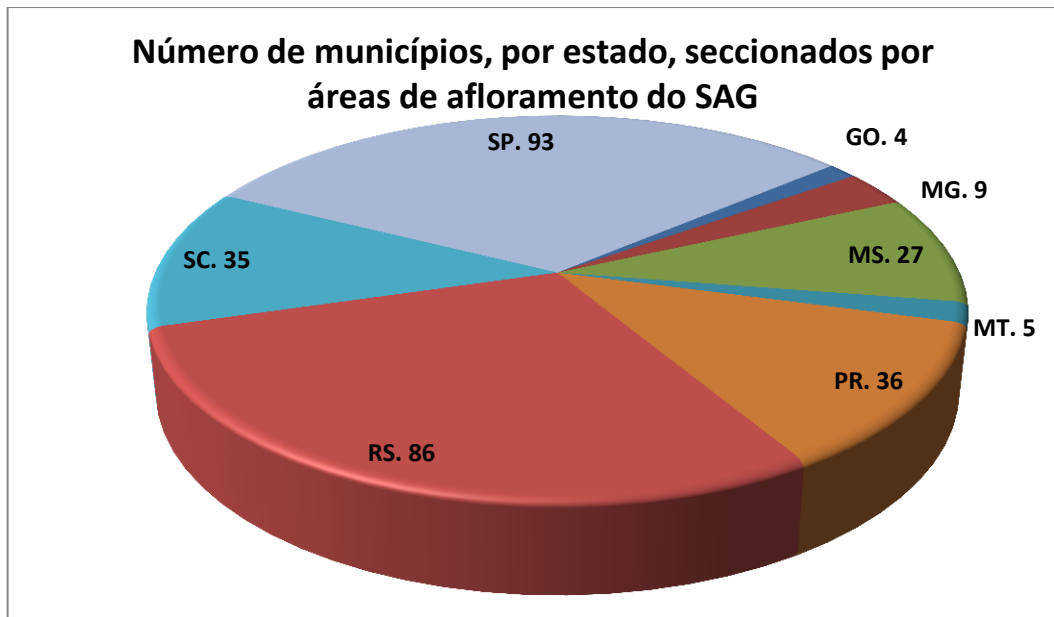
## 1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório, apresentam-se os objetivos e o escopo dos estudos realizados, contemplando as principais etapas metodológicas desenvolvidas.

O objetivo deste estudo foi realizar uma avaliação regional da vulnerabilidade natural do SAG à contaminação, bem como definir o perigo de contaminação, estabelecendo uma base técnica para o planejamento das ações e medidas de proteção e controle das águas subterrâneas, constituindo uma referência de apoio à decisão para os órgãos gestores. O projeto também visou melhorar os cadastros de poços existentes, detalhar a caracterização hidroquímica, propor perímetros de proteção de poços e estabelecer diretrizes e orientações para a exploração das águas subterrâneas nas áreas de afloramento, além de contribuir com a proposta de seleção de poços para integrar a Rede de Monitoramento do SAG.

O estudo, iniciado em maio de 2012 e com duração inicialmente de 24 meses, com aditivo de prazo de 6 meses, foi desenvolvido na escala 1:250.000 em toda a área de afloramento do SAG distribuída nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, e na escala 1:50.000 em duas áreas piloto localizadas, respectivamente, nas regiões de São Gabriel do Oeste (MS) e de São Sebastião do Caí (RS).

O Estado de São Paulo não foi contemplado neste estudo, exceto com a atividade de mapeamento de uso da terra, uma vez que já dispunha de estudo similar, denominado Diagnóstico Ambiental para Subsídio ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do SAG, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas e coordenado pela Secretaria de Meio Ambiente, finalizado em 2010. Todavia, os produtos gerados neste estudo foram compatibilizados com os temas e metodologias, utilizados neste estudo compatível com o Sistema de Informações do SAG – SISAG, desenvolvido no âmbito do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (PSAG). A Figura 1.1 apresenta o número de municípios, por estado, seccionados por áreas de afloramento do SAG, nesse caso, incluindo o estado de São Paulo. Entretanto, em função de algumas especificidades não previstas quando da elaboração dos TDRs desse estudo não foi possível incorporar as informações produzidas pela SMA (2010). Estas "especificidades" serão apresentadas ao longo deste Tomo.



*Figura 1.1 – Número de municípios, por estado, seccionados por áreas de afloramento do SAG.*

Do mesmo modo que no projeto PSAG, áreas isoladas e desconectadas dos corpos principais do SAG não foram consideradas neste estudo, como por exemplo, a região da Chapada dos Guimarães, no Mato Grosso.

Neste Tomo I são apresentados os resultados do Estudo de Vulnerabilidade Natural à Contaminação e Estratégias de Proteção do SAG nas Áreas de Afloramento, realizados na escala 1:250.000 nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, obtidos com o desenvolvimento das etapas metodológicas a seguir listadas: i) mobilização, planejamento e detalhamento das ações previstas; ii) avaliação do meio físico, hidrogeológico e hidroquímico; iii) avaliação da contaminação das águas subterrâneas; e iv) formulações de estratégias de proteção das águas subterrâneas do SAG.

## 2. ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVAS

Constituem diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, instituída por intermédio da Lei nº 9.433/97, a gestão sistemática dos recursos hídricos sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade, assim como entre as distintas fases do ciclo hidrológico, ou seja, entre águas subterrâneas e superficiais e a articulação da gestão com o uso da terra frente às diversas atividades antrópicas.

Como um dos órgãos responsáveis pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Águas – ANA põe em prática, desde 2007, a Agenda Nacional de Águas Subterrâneas com o objetivo de fortalecer a gestão integrada de águas subterrâneas e superficiais no país e, sobretudo, dotar os órgãos gestores de recursos hídricos estaduais de conhecimento hidrogeológico, técnico-gerencial e de capacitação específica em águas subterrâneas, de forma que possam desempenhar, adequadamente, a gestão sistêmica e integrada dos recursos hídricos.

Com base em ações de gestão propostas no âmbito do Programa Estratégico de Ação – PEA, instrumento de planejamento que visa promover a gestão coordenada e sustentável das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani – SAG (OEAA, 2009), elaborado pelos países participantes do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (PSAG), e potencializando a implementação do Programa Nacional de Águas Subterrâneas – PNAS, a ANA propôs a realização do projeto Estudo de Vulnerabilidade Natural à Contaminação e Estratégias de Proteção do SAG nas Áreas de Afloramento desse importante reservatório hídrico subterrâneo.

Os dados existentes antes do desenvolvimento do presente estudo indicam que o Sistema Aquífero Guarani possui uma extensão de 1.087.879,15 km<sup>2</sup>, dos quais 87.401 km<sup>2</sup> se encontram aflorantes no Brasil, apresentando grande “susceptibilidade” de serem afetadas por atividades antrópicas em função de suas características geológicas e hidrogeológicas (adaptado de Chang, 2001).

Estas áreas de afloramento coincidem em muitos casos com lugares de intenso uso e ocupação do solo, seja urbano, industrial ou agrícola, gerando pressões do ponto de vista qualitativo (fontes potenciais de contaminação) e quantitativo (demandas crescentes de água).

Tendo em vista tal situação e a importância do SAG como reserva hídrica estratégica, a ANA considerou oportuna a realização de estudos desenvolvidos em escala de maior resolução, de modo a fornecer o aprofundamento da base técnica disponível para o planejamento de ações e medidas de proteção e controle das águas subterrâneas em toda a área de afloramento do SAG, bem como para auxiliar o ordenamento territorial regional e/ou local.

É importante ressaltar a importância do projeto anterior – PSAG, que produziu vários resultados, dentre os quais diversos mapas temáticos na área de hidrogeologia na escala 1:3.000.000, além de mapas em escala mais detalhada nos projetos-piloto e modelos conceituais e matemáticos de fluxo.

### 3. ATIVIDADES REALIZADAS

Segundo os Termos de Referência (TDRs) constantes da Concorrência nº 004/ANA/2011, o projeto Estudo de Vulnerabilidade Natural à Contaminação e Estratégias de Proteção do SAG nas Áreas de Afloramento compreendeu quatro etapas principais divididas em 46 atividades específicas e ainda 23 subatividades, conforme discriminadas no Quadro 3.1. Estas atividades, por sua vez, integraram oito relatórios parciais de acompanhamento e um relatório final de consolidação do estudo.

O presente Tomo I reúne os resultados obtidos com o desenvolvimento das atividades realizadas na escala 1:250.000, nas áreas de afloramento do SAG, a seguir listadas:

- ✓ Mapeamento geológico;
- ✓ Cadastro de poços;
- ✓ Mapa de uso e ocupação da terra;
- ✓ Cadastro de fontes potenciais de contaminação pontuais e difusas;
- ✓ Análises químicas de amostras de água do SAG;
- ✓ Mapeamento hidrogeológico;
- ✓ Mapeamento da vulnerabilidade natural;
- ✓ Mapeamento do perigo de contaminação;
- ✓ Estratégias de proteção das águas subterrâneas do SAG.

**QUADRO 3.1 – DISCRIMINAÇÃO DAS ETAPAS PRINCIPAIS E ATIVIDADES ESPECÍFICAS  
RELACIONADAS**

<i>Etapa/Atividade</i>	<i>Descrição</i>
<b>Etapa I</b>	<b>Mobilização, planejamento e detalhamento das ações previstas</b>
Atividade I.1	Mobilização da equipe técnica e de recursos físicos e humanos
Atividade I.2	Reunião inicial de planejamento com a ANA
Atividade I.3	Detalhamento do planejamento técnico e físico de cada atividade
Atividade I.4	Elaboração de Relatório Parcial – RP 01
Atividade I.5	Entrega de Relatório Parcial 01 – RP 01
<b>Etapa II</b>	<b>Avaliação do meio físico, hidrogeológica e hidroquímica</b>
Atividade II.1	Levantamento e análise de dados bibliográficos e cartográficos
Atividade II.2	Sistematização dos dados
Atividade II.3	Elaboração de Relatório Parcial – RP 02
Atividade II.4	Entrega de Relatório Parcial 02 – RP 02
Atividade II.5	Mapeamento geológico das áreas de afloramento
Atividade II.5.1	Interpretação de imagens de satélite e fotografias aéreas
Atividade II.5.2	Mapeamento geológico em campo
Atividade II.6	Cadastro de poços nas áreas de afloramento
Atividade II.6.1	Consolidação das informações preexistentes
Atividade II.6.2	Cadastro de novos poços
<b>Etapa III</b>	<b>Avaliação da contaminação das águas subterrâneas</b>
Atividade III.1	Cadastro de fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas
Atividade III.1.1	Fontes pontuais
Atividade III.1.2	Fontes difusas > 50 hectares
Atividade III.2	Mapa de fontes potenciais de contaminação
Atividade III.3	Elaboração de Relatório Parcial – RP 03 (RP 03A e RP 03B)
Atividade III.4	Entrega de Relatório Parcial 03 – RP 03 (RP 03A e RP 03B)
Atividade III.5	Mapa de uso e ocupação da terra
Atividade III.6	Eleição de uma rede de poços para medições quantitativas e qualitativas
Atividade III.7	Geofísica em São Gabriel do Oeste (MS)
Atividade III.7.1	Investigação geofísica
Atividade III.7.2	Eletroresistividade – Sondagens Elétricas Verticais (SEVs) e Caminhamento Elétrico
Atividade III.8	Elaboração de Relatório Parcial – RP 04 (RP 04A e RP 04B) (parcial)
Atividade III.9	Entrega de Relatório Parcial 4 – RP 04 (RP 04A e RP 04B) (parcial)
Atividade III.10	Mapeamento hidrogeológico das áreas de afloramento
Atividade III.11	Campanha de coleta de amostras de água e parâmetros– primeira campanha
Atividade III.11.1	Análise de elementos físicos e químicos
Atividade III.12	Interpretação da geofísica de São Gabriel do Oeste, mapas de isópacas e de contorno estrutural
Atividade III.13	Estrutura do banco de dados do cadastro de poços e de fontes potenciais de contaminação
Atividade III.14	Elaboração de Relatório Parcial – RP 05
Atividade III.15	Entrega de Relatório Parcial 05 – RP 05
Atividade III.16	Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação
Atividade III.17	Campanha de coleta de amostras de água e parâmetros – segunda campanha
Atividade III.17.1	Análise de elementos físicos e químicos
Atividade III.17.2	Análise de derivados de petróleo (BTEX)
Atividade III.17.3	Análise de agroquímicos
Atividade III.17.4	Análise de metais pesados
Atividade III.17.5	Análise de isótopos (Oxigênio ( <sup>18</sup> O), Deutério ( <sup>2</sup> H), Trítio ( <sup>3</sup> H) e Estrôncio ( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr))

Continua...

**QUADRO 3.1 – DISCRIMINAÇÃO DAS ETAPAS PRINCIPAIS E ATIVIDADES ESPECÍFICAS  
RELACIONADAS**

<b>Etapa/Atividade</b>	<b>Descrição</b>
Atividade III.17.6	Análise de coliformes fecais e coliformes totais
Atividade III.18	Balanco hídrico na área piloto de São Gabriel do Oeste (balanço hídrico na área de contribuição da Bacia do Rio Coxim)
Atividade III.19	Áreas piloto de São Sebastião do Caí (RS) e São Gabriel do Oeste (MS)
Atividade III.19.1	Mapa potenciométrico e modelo conceitual das áreas-piloto
Atividade III.20	Elaboração de Relatório Parcial – RP 06
Atividade III.21	Entrega de Relatório Parcial 06 – RP 06
Atividade III.22	Mapeamento do perigo de contaminação
Atividade III.23	Interpretação dos resultados das análises de água
Atividade III.24	Caracterização hidrogeoquímica
<b>Etapa IV</b>	<b>Formulações de estratégias de proteção das águas subterrâneas do SAG</b>
Atividade IV.1	Estratégias de proteção das águas subterrâneas
Atividade IV.1.1	Proposta de inserção de poços na rede de monitoramento do SAG
Atividade IV.2	Workshops de consolidação das estratégias
Atividade IV.3	Elaboração de Relatório Parcial – RP 07
Atividade IV.4	Entrega de Relatório Parcial 07 – RP 07
Atividade IV.5	Áreas de proteção de aquíferos, perímetros de proteção de poços de abastecimento e áreas de restrição e controle do uso da água subterrânea.
Atividade IV.6	Atividades específicas das áreas-piloto
Atividade IV.6.1	Área Piloto no Rio Grande do Sul - São Sebastião do Caí
Atividade IV.6.2	Área Piloto no Mato Grosso do Sul - São Gabriel do Oeste
Atividade IV.7	Banco de dados de poços, fontes de contaminação e análises e SIG
Atividade IV.8	Elaboração de Relatório Parcial – RP 08
Atividade IV.9	Relatório Parcial 08 – RP08
Atividade IV.10	Elaboração de Relatório Final
Atividade IV.11	Entrega do Relatório Final



#### 4. ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG NA ESCALA 1:250.000

O Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (PSAG) reuniu, compilou e sistematizou o conhecimento hidrogeológico existente, até então, sobre um dos maiores aquíferos transfronteiriços do mundo, além de proporcionar a aquisição de novos dados. Anteriormente ao desenvolvimento do projeto, o aquífero era conhecido no Brasil como Botucatu, denominação recebida em razão de boa parte de suas rochas-reservatório estarem contidas na unidade estratigráfica homônima – Formação Botucatu, conforme Soares *et al.* (1973) e Soares (1975) – ainda que em sentido mais amplo o aquífero incluísse também os reservatórios encerrados na Formação Pirambóia.

Segundo Rebouças & Amore (2002), Sistema Aquífero Guarani ou simplesmente SAG foi a denominação proposta – e aceita pela comunidade de pesquisadores – pelo geólogo uruguaio Danilo Anton, em 1996, para a unidade hidrogeológica da bacia sedimentar do Paraná/Chaco-Paraná composta pelos arenitos eólicos de idade jurássica e depósitos flúvio-lacustres de idade triássica que ocorrem sob os derrames de rochas vulcânicas de idade jurássico superior e cretáceo inferior. A partir daí, a denominação SAG passou a vigorar por exprimir mais apropriadamente este aquífero de características transfronteiriças.

O SAG está inserido na Bacia Geológica do Paraná, unidade intracratônica com cerca de 1.400.000 km<sup>2</sup> que ocupa a parte meridional do Brasil, desenvolvida completamente sobre crosta continental da Plataforma Sul-Americana e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas com idades variando entre o Ordoviciano e o Cenozoico (Milani, 1997). Nesta ampla sinéclise se instalaram diversos sítios deposicionais, cujas geometrias e limites variaram de forma considerável ao longo de sua evolução, com alternância de períodos favoráveis à acumulação de sedimentos e períodos erosivos ou não deposicionais (Zalán *et al.*, 1990). Sua espessura máxima alcança cerca de 7.000 metros de rochas sedimentares e ígneas basálticas, atestada por perfurações de poços para prospecção de petróleo.

Este importante aquífero do continente sul-americano está localizado entre os paralelos 16° S e 32° S e os meridianos 47° W e 60° W, e estende-se por área de cerca de 738.000 km<sup>2</sup> no Brasil (Figura 4.1), distribuídas nos estados do Rio Grande do Sul (155.000km<sup>2</sup>), Santa Catarina (44.000 km<sup>2</sup>), Paraná (120.000 km<sup>2</sup>), São Paulo (143.000 km<sup>2</sup>), Minas Gerais (38.500 km<sup>2</sup>), Mato Grosso do Sul (190.000 km<sup>2</sup>), Mato Grosso (7.200 km<sup>2</sup>) e Goiás (40.000 km<sup>2</sup>). Sua área de ocorrência avança também para Argentina (228.000 km<sup>2</sup>), Paraguai (88.000 km<sup>2</sup>) e Uruguai (36.000 km<sup>2</sup>).

A definição do pacote rochoso constituinte do Sistema Aquífero Guarani (SAG) sempre foi uma das questões mais debatidas entre os diversos pesquisadores, desde trabalhos pioneiros elaborados ainda na década de setenta até aqueles mais recentes produzidos anteriormente e durante o desenvolvimento do PSAG. Aquífero Botucatu (DAEE, 1974, 1976 e 1979; Gilboa *et al.*, 1976; Rebouças, 1976 e 1994) ou Aquífero Gigante do Mercosul (Araújo *et al.*, 1995) foram denominações utilizadas previamente à proposição do nome SAG.



Figura 4.1 - Localização do Sistema Aquífero Guarani na porção meridional do Continente Sul-Americano (SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL, 2006).

No estado de São Paulo, os estudos hidrogeológicos pioneiros realizados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (1974, 1976 e 1979), de meados da década de setenta até início da década de oitenta, já concebiam o Sistema Aquífero Botucatu como constituído de arenitos fluviais e eólicos, reunidos respectivamente nas formações Pirambóia e Botucatu, com base nas definições litoestratigráficas propostas por Soares *et al.* (1973) e Soares (1975).

Gilboa *et al.* (1976) denominaram de “Aquífero Botucatu” o pacote sedimentar depositado no intervalo Triássico a Jurássico (230 a 145 milhões de anos), de origem eólica e lacustre, coberto por derrames relativamente espessos de rochas basálticas, endossando a concepção utilizada nos trabalhos do DAEE.

Rebouças (1976), por sua vez, ampliou o intervalo temporal de abrangência do Sistema Aquífero Botucatu ao acrescentar as formações Santa Maria (Grupo Rosário do Sul) e Rio do Rasto (membros Morro Pelado e Serrinha) ao conjunto litoestratigráfico composto pelas formações Botucatu e Pirambóia.

Na década de noventa, Araújo *et al.* (1995) propuseram o nome “Aquífero Gigante do Mercosul” para designar o Sistema Hidroestratigráfico Mesozoico formado por rochas arenosas saturadas de água, subjacentes ao conjunto de rochas da Formação Serra Geral, compreendendo as unidades geológicas Pirambóia e Grupo Rosário do Sul, do Triássico, e a Formação Botucatu, do Jurássico.

Campos (2000) considerou o Sistema Aquífero Guarani constituído pelas formações Botucatu e Pirambóia no estado de São Paulo, mais as formações Guará, Santa Maria e Sanga do Cabral de ocorrência exclusiva no estado do Rio Grande do Sul, e a Formação Rio do Rasto (Membro Morro Pelado), ratificando o intervalo cronoestratigráfico de deposição dos sedimentos do SAG proposto por Rebouças (1976).

Com base em resultados de investigações regionais prévias versando sobre estratigrafia de sequências (p. ex., Giardin & Faccini, 2004), Machado (2005) definiu um arcabouço hidroestratigráfico para o SAG no Rio Grande do Sul distinguindo as unidades Botucatu, Guará, Caturrita, Santa Maria, Sanga do Cabral e Pirambóia. Como a Formação Pirambóia foi considerada neopermiana nestes estudos, o limite cronoestratigráfico inferior do SAG foi posicionado no Neopermiano.

No âmbito do PSAG e em concordância com a maioria dos pesquisadores participantes, o Sistema Aquífero Guarani foi definido como constituído pelo conjunto de rochas sedimentares mesozoicas continentais clásticas presentes na Bacia do Paraná, estando delimitado na base por discordância regional permotriássica (250 milhões de anos), e no topo pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral (145 a 130 milhões de anos).

O contato superior com a Formação Serra Geral pode ser localmente abrupto ou interdigitado com os primeiros derrames basálticos (Soares *et al.*, 1973), fato que causa alguma dificuldade no estabelecimento deste limite. Ainda segundo Soares *et al.* (1973), a continuidade do processo eólico durante as primeiras manifestações vulcânicas deu origem a numerosos corpos arenosos intertrapeanos. Por esta razão, Soares (1975) reconheceu que é difícil precisar se os magmatitos, aos quais se intercalam corpos arenosos, são intrusivos ou extrusivos e propôs, como critério, marcar o contato na base do primeiro derrame basáltico. Este critério, ainda que discutível, é operacional e facilita a delimitação do contato superior do SAG, principalmente quando estão disponíveis apenas dados de poços.

Segundo este autor, o contato inferior com as unidades paleozoicas da bacia se faz por discordância regional que separa unidades hidroestratigráficas justapostas, mas com características hidráulicas muito diferentes, como é o caso das formações Corumbataí, Teresina, Rio do Rasto e Sanga do Cabral.

Sob o enfoque da estratigrafia de sequências, que delimita unidades enfeixadas por discordâncias inter-regionais, os sedimentos do SAG inserem-se completamente na Sequência Triássica-Cretácea (Figura 4.2) de Zalán *et al.* (1987).

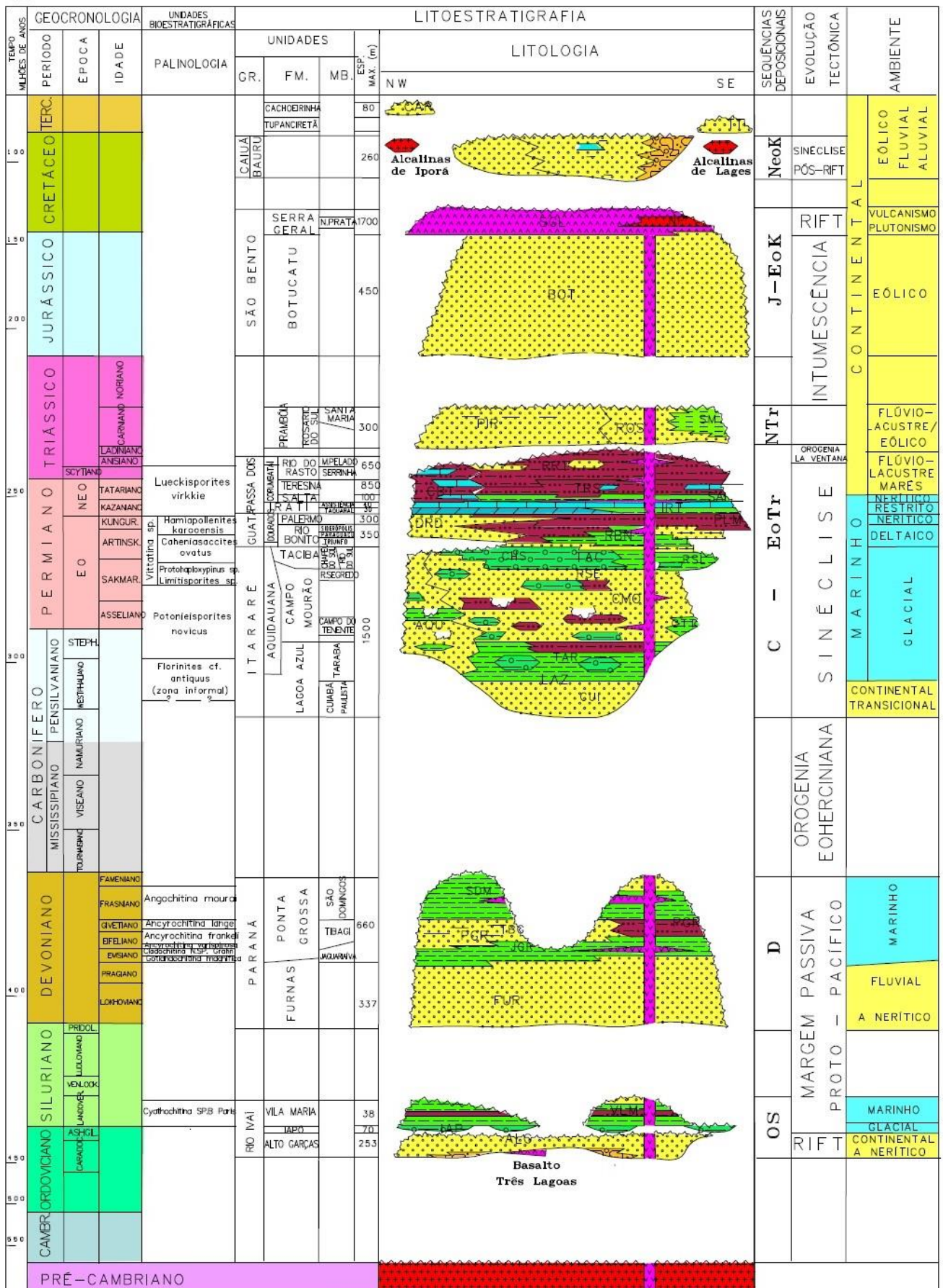


Figura 4.2 – Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná (Milani, 1993).

#### 4.1 MAPEAMENTO GEOLÓGICO

Os trabalhos de mapeamento geológico das áreas de afloramento do SAG, na escala 1:250.000, tiveram início em novembro de 2012, no Estado do Rio Grande do Sul. Previamente, foram desenvolvidos trabalhos de escritório compreendendo levantamento e análise bibliográfica, análise de mapeamentos anteriores elaborados por diversos órgãos, e interpretação de imagens de sensores remotos e de fotografias aéreas. Os levantamentos de campo seguiram orientações no sentido de atualizar dados produzidos pelo projeto PSAG.

Depois do estado do Rio Grande do Sul (RS), seguiram-se os levantamentos de campo na escala 1:250.000 das áreas de afloramento inseridas nos estados de Santa Catarina (SC), Paraná (PR), Minas Gerais (MG), Mato Grosso do Sul (MS), Mato Grosso (MT) e Goiás (GO), os quais foram finalizados em julho de 2013. Dos estados que abrangem áreas de afloramento do SAG, apenas em São Paulo não foram realizados levantamentos de campo, de acordo com diretrizes estabelecidas nos Termos de Referência (TDRs). Para o estado de São Paulo, foi determinado o aproveitamento do mapa geológico utilizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT na elaboração do Diagnóstico Ambiental para Subsídio ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo (SMA, 2010). Posteriormente, verificou-se que o mapa utilizado foi o concebido pela Universidade Júlio Mesquita Filho (UNESP), em Convênio com o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), na década de 80, e que estava disponível apenas em formato impresso, sendo necessária à sua digitalização o que foi feito no Laboratório de Estudos de Bacias (LEBAC), bem como sua conversão em formato *shape*. Entretanto, em virtude do tempo decorrido desde sua elaboração e do avanço no conhecimento geológico neste período, este mapa se encontra ultrapassado. Neste sentido, seria inadequada a sua compatibilização com o mapeamento produzido neste Estudo.

O PSAG (OEAb, 2009) delimitou área de 87.534 km<sup>2</sup> de afloramentos do SAG no Brasil, assim distribuída: 23.754 km<sup>2</sup> no Rio Grande do Sul (RS), 2.532 km<sup>2</sup> em Santa Catarina (SC), 2.804 km<sup>2</sup> no Paraná (PR), 16.350 km<sup>2</sup> em São Paulo (SP), 1.608 km<sup>2</sup> em Minas Gerais (MG), 23.483 km<sup>2</sup> no Mato Grosso do Sul (MS), 6.783 km<sup>2</sup> no Mato Grosso (MT) e 10.220 km<sup>2</sup> em Goiás (GO).

Os levantamentos geológicos realizados mostraram que as áreas efetivas do SAG aflorante são, na realidade, menores do que aquelas cartografadas no Projeto PSAG (OEA, 2009), conforme mostrado no Quadro 4.1. A distribuição atual das áreas de afloramento do SAG nos estados brasileiros ficou: 14.177,7 km<sup>2</sup> no Rio Grande do Sul (RS), 1.279,4 km<sup>2</sup> em Santa Catarina (SC), 1.518,6 km<sup>2</sup> no Paraná (PR), 576,5 km<sup>2</sup> em Minas Gerais (MG), 18.881,6 km<sup>2</sup> no Mato Grosso do Sul (MS), 6.494,3 km<sup>2</sup> no Mato Grosso (MT) e 8.698,1 km<sup>2</sup> em Goiás (GO). Nesta nova distribuição, Minas Gerais, Santa Catarina e Paraná foram os estados que apresentaram maior redução percentual, respectivamente 64,1%, 49,5% e 45,8%. O estado de Mato Grosso foi o que sofreu menor redução (4,3%). Destaca-se que no estado de São Paulo não foi feito mapeamento geológico, desta forma não houve alteração da área prevista anteriormente.

**QUADRO 4.1 – COMPARAÇÃO ENTRE ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG MAPEADAS NO PROJETO PSAG E NO PROJETO ANA/ENGEORPS**

Estados	UF	Áreas (km <sup>2</sup> )		Redução
		PSAG	ANA/ENGEORPS	
Rio Grande do Sul	RS	23.754	14.177,7	40,3%
Santa Catarina	SC	2.532	1.279,4	49,5%
Paraná	PR	2.804	1.518,6	45,8%
Minas Gerais	MG	1.608	576,5	64,1%
Mato Grosso do Sul	MS	23.483	18.881,6	19,6%
Mato Grosso	MT	6.783	6.494,3	4,3%
Goiás	GO	10.220	8.698,1	14,9%
<b>TOTAL</b>	-	<b>71.184</b>	<b>51.626,2</b>	<b>27,5%</b>

Os levantamentos geológicos realizados no âmbito deste projeto constataram uma distribuição espacial das unidades litoestratigráficas do SAG distinta daquela assinalada em mapeamentos anteriores, incluindo o do próprio PSAG. Também mostraram a necessidade de complementação de levantamentos sistemáticos em escala de semidetalhe, de tal sorte que o intrincado relacionamento estratigráfico e estrutural observado entre as unidades constituintes do SAG, seu substrato e as rochas sobrejacentes possam futuramente ser melhor compreendidos.

A coluna estratigráfica adotada para o SAG neste trabalho foi elaborada com base nos estudos apresentados no Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (PSAG) e em trabalho de Soares *et al.* (2008). Apenas no Rio Grande do Sul a litoestratigrafia apresenta particularidades regionais, não observadas nos demais estados onde o SAG ocorre. O Quadro estratigráfico da Figura 4.3 foi elaborado segundo modelo fornecido pela ANA.

IDADES	UNIDADES LITOESTRÁTIGRÁFICAS		UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS
Tércio-Quartenário	GO, MT, MS, MG, SP, PR E SC	RS	Aquíferos e Depósitos Tércio-Quartenários e Atuais
	Formação Cachoeirinha Coberturas Diversas	Coberturas Diversas	
Cretáceo	Grupo Bauru		Sistema Aquífero Bauru-Caiuá - SABC
	Formação Serra Geral		Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)
Jurássico	Formação Botucatu		Sistema Aquífero Guarani (SAG)
Triássico	Formação Pirambóia	Formação Guará Formação Caturrita Formação Santa Maria	
		Formação Sanga do Cabral	
Permiano Superior	Formação Corumbataí* Formação Teresina*	Formação Estrada Nova* Formação Rio do Rasto*	Aquífero Passa Dois (APD)
	Grupo Tubarão		Sistema Aquífero Tubarão (SAT)
Carbonífero Superior	Grupo Aquidauana		Sistema Aquífero Aquidauana (SAA)
Devoniano	Formação Ponta Grossa		Aquitarde Ponta Grossa (APG)

\* As Formações Rio do Rasto, Corumbataí, Estrada Nova e Teresina estão reunidas no Grupo Passa Dois, que será designado como uma unidade, a princípio, indivisível no Mapa Hidrogeológico produzido no âmbito deste Estudo.

**Figura 4.3 – Quadro estratigráfico adotado para o SAG.**

## RIO GRANDE DO SUL

Os trabalhos de campo desenvolvidos no Rio Grande do Sul levantaram 433 pontos de controle (Figura 4.4) nos 14.177,7 km<sup>2</sup> de afloramentos. Foram reconhecidas e mapeadas as formações Botucatu, Guará, Caturrita e Santa Maria, integrantes do SAG. Nestes levantamentos foram adotadas as concepções de Soares *et al.* (2008), que demonstraram que as formações Pirambóia e Guará são a mesma unidade genética, com idade entre o Neotriássico e Mesojurássico, sendo ambas correlacionáveis à Formação Pirambóia da parte norte da bacia. Os sedimentos da Formação Sanga do Cabral não foram considerados integrantes do SAG, uma vez que se situam abaixo da discordância regional permotriássica que limita a porção inferior do aquífero.

A Formação Sanga do Cabral, de origem flúvioeólica e idade permiana superior, compreende o substrato do SAG. É composta de arenitos finos e siltitos avermelhados, maciços a laminados, com cimento carbonático e lentes de arenitos finos (Figura 4.5). Localmente os arenitos são bem selecionados, bimodais e apresentam estratificação cruzada de grande porte e alto ângulo, típicas de dunas eólicas (Figura 4.6). Estas características fizeram com que esta unidade fosse confundida com a Formação Pirambóia.

A Formação Santa Maria, de idade triássica média a superior, compreende camadas de siltitos argilosos, compactos, maciços, vermelhos a esverdeados, algo micáceos, sobrepostos a arenitos de granulometria média a grossa, rosados a avermelhados, quartzo-feldspáticos, com estratificação cruzada e intercalações de arenitos conglomeráticos na base (Membro Passo das Tropas), bioturbados, depositados em ambiente fluvial (Figura 4.7 e Figura 4.8).

A Formação Caturrita, de idade triássica média a superior, é representada por arenitos médios, rosáceos, bem selecionados, maciços, com estratificação cruzada tabular planar incipiente, algo micáceos, depositados em ambiente fluvial (Figura 4.9 e Figura 4.10).

A Formação Botucatu é composta de arenitos finos, quartzosos, bem selecionados, marrons a avermelhados, com estratificação cruzada de grande porte, com truncamentos de camadas (Figura 4.11).

A Formação Guará está representada por arenitos brancos e marrons, finos, maciços e com estratificação plano-paralela e cruzada, intercalados por lentes de arenitos médios, depositados em ambiente fluvial (Figura 4.12). A Figura 4.13 mostra o contato discordante entre as formações Botucatu (acima) e Guará (abaixo).

No topo, as rochas constituintes do SAG podem estar cobertas por derrames de rochas basálticas da Formação Serra Geral (Figura 4.14), ou ainda podem estar seccionadas por intrusões de diabásios (Figura 4.15). As rochas basálticas apresentam cores verde e marrom escura, e podem ser maciças ou fraturadas. As rochas diabásicas apresentam granulometria média a grossa e estão associadas ao magmatismo basáltico Serra Geral.

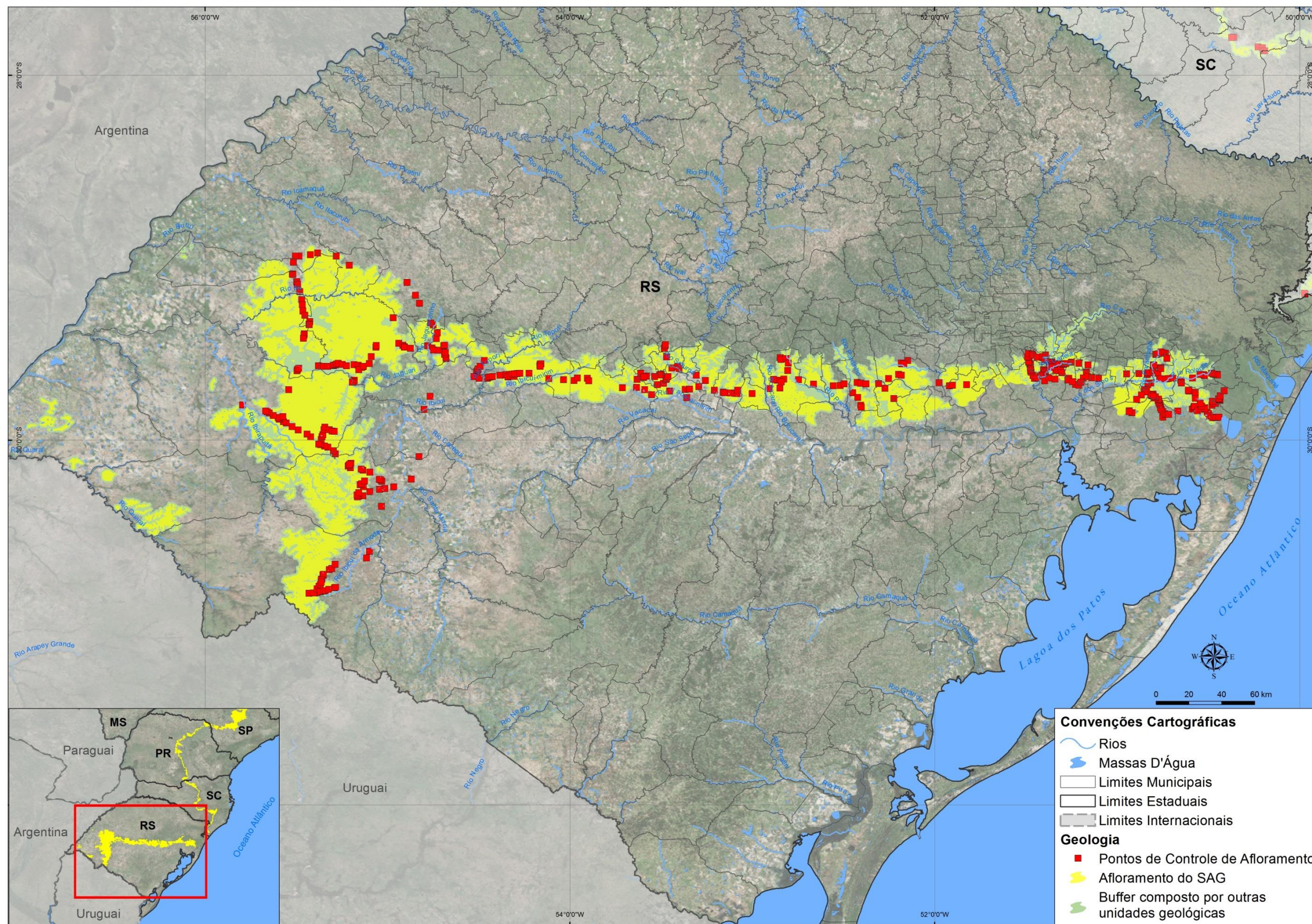


Figura 4.4 – Afloramento do SAG no Rio Grande do Sul e pontos de controle de campo.





*Figura 4.5 – Afloramento da Formação Sanga do Cabral mapeado anteriormente como Formação Pirambóia (Ponto RS-24).*



*Figura 4.6 – Afloramento da Formação Sanga do Cabral (Ponto RS-25).*



*Figura 4.7 – Afloramento da Formação Santa Maria (Ponto RS-128).*



*Figura 4.8 – Afloramento da Formação Santa Maria (Ponto RS-129).*



*Figura 4.9 – Afloramento da Formação Caturrita (Ponto RS-140).*



*Figura 4.10 – Afloramento da Formação Caturrita (Ponto RS-152).*



*Figura 4.11 – Afloramento da Formação Botucatu (RS-20).*



*Figura 4.12 – Afloramento da Formação Guará (Ponto RS-1).*



*Figura 4.13 – Afloramento mostrando o contato entre as formações Botucatu (acima) e Guará (abaixo)(Ponto RS-2).*



*Figura 4.14 – Afloramento da Formação Serra Geral (Ponto RS-49).*



*Figura 4.15 – Afloramento da Formação Serra Geral (Ponto RS-41).*

## SANTA CATARINA

O estado de Santa Catarina abrange 1.279,4 km<sup>2</sup> de áreas de afloramentos do SAG. Neste estado foram descritos 72 afloramentos que foram utilizados na interpretação litoestratigráfica e elaboração do mapa geológico na escala 1:250.000 (Figura 4.16).

As unidades litoestratigráficas do SAG mapeadas neste estado foram as formações Botucatu e Pirambóia, todavia a pouca representatividade desta última não permitiu sua individualização no mapa 1:250.000. O SAG aparece coberto pelos derrames de basaltos da Formação Serra Geral e assenta-se sobre substrato permiano, representado pelas rochas da Formação Rio do Rasto.

A Formação Rio do Rasto, do Permiano Superior, é caracterizada por intercalações de camadas de arenitos e de siltitos roxos e avermelhados, laminados, com geometrias tabulares e lenticulares, e lentes de pelitos arenosos esbranquiçados (Figura 4.17). No topo ocorrem arenitos finos, brancos, com estratificação cruzada de grande porte. Esta unidade foi depositada em ambiente flúvioeólico.

A Formação Pirambóia compreende arenitos brancos, esbranquiçados, finos a muito finos, quartzosos, bem selecionados, com estratificação horizontal e cruzadas de grande porte e elevado ângulo, depositados em dunas e lençóis de ambiente eólico (Figura 4.18).

A Formação Botucatu é composta de arenitos finos a muito finos, ocres amarelos, vermelhos e esbranquiçados, bem selecionados, quartzo-feldspáticos, com estratificações cruzadas de grande porte e elevado ângulo, depositados em ambiente de dunas eólicas (Figura 4.19).

A Formação Serra Geral é representada por basaltos verdes escuros, em parte maciços, em parte vesiculares (Figura 4.20).

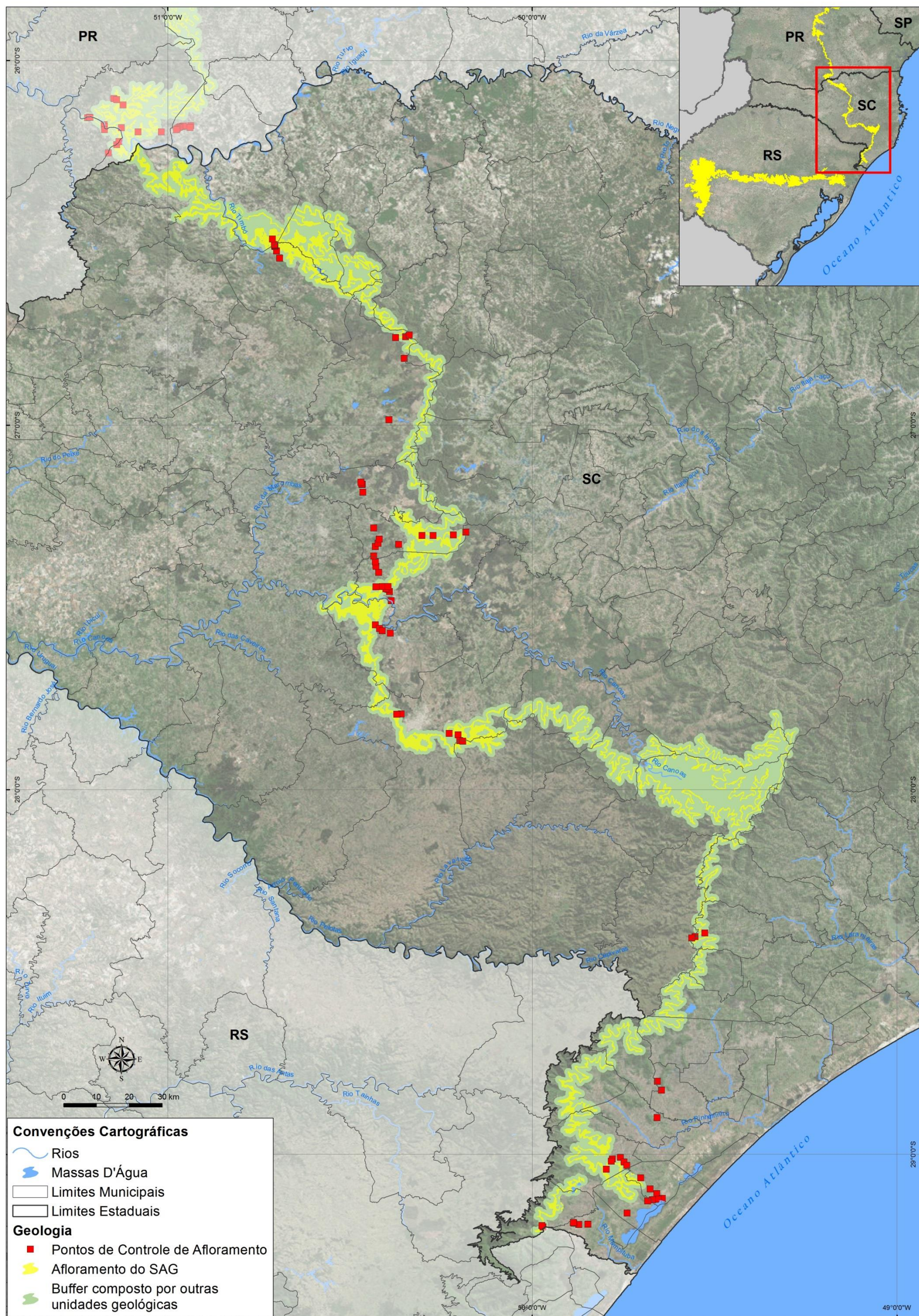


Figura 4.16 – Afloramento do SAG em Santa Catarina e pontos de controle de campo.



*Figura 4.17 – Afloramento da Formação Rio do Rasto (SC-24).*



*Figura 4.18 – Afloramento da Formação Pirambóia (Ponto SC-17).*





*Figura 4.19 – Afloramento da Formação Botucatu (Ponto SC-37).*



*Figura 4.20 – Afloramento da Formação Serra Geral (Ponto SC-6).*

## PARANÁ

No estado do Paraná, as unidades aflorantes do SAG estão representadas pelas formações Botucatu e, secundariamente, Pirambóia, as quais ocupam área de 1.518,6 km<sup>2</sup> (Figura 4.21). Com base nos levantamentos geológicos realizados, a área do SAG mapeada no Projeto Sistema Aquífero Guarani (PSAG) teve redução de 45,8%. As demais unidades litoestratigráficas reconhecidas em campo foram as formações Serra Geral e Rio do Rasto. Os levantamentos de campo nesse estado registraram 74 afloramentos de controle de rochas atribuídas ou relacionadas ao SAG.

A Formação Rio do Rasto é constituída de siltitos e de arenitos roxos a esverdeados, interestratificados, com marcas de ôndulas no topo em algumas camadas (Figura 4.22).

A Formação Pirambóia é composta de arenitos brancos a avermelhados, médios a finos, quartzosos e quartzo-feldspáticos, com estratificações cruzadas de médio a grande portes, localmente com laminações horizontais a sub-horizontais, e ocasionais marcas onduladas (Figura 4.23).

A Formação Botucatu foi descrita como constituída de arenitos finos a médios, esbranquiçados e brancos, quartzo-feldspáticos, bem selecionados, com estratificações cruzadas de médio porte (Figura 4.24).

A Formação Serra Geral é constituída de basaltos maciços, de cores verde escuras, com fraturas sub-horizontais, verticais e subverticais (Figura 4.25).





*Figura 4.22 - Afloramento da Formação Rio do Rasto (Ponto PR-25).*



*Figura 4.23 - Afloramento da Formação Pirambóia (Ponto PR-17).*



*Figura 4.24 - Afloramento da Formação Botucatu (Ponto PR-11).*



*Figura 4.25 - Afloramento da Formação Serra Geral (Ponto PR-03).*

## MINAS GERAIS

No estado de Minas Gerais, as unidades aflorantes do SAG estão representadas pelas formações Botucatu e Pirambóia, as quais ocupam área de 576,5 km<sup>2</sup>, da ordem de 64,1% menor do que a área delimitada originalmente no Projeto Sistema Aquífero Guarani (PSAG) (Figura 4.26). As demais unidades litoestratigráficas identificadas em campo foram coberturas cenozoicas indiferenciadas, formações Serra Geral e Aquidauana, e rochas do embasamento cristalino. Nos levantamentos de campo foram registrados 74 afloramentos de controle de rochas atribuídas ou relacionadas ao SAG.

Rochas do embasamento cristalino são constituídas de gnaisses graníticos e gnaisses esverdeados com intercalações de quartzitos e direções estruturais preferenciais N-S (Figura 4.27).

A Formação Pirambóia é composta de arenitos esbranquiçados a ocres, finos a médios, quartzo-feldspáticos, bem selecionados, maciços e camadas com estratificações horizontais e cruzadas acanaladas (Figura 4.28).

A Formação Botucatu é constituída de arenitos marrons e ocres, finos, quartzosos, bem selecionados, com grãos arredondados, marcante bimodalidade, estratificações cruzadas de médio e grande porte, com paleocorrentes de direções N e W, e camadas com estratificações horizontais e sub-horizontais (Figura 4.29).

A Formação Serra Geral é constituída de derrames e sills de rochas basálticas (Figura 4.30).

As coberturas cenozoicas são constituídas de sedimentos detríticos, arenosos, friáveis, de espessuras variáveis, contendo seixos de quartzo e de granito, com ocasionais concreções ferruginosas (Figura 4.31).

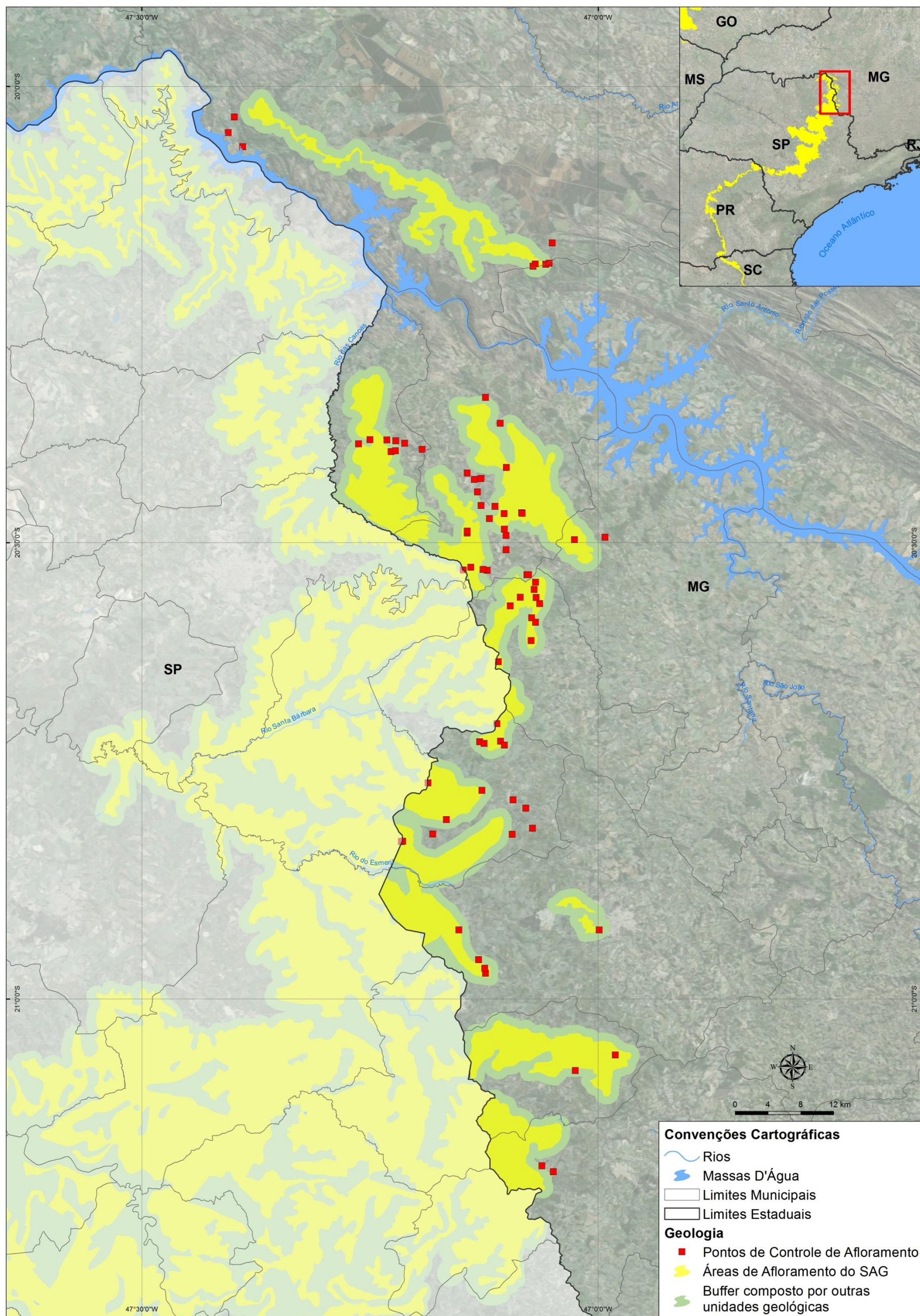


Figura 4.26 - Afloramento do SAG em Minas Gerais e pontos de controle de campo.



*Figura 4.27 - Afloramento de rochas do embasamento cristalino (Ponto MG-2).*



*Figura 4.28 - Afloramento da Formação Pirambóia (Ponto MG-27).*





*Figura 4.29 - Afloramento da Formação Botucatu (Ponto MG-18).*



*Figura 4.30 - Afloramento da Formação Serra Geral (Ponto MG-62).*



*Figura 4.31 - Afloramento de sedimentos cenozoicos (Ponto MG-01).*

## **MATO GROSSO DO SUL**

O estado de Mato Grosso do Sul abrange área de 18.881,6 km<sup>2</sup> de afloramentos de rochas do SAG. Neste estado foram anotados 107 pontos de controle de afloramentos relacionados ao SAG, representados exclusivamente pela Formação Botucatu (Figura 4.32) na escala de mapeamento adotada. As demais unidades reconhecidas neste estado foram as formações Cachoeirinha, Caiuá, Serra Geral, Corumbataí e Aquidauana. Comparado com os limites originalmente traçados no Projeto Sistema Aquífero Guarani (PSAG), houve redução de área da ordem de 19,6%.

O Grupo Aquidauana, do Carbonífero - Permiano Inferior, é composto de siltitos e folhelhos com laminação horizontal e arenitos finos laminados, vermelhos a róseos, com intercalações de arenitos esbranquiçados, depositados em ambiente fluvial (Figura 4.33). Arenitos médios a grossos, maciços, com estratificações horizontais, e diamictitos arenoargilosos avermelhados também integram esta unidade.

A Formação Corumbataí, do Permiano Superior, compreende intercalação de arenitos e siltitos pardos, roxos e avermelhados, em camadas tabulares, com laminações rítmicas horizontais e ondulantes e marcas onduladas, depositados em ambiente marinho transicional (Figura 4.34).

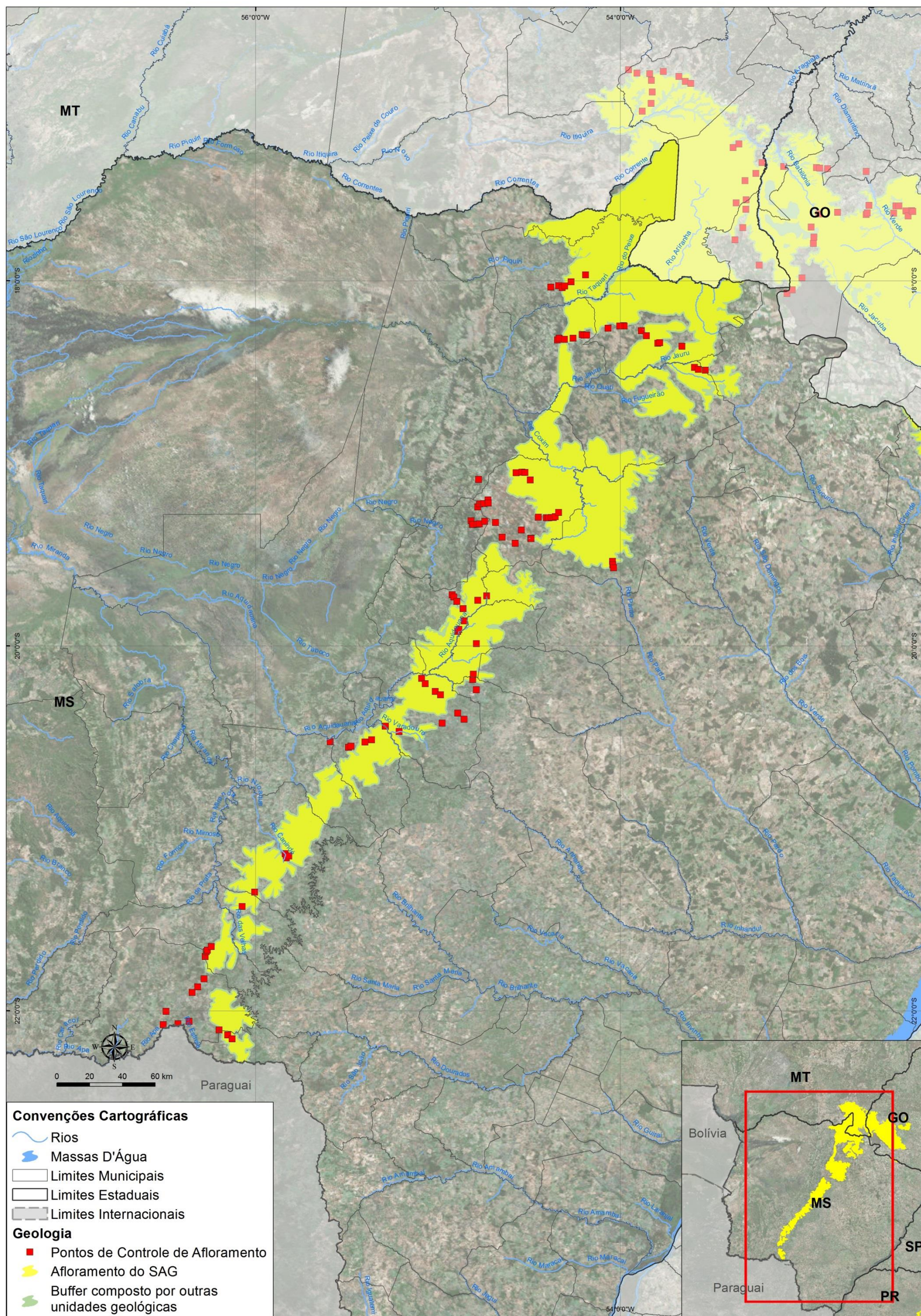


Figura 4.32 – Afloramento do SAG em Mato Grosso do Sul e pontos de controle de campo.



*Figura 4.33 – Afloramento do Grupo Aquidauana (Ponto MS-07).*



*Figura 4.34 – Afloramento da Formação Corumbataí (Ponto MS-29).*

A Formação Botucatu compreende arenitos marrons e ocres amarelados, finos a muito finos, com estratificações tabulares planares e cruzadas de grande porte e ângulo, depositados em dunas eólicas (Figura 4.35).

A Formação Serra Geral compreende rochas basálticas maciças a fraturadas, que recobrem a Formação Botucatu (Figura 4.36).

A Formação Caiuá, do Cretáceo Superior, compreende arenitos finos a médios, avermelhados, maciços, com seixos de areia grossa, friáveis, depositados em ambiente fluvial (Figura 4.37).

A Formação Cachoeirinha, de idade terciária, compreende uma cobertura composta por arenitos avermelhados e ocres amarelados, conglomeráticos, com seixos de lateritas e arenitos, níveis de lateritas e argilitos arenosos, depositados em ambiente fluvial (Figura 4.38).



*Figura 4.35 – Afloramento da Formação Botucatu (Ponto MS-12).*



*Figura 4.36 – Afloramento da Formação Serra Geral (Ponto MS-01).*



*Figura 4.37 – Afloramento da Formação Caiuá (Ponto MS-50).*



*Figura 4.38 – Afloramento da Formação Cachoeirinha (Ponto MS-13).*

## **MATO GROSSO**

No estado de Mato Grosso, as unidades aflorantes do SAG ocupam área de 6.494,3 km<sup>2</sup>. Neste estado foram levantados 22 afloramentos de controle relacionados ao SAG, para posterior confecção do mapa geológico na escala 1:250.000 (Figura 4.39). Neste estado, o SAG é representado somente pela Formação Botucatu (Figura 4.40), geralmente coberta por sedimentos terciários indiferenciados ou da Formação Cachoeirinha (Figura 4.41). Comparado com os limites originalmente traçados no Projeto Sistema Aquífero Guarani (PSAG), houve redução de área de apenas 4,3%.

A Formação Botucatu apresenta arenitos esbranquiçados e vermelhos, finos a médios, bem selecionados, foscas, com estratificação horizontal e localmente fraturas subverticais NW e forte silicificação.

A Formação Cachoeirinha é composta de arenitos finos a médios, marrons e avermelhados, quartzosos, bem selecionados, inconsolidados, depositados em planícies arenosas de ambiente fluvial.

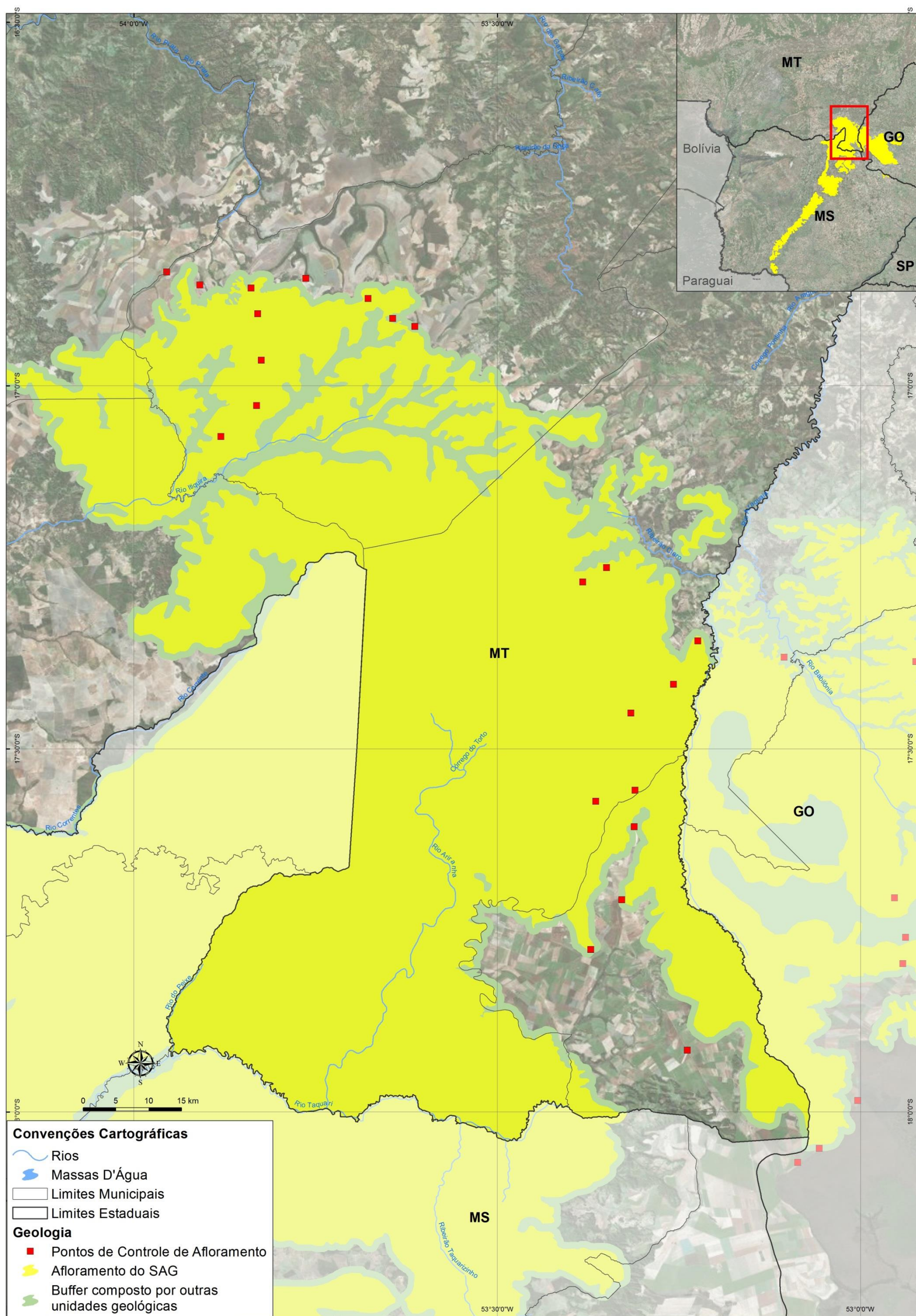


Figura 4.39 - Afloramento do SAG em Mato Grosso e pontos de controle de campo.





*Figura 4.40 - Afloramento da Formação Botucatu (Ponto MT-12).*



*Figura 4.41 - Afloramento da Formação Cachoeirinha (Ponto MT-15).*

## GOIÁS

No estado de Goiás, as unidades aflorantes do SAG, representadas exclusivamente pela Formação Botucatu, ocupam área de 8.698,1 km<sup>2</sup>, 14,9% menor do que a área delimitada no Projeto Sistema Aquífero Guarani (PSAG) . Neste estado foram levantados 36 afloramentos de controle relacionados ao SAG (Figura 4.42). As demais unidades litoestratigráficas reconhecidas em campo foram as formações Cachoeirinha, Serra Geral e Corumbataí.

A Formação Corumbataí, Permiano Superior, apresenta litologias que vão de arenitos finos a médios, de coloração avermelhados e roxos, com matriz argilosa, estratificação horizontal, siltitos e argilitos arroxeados, depositados em planícies de maré (Figura 4.43).

A Formação Botucatu é composta de arenitos vermelhos a avermelhados, finos a muito finos, com estratificações cruzadas de grande porte, tabular planar e acanaladas, depositados em ambiente de dunas eólicas (Figura 4.44).

A Formação Serra Geral é constituída de basaltos marrons a avermelhados, localmente alterados, maciços a fraturados (Figura 4.45).

A Formação Cachoeirinha, do Terciário, compreende arenitos avermelhados, finos a médios, com intercalações de arenitos grossos e seixos, depositados em ambiente fluvial (Figura 4.46).

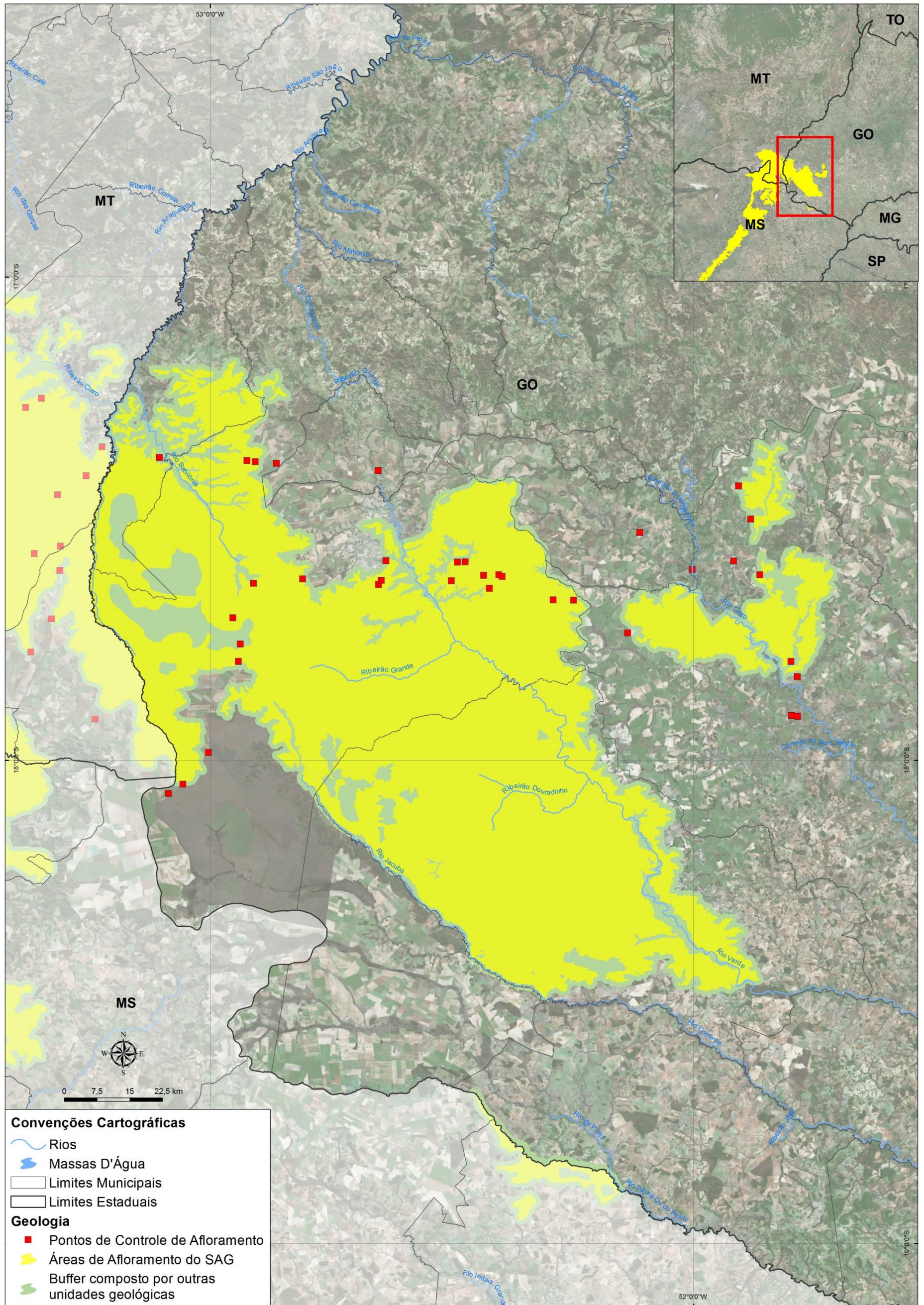


Figura 4.42 - Afloramento do SAG em Goiás e pontos de controle de campo.



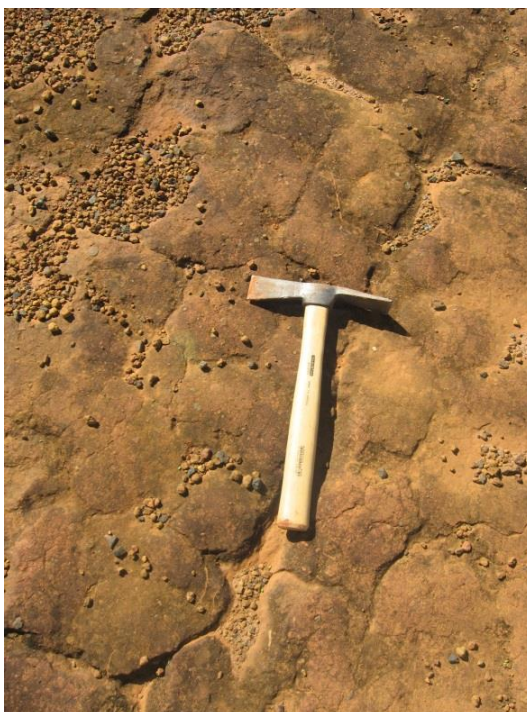
*Figura 4.43 - Afloramento da Formação Corumbataí (Ponto GO-07).*



*Figura 4.44 - Afloramento da Formação Botucatu (Ponto GO-23).*



*Figura 4.45 - Afloramento da Formação Serra Geral (Ponto GO-20).*



*Figura 4.46 - Afloramento da Formação Cachoeirinha (Ponto GO-03).*

## CONSIDERAÇÕES

De modo geral, comparando-se mapeamentos e publicações geocientíficas disponíveis com os levantamentos de campo realizados neste projeto observa-se que áreas até então consideradas como de afloramento do SAG estão sobre-estimadas em todos os estados mapeados. Ressalta-se que essa avaliação não pôde ser feita para São Paulo, uma vez que os levantamentos de campo não se estenderam a este estado.

Nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás foram mapeadas extensas coberturas de sedimentos cenozoicos, as quais recobrem os afloramentos do SAG. Assim, as áreas aflorantes do SAG nestas regiões teriam uma redução proporcional à extensão das coberturas terciárias. Este aspecto é relevante do ponto de vista hidrogeológico da preservação, gestão e administração do SAG, em nível regional e local.

A despeito dos aspectos peculiares devido à complexidade estratigráfica, a revisão de áreas mapeadas anteriormente como formações Sanga do Cabral e Pirambóia, no Rio Grande do Sul, permitiu estabelecer novos limites para as áreas de ocorrência do SAG. Outra situação é a ocorrência de arenitos intertrapeanos na região noroeste do estado, os quais têm sido incluídos na Formação Botucatu e que, na verdade, fazem parte da Formação Serra Geral. Como consequência destas observações, as áreas de afloramento do SAG foram reduzidas em 40,3% em relação ao mapa do PSAG, neste estado.

Em relação à controvérsia estratigráfica “Pirambóia” no Rio Grande do Sul, foram adotadas como unidades constituintes do SAG aquelas definidas em Lebac (2008), Soares *et al.* (2008) e OEAb (2009). Nesse sentido, a Formação Pirambóia não corresponde a uma unidade estratigráfica posicionada abaixo da Formação Sanga do Cabral (Permiano Superior), conforme mapeada por CPRM (2007), e sim, posicionada abaixo da Formação Botucatu e acima da descontinuidade permotriássica, como definida originalmente para o Estado de São Paulo.

Em Santa Catarina e Paraná, além de ajustes nos contornos das unidades do SAG (Botucatu), arenitos finos avermelhados da Formação Rio do Rasto haviam sido incluídos na Formação Botucatu, em mapeamentos anteriores. A exclusão destes arenitos do pacote SAG proporcionou uma diminuição de área de 49,5% em Santa Catarina e de 45,8% no Paraná, em relação à área originalmente estabelecida no PSAG.

Em Minas Gerais, o SAG é representado pelas formações Botucatu e Pirambóia. Estas unidades encontram-se parcialmente segmentadas por frequentes intrusões de diabásio que ocorrem em distintos níveis. Em muitas situações, é difícil distinguir se as rochas basálticas são de origem vulcânica ou intrusiva. Nesse estado, coberturas cenozoicas também foram anteriormente mapeadas com unidades do SAG.

No Mato Grosso do Sul, o mapa geológico do estado apresentado pela CPRM (2000) refere-se apenas à existência da Formação Botucatu, enquanto outros se referem às formações Botucatu e Pirambóia. Nos levantamentos realizados não foram reconhecidas unidades que possam ser correlacionáveis à Formação Pirambóia. Verificou-se, em campo, que a Formação Botucatu

nesse estado apresenta episódios fluviais importantes, associados aos eólicos, em claras variações laterais de fácies. Por outro lado, os levantamentos constataram unidades não distinguidas cartograficamente, que se desenvolvem entre o Grupo Aquidauana e a Formação Botucatu, talvez pertencentes ao Permiano. Há também, nos mapas disponíveis, uma tendência de exagerar a área aflorante da Formação Botucatu, quando em contato com o Grupo Aquidauana. Em comparação com as áreas aflorantes delimitadas no PSAG, os levantamentos atuais mostraram redução de 19,6%.

Em Goiás, a unidade constituinte do SAG é a Formação Botucatu. Esta unidade, comparada com documentos cartográficos gerados no PSAG, mostra redução de 14,9% em sua área de ocorrência. Em particular, áreas de coberturas terciárias (fluviais, aluviais e lateritos) que se desenvolvem no oeste do estado (Mineiros e Santa Rita de Araguaia) haviam sido incluídas na Formação Botucatu. Também foi adotado o mesmo critério utilizado no PSAG, onde áreas de afloramento do SAG desconectadas e posicionadas sobre o Devoniano ou embasamento não foram consideradas.

No Mato Grosso, a unidade constituinte do SAG é a Formação Botucatu, cuja ocorrência foi reduzida em apenas 4,3% em relação aos limites definidos no PSAG. Em particular, na parte sudeste do estado, a Formação Botucatu é coberta por importantes depósitos terciários que apresentam espessuras de até 50 metros (Formação Cachoeirinha).

As considerações acima mostram que os levantamentos geológicos encontraram situações que não foram identificadas em mapeamentos anteriores, incluindo o do próprio PSAG que constitui a referência para este projeto. Assim, os trabalhos de campo não se limitaram ao ajuste dos contornos preestabelecidos em mapeamentos anteriores, mas sim, à redefinição desses limites na escala de trabalho estabelecida no projeto.

Os dados obtidos nos levantamentos geológicos na escala 1:250.000, realizados nas áreas de afloramento do SAG nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, comprovam a necessidade de complementação de levantamentos sistemáticos em escala de semidetalhe, de tal sorte que o intrincado relacionamento estratigráfico e estrutural observado entre as unidades constituintes do SAG, seu substrato e as rochas sobrejacentes possa melhor ser compreendido, principalmente no estado de São Paulo, no qual o mapeamento regional mais recente é da década de 80.

## **4.2 CADASTRO DE POÇOS**

### **4.2.1 Consolidação de informações Preexistentes**

Foram levantados 2.692 poços previamente cadastrados em órgãos e empresas estatais e privadas de saneamento, com o objetivo de selecionar poços para compor uma rede de amostragem de caracterização hidroquímica e para obtenção de informações necessárias à elaboração dos mapas de vulnerabilidade dos estados.

Dentre as diversas fontes consultadas, foram obtidas informações das seguintes instituições: SEMA – Secretaria Estadual para o Meio Ambiente - RS, IAP - Instituto de Águas do Paraná, IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas, IMASUL - Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul, SEMARH - Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Goiás, CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento, SANEAGO - Saneamento de Goiás S/A, SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas da CPRM, SIEG - Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográfica de Goiás, Sistema de Informações do Sistema Aquífero Guarani (SISAG) e Oliveira (2009). A Figura 4.47 mostra a distribuição dos poços cadastrados por fonte de consulta. A distribuição espacial desses poços está apresentada na Figura 4.47.

Dos 2.692 poços previamente levantados, a maioria (2.037 poços) encontra-se no Rio Grande do Sul. Os estados de Mato Grosso (18) e do Paraná (44) são os que apresentaram menor quantidade de poços cadastrados nas áreas de afloramento. Santa Catarina compareceu com apenas dois poços em razão do órgão de recursos hídricos do estado ter informado não possuir cadastro próprio de poços e utilizar o SIAGAS (Figura 4.48).

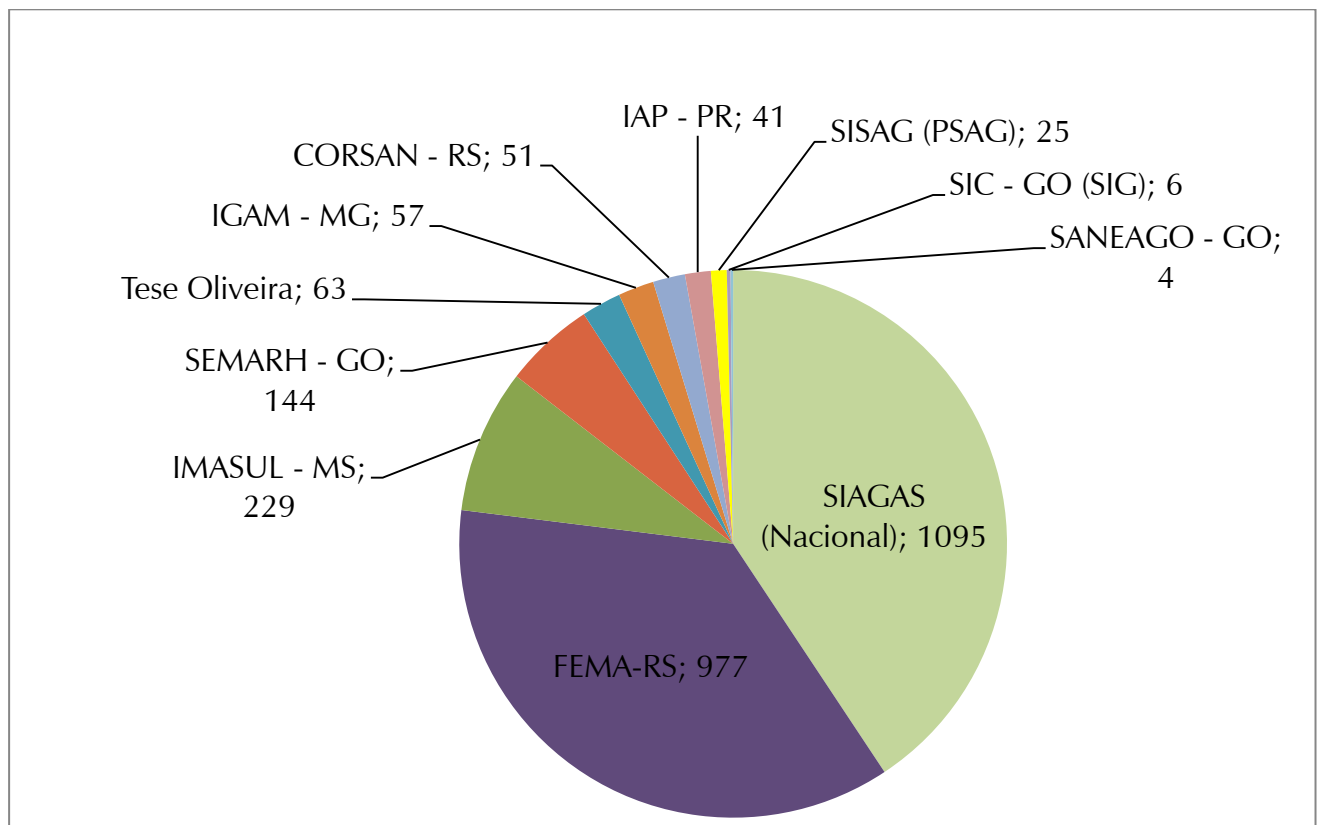


Figura 4.47 – Número de poços cadastrados por fonte de informação



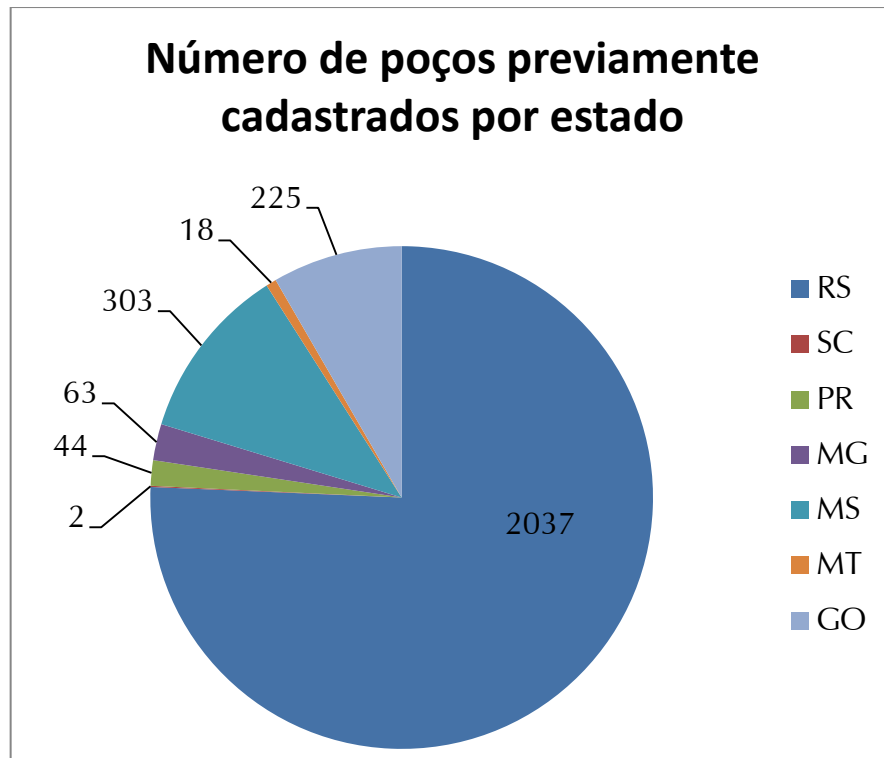


Figura 4.48 – Número de poços previamente cadastrados por estado.

Do total previamente cadastrado, 892 poços possuem perfil estratigráfico. A distribuição desses poços por estado é a seguinte: 793 poços no Rio Grande do Sul, 1 em Santa Catarina, 2 no Paraná, 4 em Minas Gerais, 67 no Mato Grosso do Sul, 18 no Mato Grosso e 7 em Goiás (Figura 4.49).

Com relação às características hidrodinâmicas, 1.000 poços possuem dados de nível estático, 733 de nível dinâmico e 829 possuem dados de vazão.

Dentre os 2.692 poços previamente cadastrados foram validados 475 em campo, assim distribuídos por estado: 173 poços no Rio Grande do Sul, 1 em Santa Catarina, 14 no Paraná, 6 em Minas Gerais, 184 no Mato Grosso do Sul, 13 em Mato Grosso e 84 em Goiás, conforme mostrado na Figura 4.50.

Considerando a área de afloramento do SAG, foram identificados 409 poços preexistentes validados em campo (Figura 4.51), sendo: 144 no Rio Grande do Sul, 1 em Santa Catarina, 13 no Paraná, 4 em Minas Gerais, 154 em Mato Grosso do Sul, 9 em Mato Grosso e 84 em Goiás.

Dentre os 409 poços preexistentes validados em campo e inseridos nas áreas de afloramento do SAG, somente 152 deles possuem perfis litoestratigráficos disponíveis (Figura 4.52), sendo: 110 no Rio Grande do Sul, 29 em Mato Grosso do Sul, 9 em Mato Grosso, 1 em Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais e Goiás.

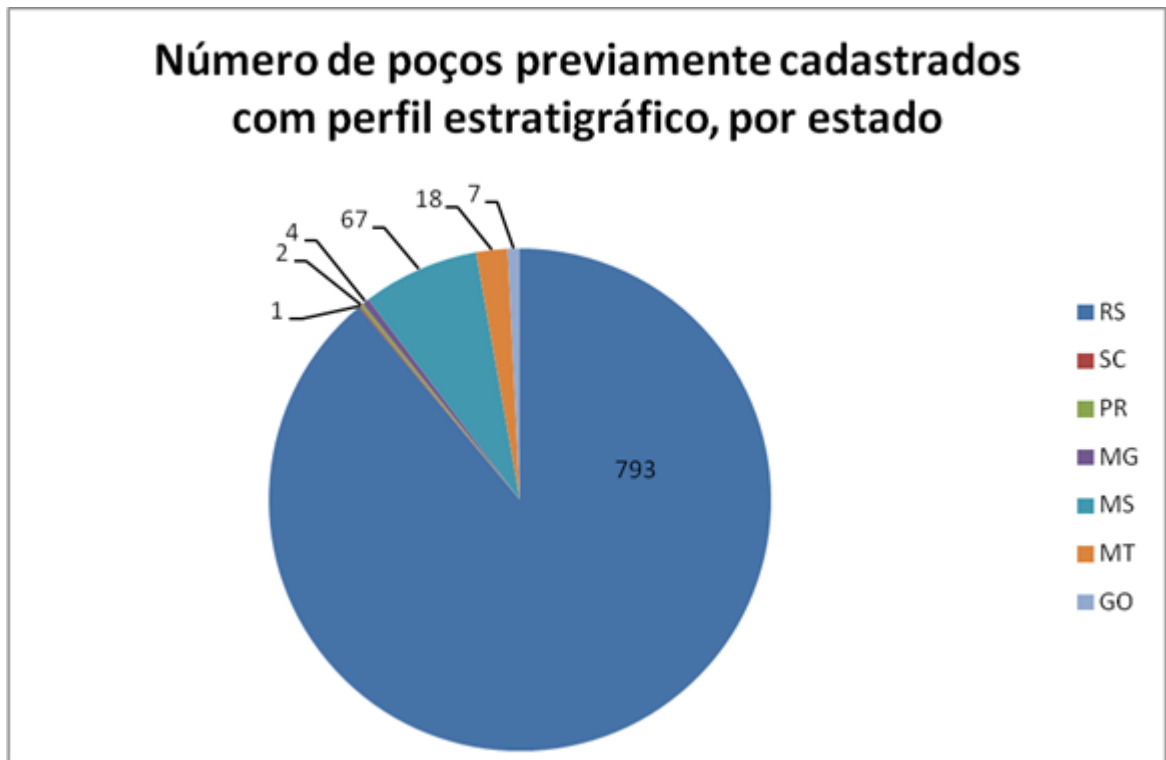


Figura 4.49 – Número de poços previamente cadastrados com perfil estratigráfico, por estado.

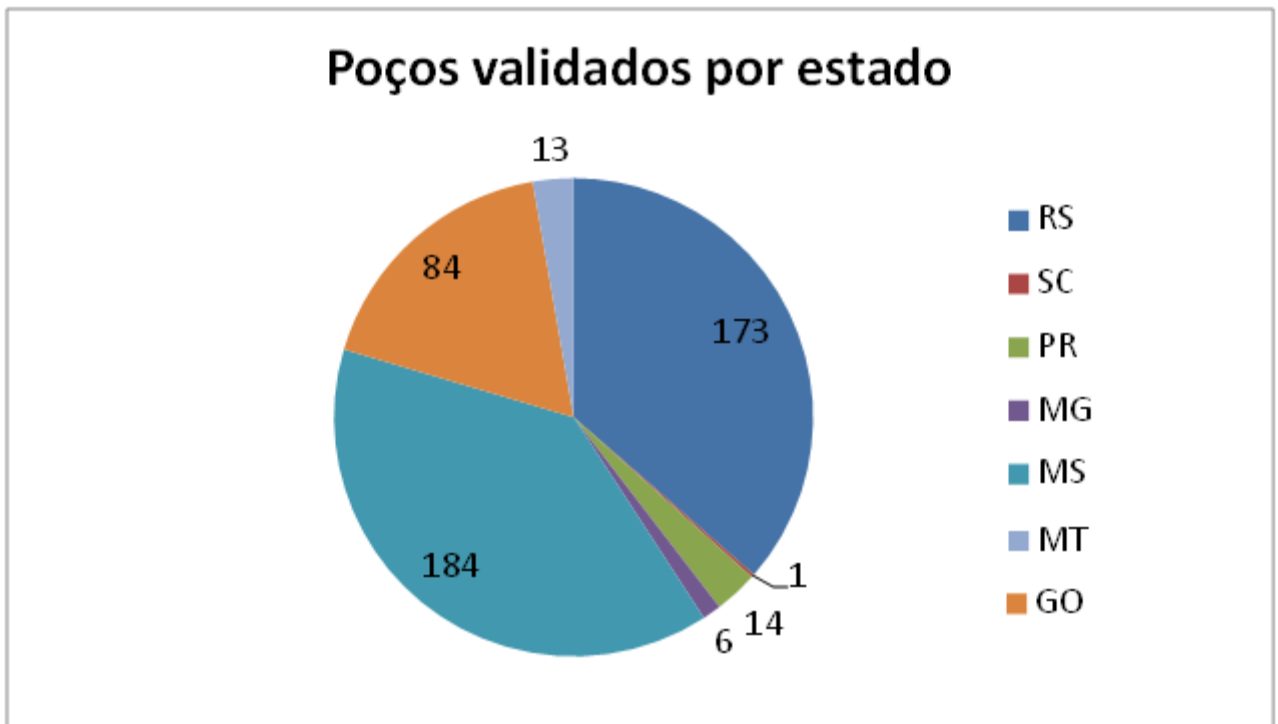


Figura 4.50 – Número de poços validados por estado.

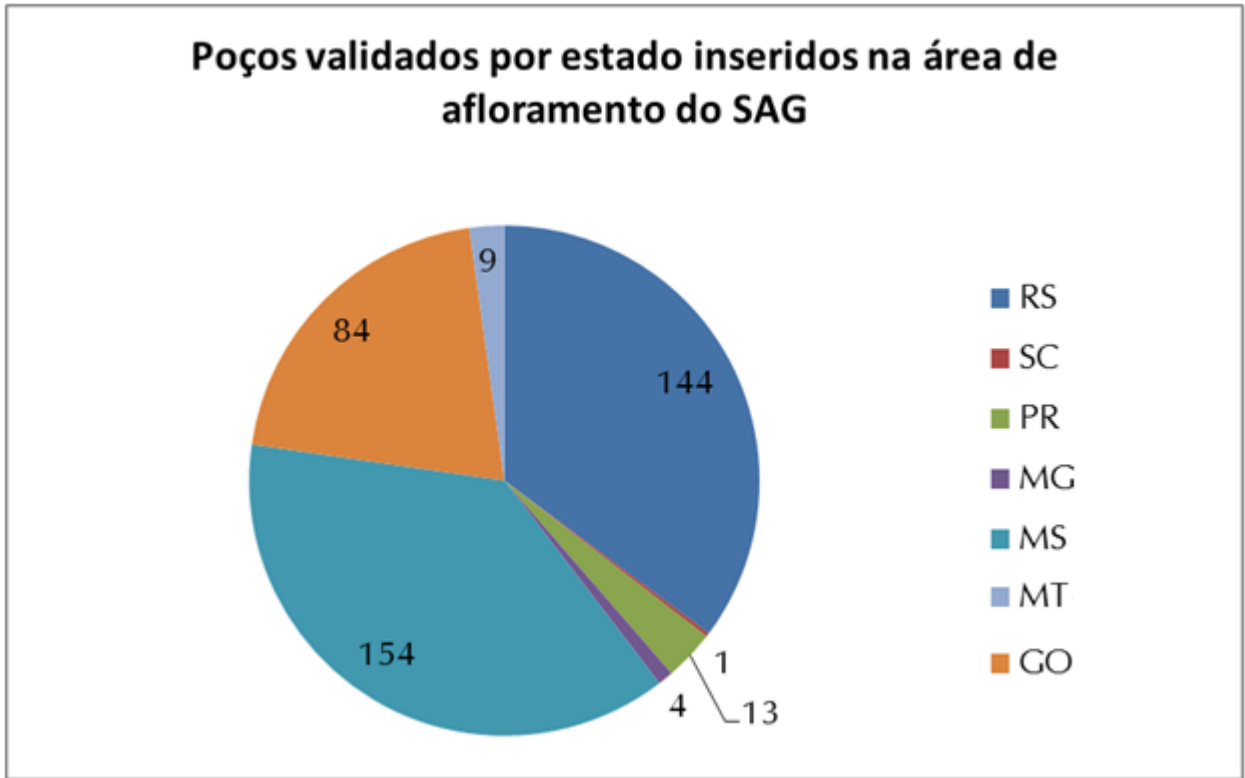


Figura 4.51 – Número de poços validados por estado inseridos na área de afloramento do SAG.

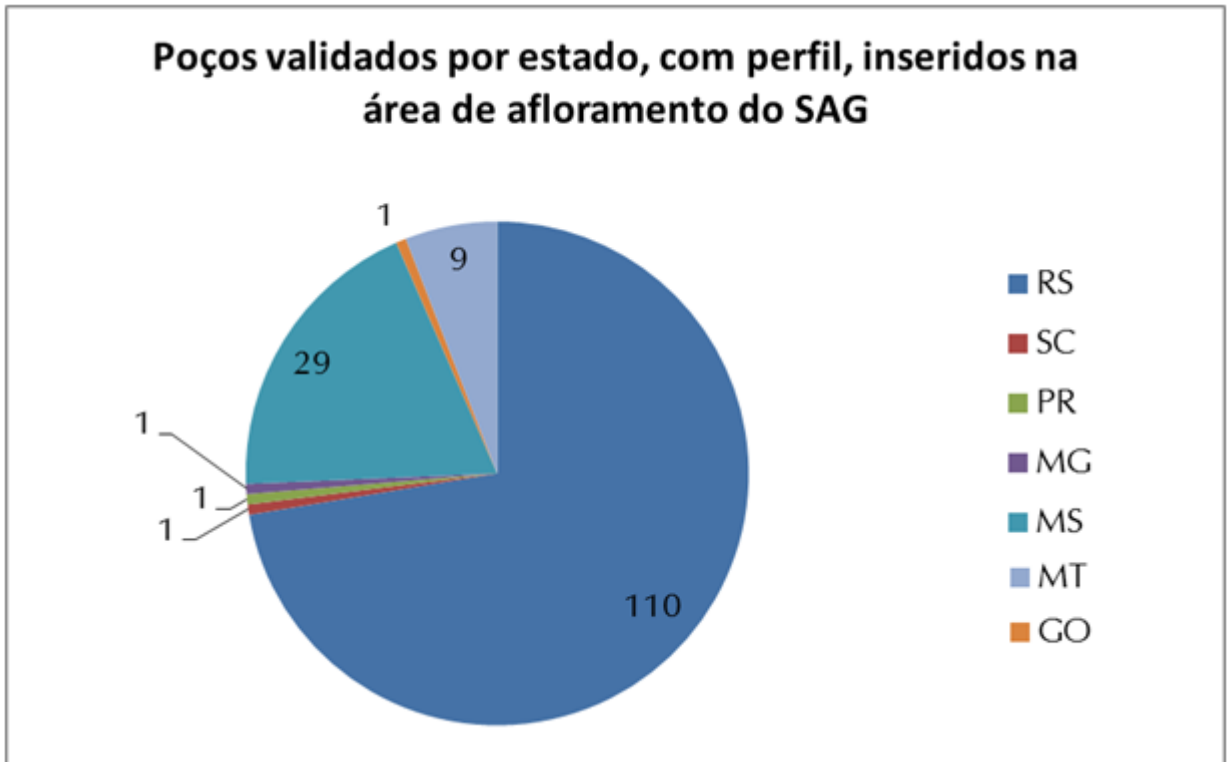


Figura 4.52 – Número de poços validados por estado, com perfil, inseridos na área de afloramento do SAG.

Esse número relativamente reduzido de poços com perfis frente ao total de poços preexistentes validados ocorre porque os usuários de poços normalmente não exigem o relatório de perfuração, o qual deveria conter o perfil litoestratigráfico.

A Figura 4.53 apresenta a distribuição desses 152 poços validados que possuem perfis litoestratigráficos disponíveis.

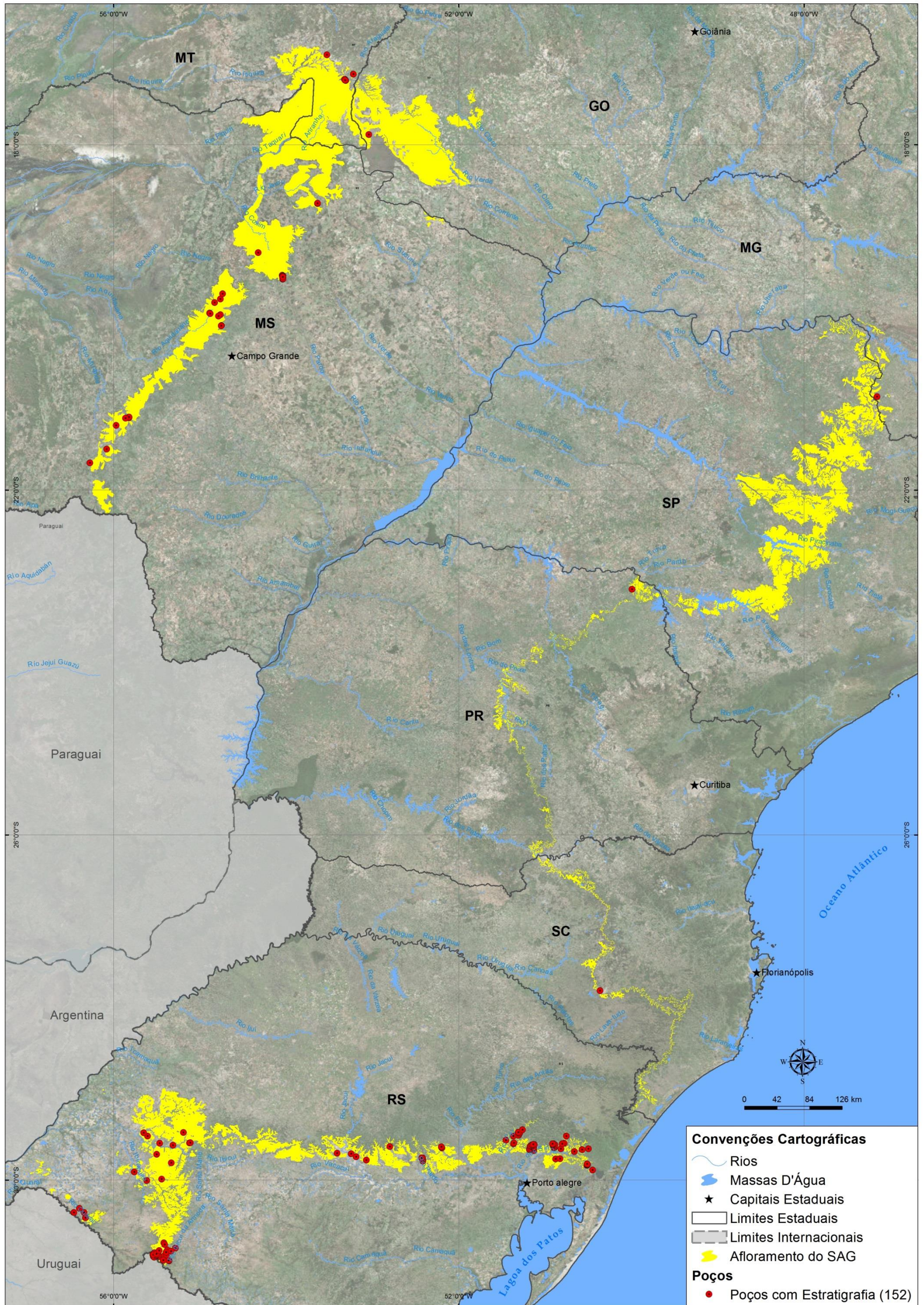


Figura 4.53 - Poços preexistentes validados em campo e com perfis litoestratigráficos disponíveis, contidos nas áreas de afloramento do SAG com base no mapeamento executado.

#### 4.2.2 Cadastro de novos poços

O objetivo do cadastramento de novos poços, além do conhecimento da demanda por águas subterrâneas, também era gerar informações para a elaboração do mapeamento da vulnerabilidade e risco à contaminação.

O método de cadastramento de poços foi dividido em 3 etapas principais:

- ✓ Atividades pré-campo, que consistiram na organização das equipes de cadastramento, programação de serviços, instruções para preenchimento dos dados cadastrais nas fichas de poços, reuniões preliminares para esclarecer dúvidas, orientações sobre o escopo do projeto e logística;
- ✓ Atividades de campo, consistindo no levantamento propriamente dito de novos poços;
- ✓ Atividades de escritório, consistindo na organização e sistematização dos dados obtidos em campo.

As equipes de campo foram treinadas de modo a padronizar a abordagem junto aos proprietários de poços e conseguir o maior número de informações possíveis. A definição das campanhas de campo teve por base a elaboração de rotas de acesso e a densidade de informações preexistentes. As equipes de campo foram munidas de GPS portátil, máquina fotográfica e notebook.

Visitas às prefeituras, serviços municipais de água e perfuradores regionais consistiram numa das principais atividades de campo. A partir de contatos preliminares, foram agendadas visitas aos poços, com acompanhamento dos respectivos responsáveis.

O fluxograma das informações obtidas em campo consistiu da localização do poço com auxílio de GPS, preenchimento das fichas cadastrais em papel, registro fotográfico das captações, elaboração de arquivos digitais e envio de dados via FTP para o escritório da ENGECORPS. Tanto a Ficha Cadastral Digital quanto as fotos foram renomeadas com a identificação do poço e inseridas em uma pasta com a mesma identificação.

Após as visitas de campo, foram feitos contatos telefônicos ou via e-mail com os proprietários de poços a fim de se obter documentos como relatórios de perfuração etc., porém sem sucesso.

Foram cadastrados 60 novos poços no Rio Grande do Sul, 25 em Santa Catarina, 32 no Paraná, 11 em Minas Gerais, 80 no Mato Grosso do Sul, 49 no Mato Grosso e 57 em Goiás (Figura 4.54), totalizando 314 novos poços. A Figura 4.55 apresenta a distribuição dos 2.692 poços preexistentes e dos 314 poços novos cadastrados no projeto.



Figura 4.54 – Distribuição por estado dos novos poços cadastrados

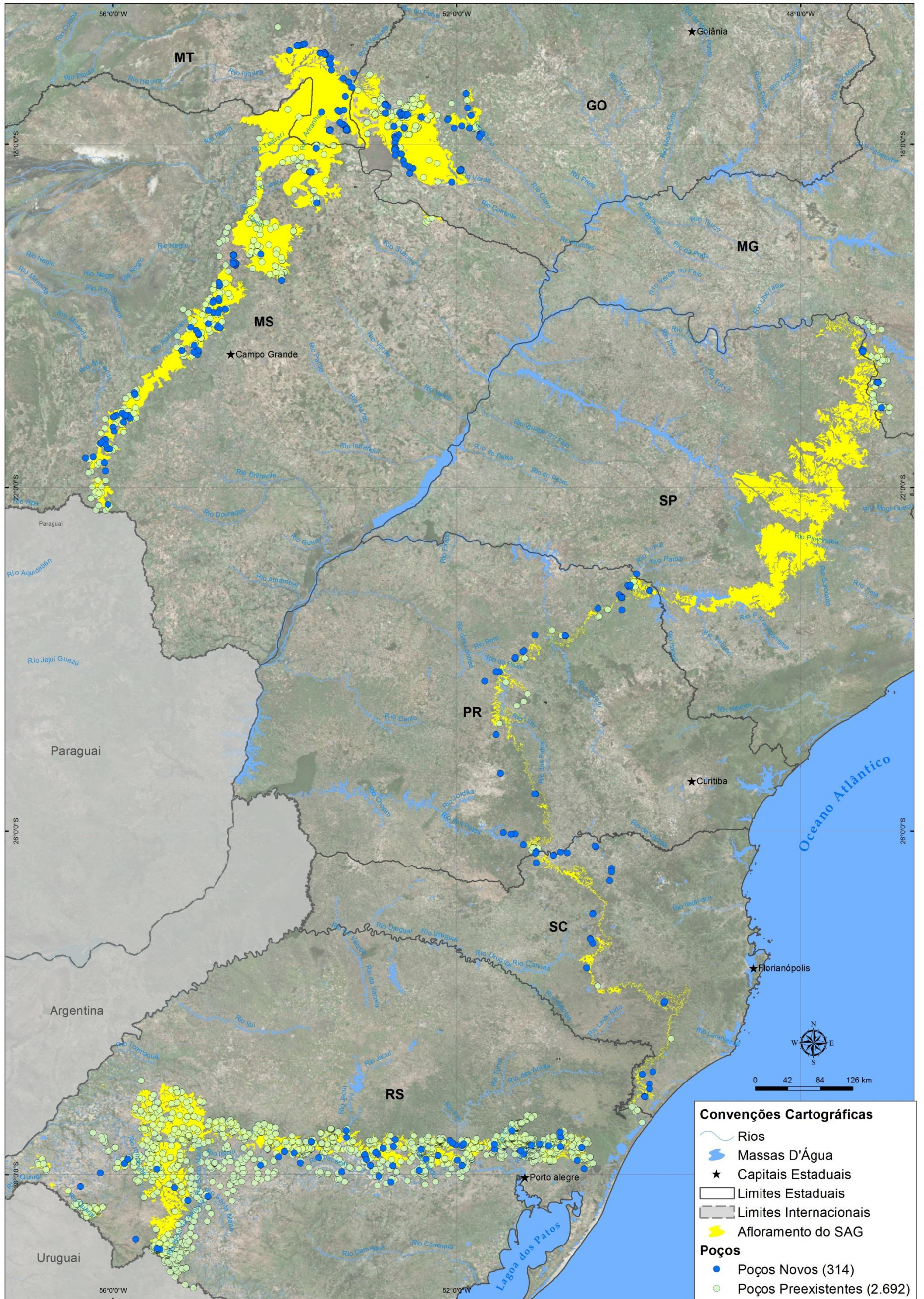


Figura 4.55 - Poços preexistentes e poços novos cadastrados no projeto.



A análise do conjunto de poços novos cadastrados indica predomínio de poços do tipo tubular (307 poços). Também foram cadastrados 5 poços cacimbas e 2 fontes naturais. Dos 307 poços tubulares, 273 estão equipados com sistema de bombeamento e estão em operação. Dentre os equipados com sistema de bombeamento, 195 poços operam com bomba submersa ou bomba injetora, o que permite coleta de amostra de água para análises. Os proprietários destes 195 poços não manifestaram desaprovação quanto à coleta de amostra de água.

Apenas dois poços constam com indicação de perfil estratigráfico: um no município de Jardim (MS) e outro no município de Monte Carlo (SC), este último localizado fora dos limites de afloramento do SAG.

Em termos construtivos, o conjunto de poços cadastrados apresenta as seguintes características: 167 possuem cimentação, 167 possuem indicação de profundidade e 184 são revestidos. Em termos de características hidrodinâmicas, 35 poços apresentam dados de nível estático, 28 de nível dinâmico e 62 de vazão.

Verifica-se que a qualidade das informações obtidas é precária e incompleta, na grande maioria obtida de forma verbal, durante entrevista com o usuário. Os usuários não dispõem de relatórios, perfis construtivos e litológicos, testes de bombeamento, documentos de outorga etc. Como agravante, grande parte dos poços não possui pré-requisitos construtivos desejáveis para ser inserida numa rede de monitoramento qualitativa, como por exemplo, cimentação e laje de proteção sanitária (Figura 4.56).

Dos 314 novos poços cadastrados, 172 encontram-se inseridos na área de afloramento do SAG (Figura 4.57), sendo: 38 no Rio Grande do Sul, 4 em Santa Catarina, 12 no Paraná, 4 em Minas Gerais, 51 em Mato Grosso do Sul, 21 em Mato Grosso e 42 em Goiás.

A Figura 4.58 apresenta a distribuição dos 409 poços preexistentes e 172 poços novos cadastrados no projeto, inseridos nas áreas de afloramento do SAG.



Figura 4.56 – Exemplo de poço cadastrado sem proteção sanitária (laje de proteção e cimentação do espaço anular).

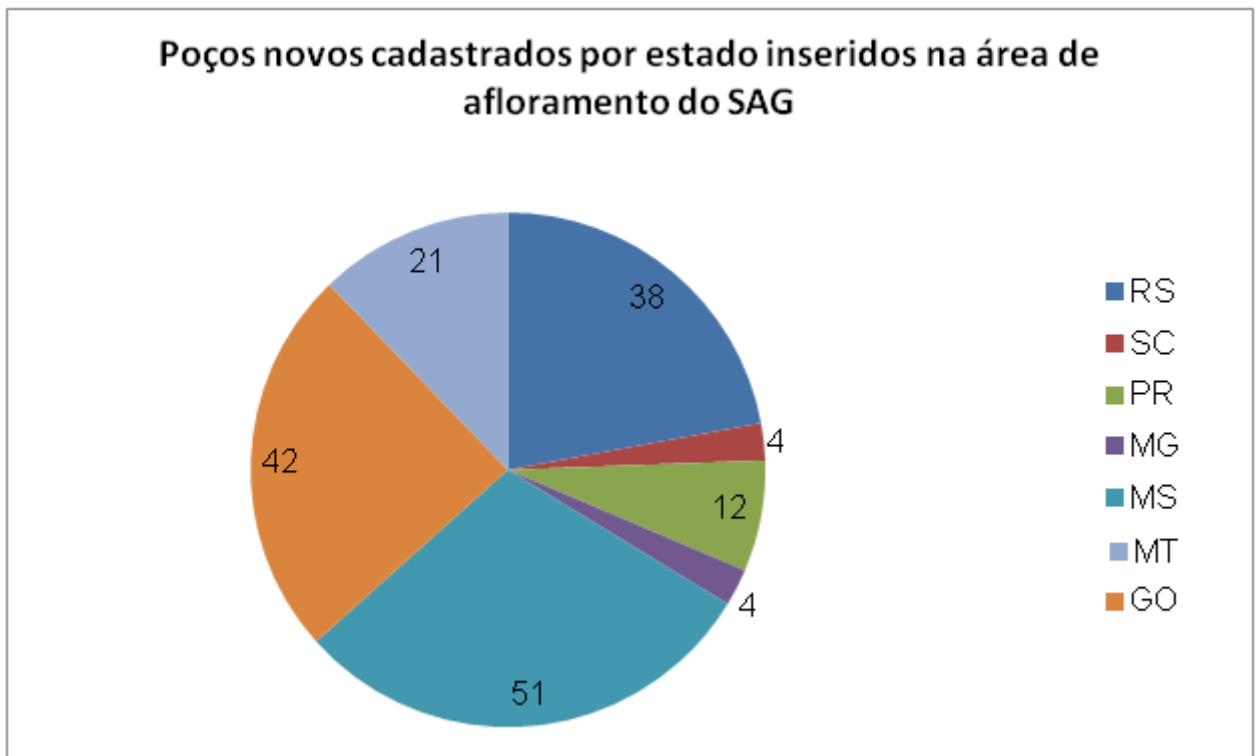


Figura 4.57 – Distribuição por estado dos novos poços cadastrados inseridos na área de afloramento do SAG.

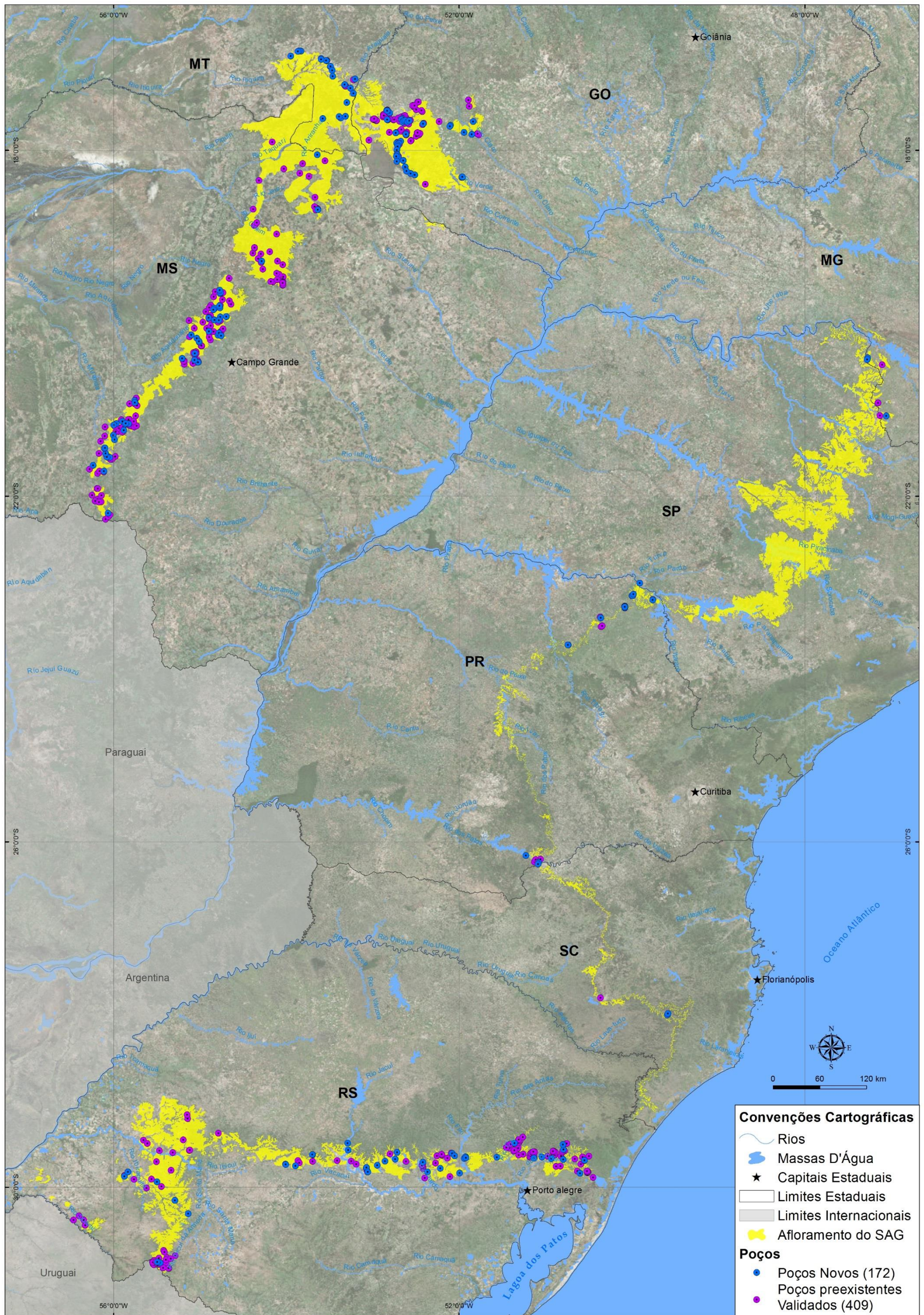


Figura 4.58 - Poços preexistentes validados em campo e poços novos cadastrados no projeto, contidos nas áreas de afloramento do SAG com base no mapeamento executado.

---

### 4.3 MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

---

O uso e ocupação da terra são reflexos de atividades econômicas, como a industrial e a agrícola, entre outras, responsáveis por alterações na qualidade da água, do ar, do solo e de outros recursos naturais, que interferem diretamente na qualidade de vida da população.

No contexto das águas subterrâneas, as diferentes formas de uso e ocupação da terra determinarão quais são os principais tipos de contaminantes com potencial de alcançar os aquíferos. Evidenciam-se as atividades agrícolas que, frequentemente são responsáveis por ocorrências de contaminação difusa da água subterrânea em decorrência da utilização de fertilizantes e agrotóxicos, e de usos inadequados das terras.

Desta forma, destaca-se que nas diferentes regiões onde ocorre o Sistema Aquífero Guarani a diversificação de uso e de manejo dos solos tem sido significativa em suas áreas de recarga direta, apresentando desde áreas ainda preservadas de vegetação nativa, a porções com uso agrícola intensivo, pastagens e áreas degradadas.

Levando-se em consideração estas premissas destaca-se a importância do mapeamento de uso e ocupação da terra nas áreas de afloramento do SAG. A partir desse mapeamento foi possível estabelecer uma relação entre as classes de uso e ocupação da terra e o grau potencial de carga contaminante associado às atividades desenvolvidas em cada classe.

#### 4.3.1 Metodologia do Mapeamento de Uso e Ocupação da Terra

O mapeamento de uso e ocupação da terra nas áreas de afloramento do SAG foi elaborado com base na classificação de imagens de satélite. Por meio de testes realizados entre imagens CBERS e Landsat, optou-se em utilizar esta última em vista da qualidade final alcançada, bem como a possibilidade de obtê-las em datas recentes, entre 2010 e 2011.

As imagens do sensor Landsat-TM5 foram adquiridas no site do INPE, ao passo que as imagens do sensor Landsat-OLI8 foram obtidas junto ao site do Serviço Geológico dos Estados Unidos. Foram levados em consideração dois critérios principais. Em primeiro lugar, que estas imagens tivessem sido capturadas entre os meses de agosto e novembro, período entre o fim da estação seca e o início da chuvosa, visando minimizar diferenças nas bordas das imagens, decorrentes da sazonalidade das culturas agrícolas. Em segundo lugar, sempre que possível, foram adquiridas as cenas de uma mesma órbita de passagem do satélite, reduzindo assim os efeitos das mudanças atmosféricas, já que estas cenas foram imageadas no mesmo dia.

Após a aquisição destas imagens, iniciou-se o pré-processamento das mesmas. Nesta etapa as imagens foram georreferenciadas a partir de imagens previamente retificadas, e então foram elaborados mosaicos parciais utilizando-se o *software Global Mapper*.

Estes mosaicos foram então importados para o *software Spring* e submetidos à segmentação automática com base nas respostas espectral e textural da imagem. Posteriormente, estes segmentos foram convertidos para o formato *shape* e importados para um banco de dados do ArcGis.

A metodologia de segmentação teve por objetivo ampliar o leque de classes identificáveis, bem como evitar o efeito de ruído e o extenuante trabalho de edição para correção de *raster*, comuns a classificadores estatísticos baseados no pixel, como exemplo, o classificador de máxima verossimilhança (MAXVER).

Os shapes gerados a partir da segmentação automática foram sobrepostos aos mosaicos em configurações variadas conforme a necessidade de interpretação, prevalecendo as composições em falsa-cor, bandas 753 e 345. A partir de então, procedeu-se à classificação manual (interpretação), combinando as informações destes segmentos com imagens de satélite Landsat na e imagens de alta resolução (disponíveis no Google Earth) e informações obtidas em campo tais como fotos e fichas, como as apresentadas na Figura 4.59.

Para a interpretação das imagens (segmentos) foram utilizados elementos básicos de reconhecimento como cor, tonalidade, forma, padrão, densidade, textura, tamanho, estabelecendo as seguintes classes de uso, compatíveis com a escala adotada para este mapeamento (1:250.000):

- ✓ Área Urbana
- ✓ Culturas Anuais
  - ✧ Arroz
  - ✧ Soja
- ✓ Culturas Semiperenes (cana-de-açúcar)
- ✓ Culturas Perenes (banana, laranja, tangerina, uva, café, entre outros)
- ✓ Campo/Pastagem
- ✓ Solo Exposto
- ✓ Silvicultura
- ✓ Mata
- ✓ Mata Ciliar ou de Galeria
- ✓ Campos Úmidos ou de Várzea
- ✓ Cerrado
- ✓ Rios
- ✓ Massas d'água
- ✓ Unidades de Conservação
- ✓ Mineração \*<sup>1</sup>
- ✓ Indústria \*<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> As classes Mineração e Indústria, por suas características espaciais, são mapeáveis apenas em escalas maiores, portanto serão apresentadas nas áreas piloto, na escala 1:50.000.

- ✓ Aeroporto \*<sup>2</sup>
- ✓ Porto \*<sup>2</sup>
- ✓ Estrada \*<sup>2</sup>
- ✓ Ferrovias \*<sup>2</sup>
- ✓ Limites Municipais e Estaduais
- ✓ Sedes Municipais

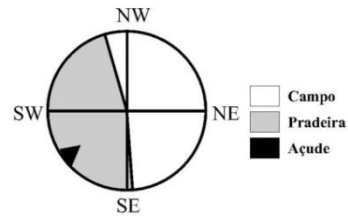
Para subsidiar a interpretação das imagens, foram coletados em campo pontos de controle georreferenciados para todos os padrões de uso pré-definidos na legenda. Estes pontos georreferenciados adquiridos em campo eram acompanhados de fichas com a descrição do uso de seu entorno e imagens fotográficas, possibilitando assim a aferição da classe identificada na imagem. A Figura 4.59 apresenta uma ficha de campo devidamente preenchida, acompanhada da imagem de referência.

---

<sup>2</sup> Os itens referentes à infraestrutura não são mapeáveis na escala 1:250.000, portanto não é possível delimitá-los, assim serão apresentados apenas como linhas (estradas e ferrovias) e pontos (aeroportos e portos). Já nas áreas pilotos, que serão apresentadas na escala 1:50.000, estas classes deverão ser mapeadas.

Município: São Borja Estado: RS  
Código do Ponto: RS249  
X: 653693 Y: 6792704 Fuso: 21

Cód Fotografia: RS249.jpg  
Direção geográfica do ponto central: NW  
(marque com uma seta a partir do centro)



**Tipos de uso**

**Agricultura** Tipo de Cultura: Pradeira  
Utiliza irrigação?  Sim  Não  
Situação do Solo:  Seco  Encharcado  
Relevo:  Plano  Ondulado  Ingrime

**Reflorestamento**  
Espécie plantada:  Eucalipto  Pinus  
Relevo:  Plano  Ondulado  Ingrime

**Mata**  
Vegetação:  Densa  Rasteira  Ciliar (margem dos rios)  
Transição com outros usos  Abrupta  Suave

**Campo**  
Aparência geral:  Campo limpo  Campo sujo  
Vegetação:  Rasteira  Rasteira e arbórea  
Relevo:  Plano  Ondulado  Ingrime

**Área urbana**  
Aparência geral:  Densamente ocupada (sem presença de grandes espaços vazios)  
 Insipiente (presença de espaços vazios)  
Composição:  Apenas urbana  Presença de indústrias nas proximidades

**Solo Exposto**  
Localização:  Próximo a áreas urbanas  Pastos ou campos de cultivo (pré ou pós corte, incluído o reflorestamento)



Figura 4.59 – Ficha de campo

Os pontos de controle recebidos de áreas que já haviam sido mapeadas foram utilizados para validação da classificação, ao passo que pontos recebidos de locais ainda não mapeados serviram para consolidação das chaves de classificação, auxiliando diretamente na interpretação das imagens. Estes pontos de controle divididos por classe de uso estão espacializados nas Figuras 4.60 a 4.68 e quantificados no Quadro 4.2.

**QUADRO 4.2 - PONTOS DE CONTROLE POR CLASSE DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA**

<i>Classes de uso e ocupação da terra</i>	<i>Pontos de controle</i>
Industrial	22
Urbano	55
Culturas perenes	9
Culturas Semiperenes	8
Culturas Anuais	59
Pastagens	163
Solo Exposto	18
Silvicultura	68
Mata	51
Mata Ciliar ou Galeria	25

A discrepância em termos quantitativos dos pontos de controle amostrados entre as classes de uso e ocupação da terra é resultante da própria ocorrência e distribuição espacial destas classes na área do afloramento. No caso da classe "pastagens" foram amostrados 168 pontos dada a ampla ocorrência e distribuição de pastos na área de estudo; já para as classes "culturas semiperenes" e "industrial" foram amostrados apenas 10 e 22 pontos respectivamente, fruto da ocorrência restrita de instalações industriais na área do afloramento, e por conta das maiores ocorrências de culturas semiperenes estarem localizadas no estado de São Paulo, onde não foi prevista a verificação de campo.

Para melhor identificar os tipos de uso agropecuário o mapeamento teve apoio em consultas ao Censo Agropecuário (IBGE, 2006); Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2012); e no caso do estado do Paraná, as informações da produção por município disponibilizadas pela Secretaria de Estado de Agricultura do Abastecimento.



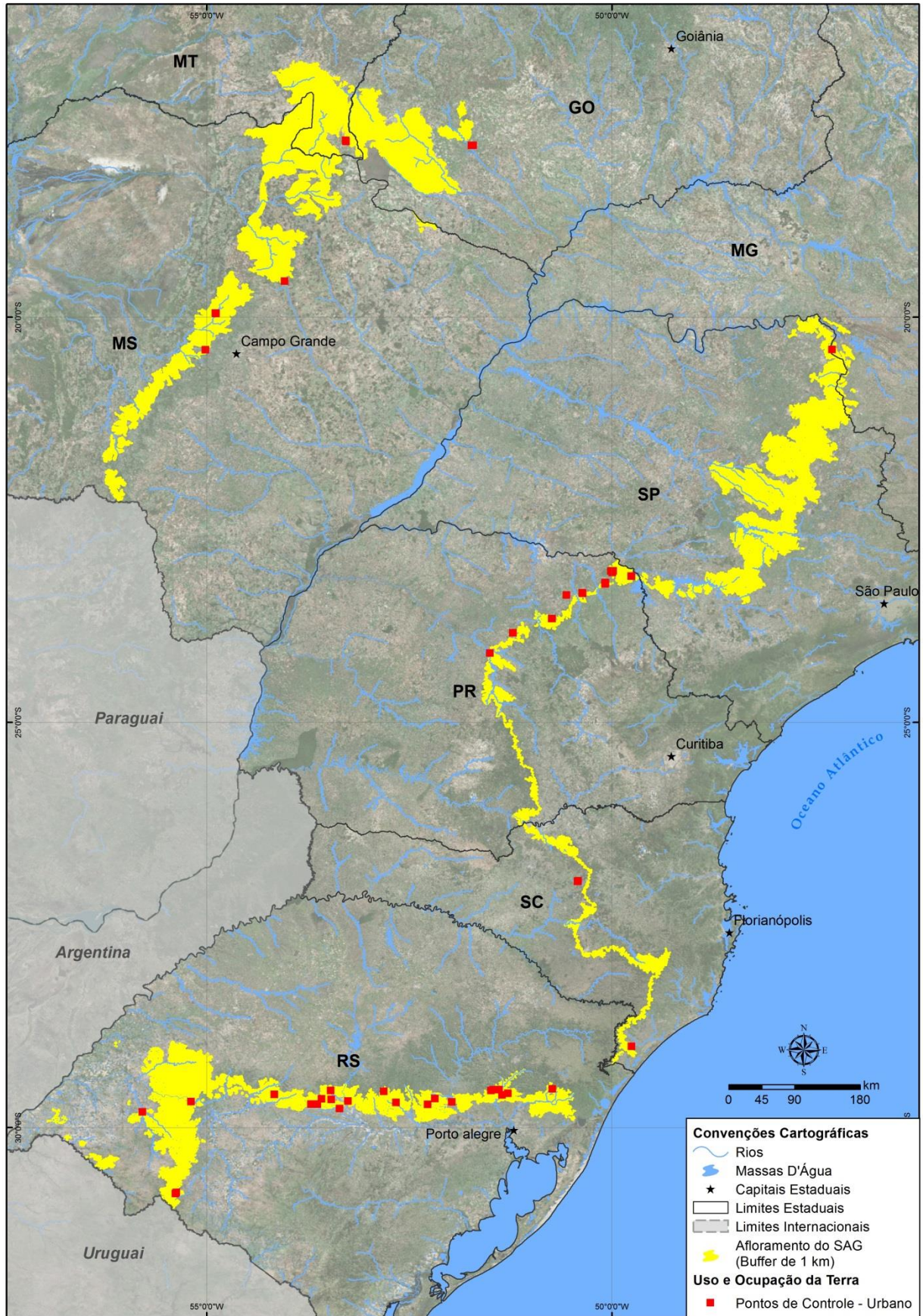


Figura 4.60 – Distribuição dos pontos de controle coletados em campo por classe de uso (urbano).

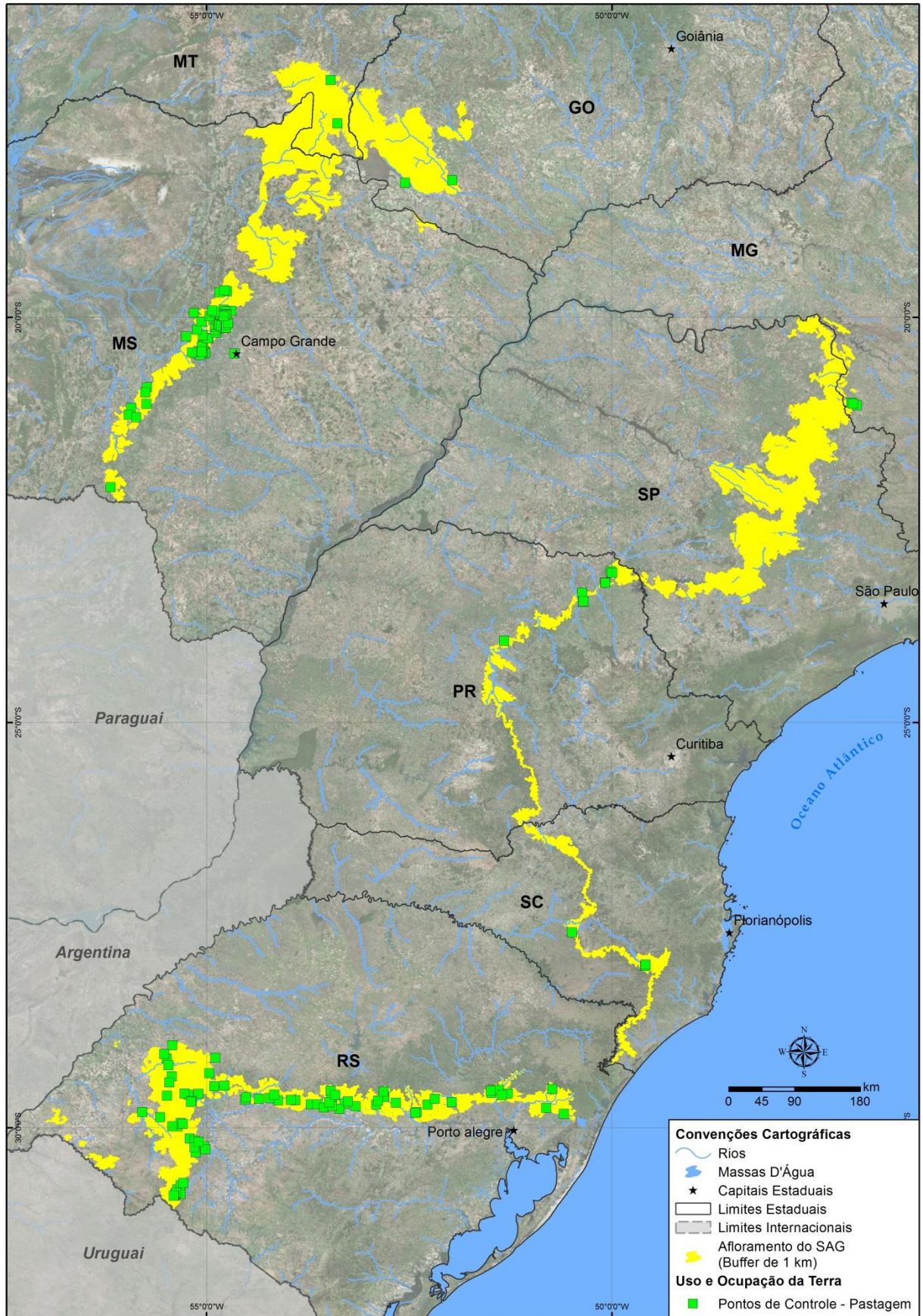


Figura 4.61 – Distribuição dos pontos de controle coletados em campo por classe de uso (pastagens).

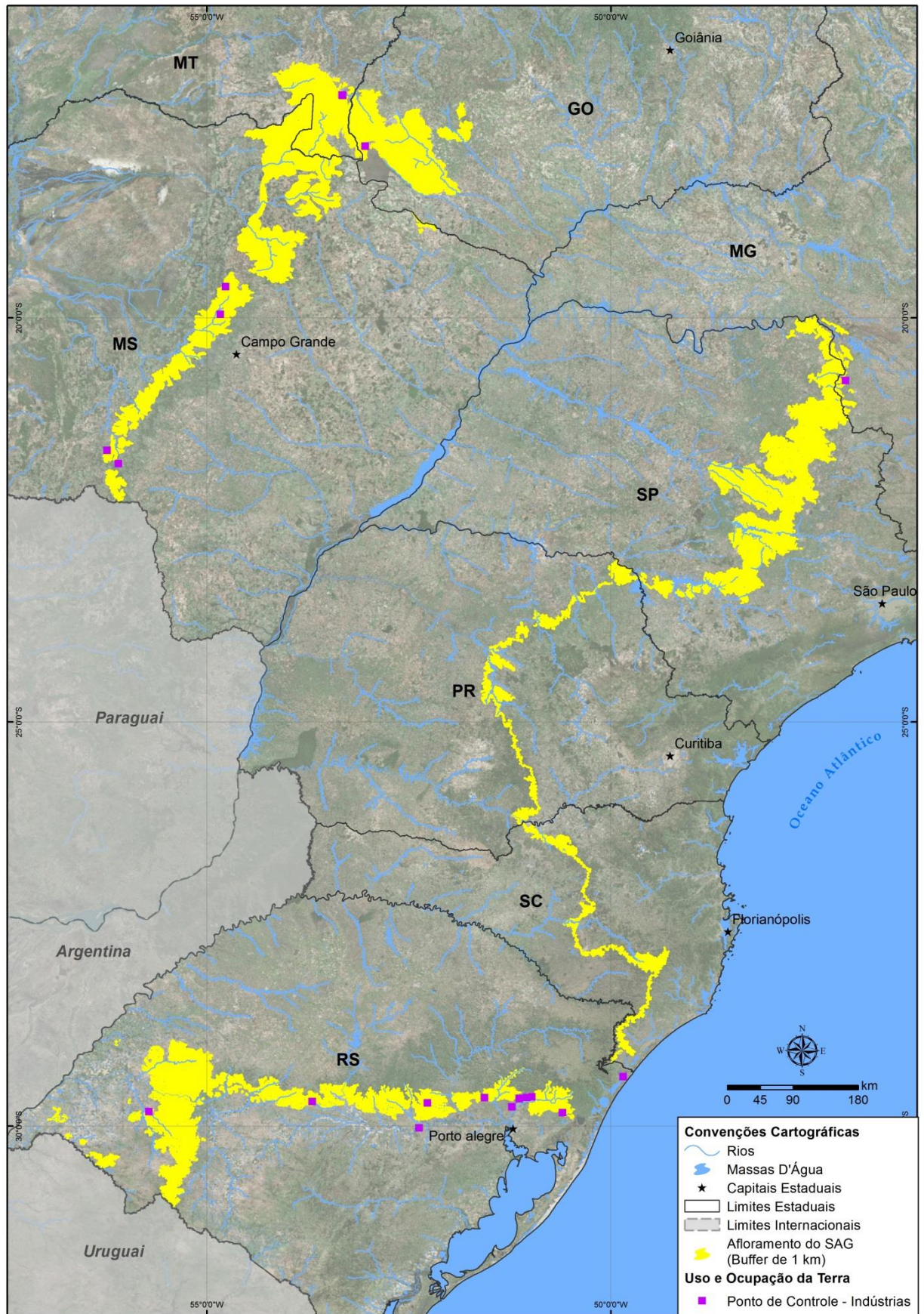


Figura 4.62 – Distribuição dos pontos de controle coletados em campo por classe de uso (indústrias).

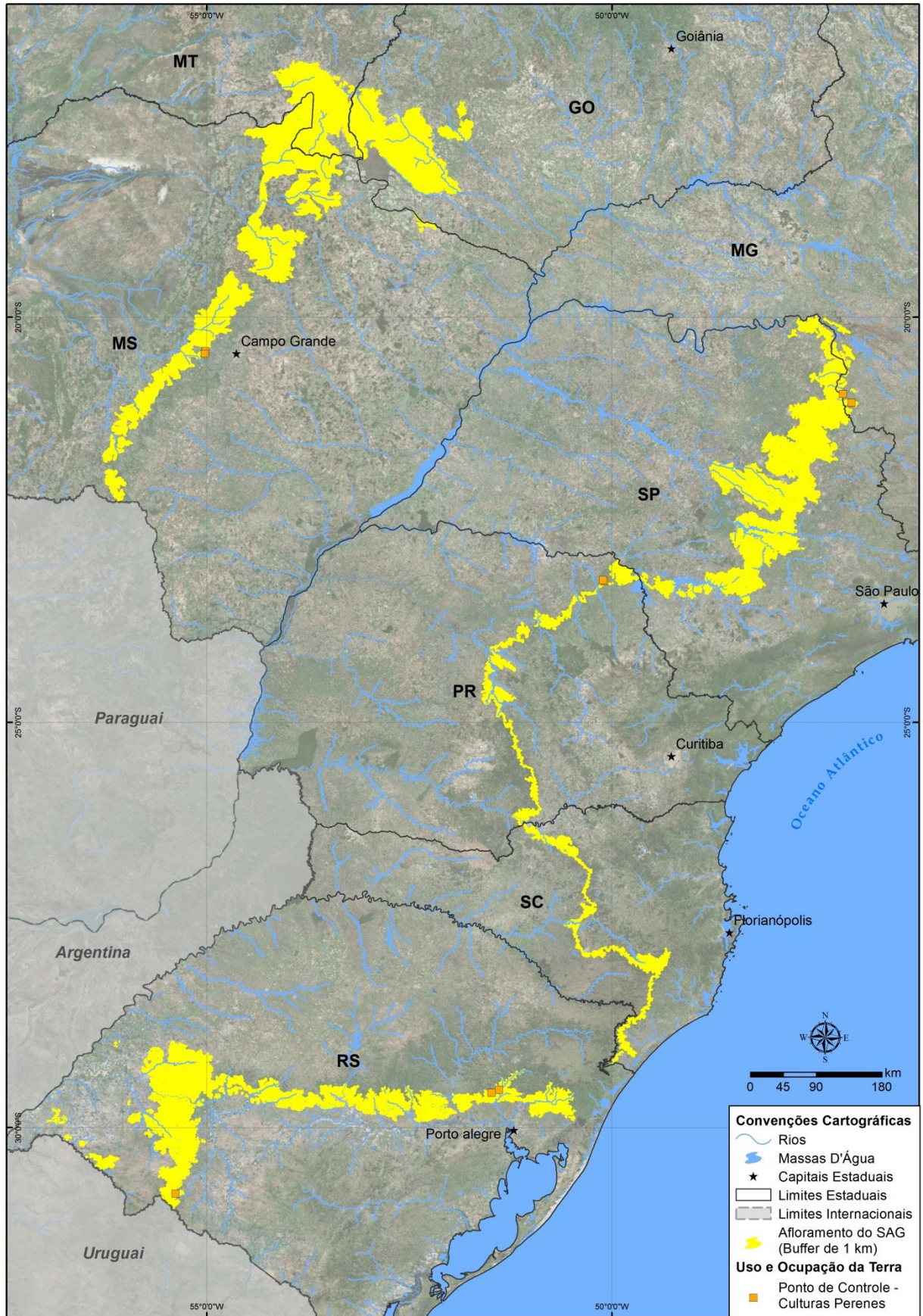


Figura 4.63 – Distribuição dos pontos de controle coletados em campo por classe de uso (culturas perenes).

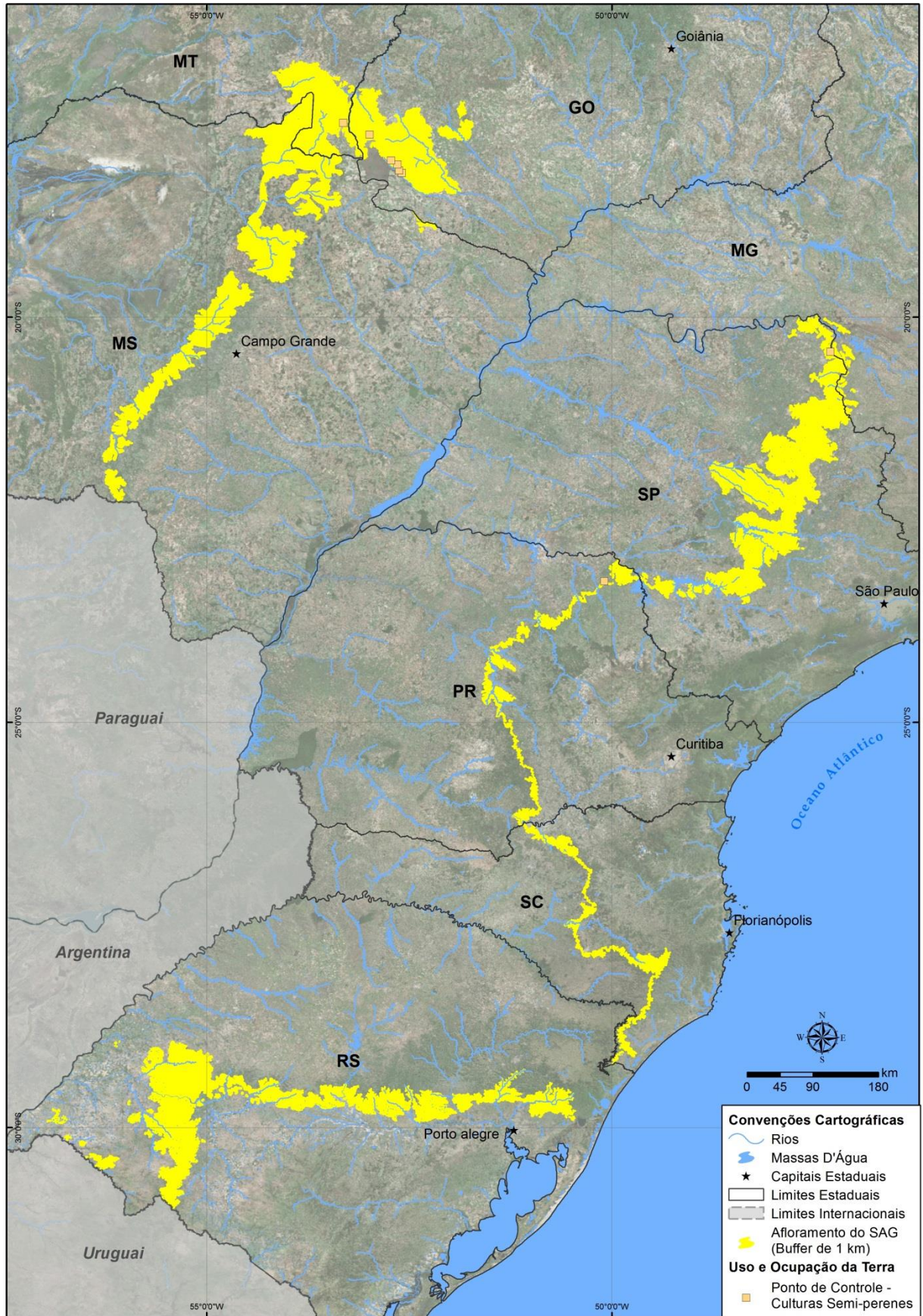


Figura 4.64 – Distribuição dos pontos de controle coletados em campo por classe de uso (culturas semi-perenes).

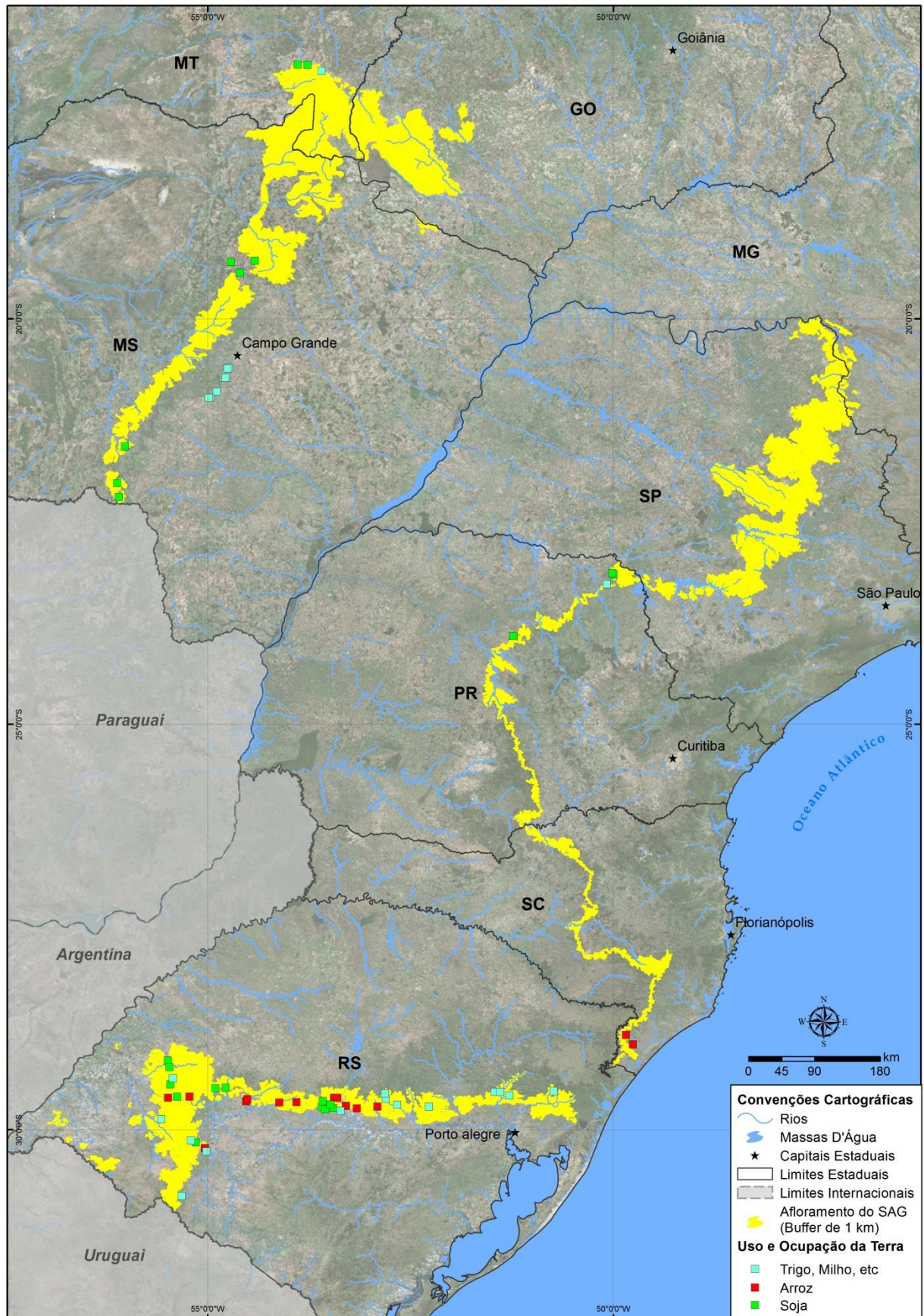


Figura 4.65 – Distribuição dos pontos de controle coletados em campo por classe de uso (culturas anuais).

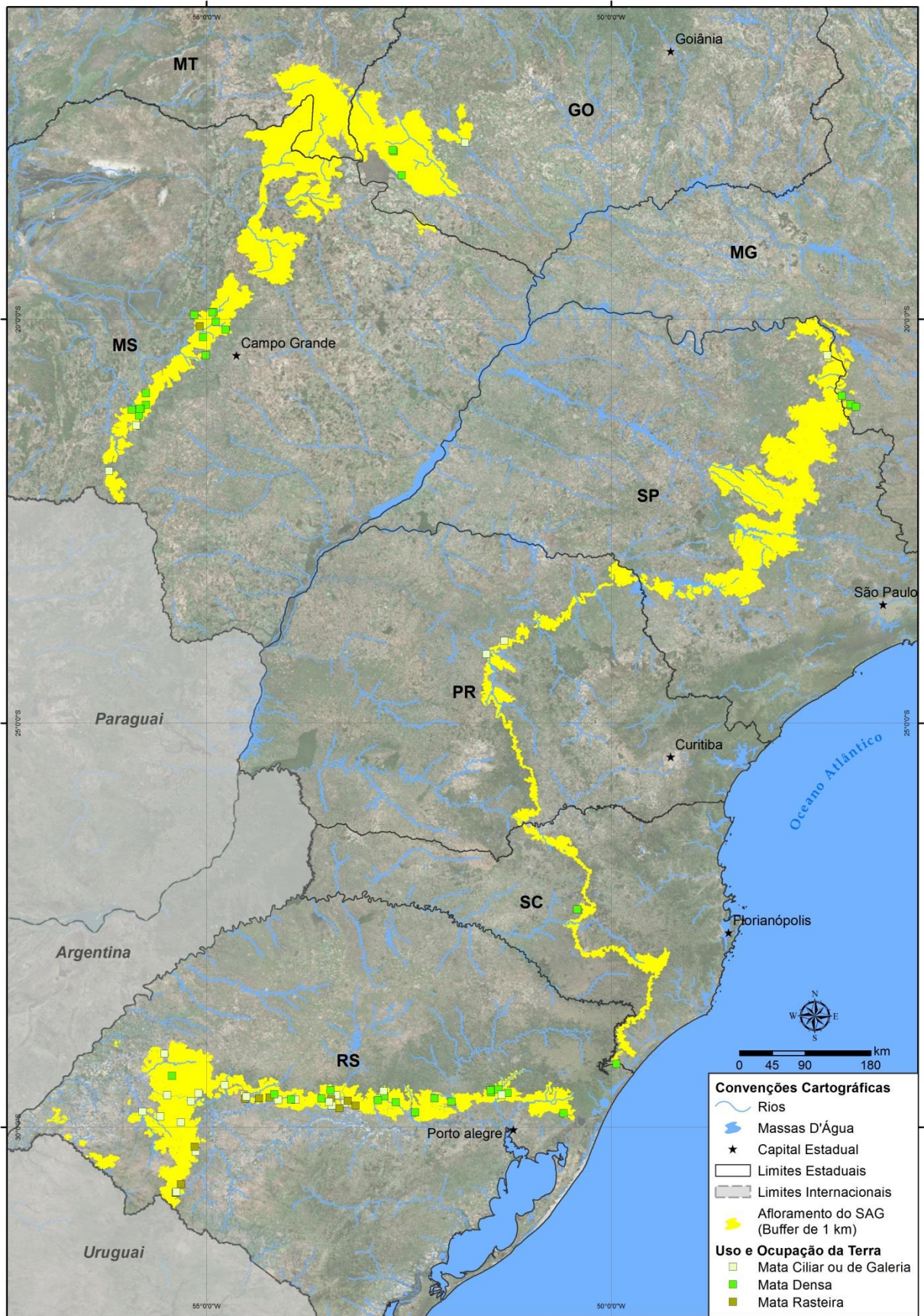


Figura 4.66 – Distribuição dos pontos de controle coletados em campo por classe de uso (mata ciliar ou de galeria, mata densa ou mata rasteira).

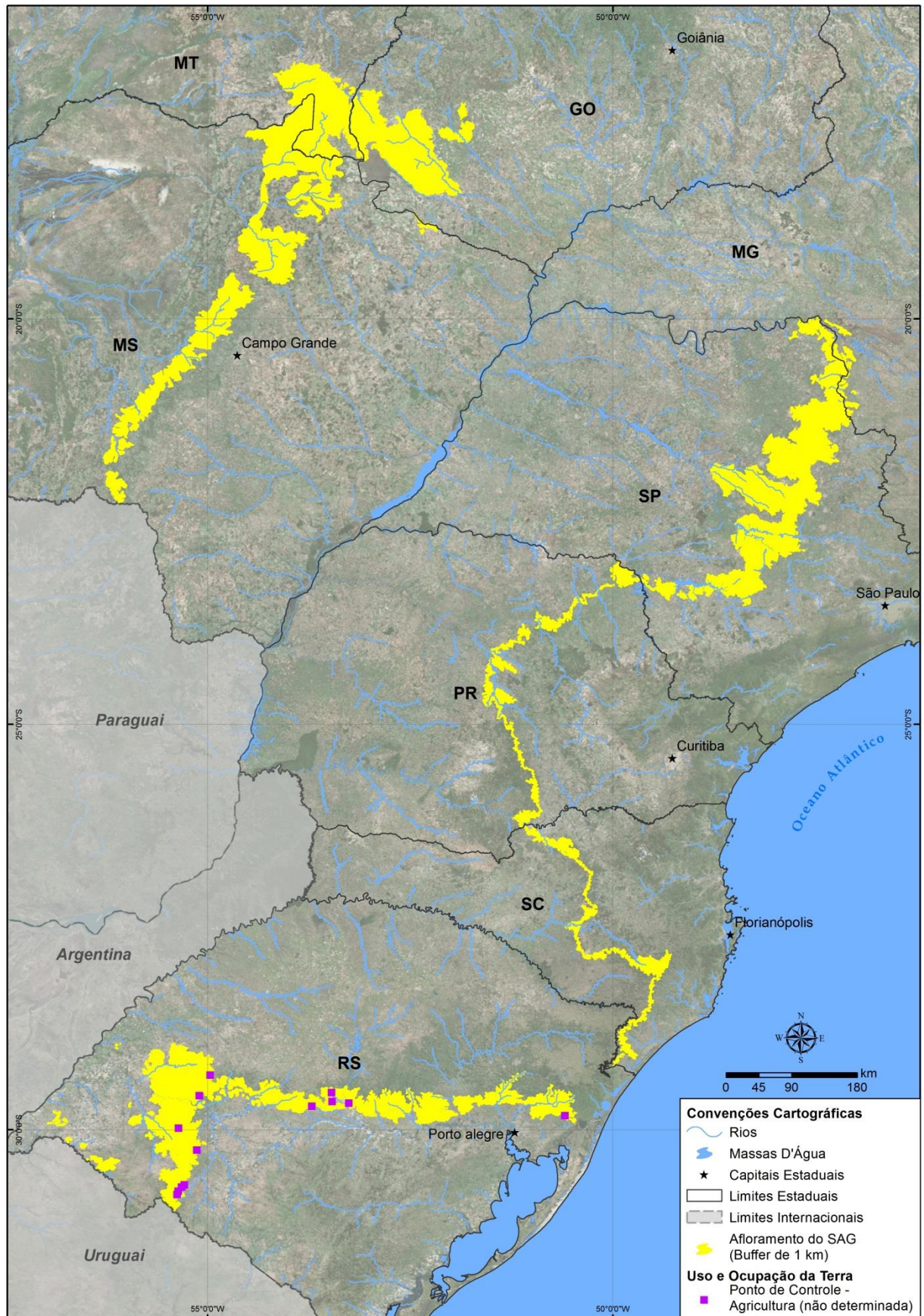


Figura 4.67 – Distribuição dos pontos de controle coletados em campo por classe de uso (agricultura não determinada).



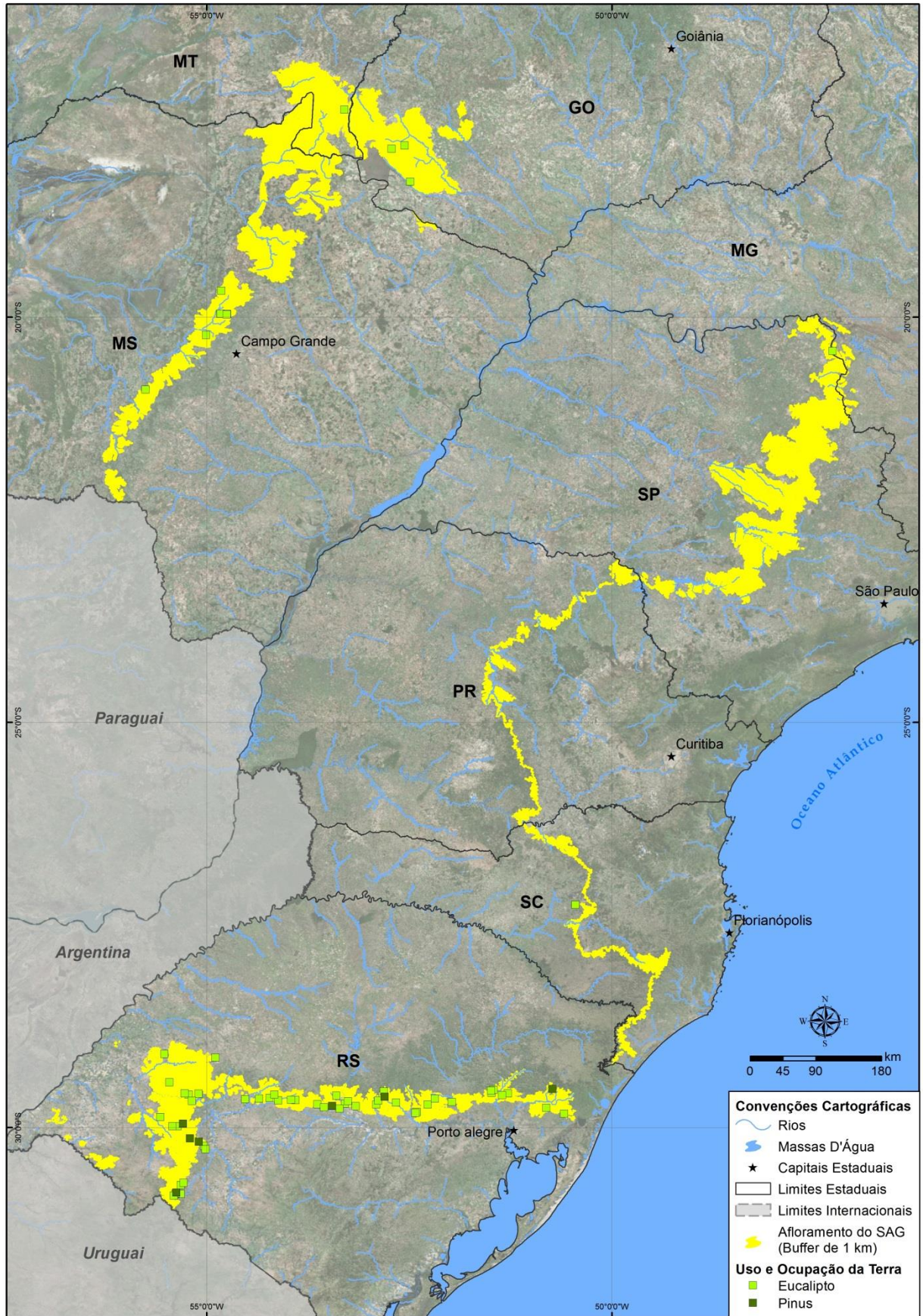


Figura 4.68 – Distribuição dos pontos de controle coletados em campo por classe de uso (silvicultura).

### 4.3.2 Análise do Uso e Ocupação da Terra

Nas diferentes regiões onde o Sistema Aquífero Guarani (SAG) aflora a diversificação de uso e de manejo têm sido significativa, apresentando desde áreas ainda preservadas de vegetação nativa, a porções com uso agrícola intensivo, pastagens e áreas degradadas.

O mapeamento de uso de ocupação da terra foi inicialmente elaborado com base nos limites das áreas de afloramento definidas no projeto PSAG (OEAb, 2009), cuja superfície distribui-se por 97.620 km<sup>2</sup>. Posteriormente, os resultados do mapeamento realizados neste projeto mostraram que essa área é quase 30% menor, ocupando uma área de 67.345,7 km<sup>2</sup>.

O cenário de ocupação das áreas de afloramento apontou o uso antrópico como predominante nas áreas do SAG, destacando-se as porções destinadas às pastagens e à agricultura, as quais ocupam 26.386,4 km<sup>2</sup> (39,2%) e 18.649,7 km<sup>2</sup> (27,7%), respectivamente, como apresentado no Quadro 4.3.

**QUADRO 4.3 - CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA**

Classe	RS	SC	PR	SP <sup>3</sup>	MG	MS	MT	GO	Total
Urbano	231,9	9,1	14,7	211,4	3,8	10,9	-	17,6	<b>499,4</b>
Culturas Anuais	3.804,2	124,5	280,8	754,4	84,0	1.681,7	502,0	763,1	<b>7.994,7</b>
Culturas Anuais - Arroz	678,4	6,3	-	-	-	-	-	-	<b>684,7</b>
Culturas Anuais - Soja	1.003,7	0,0	-	-	-	27,7	541,8	108,4	<b>1.681,6</b>
Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	-	-	-	6.991,7	82,2	-	-	-	<b>7.073,9</b>
Culturas Perenes	4,1	-	-	1.141,4	67,3	-	-	-	<b>1.212,8</b>
Pastagens	6.222,8	244,6	746,3	2.241,8	223,3	11.026,0	1.987,8	3.693,8	<b>26.386,4</b>
Solo Exposto	14,0	-	0,5	1,3	-	1,7	-	-	<b>17,5</b>
Silvicultura	255,5	272,6	49,4	2.054,7	38,1	-	-	-	<b>2.670,3</b>
Mata	1.171,6	596,4	396,0	383,7	7,6	-	-	-	<b>2.555,3</b>
Mata Ciliar ou de Galeria	654,5	2,6	12,7	942,0	23,8	2.736,3	1.248,7	1.541,5	<b>7.162,1</b>
Campos Úmidos ou de Várzea	94,9	14,8	4,0	215,1	-	123,7	43,4	172,1	<b>668,0</b>
Cerrado	-	0,0	0,0	448,6	46,1	3.268,7	2.170,6	2.401,0	<b>8.335,0</b>
Rios	5,6	7,3	13,3	102,2	0,3	4,0	-	-	<b>132,7</b>
Lagos	36,5	1,2	-	227,9	-	0,9	-	0,6	<b>267,1</b>
Mineração	-	-	0,9	3,3	-	-	-	-	<b>4,2</b>
<b>Total</b>	<b>14.177,7</b>	<b>1.279,4</b>	<b>1.518,6</b>	<b>15.719,5</b>	<b>576,5</b>	<b>18.881,6</b>	<b>6.494,3</b>	<b>8.698,1</b>	<b>67.345,7</b>

Elaboração ENGECORPS, 2013

O mapeamento de uso e ocupação da terra apontou a presença de 18.720,4 km<sup>2</sup> de remanescentes de cobertura vegetal natural, demonstrando que ainda restam 27,8% de vegetação natural na área de estudo.

<sup>3</sup> Para estabelecer a área para o estado de São Paulo, foram utilizados limites estabelecidos pela Secretaria do Meio Ambiente, SMA (2010), conforme os termos de referência do contrato.

A cobertura vegetal da área do SAG, originalmente, era composta pelos domínios do Cerrado e da Mata Atlântica, este último compondo um mosaico de vegetações definidas como florestas ombrófilas (densa, aberta e mista), florestas estacionais (decidual e semidecidual), e campos de altitude, segundo o Mapa de Distribuição da Vegetação do Brasil (IBGE, 2004). Atualmente, a região encontra-se intensamente desmatada e apenas áreas restritas conservam a vegetação original.

No mapeamento de uso e ocupação da terra, a vegetação natural do SAG foi subdividida nas seguintes classes: Cerrado, Mata Atlântica (Mata e Campos Úmidos) e Mata Ciliar. Dentre as classes de cobertura vegetal natural destacam-se os fragmentos de cerrado e as matas ciliares, as quais ocupam, respectivamente, 12,4% e 10,6% da área de afloramento. As matas e os campos úmidos (várzeas) ocupam áreas mais restritas, 3,8% e 1%, respectivamente.

As porções ocupadas por cobertura vegetal natural estão concentradas, principalmente, no compartimento noroeste (no compartimento noroeste da área de afloramento), com fragmentos de cerrado, sobretudo nos estados de Mato Grosso do Sul e Goiás, indicando uma região mais preservada. Essas áreas são fundamentais para proteção dos recursos hídricos superficiais e recarga do Sistema Aquífero Guarani.

Destaca-se que na área do afloramento do SAG o Domínio do Cerrado está restrito aos estados de SP, MG, MS, MT e GO, sendo que mais de 90% destes fragmentos estão concentrados nos estados de Mato Grosso do Sul e Goiás.

Cabe mencionar que segundo Sano *et al.* (2007), o estado de Goiás detém a maior quantidade de áreas preservadas de cerrado no País, e por isso mesmo é considerada uma das mais críticas para conservação. Destaca-se que parte da área de estudo está situada no Parque Nacional das Emas, que representa uma das principais reservas brasileiras do bioma Cerrado, junto com o Parque Nacional de Brasília (DF e GO) e Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (GO).

Ocupando área de menor expressão, os fragmentos de Mata Atlântica, com 7% do território do SAG aflorante, estão distribuídos principalmente entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

É importante mencionar que as áreas onde a cobertura vegetal está mais preservada encontram-se restritas a escarpas mais íngremes ou a regiões com altitudes elevadas, que em geral são áreas de difícil acesso, onde a prática agrícola ou a exploração madeireira é dificultada, ou áreas protegidas legalmente como as Unidades de Conservação.

Além disso, esses redutos de Mata Atlântica e de Cerrado ainda estão preservados devido à existência de áreas legalmente protegidas criadas com objetivo de conter o avanço das áreas agrícolas sobre os fragmentos florestais e, com isso, proteger os remanescentes. As Unidades de Conservação são responsáveis por manter grande parte das áreas florestadas. A maior parte das regiões contínuas florestadas encontra-se dentro de parques (nacionais e estaduais).

Existem na região Unidades de Proteção Integral, que pressupõem a preservação permanente do patrimônio natural do local, e Unidades de Uso Sustentável, onde são permitidas algumas

atividades, porém visando sempre compatibilizar o uso de recursos naturais com a preservação dos ecossistemas. Algumas dessas UCs áreas de afloramento do SAG dentro de seu perímetro. O Quadro 4.4 apresenta as Unidades de Conservação presentes na área em foco.

**QUADRO 4.4 - UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E SITUAÇÃO DOS SEUS PLANOS DE MANEJO**

<i>Nome da UC</i>	<i>UF</i>	<i>Categoria de Proteção</i>	<i>Plano de Manejo</i>	<i>Ano de Criação</i>
Parque Nacional das Emas	GO	Proteção Integral	Possui	1961
Parque Estadual Das Nascentes do Rio Taquari	MS	Proteção Integral	Possui	1999
APA Rio Cênico Rotas Monçoeiras	MS	Uso Sustentável	Não possui	2000
RPPN Duas Pedras	MS	Uso Sustentável	-	-
APA Estrada Parque de Piraputanga	MS	Uso Sustentável	Não possui	2000
Parque Estadual das Furnas do Bom Jesus	SP	Proteção Integral	Possui	1990
Estação Ecológica de Santa Maria	SP	Proteção Integral	Não possui	1985
Estação Ecológica Jataí	SP	Proteção Integral	Em elaboração	1982
ARIE Pé-De-Gigante	SP	Uso Sustentável	Não possui	1990
Parque Estadual de Vassununga	SP	Proteção Integral	Possui	1970
ARIE Vassununga	SP	Uso Sustentável	Não possui	1990
APA Corumbataí, Botucatu e Tejuapá - Perímetro Corumbataí	SP	Uso Sustentável	Não possui	1983
APA Piracicaba Juqueri Mirim Área I	SP	Uso Sustentável	Não possui	1991
Estação Ecológica Itirapina	SP	Proteção Integral	Possui	1984
APA Ibitinga	SP	Uso Sustentável	Em elaboração	1987
Estação Ecológica de São Carlos	SP	Proteção Integral	Não possui	1987
Estação Ecológica do Barreiro Rico	SP	Proteção Integral	Em elaboração	2006
Estação Ecológica Ibicatu	SP	Proteção Integral	Não possui	1987
APA Tietê	SP	Uso Sustentável	Não possui	1983
APA Corumbataí Botucatu Tejuapá - Perímetro Botucatu	SP	Uso Sustentável	Não possui	1983
Estação Ecológica Angatuba	SP	Proteção Integral	Possui	1985
APA Corumbataí Botucatu Tejuapá - Perímetro Tejuapá	SP	Uso Sustentável	Não possui	1983
Parque Nacional de São Joaquim	SC	Proteção Integral	Não possui	1961
Reserva Biológica Estadual do Aguai	SC	Proteção Integral	Possui	1983
Parque Nacional da Serra Geral	RS/SC	Proteção Integral	Não possui	1992
APA do Banhado Grande	RS	Uso Sustentável	Em elaboração	1998
Parque Estadual Quarta Colônia	RS	Proteção Integral	Não possui	2005
Reserva Biológica do Ibirapuitã	RS	Proteção Integral	Não possui	1976
APA Ibirapuitã	RS	Uso Sustentável	Possui	1992

Elaboração ENGECORPS, 2014

Foram registradas 29 Unidades de Conservação nas áreas de afloramento do SAG, sendo 16 de Proteção Integral e 13 de Uso Sustentável. Destaca-se que mais de 58% dessas UCs estão localizadas no Estado de São Paulo e, em menor proporção, nos estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul, com quatro UCs localizadas nas áreas aflorantes do SAG em cada estado.

Destaca-se que as UCs mais antigas são o Parque Nacional das Emas, em Goiás, e o Parque Nacional de São Joaquim, em Santa Catarina, ambas criadas em 1961. Em contraponto, a Estação Ecológica do Barreiro Rico, é a UC mais recente, criada em 2006, no município de Anhembi, no Estado de São Paulo.

Sobre as unidades, cabe mencionar que apenas 24% das UCs inseridas na área em foco apresentam seus Planos de Manejo concluídos. O panorama geral dos Planos de Manejo é o seguinte: das 29 UCs inseridas na área aflorante do SAG, 16 não possuem Plano de Manejo, quatro têm seus planos em elaboração, e apenas 8 tem seus Planos de Manejo concluídos<sup>4</sup>, como sintetiza o Quadro 4.4. É importante destacar que estas UCs somente cumprirão o seu papel de compatibilizar o uso dos recursos naturais com a preservação dos ecossistemas com Planos de Manejo elaborados e implementados, não bastando a existência da UC por si mesma.

No que diz respeito às áreas agrícolas, é importante destacar que nos últimos trinta anos houve um avanço importante da agropecuária sobre estas áreas de vegetação natural. O uso agrícola tem sido intensificado visando sempre o aumento da produção e expansão de novas fronteiras.

Todavia, para atender esse cenário de expansão, a agricultura esteve fortemente dependente dos agroquímicos (insumos, fertilizantes e agrotóxicos), de mecanização, de aumento de áreas com extrema diminuição de diversificação de culturas (tendência à monocultura) e de alto uso de energia fóssil (Cerdeira *et al*, 2007).

A expansão destas fronteiras agrícolas vem ocorrendo de forma desorganizada, sem levar em consideração critérios técnicos, atingindo áreas frágeis do ponto de vista ambiental, como as áreas de afloramento do SAG.

Isso pode ser exemplificado pelo atual processo de avanço das plantações de cana-de-açúcar no Cerrado, sobretudo nos estados do Mato Grosso do Sul e Goiás, objetivando-se a produção do etanol. Essa expansão é decorrente da boa cotação do açúcar no comércio internacional, dos incentivos governamentais para a produção de álcool, e em parte, pelas oscilações do preço da soja no mercado internacional. Além disso, o plano de construção do “alcoolduto” da Petrobrás também incentivou a expansão das lavouras no sul do Estado de Goiás.

Cabe salientar que o avanço das lavouras de cana-de-açúcar nesta região vem ocorrendo principalmente em substituição a áreas de pastagens degradadas, e também a áreas agrícolas, prioritariamente lavouras de soja e milho.

No estado de Goiás, desde 2002, as lavouras de cana-de-açúcar vêm ocupando principalmente a região central, ao longo do eixo norte/sul do estado, próximo às vias de escoamento da produção, as BRs 153, 060, 364 e 452 (Castro *et al.*, 2007). Mais recentemente, a partir de 2008, a cana-de-açúcar tomou um novo direcionamento ocupando áreas no sentido sudoeste do estado, justamente nas áreas de afloramento do Aquífero Guarani, como ilustra Figura 4.69. Esta figura também mostra o avanço da cana-de-açúcar nos estados de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo, no período de 2003 e 2012.

---

<sup>4</sup> Não foi identificada a situação do Plano de Manejo da RPPN Duas Pedras.

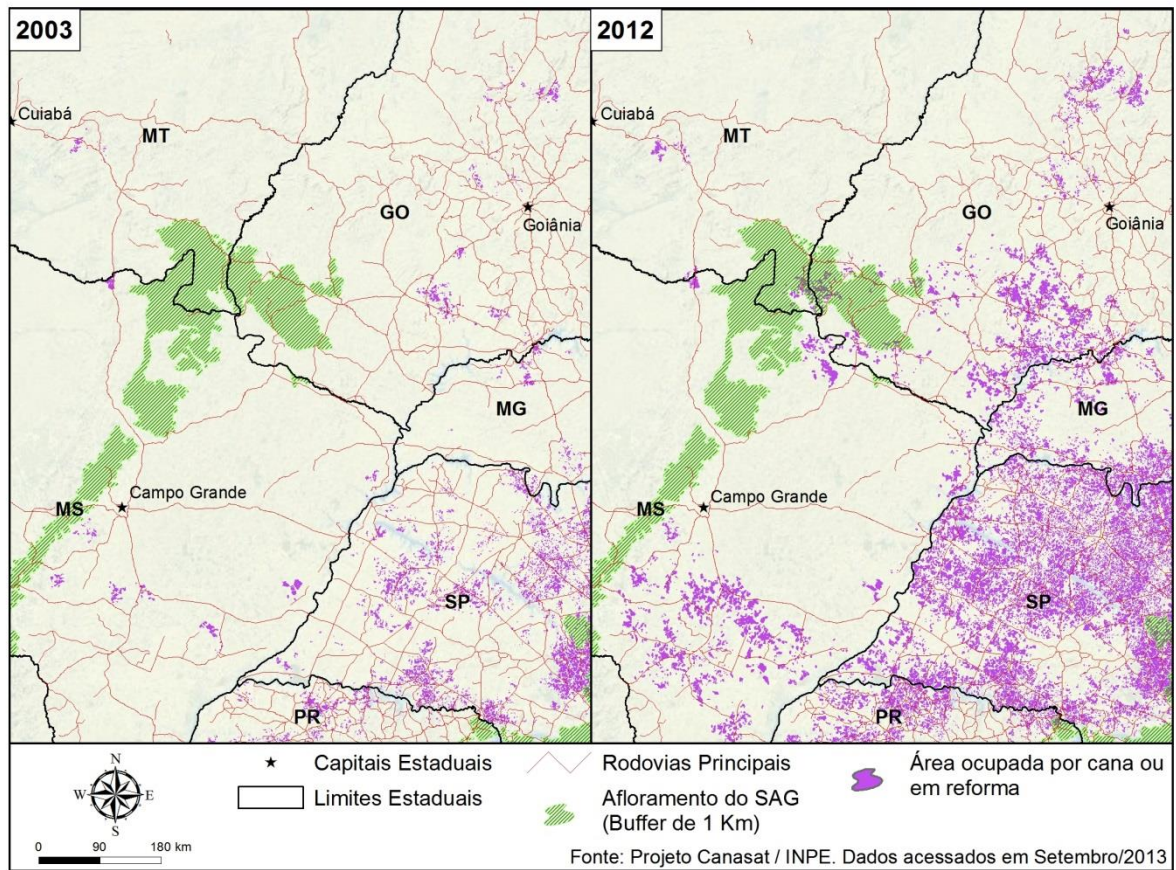


Figura 4.69 – Ocupação da cana-de-açúcar nos anos de 2003 e 2012

Tanto o manejo agrícola como o processo industrial da cana-de-açúcar, sobretudo a utilização de agroquímicos e a disposição da vinhaça (subproduto do processamento da cana), muitas vezes usada para adubação do solo, podem causar colocar em risco a contaminação dos solos e águas. Na aplicação de vinhaça no processo de fertirrigação, parcela significativa de íons como nitrato e potássio, podem percolar o solo e atingir o lençol freático.

Grande parte da área no setor centro-sul dos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul, onde se encontram as usinas de álcool, é formada por solos arenosos pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná. A concentração de usinas de álcool e de áreas produtoras de cana-de-açúcar, nesta região, é algo bastante preocupante do ponto de vista da conservação dos solos e das águas subterrâneas.

No cenário atual, as terras destinadas a pastagens e a agricultura ocupam quase 70% da área de afloramento do Aquífero Guarani, sendo 27,8% de uso agrícola. O cultivo, principalmente de grãos, tem ampliado suas fronteiras e ocupado áreas tradicionais de pecuária, nas quais os solos arenosos são classificados como inapto para lavouras, segundo o Sistema de Aptidão Agrícola das Terras (Sano et al., 2007).

As áreas dedicadas às pastagens extensivas estão dispersas por toda a área de afloramento, entretanto, estão mais presentes nos estados de Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul.

Dentre os usos agrícolas, as culturas predominantes são a soja e o arroz (culturas anuais), a cana-de-açúcar (cultura semiperene), a laranja e o café (culturas perenes).

As culturas anuais, através dos cultivos rotativos, destacam-se no contexto do SAG onde representam 15,5% da área total, principalmente a soja, com maiores áreas plantadas concentradas nas extensas monoculturas do estado de Mato Grosso e nas pequenas propriedades do Rio Grande do Sul. Destacam-se também dentre as culturas anuais o milho, principalmente no estado Goiás e Mato Grosso do Sul, e o arroz, predominantemente no Rio Grande do Sul.

As culturas semiperenes, representada pela cana-de-açúcar, se destacam nas áreas de afloramento do SAG, onde representam mais de 10,5%, concentradas predominantemente no estado de São Paulo e, em menor proporção, em Mato Grosso do Sul e Goiás.

As culturas perenes, como de café, laranja, banana, uva, maçã etc., são menos representativas na área do SAG, correspondendo a menos de 2% da área do afloramento, com destaque para o café e a laranja, principalmente nos estados de São Paulo e Minas Gerais. O manejo praticado nas áreas ocupadas com culturas perenes apresenta menos perturbação e aeração do solo, produzindo assim menos perdas por lixiviação em relação aos locais onde se pratica o cultivo anual.

Nas diferentes regiões onde ocorrem áreas de afloramento do Aquífero Guarani, a diversificação de uso e de manejo é muito grande, fruto do processo de ocupação e das distintas características físicas envolvidas (relevo, solos, clima etc.). Estas condições evidenciam a ocorrência de vários sistemas de produção agrícola, demonstrando as distintas vocações dos estados envolvidos, com pequenas semelhanças entre alguns deles. Estas divergências e semelhanças são abarcadas pelo Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2007), cujos dados destacam a ocorrência de grandes propriedades voltadas às monoculturas, principalmente de soja, na porção norte do SAG, com predominância de propriedades maiores que 50 hectares, ao passo que no setor sul do SAG, onde o destaque são os cultivos de arroz e soja no Rio Grande do Sul, são mais comuns as propriedades com área inferior a 50 hectares, fato que enfatiza as semelhanças e diferenças entre os estados envolvidos neste estudo.

É importante salientar que as formas de uso e ocupação da terra estão intimamente associadas às fontes de contaminação, sendo que as atividades agrícolas representam fontes potenciais de contaminação da água subterrânea, através da utilização de fertilizantes e agrotóxicos, além dos usos inadequados das terras.

---

#### 4.4 CADASTRO DE FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO

---

##### 4.4.1 Fontes potenciais pontuais de contaminação

As fontes potenciais de contaminação pontuais geralmente produzem plumas claramente definidas e mais concentradas, o que facilita sua identificação e, em alguns casos, seu controle. Todavia, quando as atividades poluentes pontuais são múltiplas, acabam representando, no final, uma fonte basicamente difusa no que diz respeito à identificação e ao controle (Foster et al., 2006).

As fontes potenciais pontuais de contaminação estão associadas aos empreendimentos industriais e comerciais, geralmente instalados nas áreas urbanas dos municípios, e ao esgotamento sanitário *in situ* (fossas sépticas).

Para o levantamento cadastral de fontes potenciais de contaminação foram consultados os seguintes órgãos:

- ✓ No estado do Rio Grande do Sul: FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler / SEMA – Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul.
- ✓ No Estado de Santa Catarina: FATMA – Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina e Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI.
- ✓ No Estado do Paraná: IAP – Instituto Ambiental do Paraná / SEMA – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná e Secretaria da Agricultura e do Abastecimento – SAAB.
- ✓ No Estado de Minas Gerais: FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente e Secretaria da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento – SAPA.
- ✓ No Estado do Mato Grosso do Sul: SEMAC – Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul / IMASUL – Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul.
- ✓ No Estado de Goiás: SEMARH – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Goiás e Secretaria de Agricultura, Pecuária e Irrigação – SAPI.
- ✓ No Estado de Mato Grosso: SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Mato Grosso.
- ✓ IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
- ✓ ANP - Agência Nacional do Petróleo.
- ✓ INPEV - Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias.
- ✓ IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Os levantamentos cadastrais realizados obtiveram informações de:

- ✓ Destinação adequada ou não de resíduos sólidos (IBGE, Atlas de Saneamento, 2011).



- ✓ Cadastro de postos de combustíveis da ANP (Agência Nacional do Petróleo).
- ✓ Cadastro de postos de combustíveis da PETROBRAS.
- ✓ Localização de cemitérios por meio de imagens do *Google Earth*.
- ✓ Cadastro de postos de recebimento de embalagens de agrotóxicos (INPEV).
- ✓ Cadastro contendo um único dado de área contaminada sob intervenção (FEAM, MG).
- ✓ Cadastro de empreendimentos potencialmente poluentes (IMASUL-MS, SEMA-MT, IAP-PR, FATMA-SC, FEPAM-RS).
- ✓ Cadastro técnico federal de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais do IBAMA.
- ✓ Detalhes de tipo e quantidade de agrotóxicos utilizados por município no Paraná (SAAB-PR).

O cadastro de destinação de resíduos sólidos do Atlas de Saneamento do IBGE (2011), elaborado com dados de 2008, aponta a existência de 200 pontos de descarte representados por aterros controlados, aterros sanitários, unidades de triagem e reciclagem e lixões nas áreas do SAG (exceto estado de São Paulo), além de um dado sem informação e de 23 municípios sem manejo de resíduos sólidos (Figura 4.70). Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina são as unidades federativas com maior número de pontos de descarte.

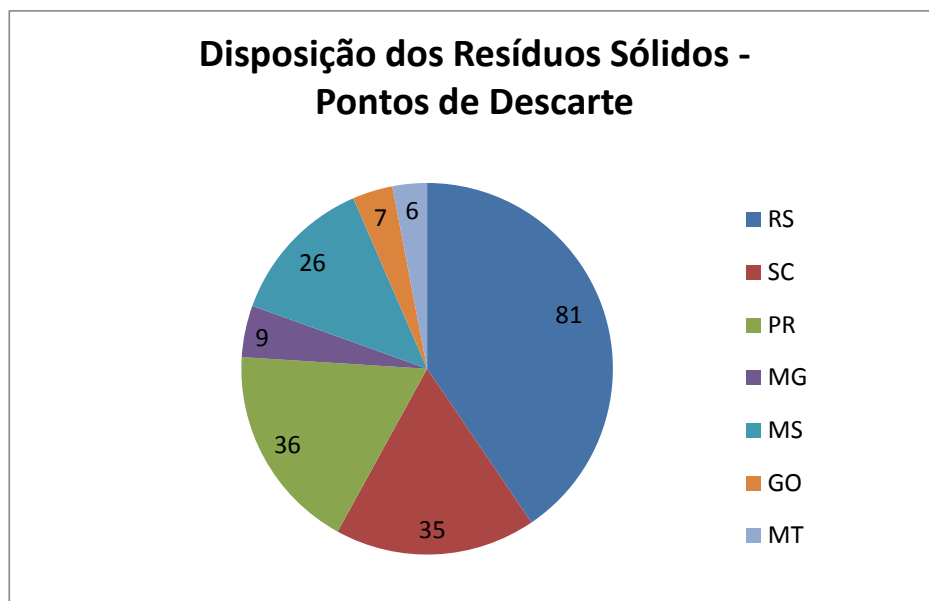


Figura 4.70 – Disposição de resíduos sólidos.

A Figura 4.71 apresenta os pontos de descarte distribuídos de acordo com a forma da disposição dos resíduos sólidos, por estado, do SAG. Observa-se uma maior quantidade de aterros sanitários e controlados no Rio Grande do Sul, e uma maior quantidade de lixões no Paraná e Mato Grosso do Sul.

O cadastro de postos de combustíveis da ANP (Agência Nacional do Petróleo) aponta 681 postos localizados nas cidades sede, situados em áreas de afloramento do SAG, exceto São Paulo (Figura 4.72). Destes, 554 estão localizados no Rio Grande do Sul.

De acordo com informações da PETROBRAS, existem 364 postos de combustíveis localizados na região do SAG (exceto estado de São Paulo). A Figura 4.73 apresenta a distribuição destes poços por estado, onde nota-se um número maior nos estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul.

Com relação aos cemitérios presentes na região do SAG (exceto São Paulo), foram identificados ao todo 170, com a utilização de imagens do *Google Earth*. A Figura 4.74 apresenta a distribuição desses cemitérios por estado, com destaque para o estado do Rio Grande do Sul, com 80% do total.

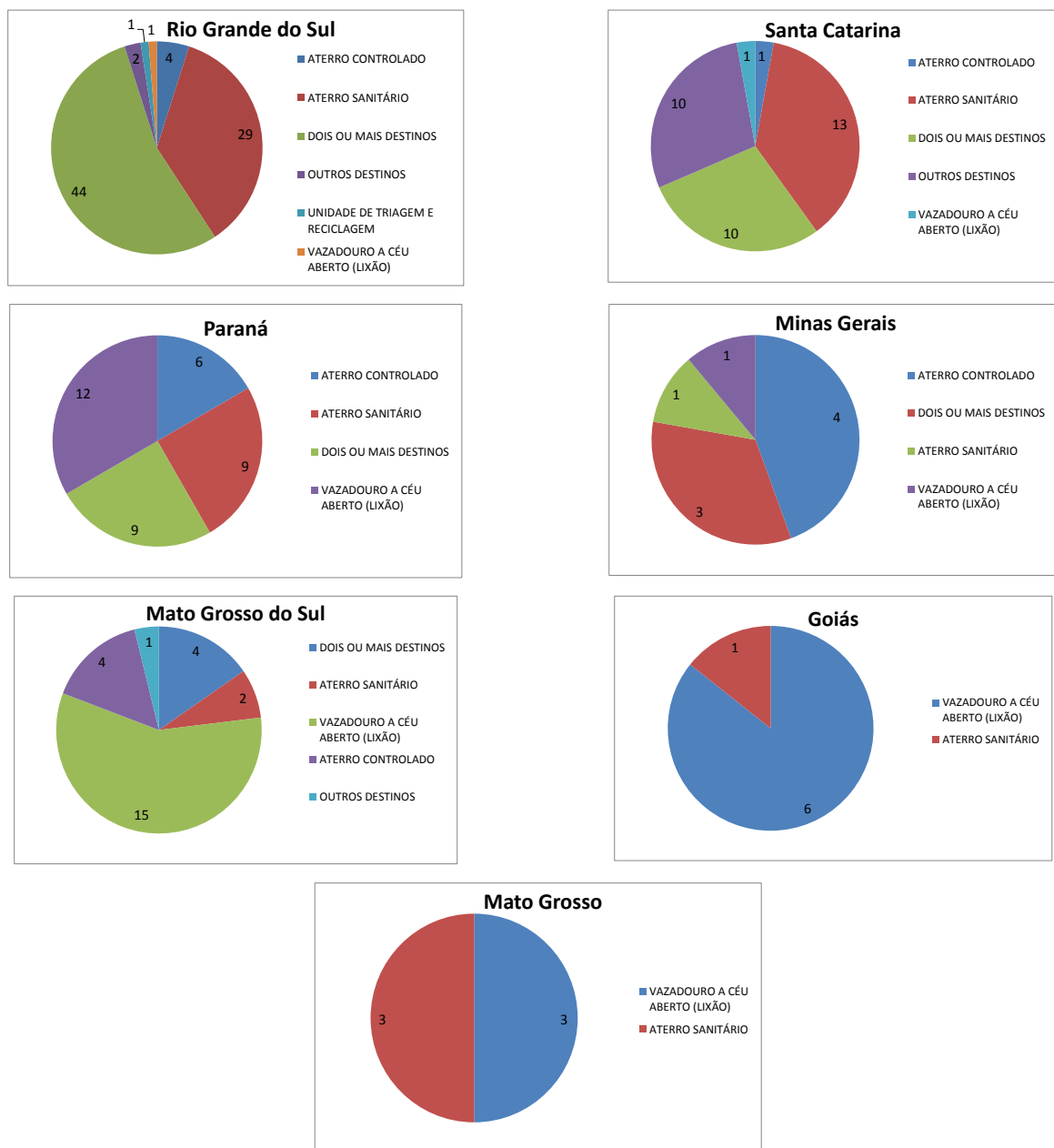


Figura 4.71 – Disposição de resíduos sólidos

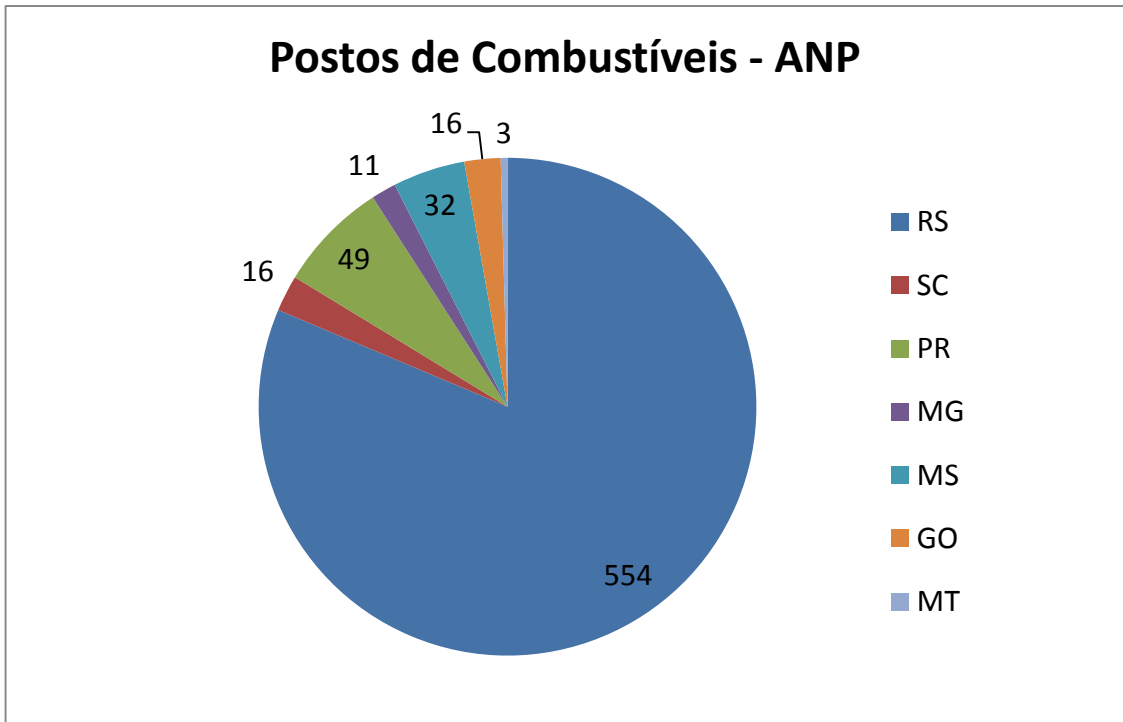


Figura 4.72 – Cadastro de postos de combustíveis (ANP).

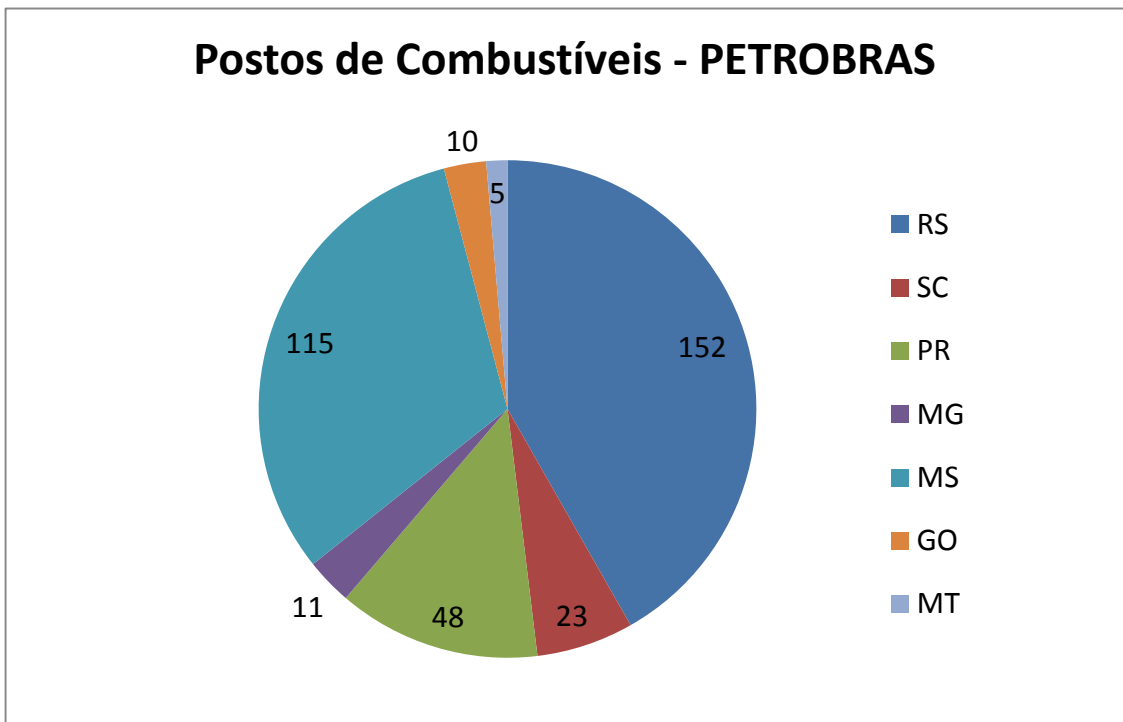


Figura 4.73 – Cadastro de postos de combustíveis (PETROBRAS)

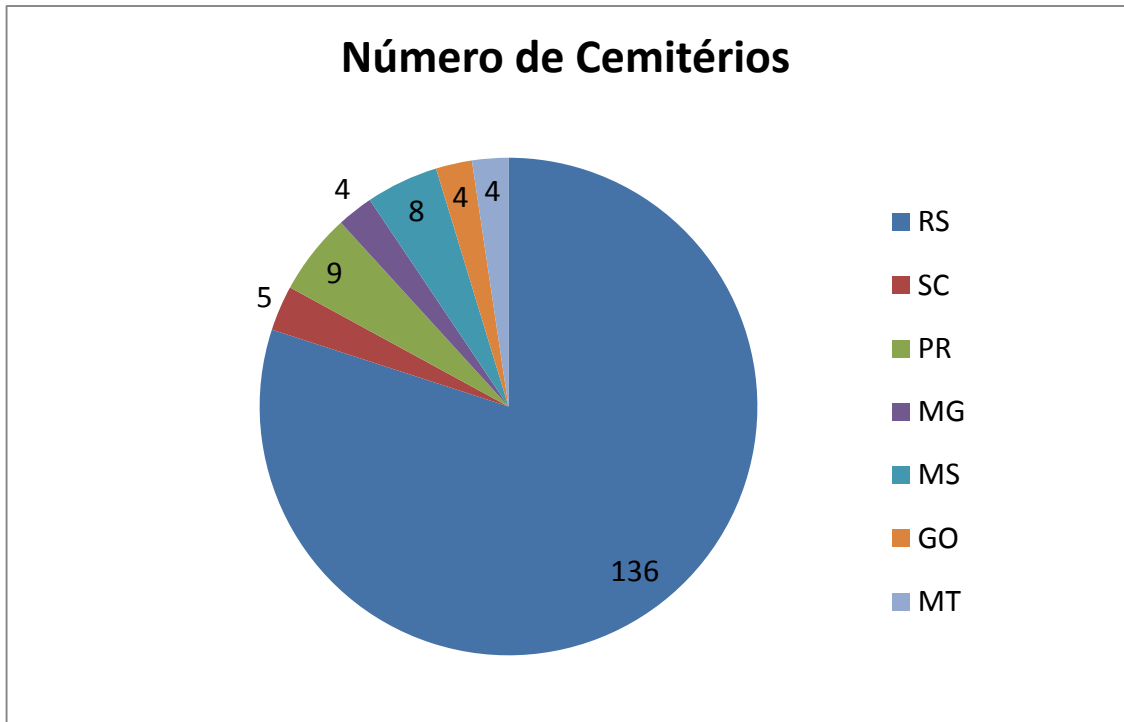


Figura 4.74 – Cemitérios identificados na região do SAG aflorante.

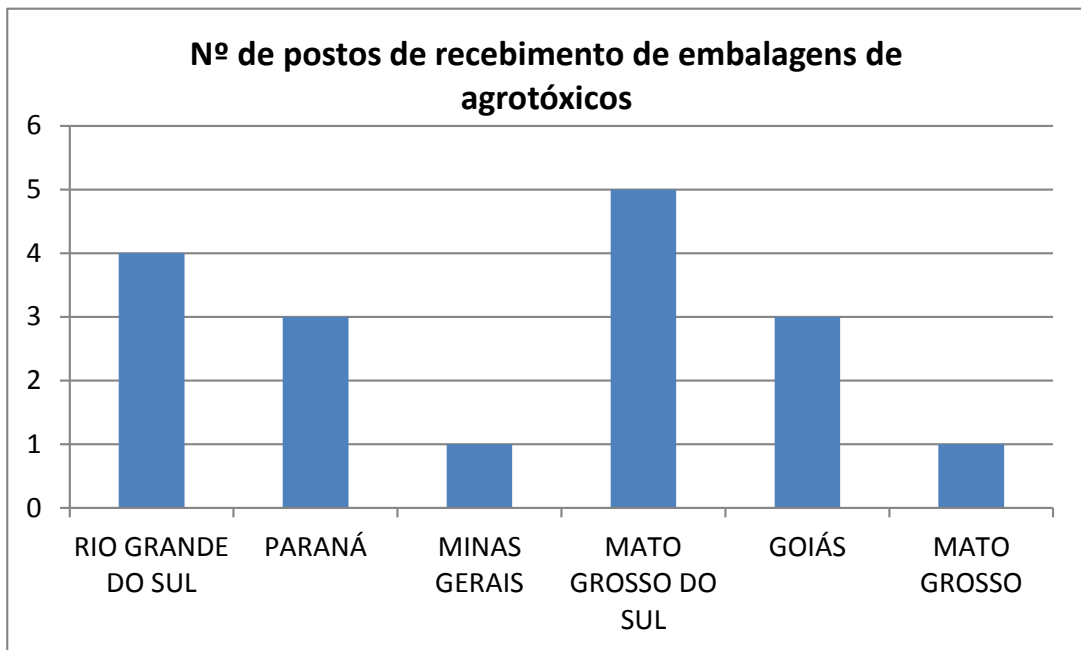
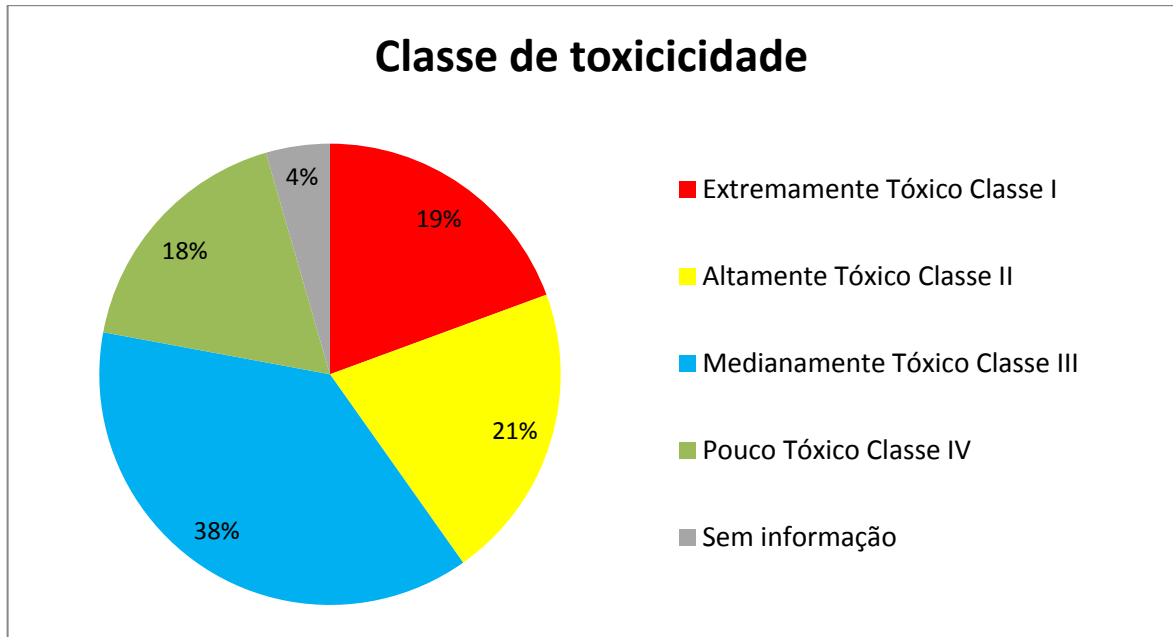


Figura 4.75 – Número de postos de recebimento de embalagens de agrotóxicos (INPEV).

Segundo informações do INPEV, existem 17 postos de recebimento de embalagens de agrotóxicos na região do SAG (com exceção para o estado de São Paulo), conforme mostra a Figura 4.75.

Com relação ao tipo de agrotóxico utilizado, dados disponibilizados pela Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (SAAB-PR) mostram que estes foram classificados de acordo com sua toxicidade e revelam que 19% do total de produtos utilizados são classificados como Extremamente Tóxico e 21% como Altamente Tóxico ao passo que outros 40% se encaixam na categoria Medianamente Tóxico. Estes 80% representam 916.134 produtos contaminantes que foram utilizados nos municípios paranaenses nas áreas aflorantes do SAG. A Figura 4.76 sintetiza essas informações.



**Figura 4.76 – Distribuição por classe de toxicidade dos agrotóxicos utilizados nos municípios paranaenses inseridos nas áreas aflorantes do SAG. (SAAB-PR)**

Segundo informações da FEPAM-RS, existem 4.415 empreendimentos potencialmente poluidores cadastrados em 98 municípios inseridos na região do SAG (Quadros 4.5). A FEPAM-RS apresenta os dados por descrição da atividade como aterro de resíduo sólido industrial, curtimento de peles de animais, fabricação de agrotóxicos, incineração de resíduo sólido, dentre outras atividades. Também apresenta uma classificação quanto ao potencial poluidor de cada empreendimento, que os distingue em baixo, médio e alto (Figura 4.77). Com base nesta classificação, 63% dos empreendimentos são classificados como médio potencial poluidor.

De acordo com o cadastro da FATMA-SC, existem 857 empreendimentos potencialmente poluidores cadastrados em 41 municípios inseridos na região do SAG. O órgão informa razão social, CNPJ, porém não informa a descrição da atividade nem a carga poluidora de cada empreendimento. O Quadro 4.6 apresenta a distribuição do número de empreendimentos por município de Santa Catarina inserido no SAG.

**QUADRO 4.5 – NÚMERO DE EMPREENDIMENTOS POTENCIALMENTE POLUIDORES POR  
MUNICÍPIO DO RIO GRANDE DO SUL NA ÁREA DO SAG**

<i>Município</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Município</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Município</i>	<i>Quantidade</i>
Agudo	10	Jari	5	Santana do Livramento	39
Alegrete	56	Júlio de Castilhos	21	Santiago	41
Araricá	16	Lagoa Bonita do Sul	4	Santo Antônio da Patrulha	40
Bom Princípio	51	Lindolfo Collor	11	São Borja	57
Bom Retiro do Sul	18	Linha Nova	11	São Francisco de Assis	6
Brochier	6	Maçambará	11	São Francisco de Paula	30
Cacequi	10	Manoel Viana	8	São João do Polêsine	14
Cachoeira do Sul	98	Maratá	3	São José do Hortêncio	13
Campo Bom	139	Mata	9	São José do Sul	4
Candelária	31	Montenegro	79	São Martinho da Serra	2
Capela de Santana	26	Nova Esperança do Sul	17	São Pedro do Sul	31
Caraá	15	Nova Hartz	33	São Sebastião do Caí	43
Caxias do Sul	859	Nova Palma	16	São Vendelino	5
Cerro Branco	2	Nova Petrópolis	117	São Vicente do Sul	16
Dilermando de Aguiar	9	Novo Cabrais	8	Sapiranga	71
Dois Irmãos	47	Novo Hamburgo	302	Silveira Martins	4
Dona Francisca	3	Paraíso do Sul	9	Sinimbu	6
Estância Velha	129	Pareci Novo	8	Tabaí	14
Estrela	77	Parobé	39	Taquara	56
Faxinal do Soturno	9	Passa Sete	4	Taquari	36
Fazenda Vilanova	12	Passo do Sobrado	13	Toropi	2
Feliz	28	Paverama	15	Três Coroas	36
General Câmara	11	Portão	124	Triunfo	75
Glorinha	24	Presidente Lucena	13	Tupandi	7
Gravataí	253	Quaraí	12	Unistalda	4
Harmonia	10	Quevedos	7	Uruguaiana	56
Ibarama	8	Restinga Seca	17	Vale do Sol	7
Igrejinha	70	Rio Pardo	34	Vale Real	16
Itaara	8	Riozinho	12	Vale Verde	5
Itaqui	53	Rolante	59	Venâncio Aires	94
Ivorá	5	Rosário do Sul	85	Vera Cruz	28
Ivoti	47	Santa Cruz do Sul	137	-	-
Jaguari	23	Santa Maria	151	-	-

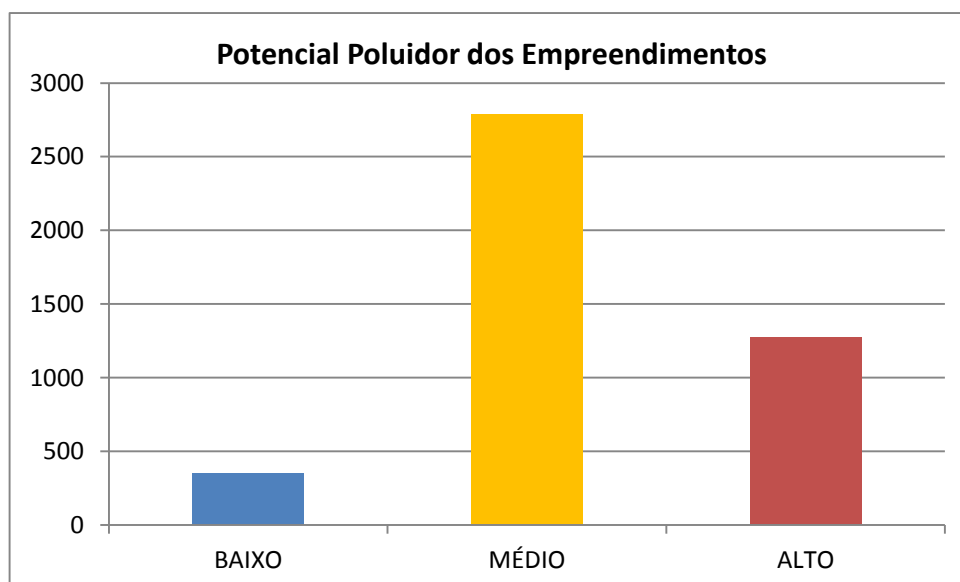


Figura 4.77 – Potencial poluidor dos empreendimentos na área do SAG no RS (FEPAM).

**QUADRO 4.6 – NÚMERO DE EMPREENDIMENTOS POTENCIALMENTE POLUIDORES POR MUNICÍPIO DE SANTA CATARINA NA ÁREA DO SAG**

<i>Município</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Município</i>	<i>Quantidade</i>
Alfredo Wagner	4	Painel	3
Anitápolis	3	Ponte Alta	8
Bela Vista do Toldo	13	Ponte Alta do Norte	3
Bocaina do Sul	6	Porto União	16
Bom Jardim da Serra	8	Praia Grande	7
Bom Retiro	6	Rio do Campo	26
Canoinhas	70	Rio Fortuna	15
Correia Pinto	13	Rio Rufino	1
Grão Pará	9	Santa Cecília	18
Irineópolis	8	Santa Rosa do Sul	5
Jacinto Machado	22	São Cristovão do Sul	3
Lages	163	São José do Cerrito	15
Lauro Muller	26	Siderópolis	47
Major Vieira	25	Sombrio	23
Matos Costa	2	Taió	69
Mirim Doce	21	Timbé do Sul	23
Monte Castelo	14	Timbó Grande	6
Morro Grande	14	Treviso	21
Nova Veneza	48	Turvo	46
Orleans	12	Urubici	15

O cadastro fornecido pelo IAP-PR aponta 3.459 empreendimentos potencialmente poluentes na região do SAG, distribuídos em 33 municípios, e classificados por atividades como aterro sanitário, depósito e comércio de agrotóxicos, postos de combustíveis, matadouros, metalúrgicas, usinas, estação de tratamento de esgotos, entre outras.

O Quadro 4.7 apresenta a distribuição de empreendimentos por municípios do estado do Paraná.

**QUADRO 4.7 – NÚMERO DE EMPREENDIMENTOS POTENCIALMENTE POLUIDORES POR MUNICÍPIO DO PARARÁ NA ÁREA DO SAG**

<i>Município</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Município</i>	<i>Quantidade</i>
Ariranha do Ivaí	2	Paula Freitas	24
Boa Ventura de São Roque	24	Paulo Frontin	46
Congonhinhas	24	Porto Vitória	30
Cruz Machado	65	Prudentópolis	211
Cruzmaltina	9	Ribeirão Claro	44
Faxinal	61	Ribeirão do Pinhal	36
Grandes Rios	28	Rio Azul	39
Inácio Martins	39	Rio Branco do Ivaí	22
Irati	243	Rosário do Ivaí	11
Ivaiporã	98	Santo Antônio da Platina	114
Jacarezinho	157	Santo Antônio do Paraíso	2
Jundiá do Sul	1	São Jerônimo da Serra	29
Londrina	1567	Sapopema	38
Mallet	59	Tamarana	87
Mauá da Serra	34	Turvo	31
Nova Fátima	14	União da Vitória	234
Ortigueira	36	-	-

O cadastro da FEAM de Minas Gerais indicou apenas um local com área contaminada sob intervenção/remediação na região do SAG, no município de São Tomás de Aquino.

O cadastro de empreendimentos potencialmente poluentes do IMASUL apontou 25 empreendimentos potencialmente poluentes na região do SAG, compreendendo 10 cidades do Mato Grosso do Sul, no ramo de postos de combustíveis, fabricação de aguardente, suinocultura, fabricação de ração e laticínios, sendo que 11 atividades não foram indicadas (Figura 4.78).

O cadastro da SEMA-MT indicou apenas três empreendimentos potencialmente poluentes na região do SAG, sendo dois localizados em Alto Garças e um em Itiquira. O órgão não informou o ramo de atividade dos empreendimentos.

Devido à falta de compatibilidade entre as informações obtidas pelos órgãos estaduais, ficou acordado o uso de dados do CTF/IBAMA com compatibilização do grau de impacto segundo o método POSH.



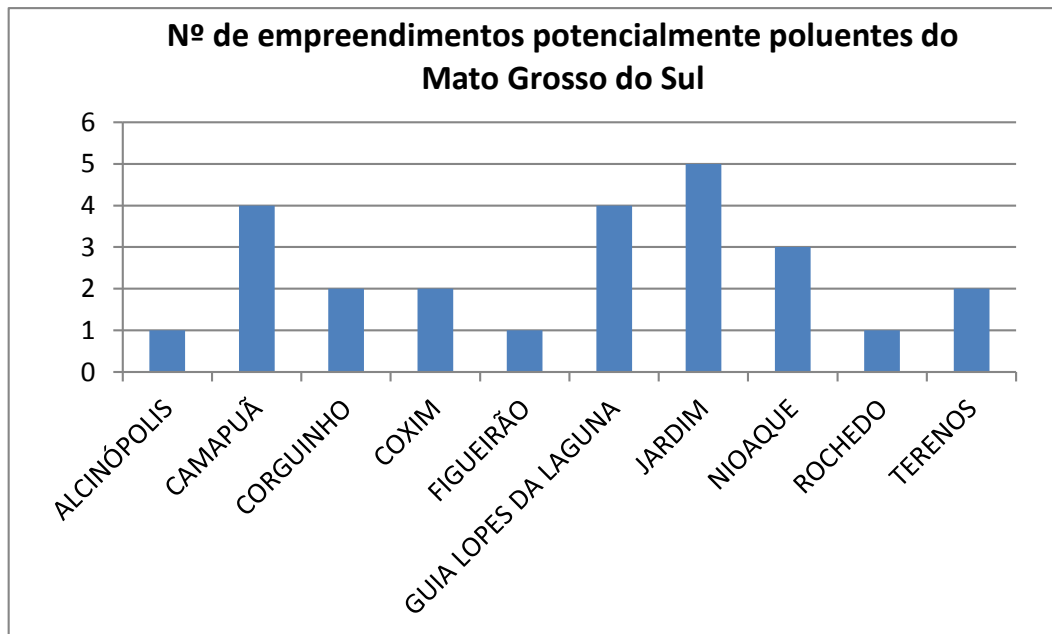


Figura 4.78 – Número de empreendimentos potencialmente poluentes cadastrados no Mato Grosso do Sul, na área do SAG.

O Cadastro Técnico Federal do IBAMA (IBAMA, Anexo VIII, Leis nº 6.938/1981 e nº 10.165/2000) classifica as atividades potencialmente poluidoras em 20 classes principais, às quais está associado um índice específico em função do grau potencial de risco de contaminação dos recursos ambientais que, por sua vez, varia entre pequeno, médio e alto (Quadro 4.8). A Instrução Normativa nº 31, de 3 de dezembro 2009, apresenta complementação para o enquadramento das atividades junto ao Cadastro Técnico Federal.

De acordo com o Cadastro Técnico Federal, foram identificados 16.014 empreendimentos potencialmente contaminantes de recursos ambientais, distribuídos em 16 classes, em 227 municípios inseridos, total ou parcialmente, em áreas de afloramento do SAG.

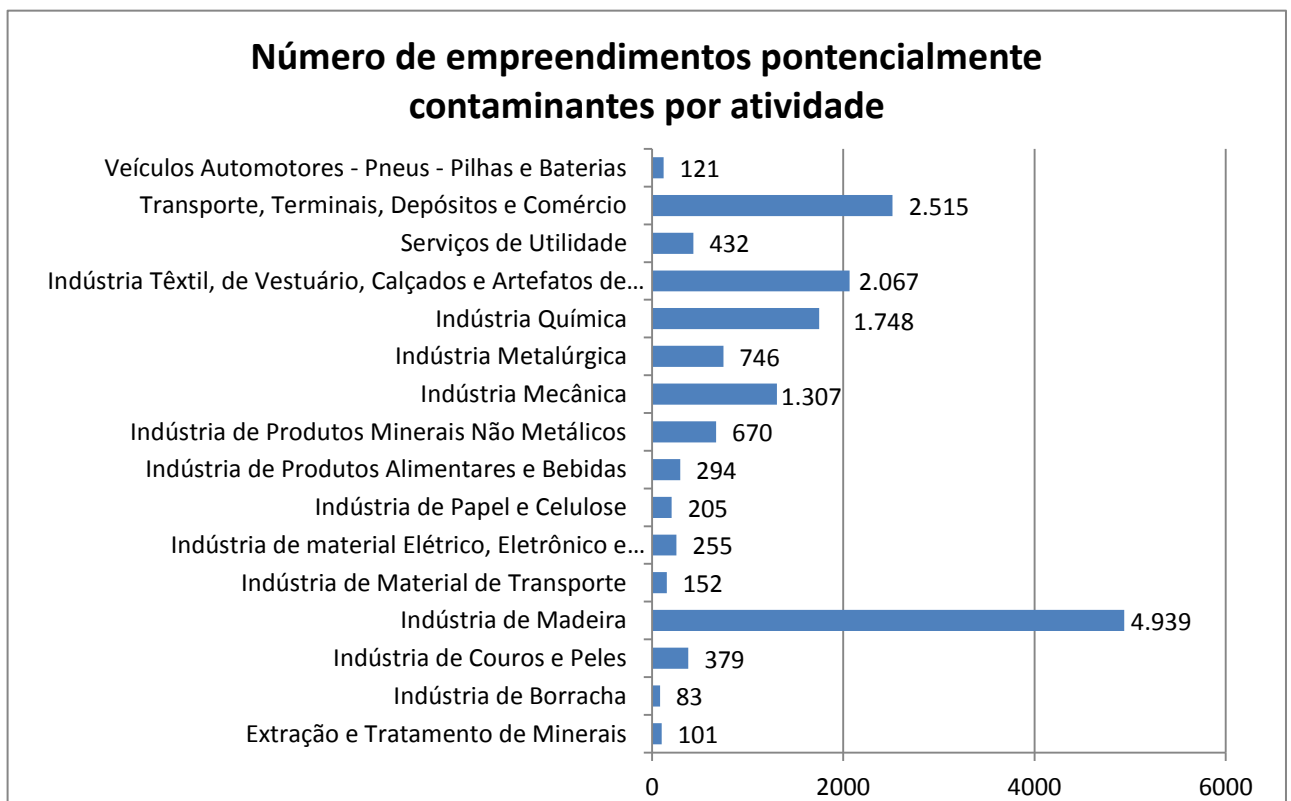
Dos 16.014 empreendimentos pontuais potencialmente contaminantes identificados, as classes de indústria de madeiras (4.939), transporte, terminais, depósitos e comércio (2.515) e indústria têxtil, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos (2.067) ocorrem em maior número nesses municípios (Figura 4.79). Estas classes foram classificadas em grau de risco potencial baixo, médio e alto.

A distribuição de riscos potenciais por estado (Figura 4.80) mostra que o Rio Grande do Sul e Santa Catarina são as unidades federativas que reúnem o maior número de empreendimentos potencialmente contaminantes. Com relação ao grau de risco, o Rio Grande do Sul possui a maior quantidade de fontes potenciais de risco alto, seguido do Mato Grosso do Sul, ao passo que, Santa Catarina possui a maioria dos empreendimentos com risco médio.

**QUADRO 4.8 – CLASSIFICAÇÃO DE ATIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES E GRAU DE RISCO ASSOCIADO (LEI 10.165/2000)**

<b>Código</b>	<b>Classificação</b>	<b>Grau de risco</b>
01	Extração e Tratamento de Minerais	Alto
02	Indústria de Produtos Minerais Não Metálicos	Médio
03	Indústria Metalúrgica	Alto
04	Indústria Mecânica	Médio
05	Indústria de Material Elétrico, Eletrônico e Comunicações	Médio
06	Indústria de Material de Transporte	Médio
07	Indústria de Madeira	Médio
08	Indústria de Papel e Celulose	Alto
09	Indústria de Borracha	Pequeno
10	Indústria de Couros e Peles	Alto
11	Indústria Têxtil, de Vestuário, Calçados e Artefatos de Tecidos	Médio
12	Indústria de Produtos de Matéria Plástica	Pequeno
13	Indústria do Fumo	Médio
14	Indústrias Diversas	Pequeno
15	Indústria Química	Alto
16	Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Médio
17	Serviços de Utilidade	Médio
18	Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Alto
19	Turismo	Pequeno
20	Uso de Recursos Naturais	Médio
98*	Veículos Automotores - Pneus - Pilhas e Baterias	Médio

\* Instrução Normativa nº 31



**Figura 4.79 – Número de empreendimentos potencialmente contaminantes por classe de enquadramento de risco.**

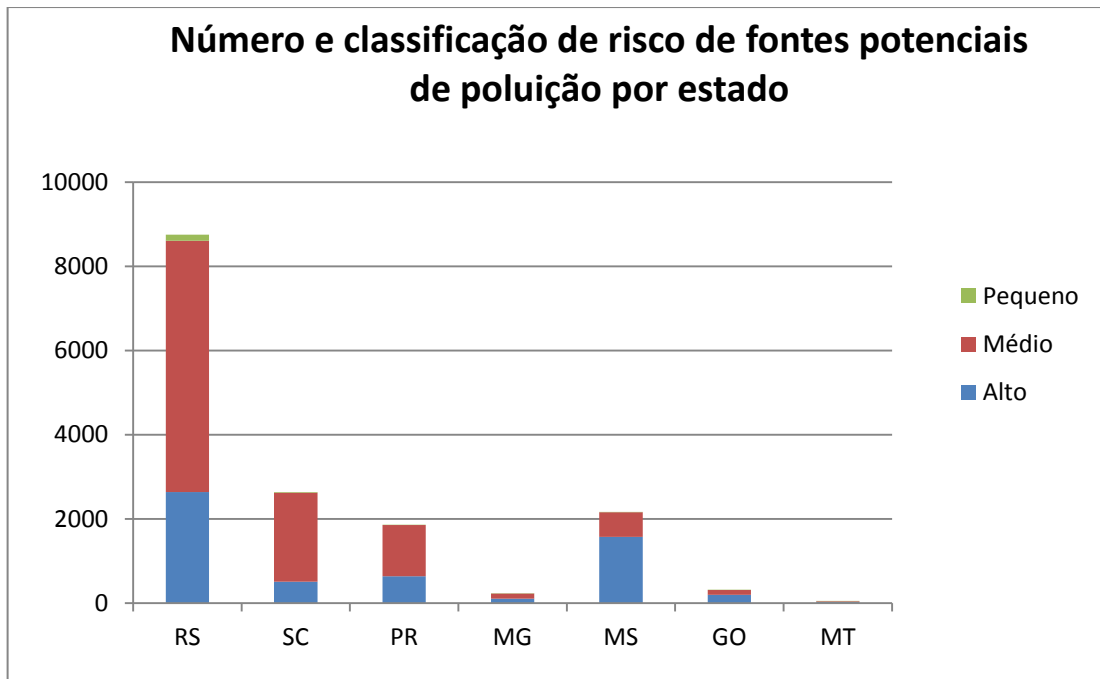


Figura 4.80 – Riscos potenciais por estado.

De todos os cadastros levantados, seguramente o cadastro técnico federal do IBAMA é o mais completo e abrangente. Possui representatividade adequada em todos os estados, atividades enquadradas em grupos já determinados e critérios já estabelecidos de estimação do grau de risco. Ao contrário, os demais cadastros levantados e analisados podem apresentar duplicidade de informações com o cadastro do IBAMA, não havendo possibilidade de discernir empreendimentos inseridos em mais de um cadastro, uma vez que a estes não estão associadas coordenadas geográficas que os identifiquem como empreendimentos únicos. Outro problema de compatibilização entre os diversos cadastros refere-se à dificuldade de se agrupar diferentes classes de atividades potencialmente poluentes em classes comuns a todos, fato que pode gerar distorções quando da estimação dos riscos associados. Por fim, cadastros mais completos e organizados podem induzir à interpretação de riscos potenciais mais elevados em função da quantidade de empreendimentos registrados, comparados com cadastros incompletos.

Neste estudo, a classificação das fontes potenciais de poluição quanto ao risco de contaminação ou grau de perigo em função do impacto da atividade econômica exercida foi feita com utilização do método POSH (*Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically*).

O método POSH de avaliação das atividades potencialmente contaminantes POSH baseia-se em duas características fáceis de estimar: a origem do poluente e sua sobrecarga hidráulica (Foster et al., 2012).

Devido à dificuldade de se obter dados reais sobre os tipos de contaminantes presentes, que podem ser vários no âmbito de uma mesma atividade industrial, e as cargas ou quantidades efetivamente dispostas no terreno, a classificação POSH quanto ao potencial de gerar carga contaminante no subsolo baseia-se no tipo de indústria e na provável sobrecarga hidráulica associada com a atividade industrial (Foster et al., 2012)

O método POSH classifica as fontes de contaminação em três níveis qualitativos de potencial para gerar uma carga contaminante no subsolo: reduzido, moderado e elevado. No caso de fontes pontuais de contaminação, as atividades industriais são as que oferecem maior risco e estão, normalmente, associadas às áreas urbanizadas dos municípios.

O ranqueamento do potencial de geração de carga contaminante, baseado no método POSH, utiliza uma estimativa de probabilidade de contaminação do subsolo de acordo com as atividades industriais exercidas e listadas no Quadro 4.9, abaixo (Foster et al., 2012). Assim, desprende-se não há necessidade de informações sobre o porte do empreendimento ou a carga contaminante efetiva aplicada no solo para a utilização do método POSH.

**QUADRO 4.9 – CLASSIFICAÇÃO E RANQUEAMENTO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO PONTUAIS SEGUNDO O SISTEMA POSH**

Potencial de gerar carga contaminante no subsolo	FONTES DE CONTAMINAÇÃO				
	Deposição de Resíduos Sólidos	Áreas Industriais*	Lagoas de Águas Residuais	Outras (urbanas)	Mineração e Exploração de Petróleo
Elevado	Resíduo industrial tipo 3, resíduo de origem desconhecida	Indústria tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie >100 kg/d de produtos químicos perigosos	Todos os resíduos industriais tipo 3, qualquer efluente (exceto esgoto residencial) se a área >5 há		Operações em campos de petróleo, mineração de metais
Moderado	Chuva > 500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1, ou todos os demais casos	Indústria tipo 2	Esgoto residencial se a área >5 há, demais casos não relacionados acima ou abaixo	Postos de Gasolina, vias de transporte com tráfego regular de produtos químicos perigosos	Algumas atividades de mineração/ extração de materiais inertes
Reduzido	Chuva <500 mm/a com resíduos residenciais/agroindustriais/industriais tipo 1	Indústria tipo 1	Águas residuais residenciais, mistas, urbanas, agroindustriais e de mineração não metálicos	Cemitérios	

\* solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria  
 Indústrias Tipo 1: madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos  
 Indústrias Tipo 2: fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão  
 Indústrias Tipo 3: oficinas de engenharia, refinarias de gás/petróleo, fábricas de produtos químicos/farmacêuticos/plásticos/pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal

A comparação entre as classificações qualitativas de grau de geração de carga contaminante proposta pelo método POSH, e de grau de risco associado às atividades potencialmente contaminantes, utilizada pelo IBAMA, mostra algumas divergências inerentes à subjetividade das duas classificações.

De acordo com cadastro do IBAMA, os empreendimentos listados nas áreas de afloramento do SAG estão agrupados em 16 categorias e 79 subcategorias de atividades potencialmente poluentes, e classificados com índices que variam entre pequeno, médio e alto. Aplicando-se o método POSH às mesmas atividades e distinguindo-as com os índices similares que variam entre reduzido, moderado e elevado, observa-se que há coincidência em 47% dos casos.

Comparando-se somente as 16 categorias, as coincidências reduzem-se para 38% (Quadro 4.10).

**QUADRO 4.10 – CLASSIFICAÇÃO COMPARATIVA DE ATIVIDADES POTENCIALMENTE POLUIDORAS OU UTILIZADORAS DE RECURSOS NATURAIS COMPARATIVA**

Código	Categoria	IBAMA	POSH
		Grau	Grau
1	Extração e Tratamento de Minerais	Alto	Elevado
2	Indústria de Produtos Minerais Não Metálicos	Médio	Moderado
3	Indústria Metalúrgica	Alto	Elevado
4	Indústria Mecânica	Médio	Elevado
5	Indústria de Material Elétrico, Eletrônico e Comunicações	Médio	Elevado
6	Indústria de Material de Transporte	Médio	Elevado
7	Indústria de Madeira	Médio	Reduzido
8	Indústria de Papel e Celulose	Alto	Moderado
9	Indústria de Borracha	Pequeno	Moderado
10	Indústria de Couros e Peles	Alto	Moderado
11	Indústria Têxtil, de Vestuário, Calçados e Artefatos de Tecidos	Médio	Moderado
15	Indústria Química	Alto	Elevado
16	Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Médio	Reduzido
17	Serviços de Utilidade	Médio	Moderado
18	Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Alto	Moderado
98	Veículos Automotores, pneus, pilhas e baterias	Médio	Elevado

A desarmonia entre as duas classificações não compromete o uso de uma ou de outra, já que o grau de subjetividade baseado numa avaliação qualitativa é grande. A distribuição de empreendimentos, por municípios, localizados nas áreas de afloramento do SAG, com base nas classificações do potencial poluente segundo o IBAMA e segundo o método POSH, é apresentada, respectivamente, na Figura 4.81 e Figura 4.82.

A comparação entre as duas classificações mostra que a proposta do IBAMA é mais austera, ou seja, a maioria dos empreendimentos é classificada como de potencial alto a médio. Já a classificação de POSH qualifica a maioria dos empreendimentos nas áreas de afloramento do SAG como de potencial baixo a médio. A classificação do IBAMA é a mais interessante, uma vez que atividades de elevado potencial poluente em áreas vulneráveis exigem maior controle dos órgãos gestores e, conseqüentemente, mais protegidas estarão as águas subterrâneas.

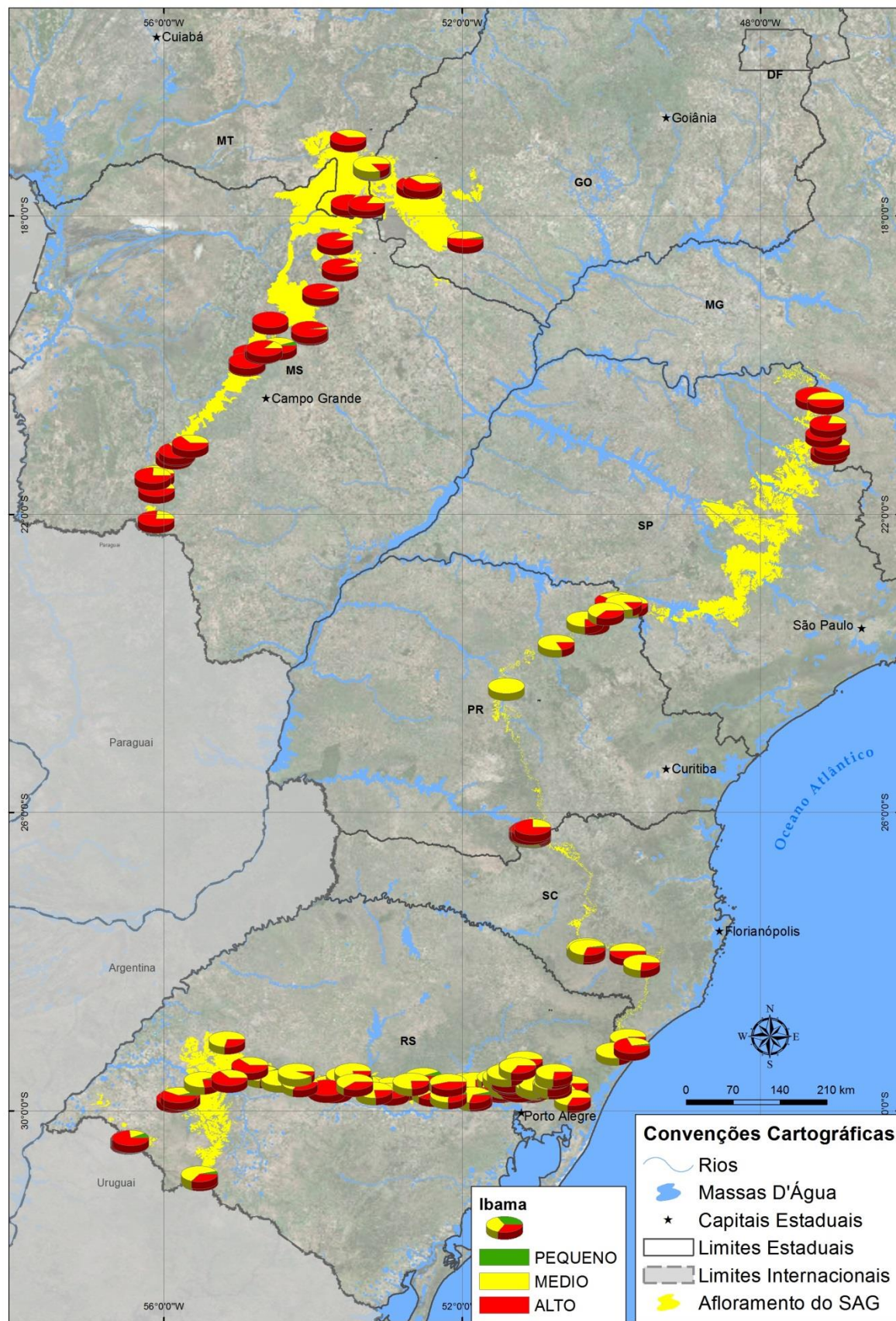


Figura 4.81 – Distribuição de empreendimentos por município com base na classificação do potencial poluente proposta pelo IBAMA.

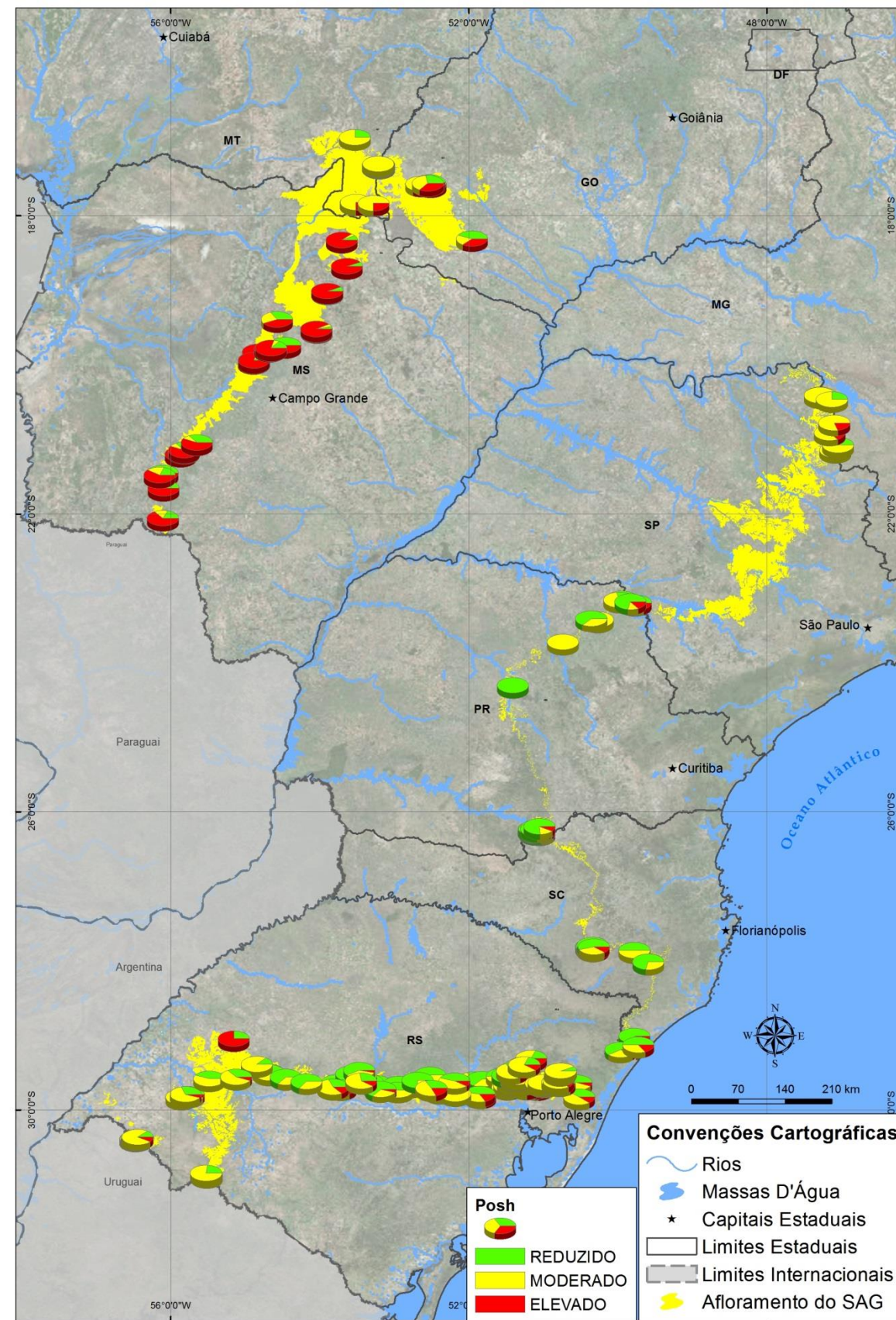


Figura 4.82 – Distribuição de empreendimentos por município com base na classificação do potencial poluente proposta segundo POSH.

#### 4.4.2 Fontes potenciais difusas de contaminação

Foram consideradas fontes potenciais difusas de contaminação das águas subterrâneas as condições de saneamento básico (rede de esgoto) nas áreas urbanas e as atividades agrícolas, nas regiões rurais. As informações sobre rede coletora de esgoto dos municípios integrantes do SAG foram obtidas em consulta ao Censo Demográfico (IBGE, 2010). As informações sobre atividades agrícolas foram extraídas do mapa de uso e ocupação da terra na escala 1:250.000.

Os efluentes sanitários residenciais e industriais são lançados nas redes de esgotamento e transportados para estações de tratamento ou são despejados *in natura* em pontos de descarga, representados por cursos de água superficiais. Neste trajeto, vazamentos de efluentes sanitários liberam contaminantes que podem alcançar os níveis de água dos aquíferos subjacentes. As causas de vazamentos devem-se às redes de esgotamento deterioradas pelo tempo. Onde inexistem redes de esgotamento sanitário, o saneamento *in situ* representado por fossas sépticas e negras pode causar contaminação local da água subterrânea, todavia, em razão da densidade de fossas que podem coexistir nas áreas urbanas, esta atividade é enquadrada também como fonte potencial difusa.

Segundo esta concepção, as condições de saneamento referentes ao esgotamento sanitário em áreas urbanas devem ser consideradas para avaliação do potencial de contaminação das águas subterrâneas, tendo por princípio que existe um potencial contaminante mesmo em presença de rede de esgotamento sanitário. Nas áreas rurais problema semelhante pode ocorrer, porém, tendendo a assumir dimensões reduzidas e caráter pontual, em razão da dispersão de moradias. Estas mesmas considerações foram utilizadas no trabalho realizado pelo IPT "Diagnóstico ambiental para subsídio ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo" (SMA, 2010).

Para a classificação de fontes difusas por saneamento foi utilizado o sistema *POSH –Pollutant Origin, surcharge hydraulically* (Foster et al., 2006). Este método é baseado no percentual de cobertura da rede de esgoto e na densidade populacional, definindo três níveis qualitativos de potencial para geração de carga contaminante no subsolo (Quadro 4.11). As informações sobre a densidade demográfica dos municípios envolvidos foram obtidas em consulta ao Censo Demográfico (IBGE, 2010).

**QUADRO 4.11 - SÍNTESE DA CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DO SANEAMENTO IN SITU SEGUNDO MÉTODO POSH NA ÁREA DO SAG POR ESTADO.**

<i>Fonte de Saneamento in situ</i>	<i>Potencial de carga contaminante</i>
Cobertura da rede de esgoto >75% e densidade populacional <550 pessoas/ha	Reduzido
Cobertura da rede de esgoto entre 25% e 75% e densidade populacional entre 100 e 550 pessoas/ha	Moderado
Cobertura da rede de esgoto <25% e densidade populacional >100 pessoas/ha	Elevado

Fonte: Modificado de FOSTER et al., 2006

O Quadro 4.12 apresenta a síntese da classificação do saneamento in situ por estado na área do afloramento do SAG, segundo o método POSH (Foster et al., 2006).

**QUADRO 4.12 - SÍNTESE DOS DADOS DE SANEAMENTO IN SITU DO SAG**

<i>Estado</i>	<i>Elevado (nº sedes)</i>	<i>Moderado (nº sedes)</i>	<i>Reduzido (nº sedes)</i>	<i>Total (nº sedes)</i>
RIO GRANDE DO SUL	0	67	2	69
SANTA CATARINA	0	3	0	3
PARANÁ	0	5	2	7
SÃO PAULO	0	10	25	35
MINAS GERAIS	0	2	2	4
MATO GROSSO DO SUL	0	8	0	8
MATO GROSSO	0	1	0	1
GOIÁS	0	2	1	3

O Quadro 4.12 mostra que dada as características da cobertura da rede de esgoto e a densidade populacional dos municípios, nenhuma área urbana na área aflorante do SAG foi classificada com elevado potencial para geração de carga contaminante no subsolo, segundo o método aplicado. Aproximadamente 75% das áreas urbanas apresentam potencial moderado para geração de carga contaminante nas águas subterrâneas, concentradas predominantemente no estado do Rio Grande do Sul; e uma parcela menor, em torno de 25% das áreas urbanas, apresenta reduzido potencial.

Para a classificação de fontes difusas decorrentes das atividades agrícolas utilizou-se a classificação dos Domínios Pedomorfoagroclimáticos proposta por Gomes (2008). Este método classifica os riscos de contaminação das águas subterrâneas conforme as atividades agrícolas (tipos de culturas) existentes, considerando a entrada potencial de agroquímicos no solo e a qualidade do manejo praticado, o qual pode resultar em maior ou menor taxa de lixiviação/infiltração (Barbosa *et al.*, 2011), como apresentado no fluxograma da Figura 4.83.

Esta classificação da criticidade, de acordo com o tipo de cultura, proposta por Gomes (2008) foi baseada no mapeamento de uso e ocupação da terra elaborado para as áreas de afloramento do SAG, o qual delimitou quatro classes principais de atividades agrícolas: cultura anual, cultura semiperene, cultura perene e campo/pastagem (Quadro 4.13).

Ressalta-se que as informações sobre as atividades agrícolas predominantes nas áreas de afloramentos do SAG foram baseadas, além de no mapa de uso e ocupação da terra, também em consultas ao Censo Agropecuário (IBGE, 2006), Produção da Agropecuária Municipal (IBGE, 2012), Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2012), e no caso do estado do Paraná, as informações da produção por município foram disponibilizadas pela Secretaria de Estado de Agricultura do Abastecimento.



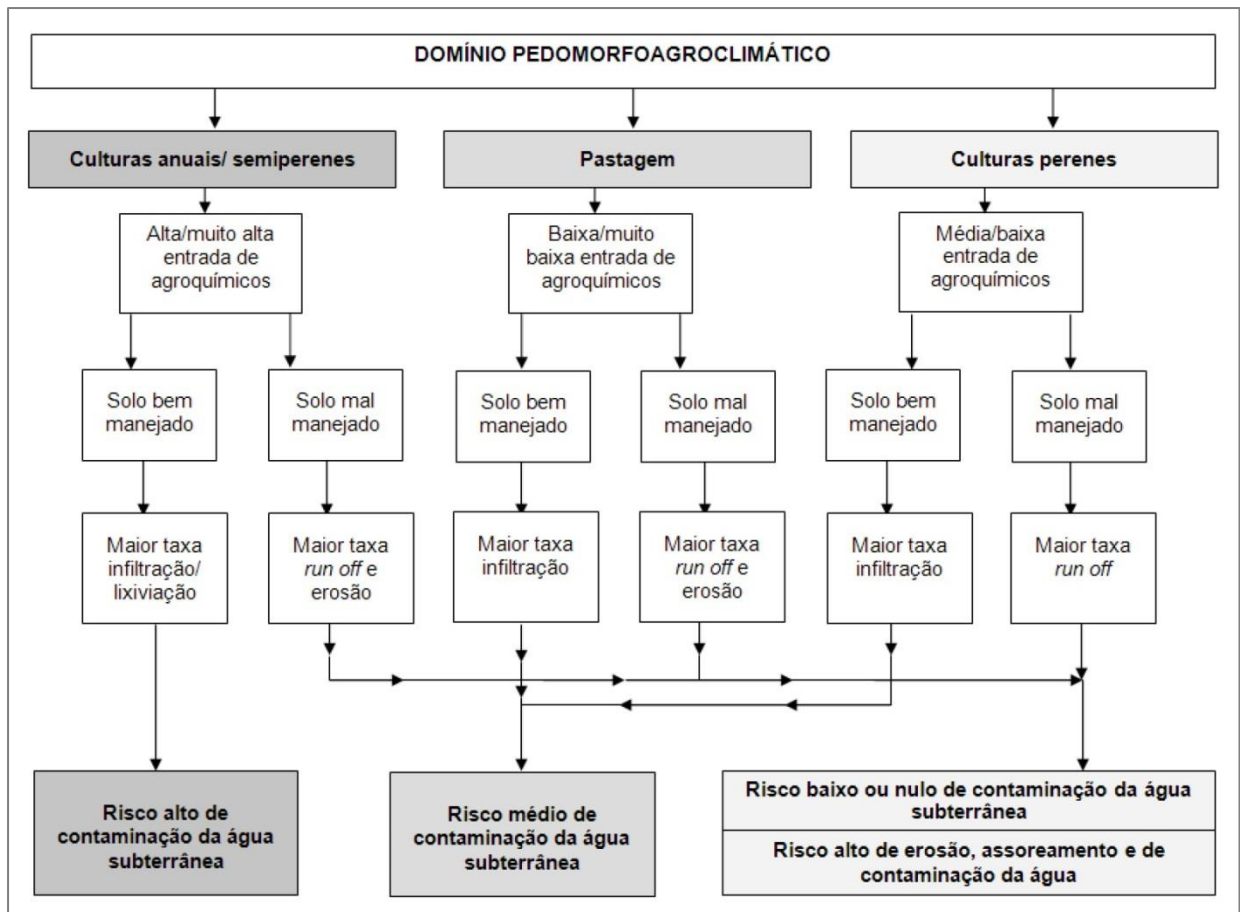


Figura 4.83 - Determinação do risco de contaminação da água subterrânea (Gomes, 2008, apud Barbosa et al. 2011).

**QUADRO 4.13 - PRINCIPAIS CLASSES DE ATIVIDADES AGRÍCOLAS NA ÁREA DE AFLORAMENTO DO SAG**

Cultura anual	Cultura semiperene	Cultura perene	Campo/pastagem
Algodão	Cana-de-açúcar	Banana	Pastagem
Arroz		Café	
Milho		Laranja	
Soja		Maçã	
Trigo		Uva	

O mapeamento de uso e ocupação da terra mapeou nas áreas de afloramento do SAG as pastagens extensivas e a agricultura como usos dominantes. Dentre os usos agrícolas, as culturas predominantes mapeadas foram: a soja e o arroz (culturas anuais); a cana-de-açúcar (cultura semiperene); e a laranja e o café (culturas perenes).

O Quadro 4.14 sintetiza a classificação das atividades agrícolas na área de afloramento do SAG em relação ao potencial de contaminação, adaptada da proposta de Gomes (2008).

**QUADRO 4.14 – CLASSIFICAÇÃO DE ATIVIDADES AGRÍCOLAS NA ÁREA DO SAG QUANTO AO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO**

<i>Fonte de Atividades agrícolas</i>	<i>Potencial de carga contaminante</i>
Pastagens	Moderado
Culturas Perenes	
Culturas semiperenes	Elevado
Culturas anuais	

Fonte: Adaptado de GOMES, 2008

É importante destacar que, na área de afloramento do SAG, os casos de contaminação difusa de água subterrânea, classificados como elevado potencial de carga contaminante, estão associados às culturas anuais e semiperenes, como apresentado no Quadro 4.13. Estas atividades agrícolas, através dos cultivos rotativos, principalmente as extensas monoculturas de soja e cana-de-açúcar, concentradas predominantemente na porção norte do SAG, sobretudo nos estados de Mato Grosso e Goiás com o cultivo da soja, e em São Paulo, com a cana-de-açúcar, concentram as áreas mais críticas em relação ao potencial de contaminação do SAG. Cabe ainda mencionar as culturas anuais, principalmente de arroz e soja, praticadas em pequenas propriedades no compartimento sul do SAG aflorante, sobretudo no estado do Rio Grande do Sul.

As atividades agrícolas dedicadas às pastagens e às culturas perenes apresentam menor potencial de contaminação difusa nas áreas de afloramento do SAG, classificadas como grau moderado. As pastagens extensivas, concentradas predominantemente, nos estados do Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul, normalmente, apresentam menor probabilidade de carga contaminante no subsolo. As culturas perenes, com destaque para a laranja e o café, cultivadas predominantemente no estado de São Paulo, por apresentarem menos perturbação e aeração do solo produzem menos perdas por lixiviação em relação aos locais onde se pratica o cultivo anual.

O Quadro 4.15 apresenta uma síntese dos dados de uso e ocupação da terra classificados segundo o potencial de contaminação por estado. O quadro mostra que, em decorrência dos tipos de uso da terra praticados na área do SAG, mais de 60% das áreas aflorantes apresentam moderado potencial para geração de carga contaminante no subsolo e nenhuma área foi classificada como de potencial reduzido.

Destacam-se as distinções regionais das culturas agrícolas espalhadas ao longo das áreas aflorantes do SAG. No Rio Grande do Sul, em função do afloramento se concentrar nas grandes planícies regionais do estado, as culturas predominantes são as anuais, responsáveis por 46,1% da área com potencial de contaminação, com destaque especial para o arroz e a soja.

**QUADRO 4.15 – SÍNTESE DA CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NO SAG POR ESTADO**

<i>Estado</i>	<i>Classe</i>	<i>Elevado (área km<sup>2</sup>)</i>	<i>Moderado (área km<sup>2</sup>)</i>	<i>Reduzido (área km<sup>2</sup>)</i>	<i>Total (km<sup>2</sup>)</i>
<b>RIO GRANDE DO SUL</b>	Culturas Anuais	3.804,2	-	-	3.804,2
	Culturas Anuais - Arroz	678,4	-	-	678,4
	Culturas Anuais - Soja	1.003,7	-	-	1.003,7
	Culturas Perenes	-	4,1	-	4,1
	Pastagens	-	6.222,8	-	6.222,8
	Silvicultura	-	255,5	-	255,5
<b>TOTAL (RS)</b>		<b>5.486,3</b>	<b>6.482,4</b>	-	<b>11.968,7</b>
<b>SANTA CATARINA</b>	Culturas Anuais	124,5	-	-	124,5
	Culturas Anuais - Arroz	6,3	-	-	6,3
	Pastagens	-	244,6	-	244,6
	Silvicultura	-	272,6	-	272,6
<b>TOTAL (SC)</b>		<b>130,8</b>	<b>517,2</b>	-	<b>648</b>
<b>PARANÁ</b>	Culturas Anuais	280,8	-	-	280,8
	Pastagens	-	746,3	-	746,3
	Silvicultura	-	49,4	-	49,4
<b>TOTAL (PR)</b>		<b>281</b>	<b>797,9</b>	-	<b>1.076,5</b>
<b>SÃO PAULO</b>	Culturas Anuais	754,4	-	-	754,4
	Culturas Perenes	-	1.141,4	-	1.141,4
	Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	6.991,7	-	-	6.991,7
	Pastagens	-	2.241,8	-	2.241,8
	Silvicultura	-	2.054,7	-	2.054,7
<b>TOTAL (SP)</b>		<b>7.746,1</b>	<b>5.437,9</b>	-	<b>13.184</b>
<b>MINAS GERAIS</b>	Culturas Anuais	84	-	-	84
	Culturas Perenes	-	67,3	-	67,3
	Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	82,2	-	-	82,2
	Pastagens	-	223,3	-	223,3
	Silvicultura	-	38,1	-	38,1
<b>TOTAL (MG)</b>		<b>166,2</b>	<b>328,7</b>	-	<b>494,9</b>
<b>MATO GROSSO DO SUL</b>	Culturas Anuais	1.681,7	-	-	1.681,7
	Culturas Anuais - Soja	27,7	-	-	27,7
	Pastagens	-	11.026	-	11.026
<b>TOTAL (MS)</b>		<b>1.709,4</b>	<b>11.026</b>	-	<b>12.735,4</b>
<b>MATO GROSSO</b>	Culturas Anuais	502,0	-	-	502,0
	Culturas Anuais - Soja	541,8	-	-	541,8
	Pastagens	-	1.987,8	-	1.987,8
<b>TOTAL (MT)</b>		<b>1.043,8</b>	<b>1.987,8</b>	-	<b>3.031,6</b>
<b>GOIÁS</b>	Culturas Anuais	763,1	-	-	763,1
	Culturas Anuais - Soja	108,4	-	-	108,4
	Pastagens	-	3.693,8	-	3.693,8
<b>TOTAL (GO)</b>		<b>871,5</b>	<b>3.693,8</b>	-	<b>4.565,3</b>

As culturas anuais também predominam nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, onde respondem por quase a totalidade da produção. As culturas anuais também estão presentes no estado do Paraná, mas neste caso a diversificação é maior, sem monoculturas extensivas, valendo-se principalmente de lotes menores com culturas diversas, tais como milho, tomate, mandioca, melancia, entre outros.

Por outro lado, as culturas semiperenes, caracterizadas pela produção da cana de açúcar, são predominantes no estado de São Paulo, onde sozinha responde por 53% das áreas com potencial de contaminação, sendo classificada com potencial elevado. Essa elevada área ocupada por cana de açúcar é resultado do processo de intensificação e ampliação do cultivo em vista das orientações políticas nacionais. Tais expansões afetam também o estado de Minas Gerais, que apresenta 16,6% da área com potencial de contaminação ocupado por estas culturas.

As pastagens estão presentes em todos os estados. Os destaques ficam com Goiás e Mato Grosso do Sul, que possuem, respectivamente, 80,9%, e 86,6% das áreas classificadas com potencial de contaminação ocupadas por esta cobertura.

As silviculturas, em geral, estão associadas aos terrenos mais inclinados. Ocupam grandes áreas em Santa Catarina e São Paulo, onde a produção abastece, principalmente, as indústrias regionais de papel e celulose. A produção ocupa espaços relativamente menores nas áreas aflorantes nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Minas Gerais.

As culturas perenes são destaque nos estados de São Paulo e Minas Gerais, onde a produção de frutas cítricas (laranja, tangerina e limão), banana e café ocupam as maiores áreas destinadas a este tipo de uso. No conjunto, representam, respectivamente, 8,6% e 13,6% das áreas com potencial de contaminação. O outro estado que possui alguma cultura perene é Rio Grande do Sul, mas neste caso o valor é insignificante.

Cabe ressaltar que alguns tipos de uso, assim como as vastas áreas dedicadas às culturas anuais e às culturas semiperenes praticadas principalmente nos estados de Rio Grande do Sul e São Paulo, respectivamente, proporcionam um risco maior de contaminação da água subterrânea. Em torno de 35% das áreas aflorantes do SAG apresentam elevado potencial de contaminação.

#### **4.5 HIDROQUÍMICA DO SAG**

O estudo hidroquímico das áreas de afloramento do SAG visou caracterizar e avaliar a qualidade das águas que circulam neste sistema aquífero e identificar problemas de qualidade, tanto de origem antrópica quanto natural, que podem afetar os padrões de potabilidade.

A rede de amostragem abrangeu um universo de 210 pontos de coleta de águas subterrâneas em poços tubulares localizados nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, dentre os quais foram selecionados 203 pontos na primeira campanha de coleta, realizada nos meses de julho a setembro de 2013, e 205 pontos de coleta na segunda campanha, realizada nos meses de janeiro a março de 2014, não exatamente coincidentes. Foram analisados parâmetros hidroquímicos,

hidrocarbonetos, fenóis, agroquímicos, metais pesados, isótopos de oxigênio e hidrogênio e bacteriológicos (Figuras 4.84 a 4.87, Quadro 4.16 e Quadro 4.17). As análises hidroquímicas foram repetidas nas duas campanhas, e as demais foram realizadas apenas na segunda campanha.

**QUADRO 4.16 – NÚMERO DE AMOSTRAS ANALISADAS NOS ESTUDOS HIDROQUÍMICOS**

Número de amostras analisadas							
Campanhas	Estados	Tipos de análises					
		Hidroquímicas	BTEX/Fenóis	Agroquímicos	Metais Pesados	Isótopos	Bacteriológicas
Primeira Julho a Setembro de 2013	RS	60	0	0	0	0	0
	SC	6	0	0	0	0	0
	PR	5	0	0	0	0	0
	MG	6	0	0	0	0	0
	MS	75	0	0	0	0	0
	MT	16	0	0	0	0	0
	GO	35	0	0	0	0	0
<b>Total</b>		<b>203</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Segunda Janeiro a Março de 2014	RS	59	24	15	24	10	18
	SC	6	3	3	3	2	1
	PR	5	2	3	2	2	3
	MG	6	2	3	2	2	1
	MS	79	17	12	17	16	13
	MT	16	6	5	6	1	1
	GO	35	6	5	6	2	3
<b>Total</b>		<b>205</b>	<b>60</b>	<b>46</b>	<b>60</b>	<b>35</b>	<b>40</b>

**QUADRO 4.17 – TIPOS DE ANÁLISES E PARÂMETROS QUANTIFICADOS**

Parâmetros de análise	
Tipo	Parâmetros
Hidroquímicas	Temperatura, condutividade elétrica, pH, Eh, cor, turbidez, dureza e STD
	Sódio, Potássio, Cálcio, Magnésio, Ferro e Manganês
	Cloreto, sulfato, fluoreto, carbonato e bicarbonato
	Amônia, nitrito e nitrato
Derivados de petróleo	BTEX e Fenóis
Metais Pesados	Bário, níquel, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, arsênio, estrôncio e zinco
Isótopos	Oxigênio ( $^{18}\text{O}$ ), Deutério ( $^2\text{H}$ ), Trítio ( $^3\text{H}$ ) e Estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )
Agroquímicos	Grupo 1 (Glifosfato) Grupo 2 (2,4-D Atrazina), Grupo 3 (Matamidofós; Carbendazin), Grupo 4 (Acefato) e Grupo 5 (Cipermetrina)
Bacteriológicos	Coliformes fecais e totais

A classificação dos tipos hidroquímicos foi feita com base em diagramas de Stiff e de Piper. A especiação e a modelagem hidroquímica foram obtidas com o uso do software PHREEQC (Parkhurst & Apello, 1999).

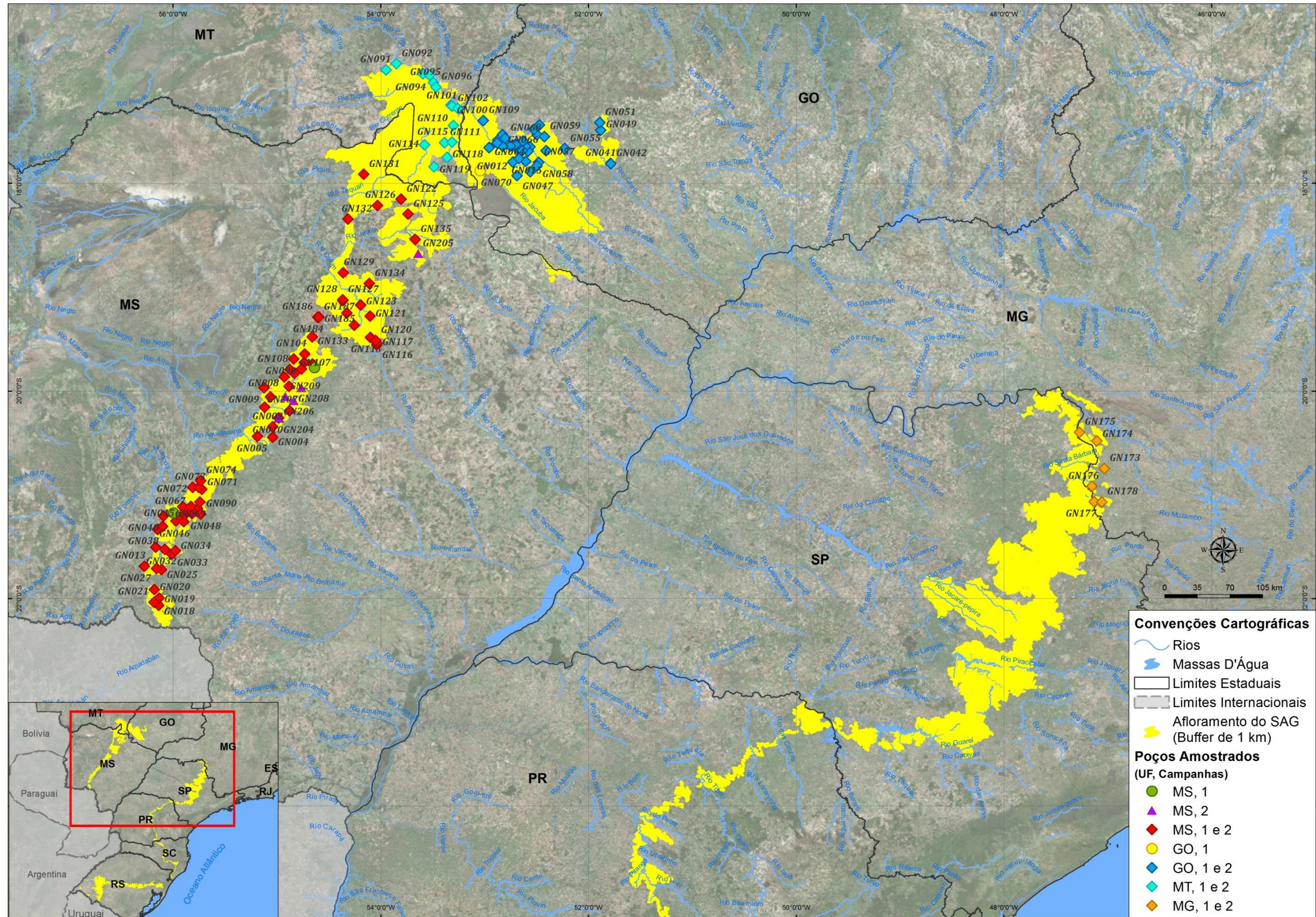


Figura 4.84 - Localização dos pontos amostrados nas áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (MG, MS, MT e GO) – Campanhas 1 e 2.

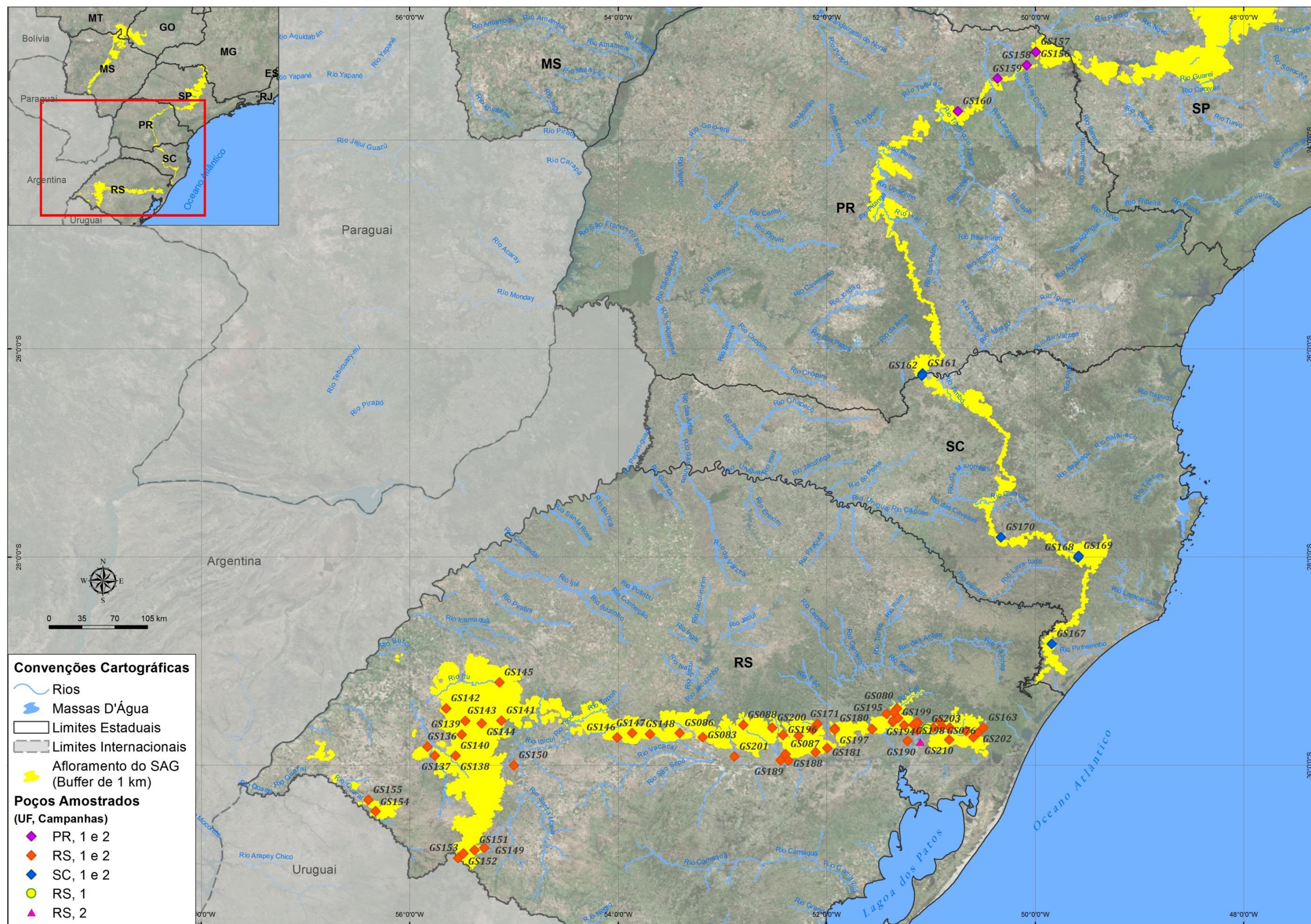


Figura 4.85- Localização dos pontos amostrados nas áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (RS, SC e PR) – Campanhas 1 e 2.

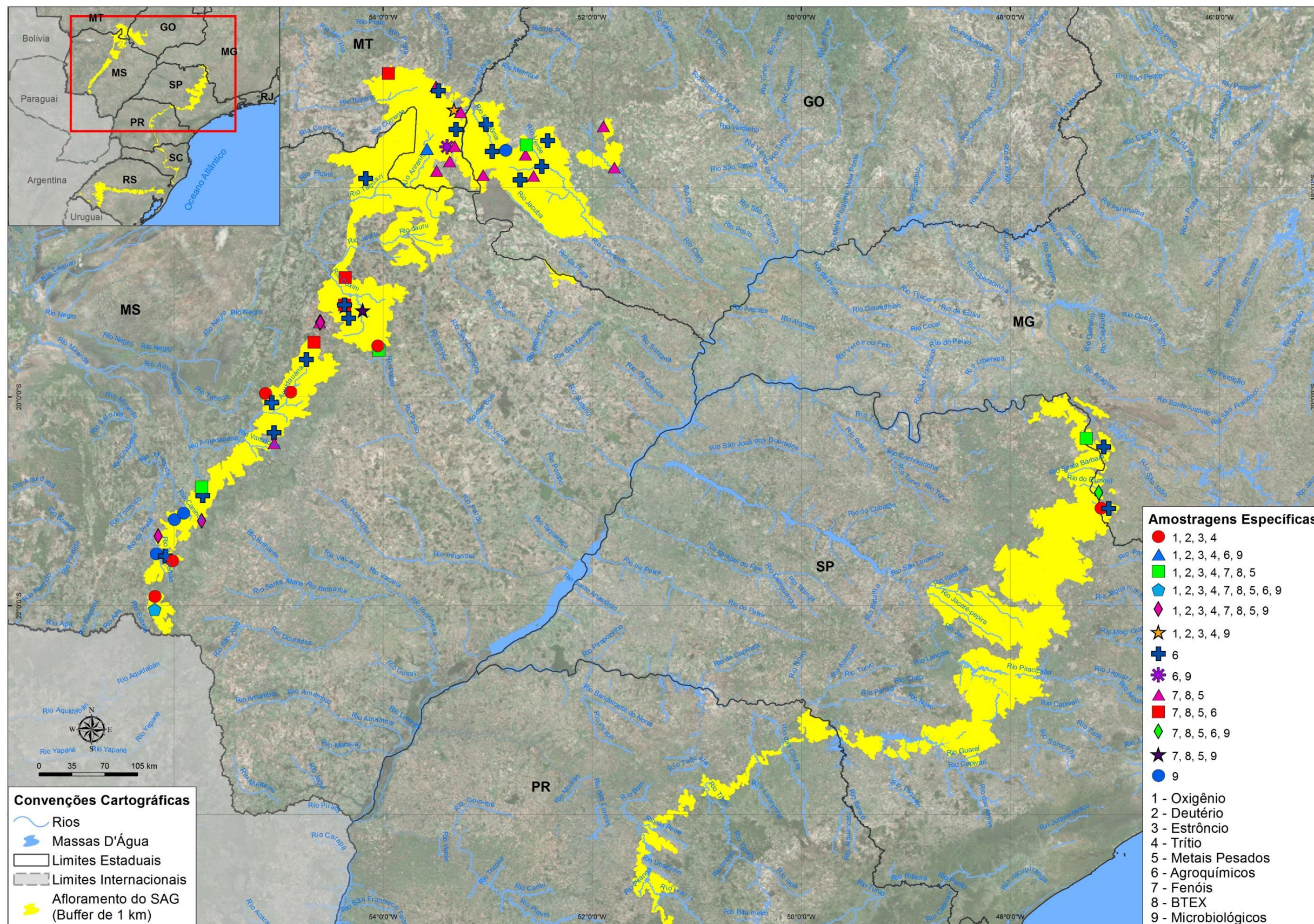


Figura 4.86 - Localização dos pontos amostrados para análises específicas (Agroquímicos, Metais Pesados, Índice de Fenóis, BTEX, Microbiológicas, Isótopos estáveis ( $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$ ), Estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) e Trítio ( $^3\text{H}$ ) – Áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (MG, MS, MT e GO) – Campanha 2.



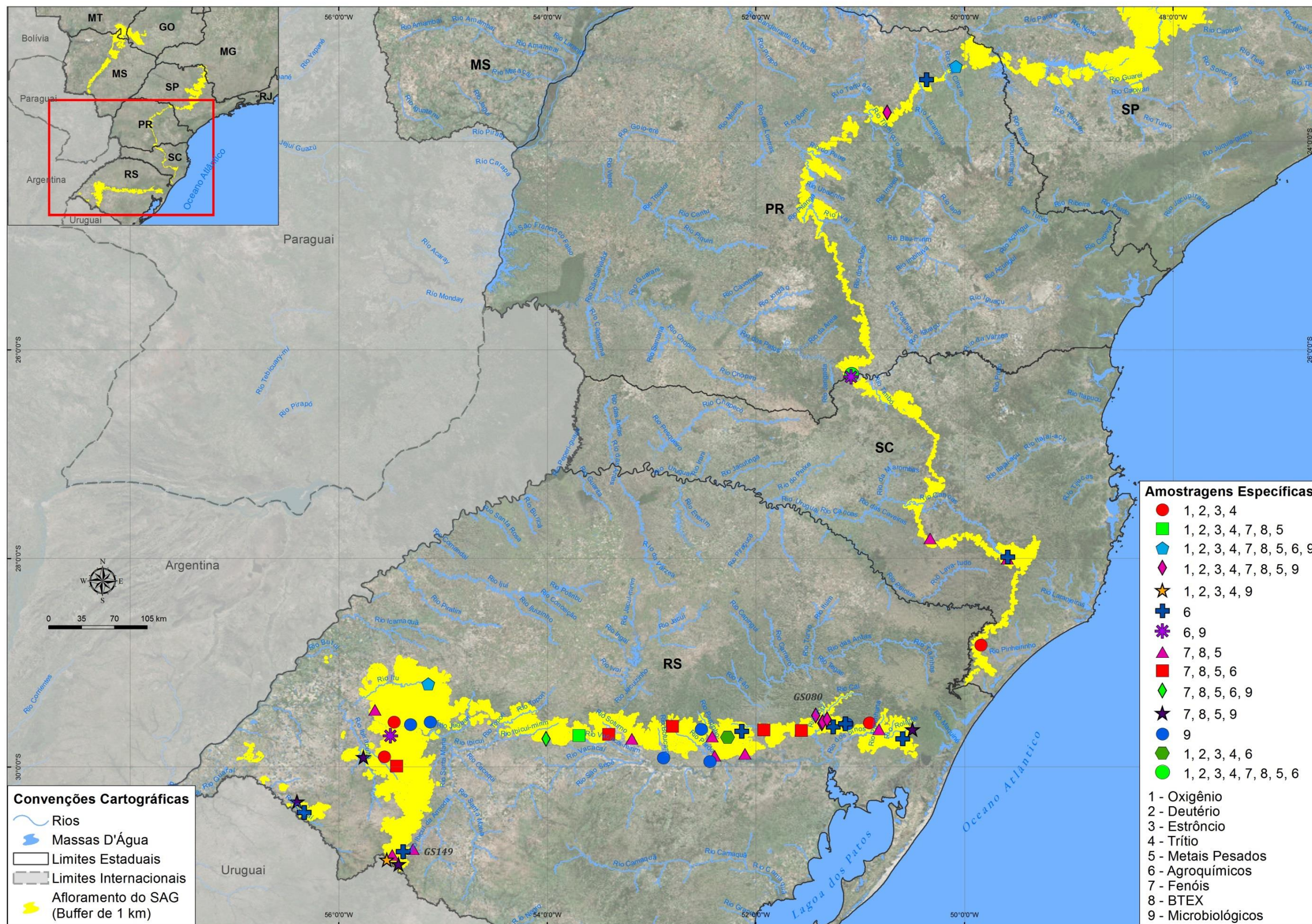


Figura 4.87 - Localização dos pontos amostrados para análises específicas (Agroquímicos, Metais Pesados, Índice de Fenóis, BTEX, Microbiológicas, Isótopos estáveis ( $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$ ), Estrôncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) e Trítio ( $^3\text{H}$ ) – Áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (RS, SC e PR) – Campanha 2.

Aos resultados das análises químicas foram aplicados métodos estatísticos (estatística multivariada e análise pelo método de agrupamento) para identificação de grupos com características hidroquímicas específicas e possíveis similaridades entre amostras de mesma área.

#### **4.5.1 Resultados das análises hidroquímicas**

Os Quadros 4.18 e 4.19 apresentam um resumo de alguns dados estatísticos dos principais parâmetros analisados nos compartimentos noroeste e sul, respectivamente, nas duas campanhas. A maioria dos parâmetros hidroquímicos não apresenta distribuição normal, segundo o método de Kolmogorov-Smirnov, de modo que a análise estatística para o conjunto de dados das duas campanhas foi feita com base na estatística não paramétrica.

As medianas de pH das amostras de água do SAG foram de 6,4 para compartimento noroeste e de 7,3 para o compartimento sul. As águas do compartimento noroeste são predominantemente ácidas em 75% das amostras, enquanto que as águas do compartimento sul são básicas em 65% das amostras. A característica de maior acidez das águas do compartimento noroeste deve-se à baixa concentração de bicarbonatos e carbonatos nessas amostras. Observa-se, também, que não há diferenças expressivas entre os resultados das duas campanhas de amostragem (Figura 4.88).

Os valores das medianas de condutividade elétrica situaram-se entre 27  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no compartimento noroeste e 220  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no compartimento sul. No compartimento noroeste observou-se predomínio ( $\sim 70\%$ ) de amostras de água com condutividades de até 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , enquanto que as amostras do compartimento sul são mais salinas, com aproximadamente 75% dos valores acima de 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 4.89). As águas com condutividades elétricas maiores do que 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  são, provavelmente, águas mistas ou provenientes de outras unidades hidroestratigráficas ou ainda, devido à contaminação antrópica, principalmente por nitrato.

Considerando-se as concentrações das amostras de água do SAG, a relação iônica é  $\text{HCO}_3 \gg \text{Cl} \geq \text{NO}_3 > \text{SO}_4$  para os ânions dos compartimentos noroeste e sul (Figura 4.90); e  $\text{Si} \gg \text{Ca} \geq \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$  para os cátions do compartimento sul, e  $\text{Si} \gg \text{K} \geq \text{Ca} > \text{Na} \geq \text{Mg}$  para os cátions do compartimento noroeste (Figura 4.91).

Resultados do teste não paramétrico pelo método Mann-Whitney para verificação da normalidade de cada parâmetro físico-químico obtido nos compartimentos noroeste e sul mostram que a comparação entre os valores médios das duas campanhas são estatisticamente iguais para um nível de significância de 5%. Em contrapartida, parâmetros tais como  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{SiO}_2$  no compartimento noroeste,  $\text{NH}_4$  no compartimento sul e  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e Fe no compartimento noroeste e sul foram diferentes. As diferenças encontradas em alguns íons como cloreto, nitrito, fósforo, sulfato e amônio podem ser atribuídas à contaminação antrópica.

**QUADRO 4.18 - VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS E TENDÊNCIA CENTRAL DOS RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DO SAG, OBTIDOS PARA O COMPARTIMENTO NOROESTE, PRIMEIRA E SEGUNDA CAMPANHAS DE AMOSTRAGENS**

Parâmetro	Unidade	Compartimento Noroeste					
		Campanha 1			Campanha 2		
		Máximo	Mínimo	Mediana	Máximo	Mínimo	Mediana
Temp	°C	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
pH		8,640	4,010	6,490	8,940	4,100	6,390
CE	µS / cm	844,000	1,570	26,150	806,000	2,750	27,800
HCO <sup>3</sup>	mg/L	395,000	0,000	9,850	393,000	0,000	10,300
CO <sup>3</sup>		17,000	0,000	0,000	25,400	0,000	0,000
F		0,360	0,000	0,015	1,760	0,000	0,012
Cl		60,600	0,000	0,105	52,800	0,000	0,175
NO <sup>2</sup>		0,460	0,000	0,000	0,370	0,000	0,000
NO <sup>3</sup>		113,000	0,000	0,305	124,000	0,000	0,210
SO <sup>4</sup>		181,000	0,000	0,040	132,000	0,000	0,000
Na		90,700	0,033	0,550	100,000	0,060	0,710
K		10,000	0,000	2,415	9,950	0,000	2,515
Ca		91,400	0,000	1,290	74,300	0,024	1,085
Fe		1,470	0,000	0,000	0,880	0,000	0,005
Mg		24,600	0,007	0,525	20,400	0,006	0,540
Mn		1,620	0,000	0,002	2,940	0,000	0,003
NH <sup>3</sup>		6,284	0,000	0,000	9,489	0,000	0,000
SiO <sub>2</sub>		66,085	2,566	20,852	57,103	1,968	16,961

**QUADRO 4.19 - VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS E TENDÊNCIA CENTRAL DOS RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DO SAG, OBTIDOS PARA O COMPARTIMENTO SUL, PRIMEIRA E SEGUNDA CAMPANHAS DE AMOSTRAGENS**

Parâmetro	Unidade	Compartimento Sul					
		Campanha 1			Campanha 2		
		Máximo	Mínimo	Mediana	Máximo	Mínimo	Mediana
Temp	°C	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
pH		9,030	5,430	7,350	9,200	4,700	7,340
CE	µS/ cm	1940,000	17,000	200,000	1791,000	20,300	222,000
HCO <sup>3</sup>	mg/L	388,000	1,510	93,000	420,000	0,000	96,700
CO <sup>3</sup>		26,500	0,000	0,000	35,700	0,000	0,000
F		2,810	0,000	0,110	2,790	0,015	0,092
Cl		226,000	0,360	4,990	202,000	0,560	4,690
NO <sup>2</sup>		0,810	0,000	0,000	0,670	0,000	0,055
NO <sup>3</sup>		83,200	0,000	3,130	60,200	0,000	3,140
SO <sup>4</sup>		444,000	0,000	1,870	395,000	0,072	1,840
Na		448,000	0,000	12,600	448,000	0,640	14,000
K		6,870	0,000	0,990	6,780	0,000	0,720
Ca		97,900	0,620	13,300	96,100	0,560	14,100
Fe		0,500	0,000	0,000	0,800	0,000	0,007
Mg		24,600	0,026	2,900	28,500	0,025	3,170
Mn		0,640	0,000	0,002	0,790	0,000	0,000
NH <sup>3</sup>		4,146	0,000	0,057	3,959	0,000	0,000
SiO <sub>2</sub>		76,779	8,020	34,005	72,715	6,715	33,364

A maioria das comparações mostra resultados diferentes quando se confrontaram os valores médios dos compartimentos noroeste e sul, independente da procedência ser da primeira ou segunda campanha de amostragem. Apenas o  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{NH}_4$  da campanha 1 e Fe das campanhas 1 e 2 foram estatisticamente iguais. Essas diferenças entre os compartimentos noroeste e sul já eram esperadas, uma vez que as amostras do compartimento noroeste são menos salinas que as amostras do compartimento sul.

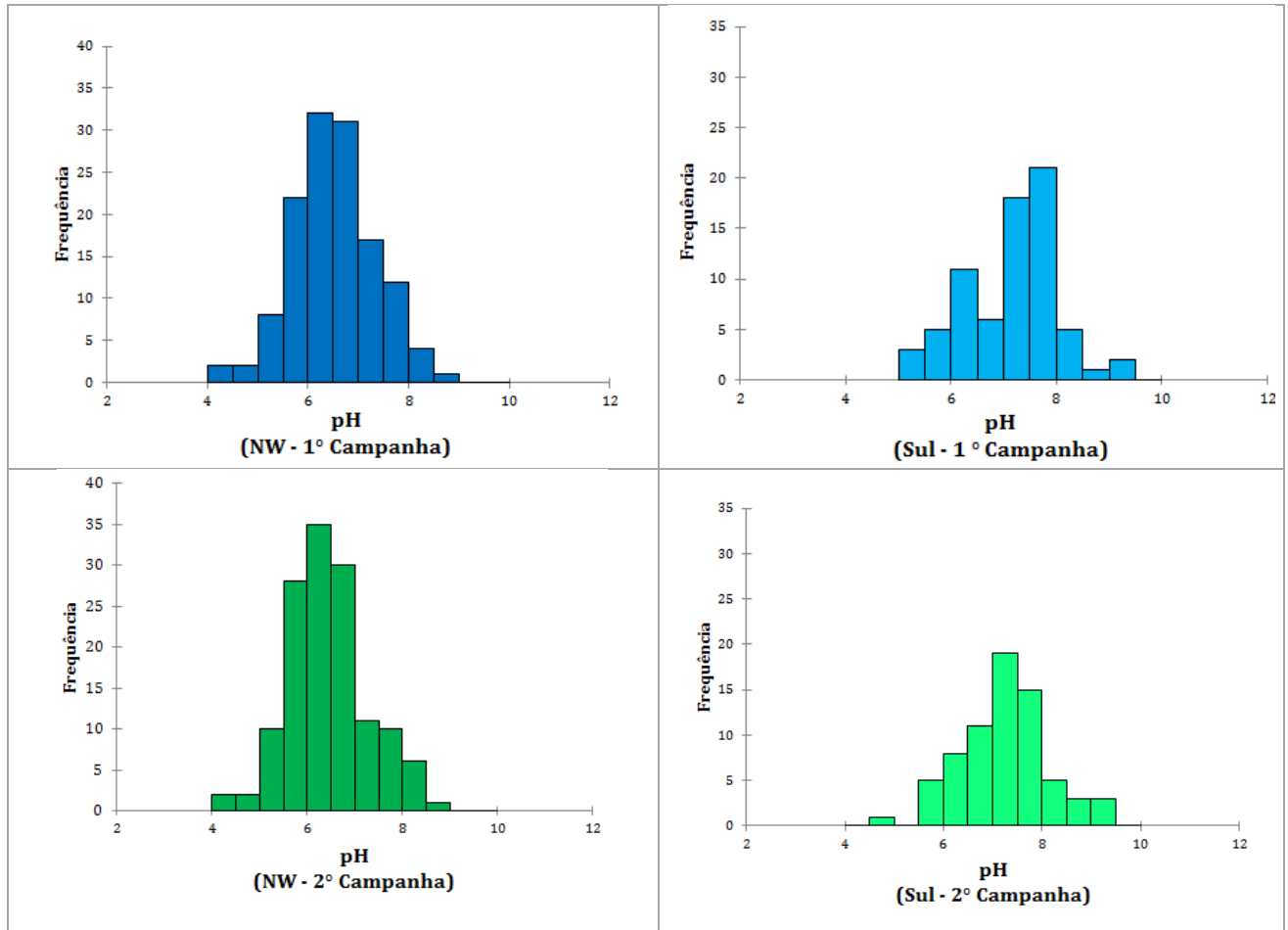


Figura 4.88 - Histogramas de pH de amostras de águas das áreas de afloramento do SAG (Compartimentos noroeste e sul) – 1ª. e 2ª. campanhas

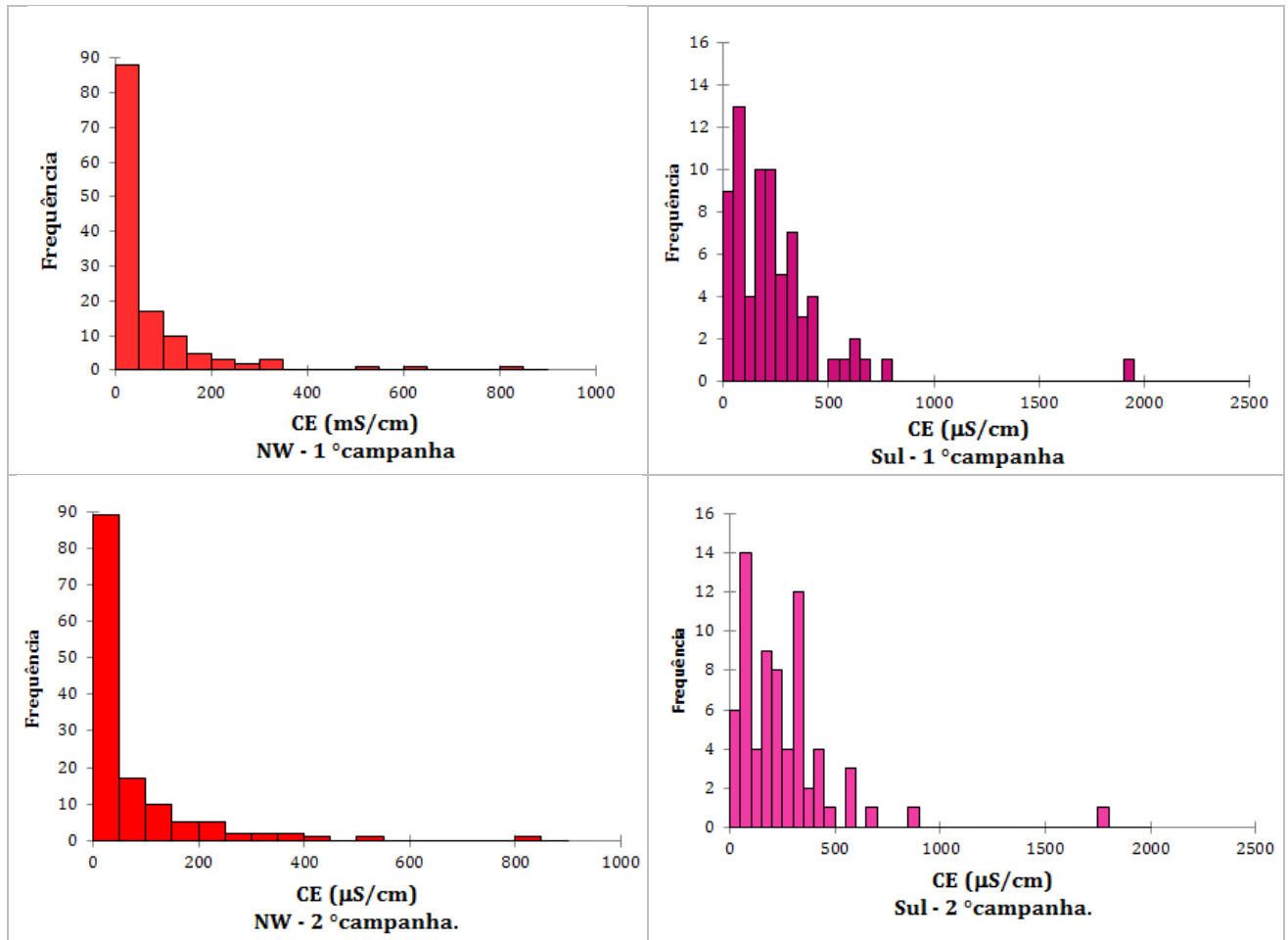


Figura 4.89 - Histogramas de condutividade elétrica (CE) de amostras de águas das áreas de afloramento do SAG (Compartimentos noroeste e sul) – 1ª. e 2ª. campanhas.

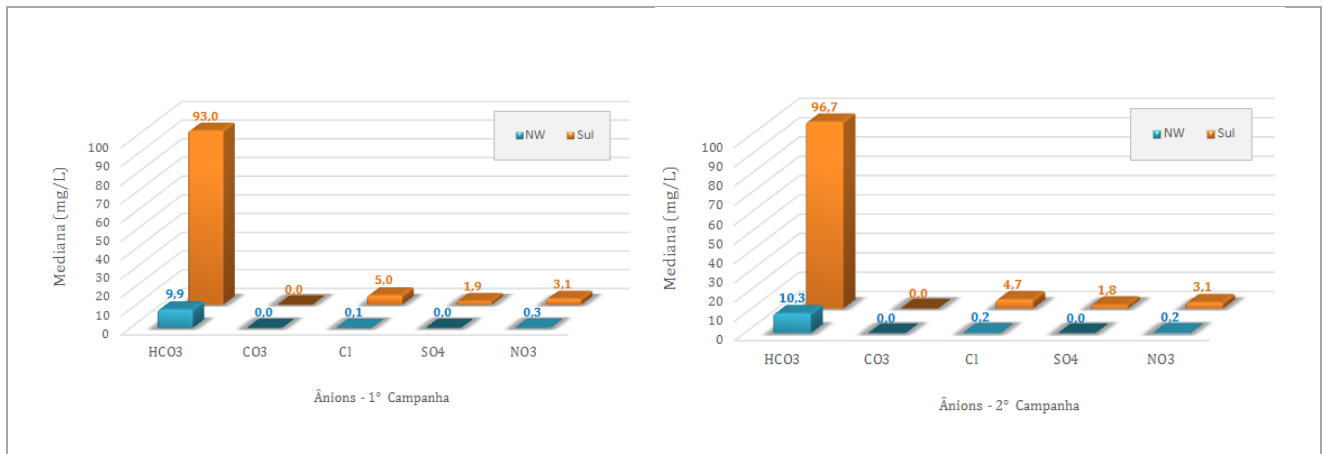


Figura 4.90 - Distribuição dos ânions nas águas subterrâneas das áreas de afloramento do SAG – 1º e 2º campanhas.

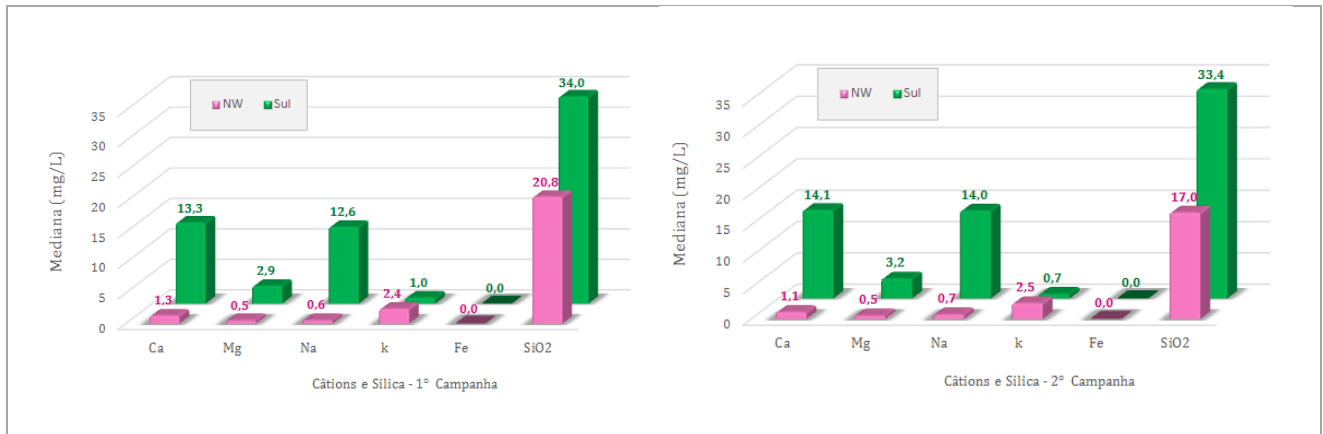


Figura 4.91- Distribuição dos cátions nas águas subterrâneas das áreas de afloramento do SAG – 1° e 2° campanhas.

#### 4.5.2 Análise estatística multivariada

Dendogramas obtidos a partir de análise estatística multivariada de agrupamentos, com uso do método Ward e medida de distância euclidiana, com resultados analíticos em mg/L e não normalizados, permitiram avaliar possíveis correlações/similaridades entre águas coletadas nas campanhas de amostragem. Três grupos distintos de água puderam ser identificados:

- ✓ **GRUPO 1** – Com maior quantidade de amostras (132), as águas deste grupo são pouco salinizadas, com condutividades elétricas predominantemente menores que 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com mediana da ordem de 25  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Predomina o ânion  $\text{HCO}_3$  (mediana  $\approx 8,5$  mg/L) e o cátion Si (mediana  $\approx 8,5$  mg/L). Em geral, mantêm a relação para cátions  $\text{Si} > \text{Ca} \geq \text{K} > \text{Na}$ . Distribuem-se, preferencialmente, nos estados de MS, MT e GO e podem ser consideradas representativas das áreas de afloramento do compartimento noroeste do SAG (Figura 4.92).
- ✓ **GRUPO 2** – Representado apenas por uma única amostra proveniente de poço no Município de Santa Maria (RS), esta água possui condutividade elétrica elevada ( $\approx 1.900$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e pH da ordem de 8,5. Apresenta concentrações elevadas dos íons cloreto ( $\approx 210$  mg/L), fluoreto (2,0 mg/L), sulfato (444 mg/L) e sódio ( $\approx 420$  mg/L). O poço amostrado possivelmente explora unidades hidroestratigráficas subjacentes ao SAG, conforme Figura 4.93.
- ✓ **GRUPO 3** – Representado por 70 amostras distribuídas por todas as áreas de afloramentos do SAG, porém com maioria localizada na região centro-leste do estado do Rio Grande do Sul. São amostras com condutividades elétricas mais elevadas (mediana  $\approx 250$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e teores de  $\text{HCO}_3$  da ordem de 25 mg/L. Predominam os cátions cálcio (mediana  $\approx 22$  mg/L), sódio (mediana  $\approx 14$  mg/L) e sílica (mediana  $\approx 17$  mg/L), como pode-se observar na Figura 4.93.

Considerando apenas os grupos 1 e 3, a análise dos dendogramas permitiu uma nova subdivisão em outros três subgrupos:

- ✓ **SUBGRUPO A** – Águas com as mesmas características descritas para o Grupo 1. Podem ser consideradas representativas das áreas de afloramento do SAG no compartimento noroeste (Figura 4.94).
- ✓ **SUBGRUPO B** – Águas com as maiores condutividades elétricas (mediana  $\approx 354 \mu\text{S}/\text{cm}$  e mínima de  $271 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) e íons dominantes  $\text{HCO}_3$  (mediana  $\approx 203 \text{ mg}/\text{L}$ ) e Ca (mediana  $\approx 38 \text{ mg}/\text{L}$ ). Predominam no compartimento sul da área de afloramentos SAG (Figura 4.95).
- ✓ **SUBGRUPO C** – Águas concentradas, majoritariamente, na região centro-leste do Rio Grande do Sul, com condutividades elétricas da ordem de  $185 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Os cátions predominantes são o silício (mediana  $\approx 18 \text{ mg}/\text{L}$ ), cálcio (mediana  $\approx 18,5 \text{ mg}/\text{L}$ ) e sódio (mediana  $\approx 10,5 \text{ mg}/\text{L}$ ). O ânion predominante é o bicarbonato (mediana  $\approx 102 \text{ mg}/\text{L}$ ), conforme Figura 4.95.

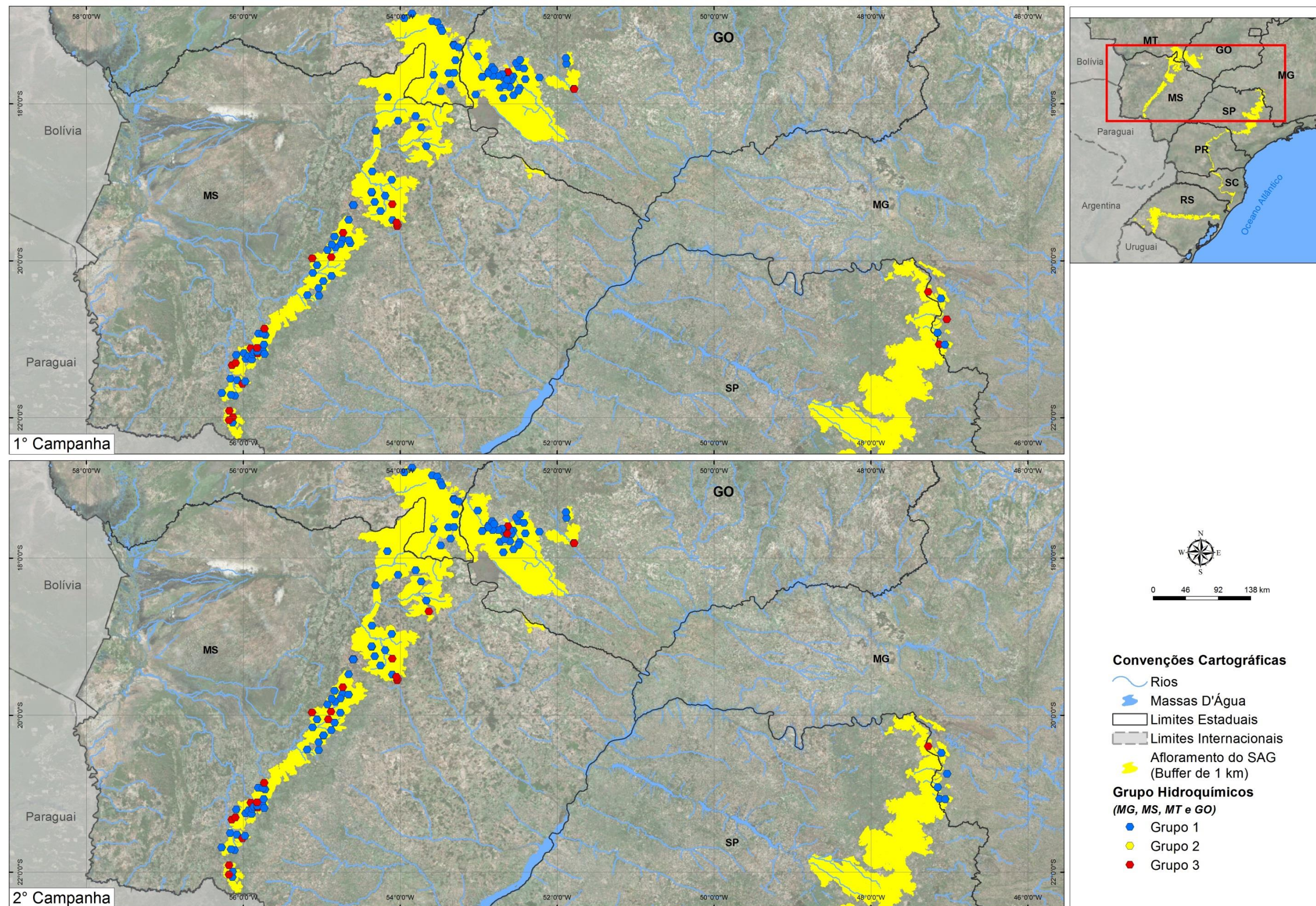


Figura 4.92- Mapa de distribuição dos grupos hidroquímicos identificados pela análise de agrupamentos em amostras de água das áreas de afloramento do SAG (MG, MS, MT e GO) – Campanhas 1 e 2.



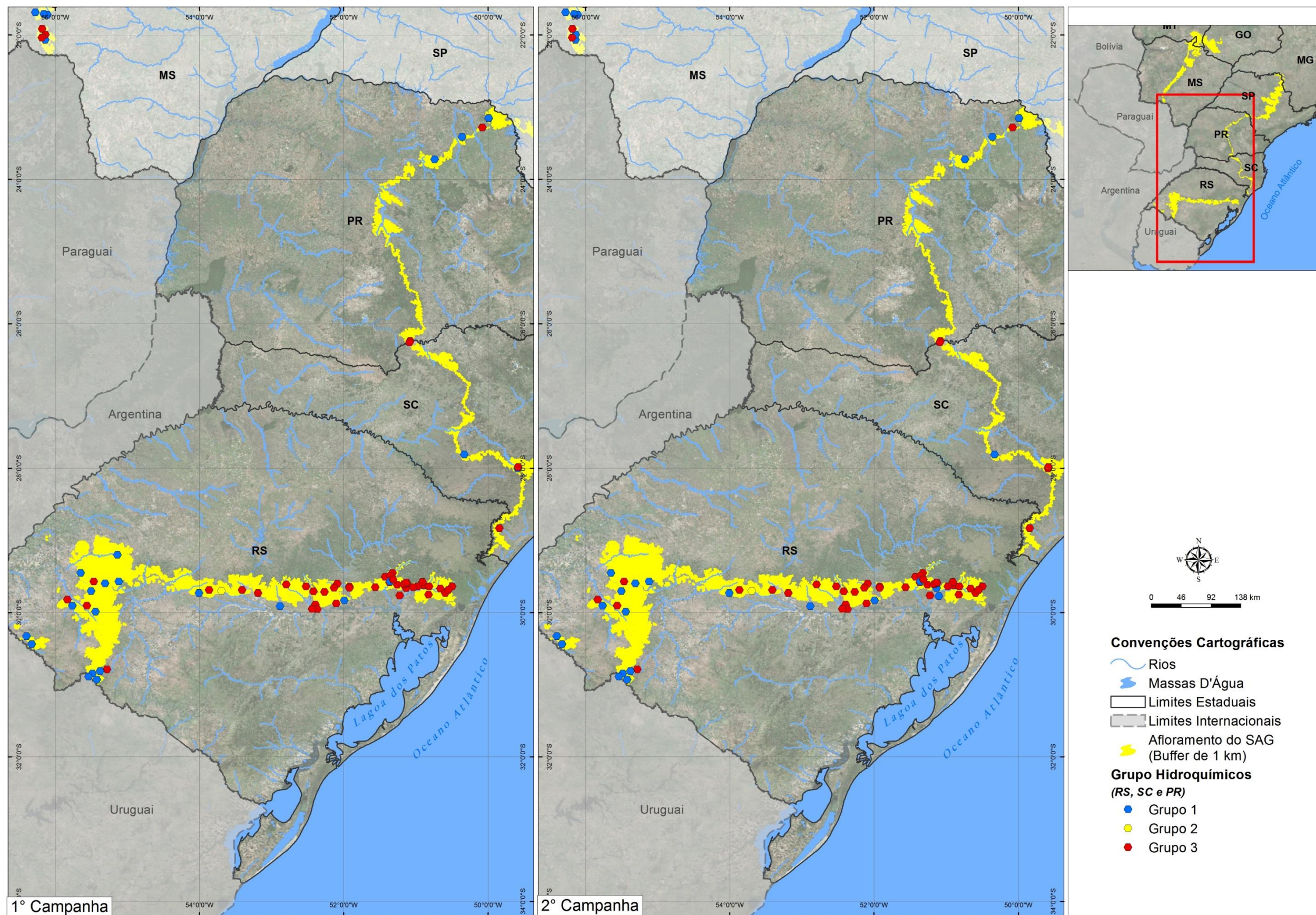


Figura 4.93 - Mapa de distribuição dos grupos hidroquímicos identificados pela análise de agrupamentos em amostras de água das áreas de afloramento do SAG (RS, SC e PR) – Campanhas 1 e 2.

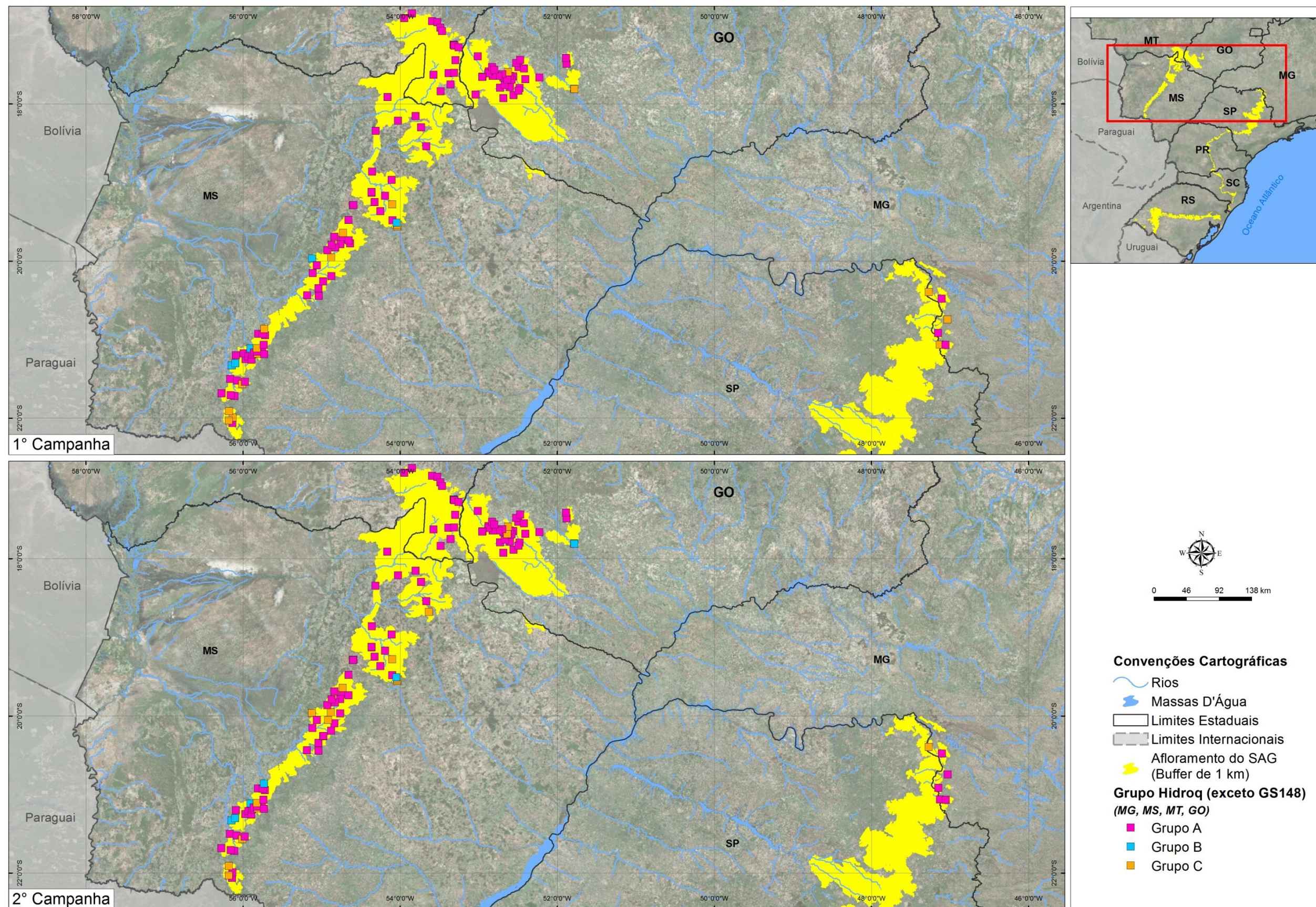


Figura 4.94 - Mapa de distribuição dos subgrupos hidroquímicos (exceto amostra GS148) identificados pela análise de agrupamentos de amostras de água das áreas de afloramento do SAG (MG, MS, MT e GO) – Campanhas 1 e 2.

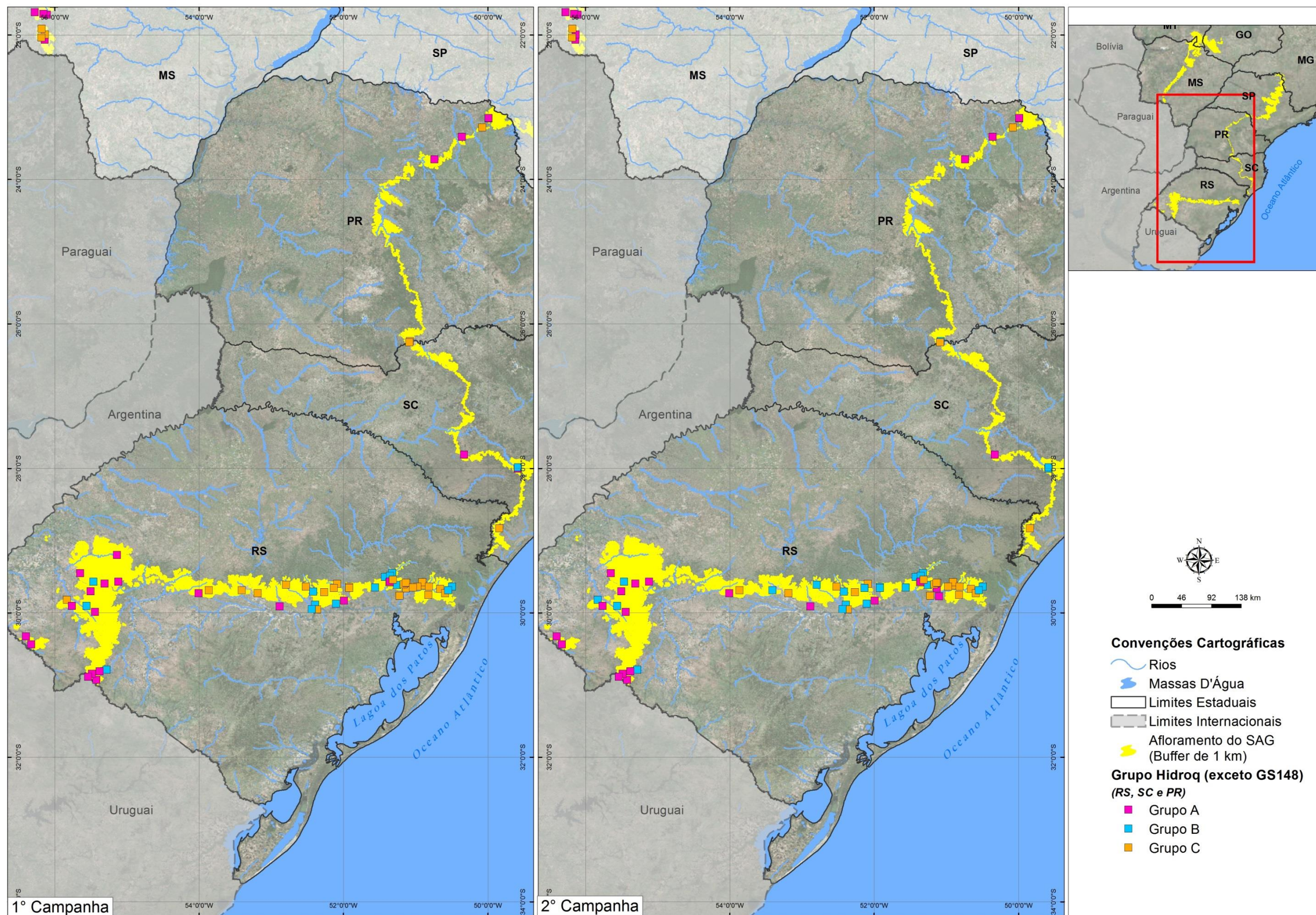


Figura 4.95 - Mapa de distribuição dos subgrupos hidroquímicos (exceto amostra GS148) identificados pela análise de agrupamentos de amostras de água das áreas de afloramento do SAG (RS, SC e PR) – Campanhas 1 e 2.

### 4.5.3 Classificação das águas subterrâneas

As águas subterrâneas das áreas de afloramento do SAG amostradas nas duas campanhas foram classificadas como predominantemente bicarbonatadas cálcicas ( $\approx 60$ ), seguidas das bicarbonatadas sódicas ( $\approx 32\%$ ), das sulfatadas cálcicas ( $\approx 5\%$ ) e das cloretadas sódicas ( $\approx 3\%$ ) (Figura 4.96). As águas de alguns poços não repetiram a mesma classificação nas duas campanhas em razão das proporções similares entre as concentrações iônicas dos principais elementos constituintes, podendo assim ser classificadas como águas mistas.

Nas áreas de afloramento do compartimento noroeste (estados de MG, MS, MT e GO), as amostras de água foram classificadas, na maioria, como bicarbonatadas cálcicas ( $\approx 55\%$ ), seguidas das bicarbonatadas sódicas ( $\approx 40\%$ ), das sulfatadas cálcicas ( $\approx 3\%$ ) e das cloretadas sódicas ( $\approx 2\%$ ). Esta relação também se manteve numa análise no âmbito estadual, observando-se que em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul as sulfatadas cálcicas estão ausentes, e em Mato Grosso as cloretadas sódicas foram identificadas somente na primeira campanha (Quadro 4.20).

**QUADRO 4.20 – TIPOS HIDROQUÍMICOS PREDOMINANTES POR ESTADO**

Campanhas	Estados	Percentual de predominância dos tipos hidroquímicos por estado			
		Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada sódica	Sulfatada cálcica	Cloretada sódica
Primeira julho a setembro de 2013	RS	66,7	20	10	3,3
	SC	66,6	16,7	0	16,7
	PR	80	0	0	20
	MG	66,6	16,7	0	16,7
	MS	61,3	38,7	0	0
	MT	37,5	37,5	18,9	6,2
	GO	48,5	45,7	2,9	2,9
Segunda janeiro a março de 2014	RS	71	19	6,7	3,3
	SC	50	33	0	17
	PR	60	0	20	20
	MG	66,6	16,7	0	16,7
	MS	62	36,7	0	1,3
	MT	50	31,2	18,8	0
	GO	50	44	3	3

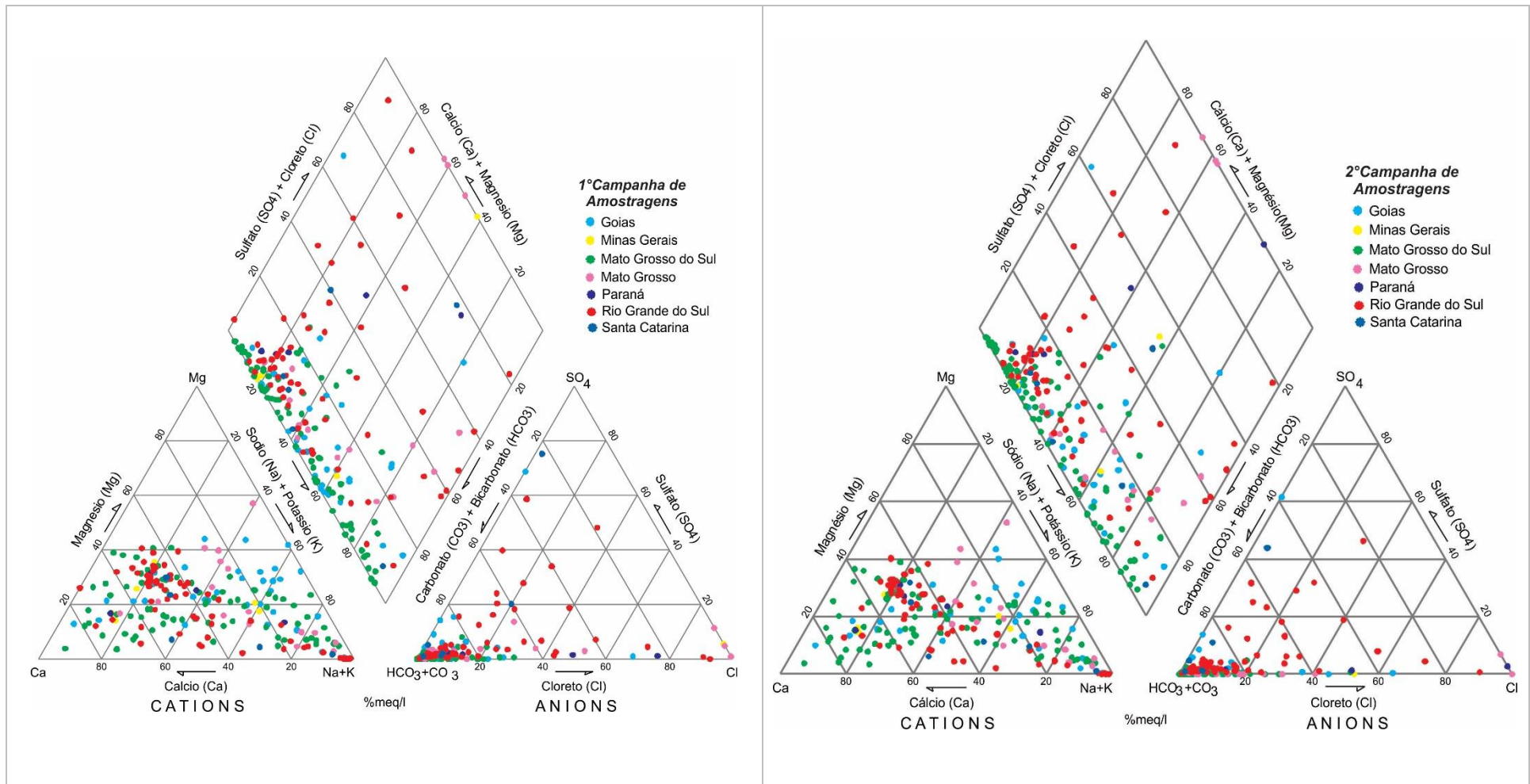


Figura 4.96- Diagramas de Piper para amostras de água das áreas de afloramento do SAG (RS, SC, PR, MG, MS, MT e GO), campanhas 1 e 2 de amostragens.

A distribuição dos tipos hidroquímicos nos estados, segundo a classificação de Piper, é mostrada nas Figuras 4.97 a 4.99.

Nos estados do Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, norte do Mato Grosso e Goiás as amostras são, em sua maioria, relativamente menos salinas, enquanto que nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, e nas regiões centro e sul do Mato Grosso do Sul as concentrações aumentam (Figuras 4.100 a 4.105). No geral, as águas do compartimento noroeste do SAG apresentam mediana de condutividade elétrica  $\approx 27 \mu\text{S}/\text{cm}$ , enquanto as do compartimento sul apresentam mediana  $\approx 220 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

É possível que esses aumentos de concentração sejam devidos a poços mais profundos, que exploram mais de um aquífero ou mesmo aquíferos subjacentes ao SAG.

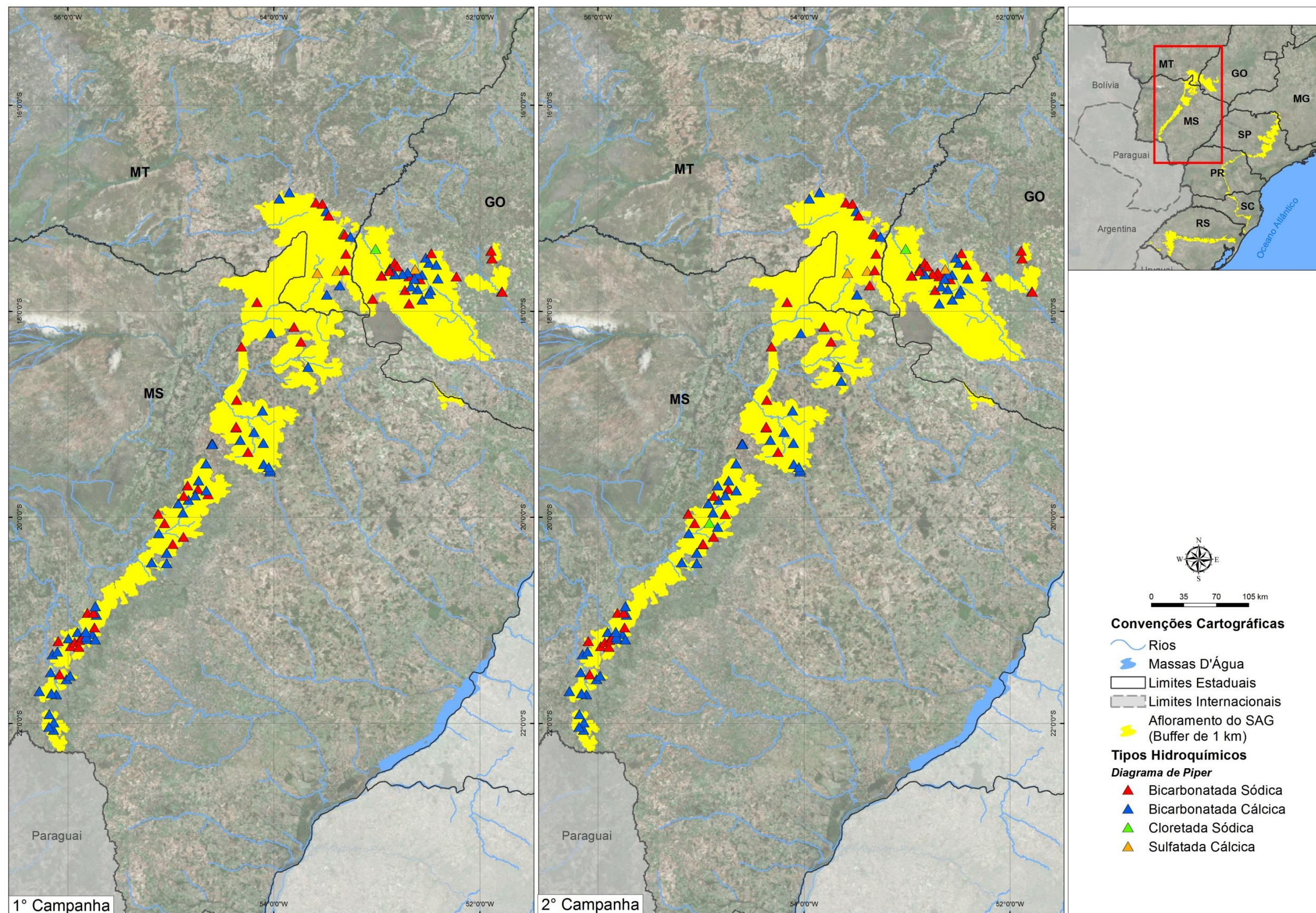


Figura 4.97 - Distribuição dos tipos hidroquímicos para amostras de água das áreas de afloramento do SAG (MS, MT e GO), conforme diagramas de Piper - campanhas 1 e 2.

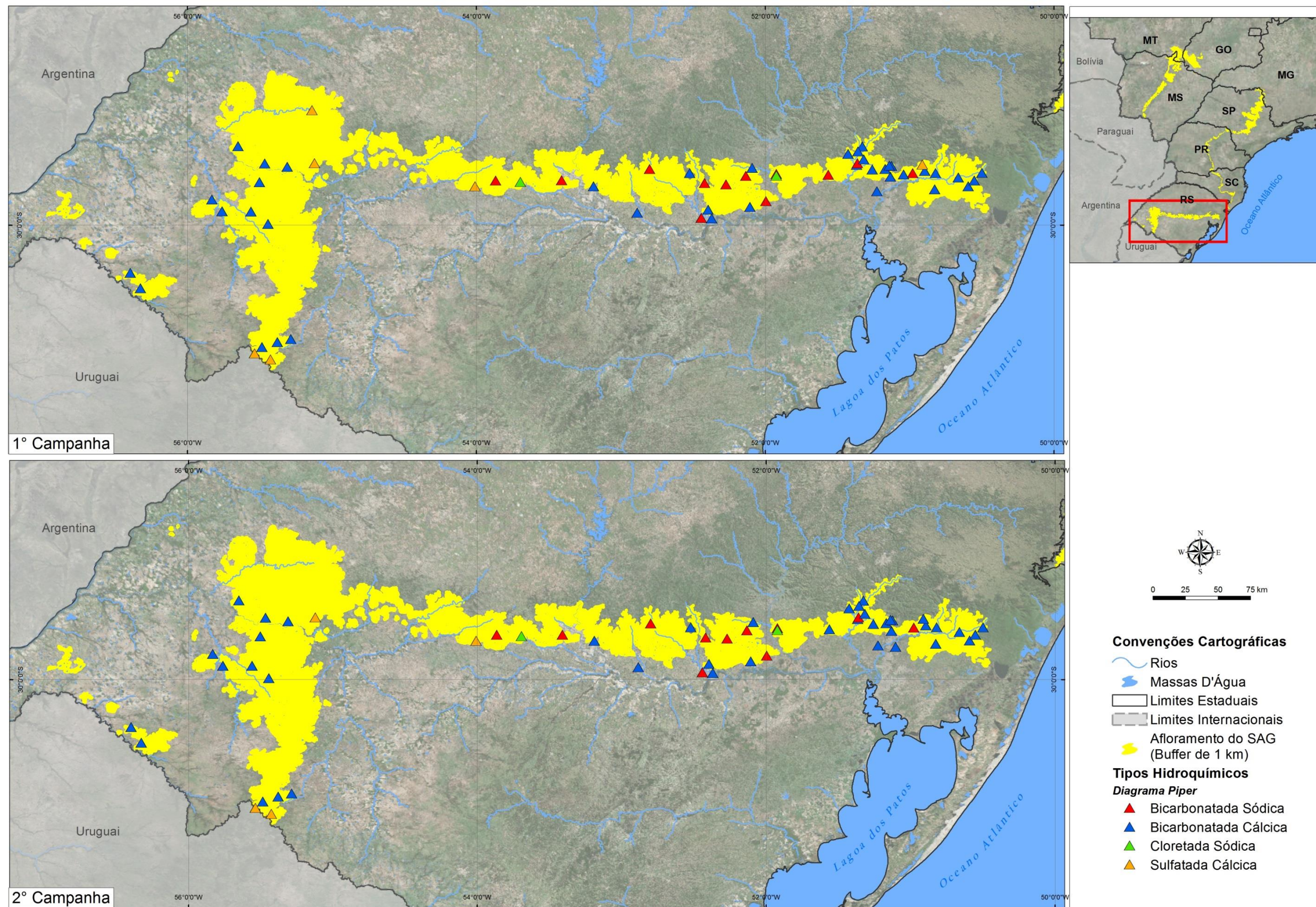


Figura 4.98 - Distribuição dos tipos hidroquímicos para amostras de água das áreas de afloramento do SAG (RS), conforme diagramas de Piper - campanhas 1 e 2



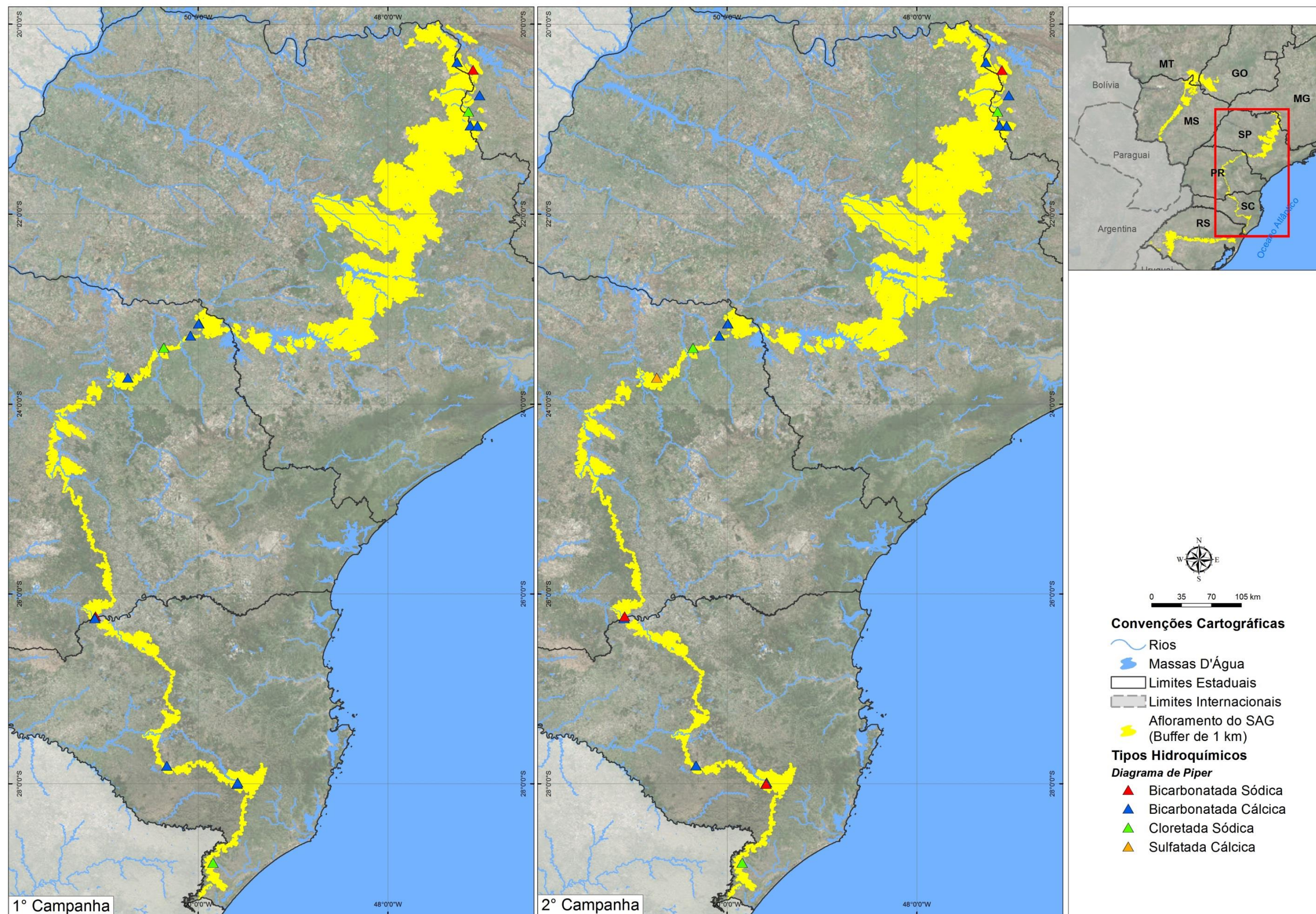


Figura 4.99 - Distribuição dos tipos hidroquímicos para amostras de água das áreas de afloramento do SAG (SC, PR e MG), conforme diagramas de Piper - campanhas 1 e 2.

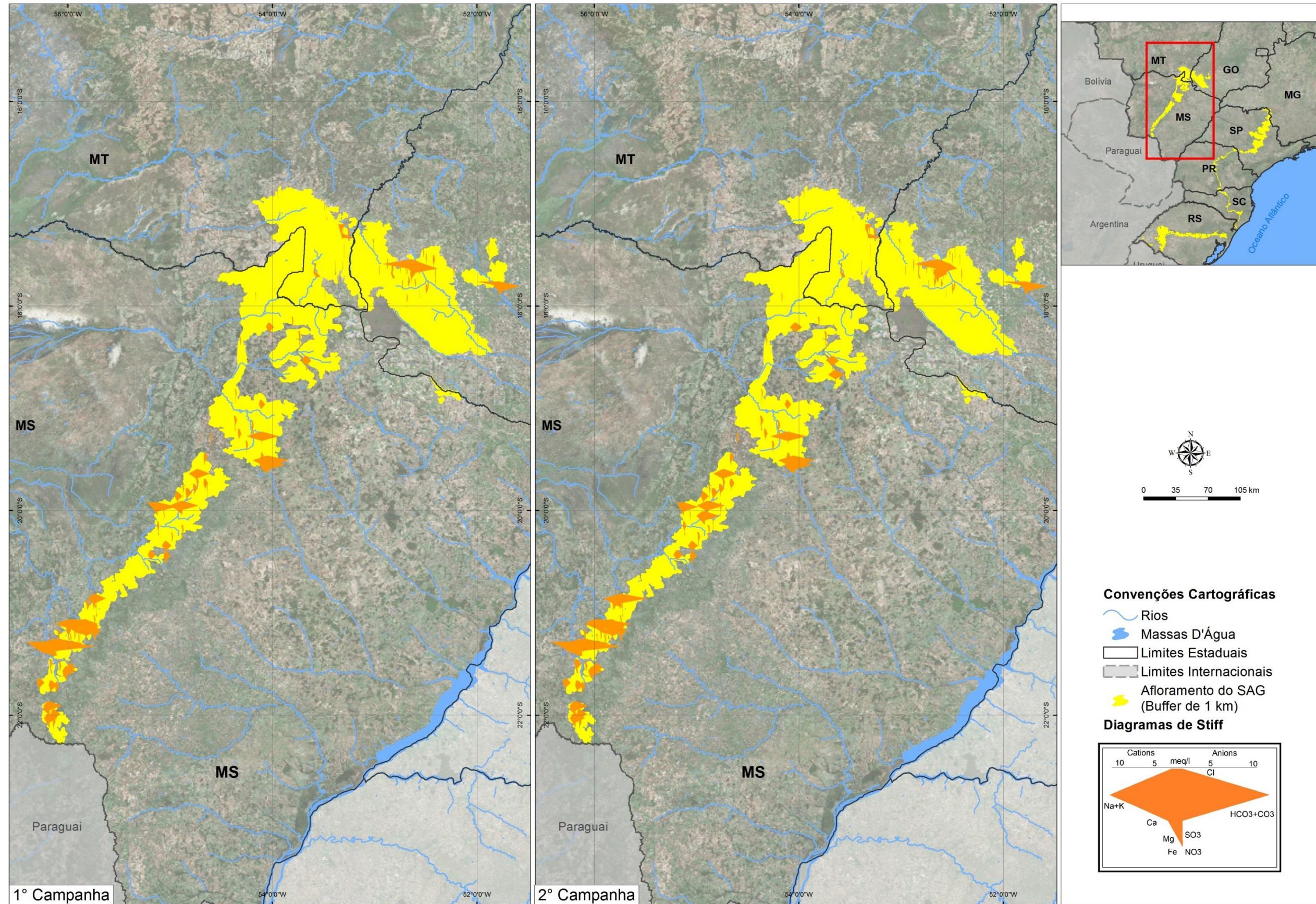


Figura 4.100 - Distribuição dos diagramas de Stiff para as amostras de água das áreas de afloramento do SAG (MS, MT e GO) - campanhas 1 e 2.

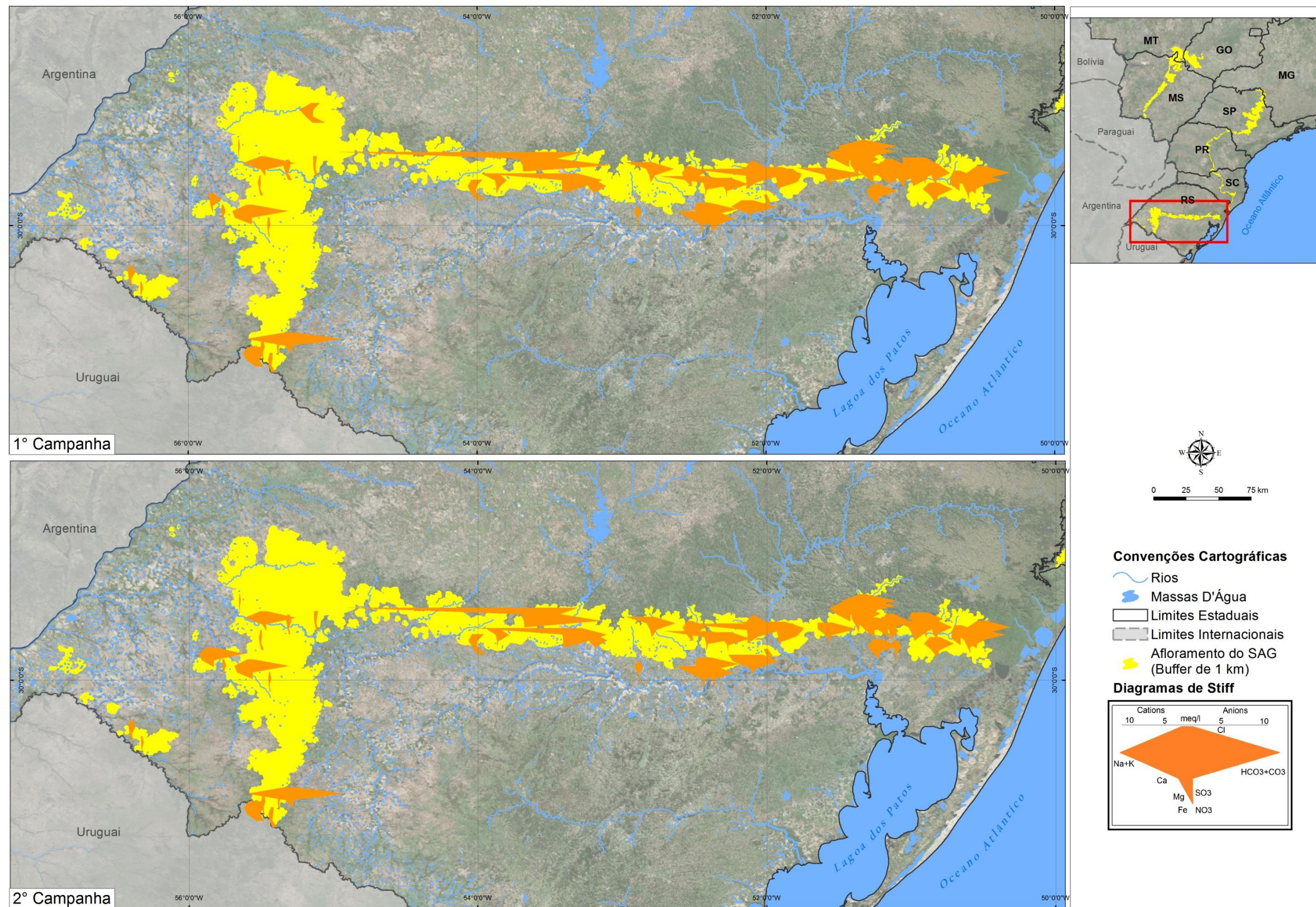


Figura 4.101 - Distribuição dos diagramas de Stiff para as amostras de água das áreas de afloramento do SAG (RS) - campanhas 1 e 2.

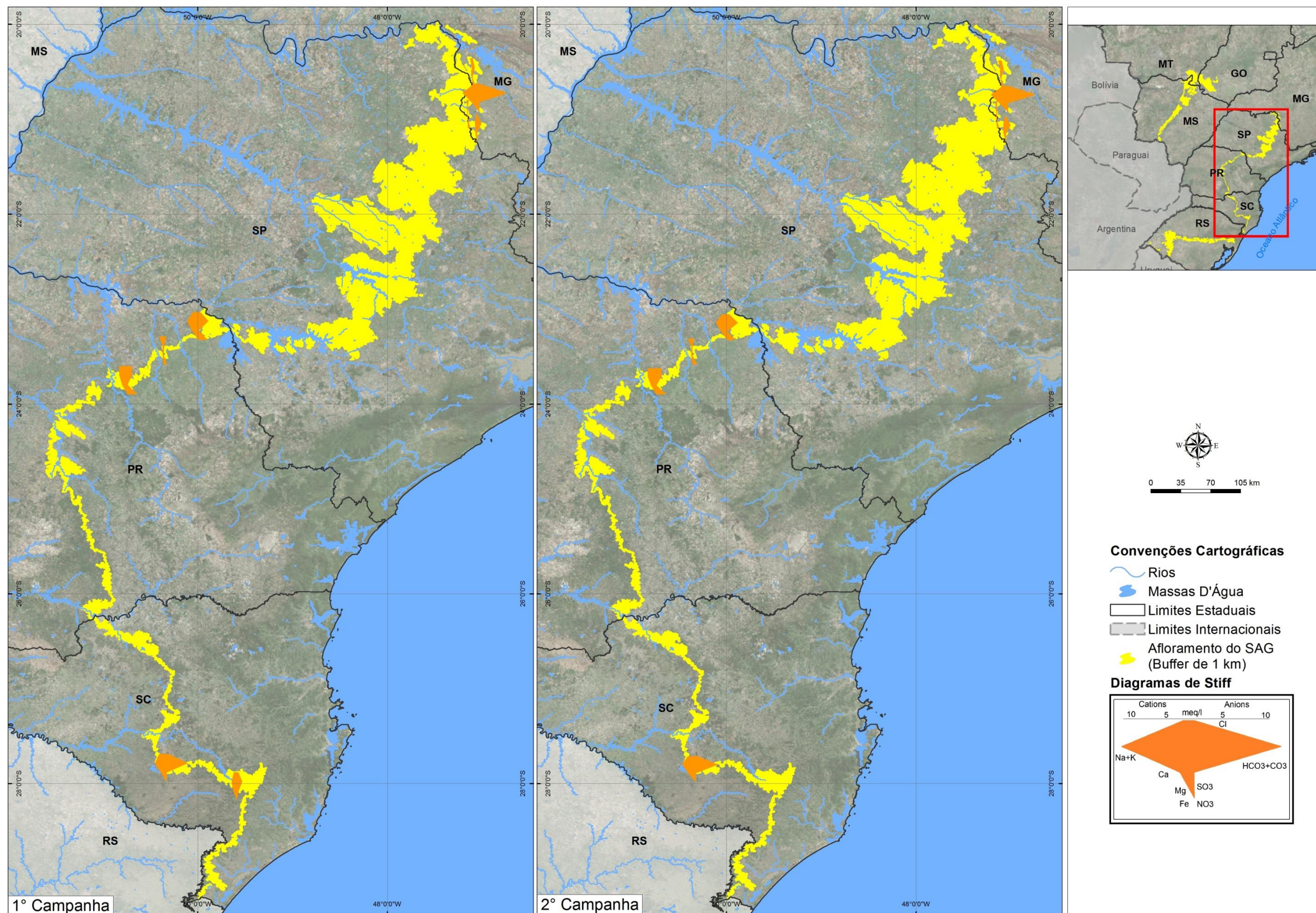


Figura 4.102 - Distribuição dos diagramas de Stiff para as amostras de água das áreas de afloramento do SAG (SC, PR e MG) - campanhas 1 e 2.

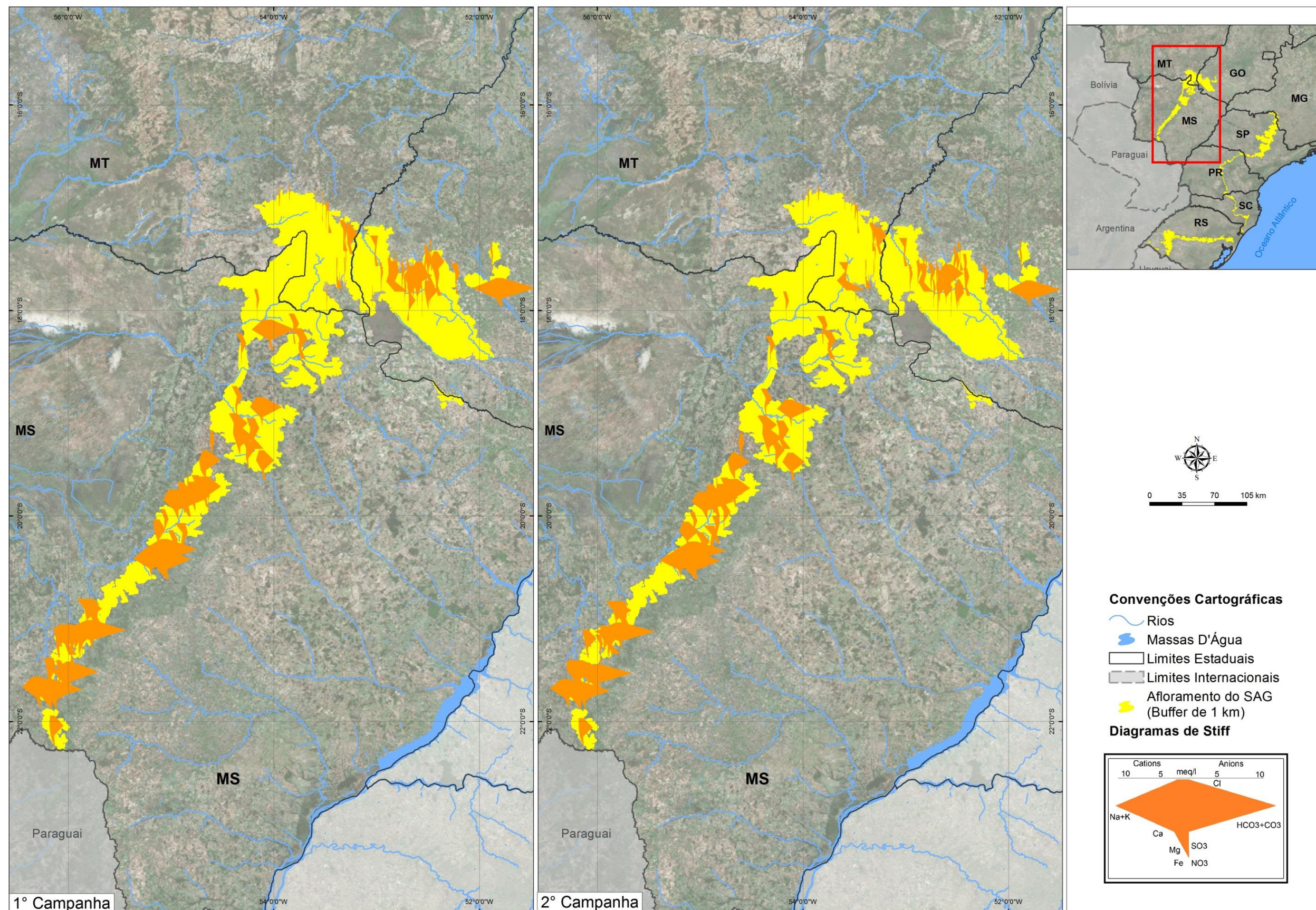


Figura 4.103 - Detalhe da distribuição dos diagramas de Stiff para as amostras do SAG, áreas de afloramento (MS, MT e GO), com condutividades elétricas menores do que 100  $\mu$ S/cm- campanhas 1 e 2.

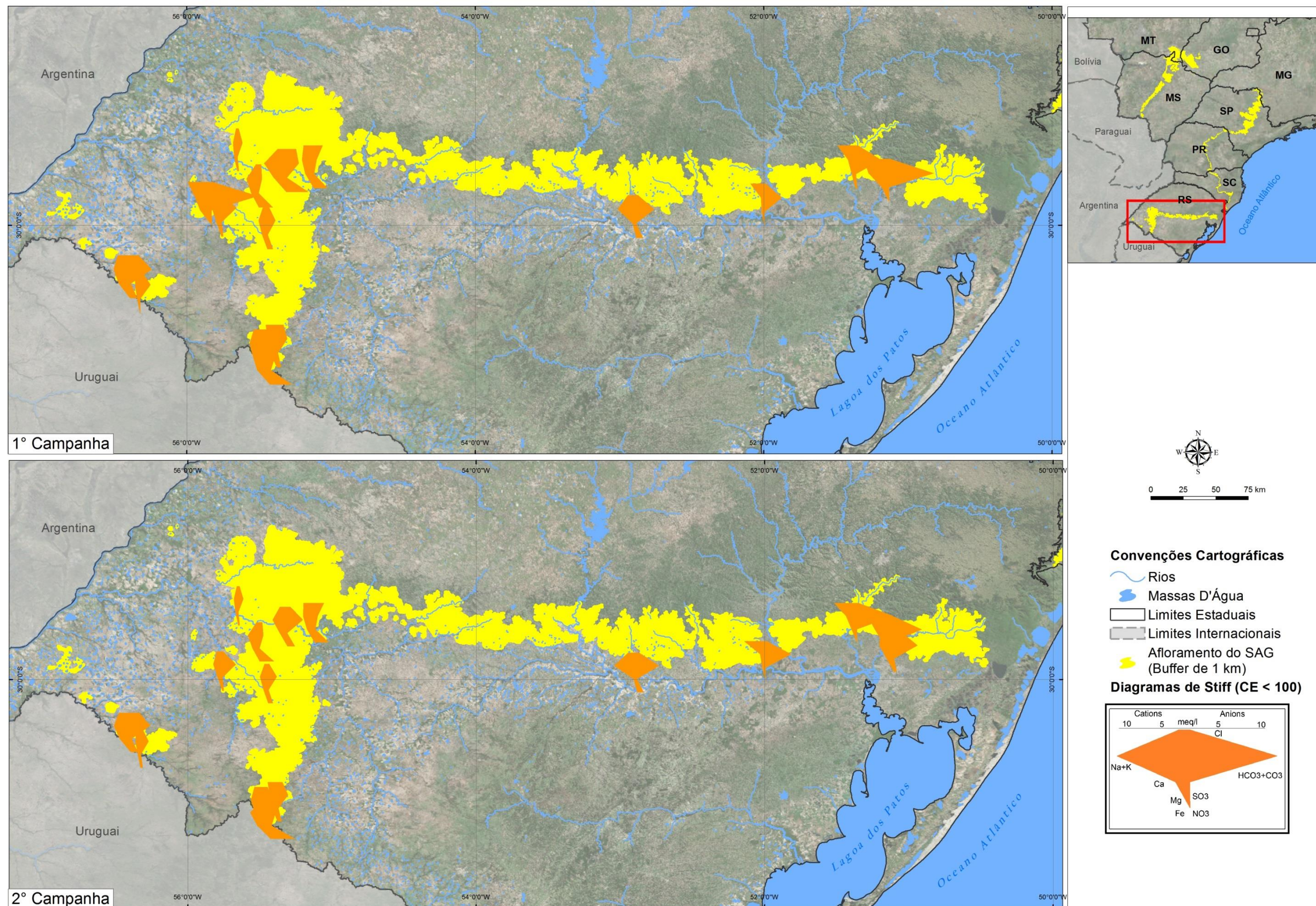


Figura 4.104 - Detalhe da distribuição dos diagramas de Stiff para as amostras do SAG, áreas de afloramento (RS), com condutividades elétricas menores do que 100 µS/cm- campanhas 1 e 2.

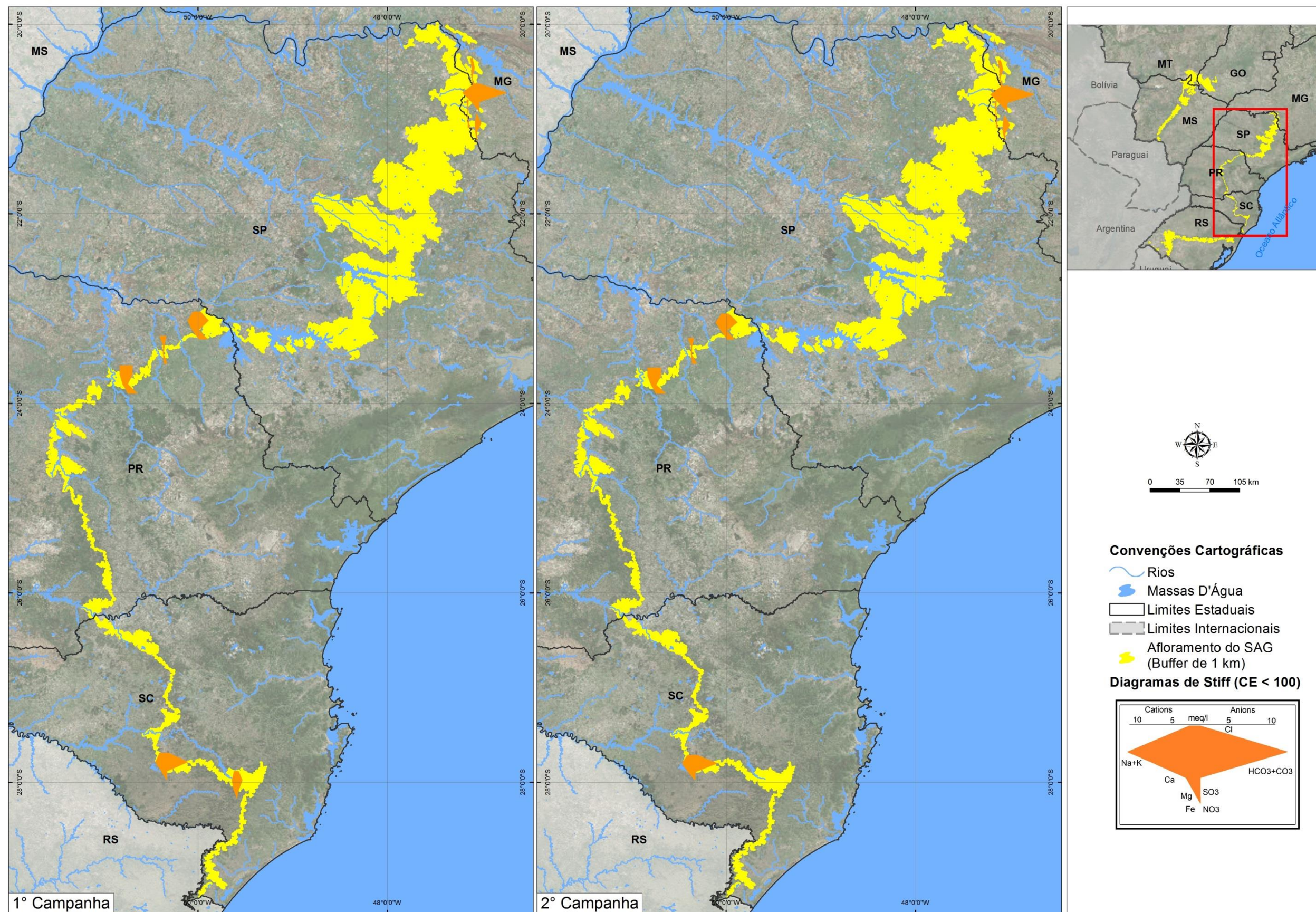


Figura 4.105 - Detalhe da distribuição dos diagramas de Stiff para as amostras do SAG, áreas de afloramento (SC, PR e MG), com condutividades elétricas menores do que 100  $\mu$ S/cm- campanhas 1 e 2.

#### **4.5.4 Parâmetros hidroquímicos acima dos Valores Máximos Permitidos**

Dentre os 210 poços amostrados neste estudo, em duas campanhas de coleta, em 28 deles foram constatados elementos com valores acima do máximo permitido pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, conforme destacado em cinza no Quadro 4.21.

Flúor em excesso apareceu em poços nos municípios de Mineiros (GO), Restinga Seca (RS), Santa Maria (RS), Venâncio Aires (RS) e Bom Retiro do Sul (RS). Sulfato em excesso foi constatado em poços nos municípios de Santa Maria (RS) e Timbé do Sul (SC). Nitrato acima do permitido apareceu Nioaque (MS), Alto Araguaia (MT), São Francisco de Assis (RS), Santa Maria (RS) e Santana do Livramento (RS).

Sódio com teores elevados foi constatado em Santa Maria (RS) e Restinga Seca (RS). Alumínio em excesso apareceu em poços nos municípios de Mineiros (GO), Alto Araguaia (MT) e Coxim (MS). Ferro em concentrações elevadas apareceu em poços em Mineiros (GO), Urubici (SC) e Terenos (MS). Manganês foi constatado em teores elevados em Nioaque (MS), Alto Araguaia (MT) e Urubici (SC).

Valores elevados de nitrato devem-se, provavelmente, à contaminação antrópica. Condutividades elétricas elevadas, associadas a concentrações também elevadas de sulfato, sódio e flúor sugerem água captada em unidades hidroestratigráficas subjacentes ao SAG como, por exemplo, em Santa Maria (RS).

#### **4.5.5 Parâmetros específicos**

##### **4.5.5.1 Metais pesados**

Foram coletadas 60 amostras para análise dos metais bário, cádmio, cromo, cobre, níquel, chumbo, zinco, estrôncio, arsênio e mercúrio, sendo 24 amostras no Rio Grande do Sul, 3 amostras em Santa Catarina, 2 amostras no Paraná, 2 em Minas Gerais, 17 amostras no Mato Grosso do Sul, 6 amostras no Mato Grosso e 6 amostras em Goiás (Figuras 4.86 e 4.87, e Quadro 4.22).

Todas as amostras para bário, cádmio, cromo, cobre, níquel, zinco apresentaram valores dentro dos limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Para o Estrôncio, a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde não tem um valor máximo estabelecido.

Concentrações acima do Valor Máximo Permitido pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, destacadas em cinza no Quadro 4.22, foram constatadas para Chumbo em São Gabriel do Oeste (MS), para Arsênio em Mineiros (GO), Restinga Seca (RS) e Santa Maria (RS), e para Mercúrio em São Sebastião do Caí (RS) e Santana do Livramento (RS).



**QUADRO 4.21 – AMOSTRAS COM ELEMENTOS COM TEORES ACIMA DO VALOR MÁXIMO PERMITIDO PELA PORTARIA Nº 2.914/2011/MS**

Amostras com elemento com teores (mg/L) acima do Valor Máximo Permitido (Portaria nº 2.914/MS)											
	Nº Unesp	Estado	Município	F <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+6</sup>	Fe <sup>+2</sup>	Mn <sup>+2</sup>	
Primeira Campanha	GN035	GO	Mineiros	< 0,010	< 0,020	0,052	0,34	<b>0,36</b>	0,11	0,001	
	GN047	GO	Mineiros	< 0,010	0,044	0,04	0,045	< 0,005	<b>1,47</b>	0,064	
	GN050	MS	Nioaque	0,21	1,61	<b>102</b>	32,8	< 0,005	< 0,005	< 0,001	
	GN052	MS	Nioaque	0,02	0,084	0,32	1,43	< 0,005	< 0,005	<b>0,11</b>	
	GS086	RS	Restinga Seca	<b>1,8</b>	109	< 0,040	197	< 0,005	0,019	0,001	
	GN100	MT	Alto Araguaia	0,087	0,27	<b>113</b>	10,7	4,03	0,028	<b>1,62</b>	
	GN111	MT	Alto Araguaia	0,011	0,047	9,23	0,22	0,18	0,005	<b>0,13</b>	
	GN114	MT	Alto Araguaia	0,013	0,22	<b>47,3</b>	1,74	0,15	0,008	<b>0,25</b>	
	GN132	MS	Coxim	< 0,010	0,023	0,3	0,38	0,22	0,11	0,006	
	GS145	RS	S. Fco. Assis	0,054	<0,020	<b>83,2</b>	4,08	0,13	0,022	0,1	
	GS146	RS	Santa Maria	0,05	0,29	<b>58,1</b>	6,86	0,007	< 0,005	0,054	
	GS148	RS	Santa Maria	<b>2,01</b>	444	< 0,040	<b>448</b>	<0,005	< 0,005	< 0,001	
	GS153	RS	Santana do Livramento	0,059	18,2	<b>51,2</b>	17,1	<0,005	< 0,005	0,004	
	GS167	SC	Timbé do Sul	0,24	255	< 0,040	105	<0,005	< 0,005	0,025	
	GS169	SC	Urubici	0,45	7,02	< 0,040	39,3	<0,005	0,5	0,64	
	GS172	RS	Venâncio Aires	<b>2,81</b>	52,3	< 0,040	138	<0,005	< 0,005	< 0,001	
	GS180	RS	Bom Retiro do Sul	<b>2,81</b>	49,7	< 0,040	97,9	<0,005	< 0,005	< 0,001	
	GS197	RS	Venâncio Aires	<b>2,31</b>	104	< 0,040	141	<0,005	< 0,005	< 0,001	
	GN026	GO	Mineiros	<b>1,76</b>	4,32	0	11	0	0	0	
	GN050	MS	Nioaque	0,23	1,79	<b>45,6</b>	38,3	0	0	0,004	
	GN052	MS	Nioaque	0,036	0	15,7	4,01	0	0,006	<b>0,17</b>	
	GS086	RS	Restinga Seca	<b>2,03</b>	128	0	<b>225</b>	0	0,015	0	
	GN100	MT	Alto Araguaia	0,08	0	<b>124</b>	6,23	<b>4,05</b>	0,036	<b>2,94</b>	
	GN101	MT	Alto Araguaia	0	0	0,47	0,16	0	0,069	<b>0,16</b>	
	Segunda Campanha	GN111	MT	Alto Araguaia	0	0	8,82	0,2	0,16	0	<b>0,13</b>
		GN114	MT	Alto Araguaia	0	0,19	32,7	1,12	0,056	0,015	<b>0,15</b>
GS146		RS	Santa Maria	0,043	0,26	<b>60,2</b>	7,54	0	0,006	0,064	
GS148		RS	Santa Maria	<b>1,94</b>	395	0	448	0	0,008	0,006	
GS153		RS	Santana do Livramento	0,053	18,2	<b>52,3</b>	17,2	0	0,12	0,004	
GS169		SC	Urubici	0,23	4,87	0	38,7	0	0,8	<b>0,79</b>	
GS172		RS	Venâncio Aires	<b>2,79</b>	52,9	0	159	0	0,011	0	
GS180		RS	Bom Retiro do Sul	<b>2,64</b>	50,1	0	107	0	0,007	0	
GS197		RS	Venâncio Aires	<b>2,22</b>	93	0	153	0	0,009	0	
GN206		MS	Terenos	0,011	0	0,065	0,91	0	<b>0,88</b>	0,057	
<b>Valor Máximo Permitido Portaria nº 2.914/MS</b>				<b>1,5</b>	<b>250</b>	<b>44</b>	<b>200</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	

**QUADRO 4.22 – METAIS PESADOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (RS, SC, PR, MG, MS, MT E GO)**

Amostra	Município	Estado	Bário	Cádmio	Cromo	Cobre	Níquel	Chumbo	Zinco	Estrôncio	Arsênio	Mercúrio
			mg/L									mg/L
GN004	Terenos	MS	0,085	< 0,005	< 0,003	0,005	< 0,003	< 0,005	0,005	0,064	<LQ	<LQ
GN011	Mineiros	GO	0,004	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,039	< 0,005	<LQ	<LQ
GN021	Antônio João	MS	0,063	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,093	<LQ	<LQ
GN026	Mineiros	GO	0,092	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,22	11,11	<LQ
GN029	Mineiros	GO	0,011	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,62	3,80	<LQ
GN038	Nioaque	MS	0,36	< 0,005	< 0,003	0,005	< 0,003	< 0,005	0,016	0,66	1,77	<LQ
GN041	Jataí	GO	0,022	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,032	0,64	<LQ
GN047	Mineiros	GO	0,007	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,053	< 0,005	<LQ	<LQ
GN051	Jataí	GO	0,002	< 0,005	< 0,003	0,009	< 0,003	< 0,005	0,007	< 0,005	<LQ	<LQ
GN074	Nioaque	MS	0,43	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,24	1,16	<LQ
GS081	Portão	RS	0,094	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,13	0,80	<LQ
GS083	Paraíso do Sol	RS	0,079	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,009	0,12	0,95	<LQ
GS085	Vale Verde	RS	0,22	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,089	0,82	<LQ
GS086	Restinga Seca	RS	0,014	< 0,005	0,012	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,053	16,27	<LQ
GS087	Rio Pardo	RS	0,7	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,007	0,33	1,29	<LQ
GS088	Candelária	RS	0,044	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,008	0,077	5,11	<LQ
GS089	S.S. Caí	RS	0,074	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,014	0,066	1,20	<LQ
GN090	Nioaque	MS	0,19	< 0,005	< 0,003	0,004	< 0,003	< 0,005	0,008	0,093	<LQ	<LQ
GN091	Alto Garças	MS	0,011	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	< 0,005	<LQ	<LQ
GN095	Alto Garças	MT	0,009	< 0,005	< 0,003	0,005	< 0,003	< 0,005	0,005	< 0,005	<LQ	<LQ
GN102	Alto Araguaia	MT	0,059	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,059	0,026	<LQ	<LQ
GN115	Alto Taquari	MT	0,007	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	< 0,005	<LQ	<LQ
GN116	Camapuã	MT	0,068	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,77	6,38	<LQ
GN118	Alto Taquari	MT	0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,029	< 0,005	<LQ	<LQ
GN119	Alto Taquari	MT	0,009	< 0,005	< 0,003	0,01	< 0,003	< 0,005	0,19	< 0,005	<LQ	<LQ
GN123	Camapuã	MS	0,12	< 0,005	< 0,003	0,006	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,007	<LQ	<LQ
GN124	S.G. Oeste	MS	0,096	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,008	<LQ	<LQ
GN127	S.G. Oeste	MS	0,034	< 0,005	< 0,003	0,005	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,008	<LQ	<LQ
GN129	S.G. Oeste	MS	0,1	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,007	<LQ	<LQ
GN133	S.G. Oeste	MS	0,039	< 0,005	< 0,003	0,005	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,024	<LQ	<LQ
GS137	Alegrete	RS	0,043	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,013	0,021	<LQ	<LQ
GS138	Alegrete	RS	0,002	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,016	0,015	<LQ	<LQ
GS142	Manoel Viana	RS	0,017	< 0,005	< 0,003	0,2	0,005	0,006	0,086	0,018	<LQ	<LQ
GS146	Santa Maria	RS	0,58	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,008	0,21	<LQ	<LQ
GS148	Santa Maria	RS	0,018	< 0,005	< 0,003	0,01	< 0,003	< 0,005	0,033	0,31	12,73	<LQ
GS149	Santana Livramento	RS	0,55	< 0,005	< 0,003	0,056	< 0,003	< 0,005	0,039	0,31	0,89	<LQ
GS150	Santana Livramento	RS	0,2	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,013	0,091	<LQ	<LQ
GS152	Santana Livramento	RS	0,099	< 0,005	< 0,003	0,005	< 0,003	< 0,005	0,039	0,038	<LQ	<LQ
GS155	Quaraí	RS	0,033	< 0,005	< 0,003	0,004	< 0,003	< 0,005	0,65	0,036	<LQ	<LQ
GS158	S. A. Platina	PR	0,045	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,26	0,60	<LQ
GS160	S. J. Serra	PR	0,086	< 0,005	< 0,003	0,007	< 0,003	< 0,005	0,013	0,053	<LQ	<LQ
GS161	Porto União	SC	0,029	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,014	0,082	1,62	<LQ
GS163	Rolante	RS	0,028	< 0,005	< 0,003	0,016	< 0,003	< 0,005	0,017	0,071	0,80	<LQ
GS168	Urubici	SC	0,13	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,007	0,74	1,20	<LQ

Continua...

**QUADRO 4.22 – METAIS PESADOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (RS, SC, PR, MG, MS, MT E GO)**

Amostra	Município	Estado	Bário	Cádmio	Cromo	Cobre	Níquel	Chumbo	Zinco	Estrôncio	Arsênio	Mercurio
			mg/L									mg/L
GS170	Lages	SC	0,052	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,05	<LQ	<LQ
GN175	Claraval	MG	0,034	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,093	<LQ	<LQ
GN176	S.S. Paraíso	MG	0,053	< 0,005	< 0,003	0,016	< 0,003	< 0,005	0,023	0,008	<LQ	<LQ
GS179	Montenegro	RS	0,067	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,04	0,15	1,90	<LQ
GS180	B. Retiro do Sul	RS	< 0,001	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,008	0,023	3,42	0,40
GN182	S. G. Oeste	MS	0,011	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	0,005	0,014	0,007	<LQ	<LQ
GN183	S. G. Oeste	MS	0,005	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	<b>0,02</b>	0,011	< 0,005	<LQ	<LQ
GN184	S. G. Oeste	MS	0,011	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	0,01	0,006	< 0,005	<LQ	<LQ
GN185	S. G. Oeste	MS	0,004	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,015	< 0,005	<LQ	<LQ
GN186	S. G. Oeste	MS	0,009	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	< 0,005	<LQ	<LQ
GN187	S. G. Oeste	MS	0,006	< 0,005	< 0,003	0,008	< 0,003	< 0,005	0,006	< 0,005	<LQ	<LQ
GS194	S.S. Caí	RS	0,051	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,03	0,27	<LQ
GS195	S.S. Caí	RS	0,009	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,023	0,03	1,34	<b>9,17</b>
GS196	Santa Cruz	RS	0,022	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,017	0,044	2,54	<LQ
GS198	Parobé	RS	0,014	< 0,005	< 0,003	0,005	< 0,003	< 0,005	0,028	0,062	0,81	<LQ
GS210	Santana do Livramento	RS	0,078	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,49	0,022	<LQ	<b>3,17</b>
<b>Valor Máximo Permitido pela Portaria MS nº 2.914/11</b>			<b>0,7</b>	<b>0,005</b>	<b>0,05</b>	<b>2</b>	<b>0,07</b>	<b>0,01</b>	<b>5</b>	<b>ND</b>	<b>10</b>	<b>1</b>

#### 4.5.5.2 Agroquímicos

As amostras selecionadas para análises de agroquímicos foram divididas em grupos, conforme o uso da Terra (Quadro 4.23). Análises dos grupos 1 e 2 foram feitas em 46 amostras; análises do Grupo 3 foram realizadas em 40 amostras, análises dos grupos 4 e 5 foram feitas em 15 e 10 amostras, respectivamente.

Foram selecionados 15 pontos de amostragem no Rio Grande do Sul, sendo 5 na área piloto, 3 pontos em Santa Catarina, 3 pontos no Paraná, 3 pontos em Minas Gerais, 12 pontos no Mato Grosso do Sul, sendo 5 na área piloto, 5 pontos no Mato Grosso e 5 pontos em Goiás (Figuras 4.86 e 4.87)

Os resultados das análises mostraram que todas as amostras do Grupo 1 ao 5 estão abaixo do limite da técnica empregada para detecção, com exceção de uma amostra na cidade de São Gabriel do Oeste (MS) que apresentou valores de 0,9 µg/L para 3+4-metilfenol (m+p-cresol) e 0,9 µg/L para cresóis totais. A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece valores limites para estes dois compostos.

**QUADRO 4.23 – GRUPOS DE PARÂMETROS SELECIONADOS PARA ANÁLISES DE AGROQUÍMICOS NAS ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG.**

QUANTIDADE DE AMOSTRAS	GRUPO DE PARÂMETROS				
40	1	2	3	4	5
GRUPOS	PARÂMETROS				
1	Glifosato + AMPA				
2	1,2,3,4-Tetraclorobenzeno, 1,2,3,5-Tetraclorobenzeno, 2,3,4,5-Tetraclorofenol, 2,3,4,6-Tetraclorofenol, 2,4,5-T, 2,4,5-TP, 2,4,5-Triclorofenol, 2,4,6-Triclorofenol, 2,4-D, 2,4-D + 2,4,5-T, 2,4-Dinitrotolueno, 2-Metilfenol (o-Cresol), 3,4-Diclorofenol, 3+4-Metilfenol (m+p-Cresol), Alaclor, Aldrin + Dieldrin, Atrazina, Bentazona, Benzo(a)pireno, BHC Alfa, BHC Beta, BHC Delta, Cis Clordano (Alfa Clordano), Clordano (isômeros), Cresóis Totais, DDT (isômeros), Di(2-etilhexil)ftalato, Dieldrin, Dodecacloro+Nonacloro, Dodecacloropentaciclodecano, Endossulfan, Endossulfan - ALFA, Endossulfan - BETA, Endossulfan (a, b e sulfato), Endossulfan Sulfato, Endrin, Endrin Aldeído, Endrin Ketone, Fenol, HCH Beta, Heptacloro e Heptacloro Epóxido, Hexaclorobenzeno, Hexaclorobutadieno, Hexacloroetano, Isodrin, Lindano (g-BHC), Lindano (g-HCH), Metolacloro, Metoxicloro, Molinato, Naftaleno, Nitrobenzeno, p,p'-DDT + p,p'-DDD + p,p'-DDE, Pendimetalina, Pentaclorofenol, Permetrina, Propanil, Simazina, Terbufós, Tetraclorobenzenos, Trans Clordano (Gama Clordano), trans-Nonacloro, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Criseno, Acenafteno, Acenaftileno, Fluoreno, Antraceno, Benzo(g,h,i)perileno, Pireno, Fenantreno, Dibenzo(a,h)antraceno, Indeno(1,2,3,cd)pireno, Fluoranteno, Benzo(a)antraceno, Total de PAHs, Heptacloro Epóxido				
3	Aldicarb + Aldicarb Sulfona + Aldicarb Sulfóxido, Aldicarb, Aldicarb Sulfona, Aldicarb Sulfóxido, Benomil, Carbendazim, Carbendazim + Benomil, Carbofurano, Clorpirifós + Clorpirifós-oxon, Diuron, Metamidofós, Parationa Metílica, Profenofós, Tebuconazol, Clorpirifós, Clorpirifós-oxon				
4	Acefáto				
5	Cipermetrina (Soma de Isômeros)				

#### 4.5.5.3 Índice de fenóis

A principal fonte de fenóis para as águas subterrâneas são as descargas de efluentes industriais. Os fenóis são tóxicos aos humanos e aos organismos aquáticos. Quando presentes na água tratada para abastecimento público, os fenóis reagem com o cloro livre formando os clorofenóis, que imprimem sabor e odor na água.

Os limites máximos permitidos para compostos de fenóis não estão claramente definidos na legislação brasileira. A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece Valor Máximo Permitido para índice de fenol na água para consumo humano, sendo que os valores indicados nesta portaria são para pentaclorofenol (9 µg/L) e triclorofenol (0,2 mg/L). A Resolução CONAMA nº 396/2008 (classificação e diretrizes ambientais das águas subterrâneas) estabelece valores máximos para índice de fenóis de 3 µg/L para consumo humano, 2 µg/L para dessedentação de animais e 2 µg/L para recreação. No entanto, o Limite de Quantificação Praticável (LQP) da portaria, que é a menor quantidade de uma substância que pode ser determinada quantitativamente com precisão e exatidão, é de 10 µg/L.

Nas áreas de afloramento do SAG foram selecionados 60 pontos para amostragens de água para análise de índices de fenóis. Os pontos GN070 e GS145 foram selecionados, mas não foram amostrados devido à impossibilidade de acesso ao local, sendo substituídos pelos pontos GN047 e GS210, respectivamente. Das 60 amostras, 24 são do Rio Grande do Sul, 3 de Santa Catarina, 2 do Paraná, 2 de Minas Gerais, 17 de Mato Grosso do Sul, 6 de Mato Grosso e 6 de Goiás. (Figuras 4.86 e 4.87). Todas as amostras foram coletadas segundo os padrões específicos de amostragem, tendo sido em seguida encaminhadas ao laboratório.

Como consta no Quadro 4.24, os valores para índices de fenóis variam de  $< 0,001$  mg/L ( $1 \mu\text{g/L}$ ) a  $0,005$  mg/L ( $5 \mu\text{g/L}$ ), todos abaixo do LQP aceitável para aplicação da resolução CONAMA nº 396/2008, com exceção de 16 amostras que apresentam concentrações igual ou acima de  $1 \mu\text{g/L}$ . Essas amostras necessitam de tratamento convencional prévio para consumo humano, segundo a Resolução CONAMA nº 20/1998, que estabelece que valores de fenóis acima de  $1 \mu\text{g/L}$  necessitam de tratamento, já o limite máximo de conteúdo em fenóis para tratamento, segundo a mesma resolução, é de  $30 \mu\text{g/L}$ . Embora a resolução CONAMA nº 20/1998 tenha sido revogada pelas Resoluções CONAMA nº 357 e 396 de 2008, estas não estabelecem valores máximos de fenóis.

**QUADRO 4.24 – ÍNDICES DE FENÓIS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (RS, SC, PR, MG, MS, MT E GO)**

<i>Amostra</i>	<i>Estado</i>	<i>Município</i>	<i>Ind. Fenóis mg/L</i>	<i>Amostra</i>	<i>Estado</i>	<i>Município</i>	<i>Ind. Fenóis mg/L</i>
<b>GN 004</b>	MS	Terenos	<0,001	<b>GS 137</b>	RS	Alegrete	<0,001
<b>GN 011</b>	GO	Mineiros	<0,001	<b>GS 138</b>	RS	Alegrete	<b>0,001</b>
<b>GN 021</b>	MS	Antônio João	<0,001	<b>GS 142</b>	RS	Manoel Viana	<b>0,001</b>
<b>GN 026</b>	GO	Mineiros	<0,001	<b>GS 146</b>	RS	Santa Maria	<0,001
<b>GN 029</b>	GO	Mineiros	<0,001	<b>GS 148</b>	RS	Santa Maria	<0,001
<b>GN 038</b>	MS	Nioaque	<b>0,002</b>	<b>GS 149</b>	RS	Santana Livramento	<b>0,002</b>
<b>GN 041</b>	GO	Jataí	<0,001	<b>GS 150</b>	RS	Santana Livramento	<b>0,001</b>
<b>GN 047</b>	GO	Mineiros	<b>0,001</b>	<b>GS 152</b>	RS	Santana Livramento	<b>0,002</b>
<b>GN 051</b>	GO	Jataí	<0,001	<b>GS 155</b>	RS	Quaraí	<b>0,002</b>
<b>GN 074</b>	MS	Nioaque	<0,001	<b>GS 158</b>	PR	S. A. Platina	<0,001
<b>GS081</b>	RS	Portão	<0,001	<b>GS 160</b>	PR	S. J. Serra	<0,001
<b>GS083</b>	RS	Paraíso do Sol	<0,001	<b>GS 161</b>	SC	Porto União	<0,001
<b>GS085</b>	RS	Vale Verde	<0,001	<b>GS 163</b>	RS	Rolante	<b>0,005</b>
<b>GS086</b>	RS	Restinga Seca	<b>0,002</b>	<b>GS 168</b>	SC	Urubici	<b>0,001</b>
<b>GS087</b>	RS	Rio Pardo	<0,001	<b>GS 170</b>	SC	Lages	<b>0,001</b>
<b>GS088</b>	RS	Candelária	<0,001	<b>GN 175</b>	MG	Claraval	<0,001
<b>GS089</b>	RS	S.S. Caí	<0,001	<b>GN 176</b>	MG	S. S. Paraíso	<0,001
<b>GN 090</b>	MS	Nioaque	<0,001	<b>GS 179</b>	RS	Montenegro	<0,001
<b>GN 091</b>	MS	Alto Garças	<0,001	<b>GS 180</b>	RS	B. Retiro do Sul	<0,001
<b>GN 095</b>	MT	Alto Garças	<0,001	<b>GN 182</b>	MS	S. G. Oeste	<0,001
<b>GN 102</b>	MT	Alto Araguaia	<0,001	<b>GN 183</b>	MS	S. G. Oeste	<0,001

Continua...

**QUADRO 4.24 – ÍNDICES DE FENÓIS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (RS, SC, PR, MG, MS, MT E GO)**

<i>Amostra</i>	<i>Estado</i>	<i>Município</i>	<i>Ind. Fenóis mg/L</i>	<i>Amostra</i>	<i>Estado</i>	<i>Município</i>	<i>Ind. Fenóis mg/L</i>
<i>GN 115</i>	MT	Alto Taquari	<0,001	<i>GN 184</i>	MS	S. G. Oeste	<0,001
<i>GN 116</i>	MT	Camapuã	<0,001	<i>GN 185</i>	MS	S. G. Oeste	<0,001
<i>GN 118</i>	MT	Alto Taquari	<0,001	<i>GN 186</i>	MS	S. G. Oeste	<0,001
<i>GN 119</i>	MT	Alto Taquari	<0,001	<i>GN 187</i>	MS	S. G. Oeste	<0,001
<i>GN 123</i>	MS	Camapuã	<0,001	<i>GS 194</i>	RS	S. S. Caí	<0,001
<i>GN 124</i>	MS	S.G. Oeste	<b>0,003</b>	<i>GS 195</i>	RS	S. S. Caí	<0,001
<i>GN 127</i>	MS	S.G. Oeste	<b>0,001</b>	<i>GS 196</i>	RS	Santa Cruz	<0,001
<i>GN 129</i>	MS	S.G. Oeste	<0,001	<i>GS 198</i>	RS	Parobé	<b>0,001</b>
<i>GN 133</i>	MS	S.G. Oeste	<b>0,001</b>	<i>GS 210</i>	RS	Santana Livramento	<0,001
<b>&lt; = abaixo do limite da técnica empregada para detecção</b>							

#### 4.5.5.4 BTEX

BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, o-Xileno e m.p-Xileno) são hidrocarbonetos aromáticos derivados do petróleo, formados por uma mistura complexa de compostos orgânicos. Os BTEX são extremamente tóxicos e comumente contaminam o ambiente. São indicadores úteis da quantidade de hidrocarboneto resultante de vazamentos relativamente recentes.

Para análise de BTEX foram selecionados 60 pontos nas áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani para amostragem de água subterrânea, sendo, 24 são do Rio Grande do Sul, 3 de Santa Catarina, 2 do Paraná, 2 de Minas Gerais, 17 de Mato Grosso do Sul, 6 de Mato Grosso e 6 de Goiás. (Figuras 4.86 e 4.87).

A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, bem como a Resolução CONAMA nº 396/2008, estabelecem valores máximos de 0,005 mg/L de benzeno, 0,17 mg/L de tolueno, 0,2 mg/L de etilbenzeno, e 0,3 mg/L de o-xileno, m,p-xileno e xileno em água para consumo humano. Todas as amostras analisadas para BTEX apresentaram valores inferiores aos máximos permitidos na legislação vigente. Cabe também ressaltar que todas as análises estão abaixo do limite da técnica empregada para detecção desses compostos orgânicos (Quadro 4.25)

**QUADRO 4.25 – BTEX NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (RS, SC, PR, MG, MS, MT E GO)**

Amostras	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	o-Xileno	m.p-Xileno
	mg/L				
GN004	<1	<1	<1	<1	<2
GN011	<1	<1	<1	<1	<2
GN021	<1	<1	<1	<1	<2
GN026	<1	<1	<1	<1	<2
GN029	<1	<1	<1	<1	<2
GN038	<1	<1	<1	<1	<2
GN041	<1	<1	<1	<1	<2
GN047	<1	<1	<1	<1	<2
GN051	<1	<1	<1	<1	<2
GN074	<1	<1	<1	<1	<2
GS081	<1	<1	<1	<1	<2
GS083	<1	<1	<1	<1	<2
GS085	<1	<1	<1	<1	<2
GS086	<1	<1	<1	<1	<2
GS087	<1	<1	<1	<1	<2
GS088	<1	<1	<1	<1	<2
GS089	<1	<1	<1	<1	<2
GN090	<1	<1	<1	<1	<2
GN091	<1	<1	<1	<1	<2
GN095	<1	<1	<1	<1	<2
GN102	<1	<1	<1	<1	<2
GN115	<1	<1	<1	<1	<2
GN116	<1	<1	<1	<1	<2
GN118	<1	<1	<1	<1	<2
GN119	<1	<1	<1	<1	<2
GN123	<1	<1	<1	<1	<2
GN124	<1	<1	<1	<1	<2
GN127	<1	<1	<1	<1	<2
GN129	<1	<1	<1	<1	<2
GN133	<1	<1	<1	<1	<2
GS137	<1	<1	<1	<1	<2
GS138	<1	<1	<1	<1	<2
GS142	<1	<1	<1	<1	<2
GS146	<1	<1	<1	<1	<2
GS148	<1	<1	<1	<1	<2
GS149	<1	<1	<1	<1	<2
GS150	<1	<1	<1	<1	<2
GS152	<1	<1	<1	<1	<2
GS155	<1	<1	<1	<1	<2
GS158	<1	<1	<1	<1	<2
GS160	<1	<1	<1	<1	<2
GS161	<1	<1	<1	<1	<2

Continua...

**QUADRO 4.25 – BTEX NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (RS, SC, PR, MG, MS, MT E GO)**

Amostras	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	o-Xileno	m.p-Xileno
	mg/L				
GS163	<1	<1	<1	<1	<2
GS168	<1	<1	<1	<1	<2
GS170	<1	<1	<1	<1	<2
GN175	<1	<1	<1	<1	<2
GN176	<1	<1	<1	<1	<2
GS179	<1	<1	<1	<1	<2
GS180	<1	<1	<1	<1	<2
GN182	<1	<1	<1	<1	<2
GN183	<1	<1	<1	<1	<2
GN184	<1	<1	<1	<1	<2
GN185	<1	<1	<1	<1	<2
GN186	<1	<1	<1	<1	<2
GN187	<1	<1	<1	<1	<2
GS194	<1	<1	<1	<1	<2
GS195	<1	<1	<1	<1	<2
GS196	<1	<1	<1	<1	<2
GS198	<1	<1	<1	<1	<2
GS210	<1	<1	<1	<1	<2

#### 4.5.5.5 Conteúdo microbiológico

Na área de estudo foram selecionados 40 pontos para análise do conteúdo microbiológico das águas subterrâneas do SAG nas áreas de afloramento. Foram amostrados 22 poços no compartimento sul (RS, SC e PR) e 18 poços do compartimento noroeste (MG, MS, MT e GO) e, dentre os quais 18 localizam-se no Rio Grande do Sul, 1 em Santa Catarina, 3 no Paraná, 1 em Minas Gerais, 13 no Mato Grosso do Sul, 3 no Mato Grosso e 1 em Goiás (Figuras 4.86 e 4.87).

A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde e a Resolução CONAMA nº 396/2008 estabelecem para a água de consumo humano conteúdo bacteriológico (coliformes totais e fecais) ausente em 100 ml de amostra. Dentre as amostras analisadas (Quadro 4.26), 20 apresentaram resultado positivo para coliformes totais, sendo 11 localizadas no compartimento noroeste e 9 no compartimento sul. Com relação aos coliformes fecais, apenas 3 amostras apresentaram resultado positivo (Nioaque – MS, São Sebastião do Caí – RS e Santana do Livramento – RS).

A maioria das amostras que apresentaram resultados bacteriológicos positivos, também mostraram concentrações relativamente elevadas de nitrato e de cloreto (Figura 4.106), sendo que as amostras com resultados positivos para coliformes fecais apresentaram concentrações de nitrato acima do permitido pela Portaria nº 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde. Do total de



pontos amostrados onde foram detectadas contaminações bacteriológicas, 70% estão localizados em zonas rurais.

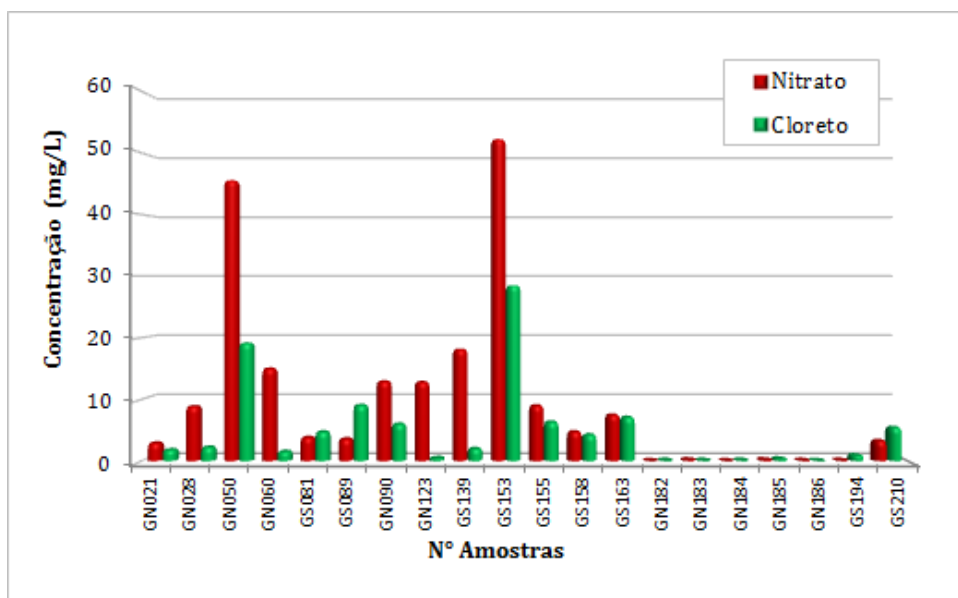


Figura 4.106 – Concentrações de nitrato e cloreto nas amostras com resultados positivos para conteúdo bacteriológico

**QUADRO 4.26 – CONTEÚDO BACTERIOLÓGICO DAS ÁGUAS DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG (RS, SC, PR, MG, MS, MT E GO)**

Nº Unesp	UF	Município	Zona	COLIFORMES TOTAIS (100ml)	ESCHERICHIA COLI (100ml)
GN021	MS	Antônio João	Rural	Presente	Ausente
GN028	MS	Jardim	Urbana	Presente	Ausente
GN038	MS	Nioaque	Rural	Ausente	Ausente
GN050	MS	Nioaque	Rural	Presente	Presente
GN060	GO	Mineiros	Rural	Presente	Ausente
GS081	RS	Portão	Rural	Presente	Ausente
GS089	RS	S. S. Caí	Urbana	Presente	Presente
GN090	MS	Nioaque	Rural	Presente	Ausente
GN100	MT	Alto Araguaia	Rural	Ausente	Ausente
GN111	MT	Alto Araguaia	Rural	Ausente	Ausente
GN114	MT	Alto Araguaia	Rural	Ausente	Ausente
GN123	MS	Camapuã	Rural	Presente	Ausente
GN124	MS	S. G. Oeste	Rural	Ausente	Ausente
GS137	RS	Alegrete	Rural	Ausente	Ausente
GS139	RS	Alegrete	Rural	Presente	Ausente
GS141	RS	S. F. Assis	Urbana	Ausente	Ausente
GS144	RS	Manoel Viana	Rural	Ausente	Ausente
GS146	RS	Santa Maria	Rural	Ausente	Ausente

Continua...

**QUADRO 4.26 – CONTEÚDO BACTERIOLÓGICO DAS ÁGUAS DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG (RS, SC, PR, MG, MS, MT E GO)**

Nº Unesp	UF	Município	Zona	COLIFORMES TOTAIS (100ml)	ESCHERICHIA COLI (100ml)
GS150	RS	S. Livramento	Rural	Ausente	Ausente
GS153	RS	S. Livramento	Urbana	<b>Presente</b>	<b>Presente</b>
GS155	RS	Quaraí	Rural	<b>Presente</b>	Ausente
GS157	PR	Jacarézinho	Urbana	Ausente	Ausente
GS158	PR	S. A. Platina	Urbana	<b>Presente</b>	Ausente
GS160	PR	S. J. Serra	Urbana	Ausente	Ausente
GS162	SC	Porto União	Urbana	Ausente	Ausente
GS163	RS	Rolante	Urbana	<b>Presente</b>	Ausente
GN176	MG	S. S. Paraíso	Rural	Ausente	Ausente
GN182	MS	S. G. Oeste	Rural	<b>Presente</b>	Ausente
GN183	MS	S. G. Oeste	Rural	<b>Presente</b>	Ausente
GN184	MS	S. G. Oeste	Rural	<b>Presente</b>	Ausente
GN185	MS	S. G. Oeste	Rural	<b>Presente</b>	Ausente
GN186	MS	S. G. Oeste	Rural	<b>Presente</b>	Ausente
GN187	MS	S. G. Oeste	Rural	Ausente	Ausente
GS189	RS	Rio Pardo	Rural	Não Analisado	Não Analisado
GS193	RS	Ivoti	Rural	Ausente	Ausente
GS194	RS	S. S. Caí	Urbana	<b>Presente</b>	Ausente
GS195	RS	S. S. Caí	Rural	Ausente	Ausente
GS200	RS	Vera Cruz	Rural	Não Analisado	Não Analisado
GS201	RS	Cachoeira do Sul	Rural	Não Analisado	Não Analisado
GS210	RS	S. Livramento	Urbana	<b>Presente</b>	Ausente

#### 4.5.5.6 Isótopos estáveis de Oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) e Deutério ( $\delta^2\text{H}$ )

O hidrogênio e o oxigênio da água ocorrem com diferentes combinações isotópicas em suas moléculas. Mais comum e de maior interesse para hidroquímica são as moléculas  $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$  (comum),  $^1\text{HD}^{16}\text{O}$  (raro) e  $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$  (raro), a primeira conhecida como molécula leve e as duas últimas como moléculas pesadas.

As moléculas leves de água evaporam mais rapidamente do que as moléculas pesadas e, à medida que a evaporação se processa, a água remanescente se enriquece em isótopos pesados, tornando o vapor relativamente mais leve.

A composição isotópica da água é expressa em relação à composição isotópica média da água do oceano (Craig, 1961), de acordo com um padrão internacional denominado Standard Mean Ocean Water (SMOW) e, atualmente, segundo outro padrão designado Viena Standard Mean Ocean Water (VSMOW). A diferença entre a razão isotópica da água e deste padrão,

determinada por espectrômetro de massa ou por espectroscopia em cavidade ressonante tipo *ring-down* (CRDS, *cavity ring-down spectroscopy*), é expressa em partes por mil (‰). A razão de deutério é representada por  $\delta D$ , e de  $^{18}O$ , por  $\delta^{18}O$ , conforme Equação 4.1 demonstrada a seguir:

$$\delta D_{\text{amostra}} \text{ ‰} = \frac{(D/H)_{\text{amostra}} - (D/H)_{\text{SMOW}}}{(D/H)_{\text{SMOW}}} \times 1000$$

Equação 4.1

$$\delta O^{18}_{\text{amostra}} \text{ ‰} = \frac{(O^{18}/O^{16})_{\text{amostra}} - (O^{18}/O^{16})_{\text{SMOW}}}{(O^{18}/O^{16})_{\text{SMOW}}} \times 1000$$

Água com menos deutério que SMOW apresenta  $\delta D$  negativo; água com mais deutério que SMOW apresenta  $\delta D$  positivo. O mesmo ocorre com o  $\delta^{18}O$ . O ciclo hidrológico global mostra correlação linear entre  $\delta^{18}O$  e  $\delta D$ . Essa relação resulta de vários processos de fracionamento, como resultado das mudanças de fases, de temperatura, circulação atmosférica global, e destilação da massa de vapor de água durante a chuva (Gat, 1980).

Foram coletadas 35 amostras de água nas áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG), sendo 10 amostras no Rio Grande do Sul, 2 amostras em Santa Catarina, 2 amostras no Paraná, 2 amostras em Minas Gerais, 16 amostras em Mato Grosso do Sul, 2 amostras em Mato Grosso e 1 amostra em Goiás (Figuras 4.86 e 4.87).

As razões isotópicas das análises para  $\delta^{18}O$  variam no intervalo de  $-7,29\text{‰}$  a  $-4,15\text{‰}$ , enquanto que os resultados para  $\delta D$  oscilam de  $-50,4\text{‰}$  a  $-19,6\text{‰}$  (Quadro 4.27). A maioria das amostras, tanto do compartimento noroeste (MG, MS, MT e GO) quanto do compartimento sul (RS, SC e PR) das áreas de afloramento do SAG, apresentaram composição isotópica próxima à da Linha Meteorica Global (LMG), confirmando sua origem meteórica (Figura 4.107).

As amostras do compartimento noroeste são mais empobrecidas em isótopos pesados do que as amostras de água do compartimento sul, excetuando as amostras do estado do Paraná que apresentaram valores semelhantes às amostras do estado do Mato Grosso do Sul. Esta diferença na distribuição isotópica pode estar relacionada à interferência de fatores climáticos na recarga do aquífero ou ainda a misturas de águas de aquíferos subjacentes.

Considerando apenas a interferência dos fatores climáticos na recarga do aquífero, a proporção relativamente maior de isótopos pesados no compartimento sul sugere condições climáticas mais secas comparativamente com o compartimento noroeste. Essa condição deve prevalecer até os dias de hoje devido à Zona de Convergência do Atlântico Sul (Figura 4.108).

**QUADRO 4.27 – ISÓPOTOS DE O<sup>18</sup> E DEUTÉRIO EM ÁGUAS DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO (RS, SC, PR, MG, MS, MT E GO) DO SISTEMA AQUIFERO GUARANI**

<i>Amostra</i>	<i>UF</i>	<i>Município</i>	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta\text{D}$ (‰)
GN001	MS	Corguinho	-6,78	-45,70
GN003	MS	Rochedo	-5,79	-38,40
GN020	MS	Bela Vista	-5,44	-32,30
GN021	MS	Antônio João	-5,60	-33,20
GN029	GO	Mineiros	-7,27	-50,40
GN033	MS	Guia Lopes da Laguna	-5,78	-32,20
GN038	MS	Nioaque	-5,97	-36,80
GN074	MS	Nioaque	-6,60	-44,50
GS077	RS	Nova Hartz	-5,59	-27,30
GS081	RS	Tupandi	-4,15	-23,70
GS084	RS	Passo do Sobrado	-4,82	-26,60
GS089	RS	São Sebastião do Caí	-4,79	-23,70
GN090	MS	Nioaque	-5,34	-32,40
GN100	MT	Alto Araguaia	-6,98	-46,10
GN114	MT	Alto Araguaia	-7,02	-47,50
GN116	MS	Camapuã	-6,51	-43,30
GN120	MS	Camapuã	-6,19	-39,20
GS140	RS	Alegrete	-5,26	-33,20
GS143	RS	Manoel Viana	-5,16	-29,10
GS148	RS	Santa Maria	-5,07	-30,50
GS153	RS	Santana do Livramento	-5,23	-28,90
GS158	PR	Santana do Livramento	-6,33	-40,10
GS160	PR	São Jerônimo da Serra	-6,39	-40,00
GS161	SC	Porto União	-5,70	-32,40
GS167	SC	Timbé do Sul	-4,30	-19,60
GN 175	MG	Claravel	-7,29	-46,60
GN 177	MG	Itamogi	-7,24	-48,40
GN 182	MS	São Gabriel do Oeste	-6,11	-41,50
GN 183	MS	São Gabriel do Oeste	-5,79	-38,80
GN 184	MS	São Gabriel do Oeste	-6,97	-43,30
GN 185	MS	São Gabriel do Oeste	-5,78	-36,10
GN 186	MS	São Gabriel do Oeste	-5,66	-35,60
GN 187	MS	São Gabriel do Oeste	-5,74	-36,50
GS194	RS	São Sebastião do Caí	-4,67	-25,70
GS195	RS	São Sebastião do Caí	-4,79	-22,70

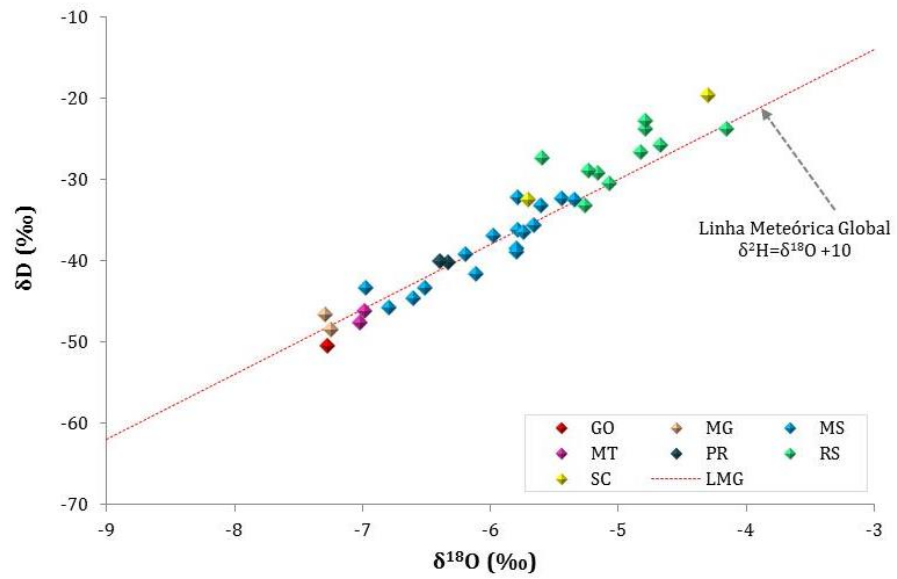


Figura 4.107 - Relação de  $\delta^{18}O$  e  $\delta^2H$  para as amostras de águas coletadas nas áreas de afloramento do SAG.



Figura 4.108 - Imagem satélite mostrando a Zona de Convergência do Atlântico Sul (Fonte Cptec/Inpe, 13/02/2011).

#### 4.5.5.7 Isótopos estáveis de Estrôncio

O estrôncio é um cátion bivalente que substitui facilmente o  $\text{Ca}^{+2}$  em carbonatos, sulfatos, feldspatos, entre outros minerais. Assim como o cálcio, o estrôncio participa nas reações água-rocha e constitui um componente minoritário da maioria das águas subterrâneas. Isótopos de estrôncio  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  tem sido indicadores úteis sobre a interação água-rocha, como traçadores dos caminhos de águas subterrâneas e origens de salinidade (Clark & Fritz, 1999).

A abundância de  $^{87}\text{Sr}$  está diretamente ligada à geoquímica do potássio, o qual é facilmente substituído pelo  $\text{Rb}^{+}$ . Deste modo, rochas ricas em K terão altas concentrações de  $^{87}\text{Rb}$  e  $^{87}\text{Sr}$  e isso é refletido na razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  da água com quem elas estão em contato. Portanto, águas subterrâneas que estão geoquimicamente envolvidas em distintos terrenos geológicos terão razões isotópicas de estrôncio contrastantes.

Foram realizadas análises de isótopos de estrôncio em 35 amostras de água do Sistema Aquífero Guarani, sendo 10 no Rio Grande do Sul, 2 em Santa Catarina, 2 no Paraná, 2 em Minas Gerais, 16 no Mato Grosso do Sul, 2 no Mato Grosso e 1 em Goiás (Figuras 4.86 e 4.87 e Quadro 4.28).

**QUADRO 4.28 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  DE AMOSTRAS DO SAG**

Nº Unesp	Município	UF	Prof. (m)	Zona	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\text{SE}$	Sr (mg/L)	Ca (mg/L)	O18	H2	$\text{NO}_3^-$
GN001	Corguinho	MS	0	Rural	0.71464+/-2	0.17	15.3	-6.79	-45.7	0
GN003	Rochedo	MS	148	Urbana	0.71379+/-1	0.083	35.6	-5.79	-38.4	1.06
GN020	Bela Vista	MS	0	Rural	0.70744+/-1	0.13	17.6	-5.44	-32.3	0
GN021	Antonio João	MS	0	Rural	0.70769+/-1	0.093	17.4	-5.60	-33.2	2.88
GN029	Mineiros	GO	0	Rural	0.70926+/-1	0.62	74.3	-7.27	-50.4	0
GN033	Guia Lopes Laguna	MS	95	Rural	0.70705+/-1	0.1	14.9	-5.78	-32.2	0
GN038	Nioaque	MS	54	Rural	0.71429+/-1	0.66	54.6	-5.97	-36.8	30.8
GN074	Nioaque	MS	80	Rural	0.71754+/-1	0.24	53.3	-6.6	-44.5	3.65
GS077	Nova Hartz	RS	76	Urbana	0.71153+/-1	0.15	33.2	-5.59	-27.3	9.77
GS081	Tupandi	RS	150	Rural	0.71034+/-3	0.13	44.6	-4.15	-23.7	3.8
GS084	Passo do Sobrado	RS	70	Rural	0.71085+/-1	0.18	11.3	-4.82	-26.6	0
GS089	São Sebastião do Caí	RS	0	Urbana		0.066	14.1	-4.79	-23.7	
GN090	Nioaque	MS	0	Rural	0.71399+/-1	0.093	10.3	-5.34	-32.4	12.9
GN100	Alto Araguaia	MT	0	Rural	0.71147+/-1	0.065	9.38	-6.98	-46.1	124
GN114	Alto Araguaia	MT	60	Rural	0.73168+/-1	0.082	0.57	-7.02	-47.5	32.7
GN116	Camapuã	MS	0	Urbana	0.71122+/-1	0.77	32.2	-6.51	-43.3	0
GN120	Camapuã	MS	0	Urbana	0.71156+/-1	0.59	48.2	-6.19	-39.2	0
GS140	Alegrete	RS	25	Rural	0.71065+/-1	0.2	39	-5.26	-33.2	0
GS143	Manoel Viana	RS	45	Rural	0.71079+/-1	0.17	46.5	-5.16	-29.1	0.59
GS148	Santa Maria	RS	80	Urbana	0.70984+/-1	0.31	8.9	-5.07	-30.5	0
GS153	Santana do Livramento	RS	82	Urbana	0.71246+/-1	0.19	26.1	-5.23	-28.9	52.3
GS158	Santo Antônio da Platina	PR	0	Urbana	0.71056+/-1	0.26	36.6	-6.33	-40.1	14.8
GS160	São Jerônimo da Serra	PR	0	Urbana	0.71029+/-1	0.053	5.26	-6.39	-40.0	19.2
GS161	Porto União	SC	132	Urbana	0.70941+/-1	0.082	2.99	-5.70	-32.4	0
GS167	Timbé do Sul	SC	252	Urbana	0.71021+/-1	0.23	17	-4.3	-19.6	0
GN175	Claraval	MG	0	Rural	0.71126+/-1	0.093	22.3	-7.29	-46.6	0
GN177	Itamogi	MG	0	Rural	0.70970+/-1	0.12	17.7	-7.24	-48.4	0
GN182	São Gabriel do Oeste	MS	20	Rural	0.71210+/-1	0.007	1.59	-6.11	-41.5	0
GN183	São Gabriel do Oeste	MS	16	Rural		< 0,005	0.47	-5.79	-38.8	
GN184	São Gabriel do Oeste	MS	16	Rural		< 0,005	0.49	-6.97	-43.3	
GN185	São Gabriel do Oeste	MS	8	Rural	0.70998+/-2	0	0.75	-5.78	-36.1	0.2
GN186	São Gabriel do Oeste	MS	60	Rural		< 0,005	0.33	-5.66	-35.6	
GN187	São Gabriel do Oeste	MS	26	Rural		< 0,005	0.57	-5.74	-36.5	
GS194	São Sebastião do Cai	RS	0	Urbana	0.71295+/-2	0.03	4.41	-4.67	-25.7	0.11
GS195	São Sebastião do Caí	RS	0	Rural	0.71152+/-2	0.03	17.6	-4.79	-22.7	3.14

A maioria das amostras de água apresentou correlação positiva entre as concentrações de estrôncio e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e as concentrações de estrôncio e bicarbonato (Figuras 4.109 e 4.110). As amostras identificadas como Grupo 1 nos gráficos de correlação distanciam-se da tendência central e podem ser atribuídas a águas com diferentes composições (outro padrão de relação com carbonatos) ou com distinta evolução do estrôncio. As amostras do Grupo 2 pertencem a poços que captam também águas de aquíferos subjacentes ao SAG.

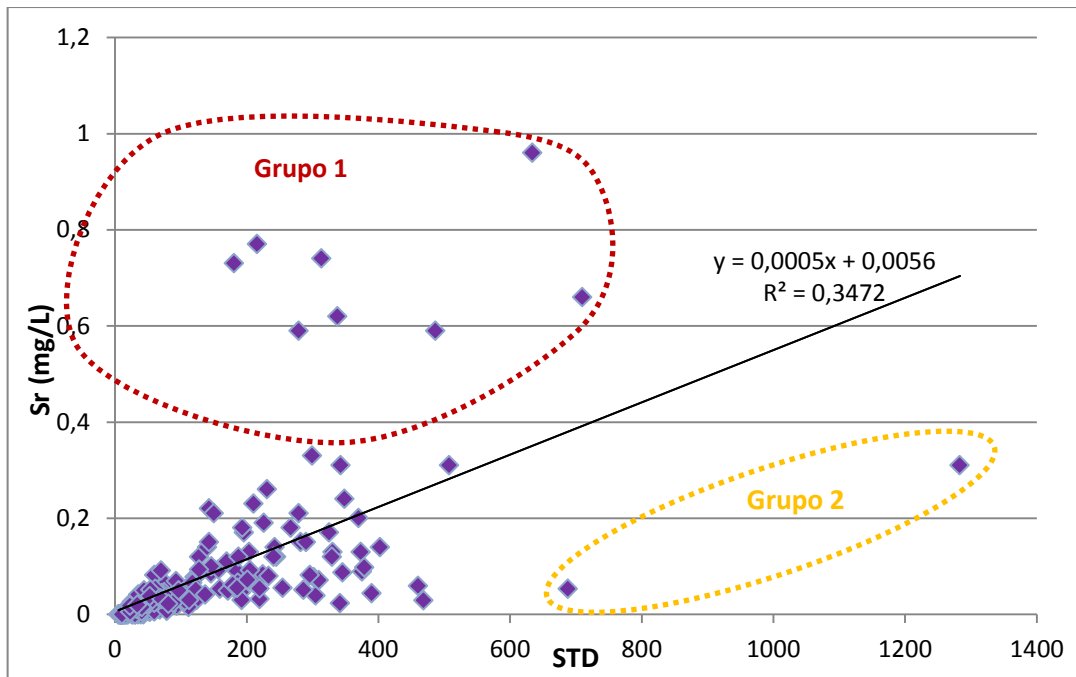


Figura 4.109 – Gráfico de dispersão das concentrações de Sr vs. STD com linha de tendência e indicação dos dois grupos de amostras que apresentam valores anômalos.

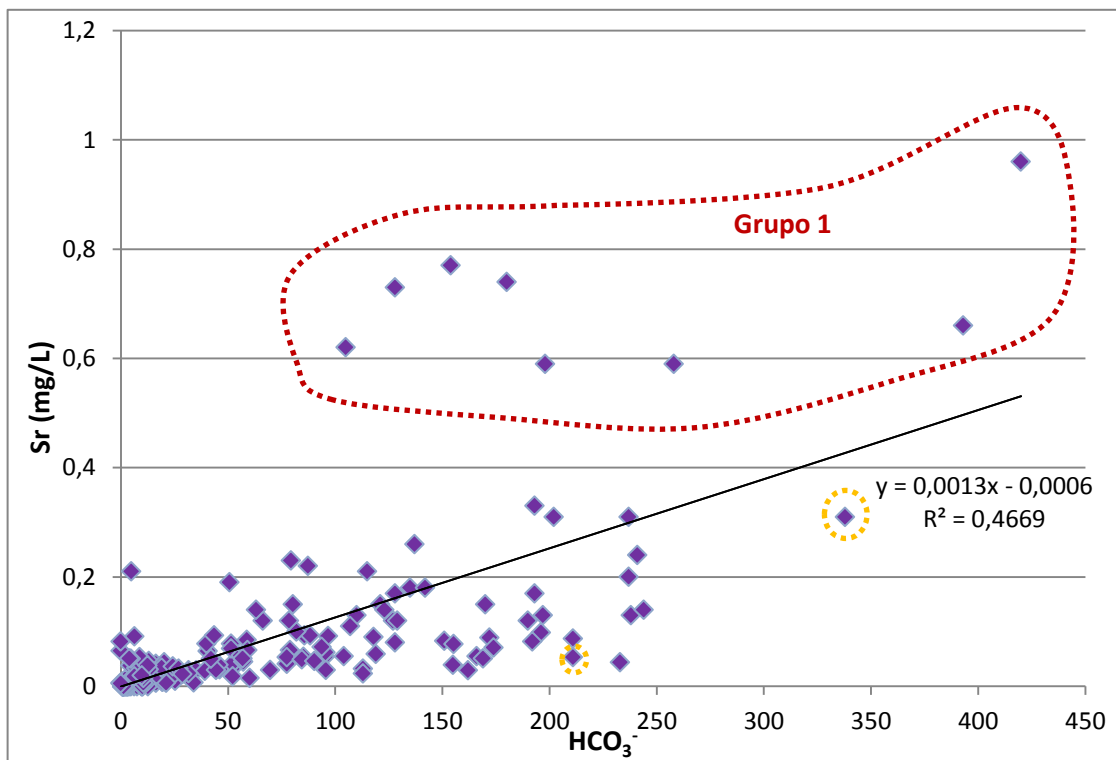


Figura 4.110 – Gráfico de dispersão das concentrações de Sr vs. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> da segunda campanha de amostragem com a linha de tendência e a indicação das amostras que apresentam valores anômalos.



O gráfico de dispersão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  versus Sr de dados obtidos neste estudo (Figura 4.111), incluindo resultados de análises de isótopos de estrôncio em amostras de água da chuva (Martins, 2008) e de rochas da Bacia do Paraná (Gilg et al., 2003; Fodor et al., 1985), mostra que as águas do SAC, excetuando-se uma amostra contaminada, apresentam uma grande variação na concentração de Sr, no entanto, possuem uma estreita variação na assinatura isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , semelhante à das rochas das formações Botucatu e Serra Geral e das águas de chuva, o que dificulta maiores interpretações acerca das interações água-rocha.

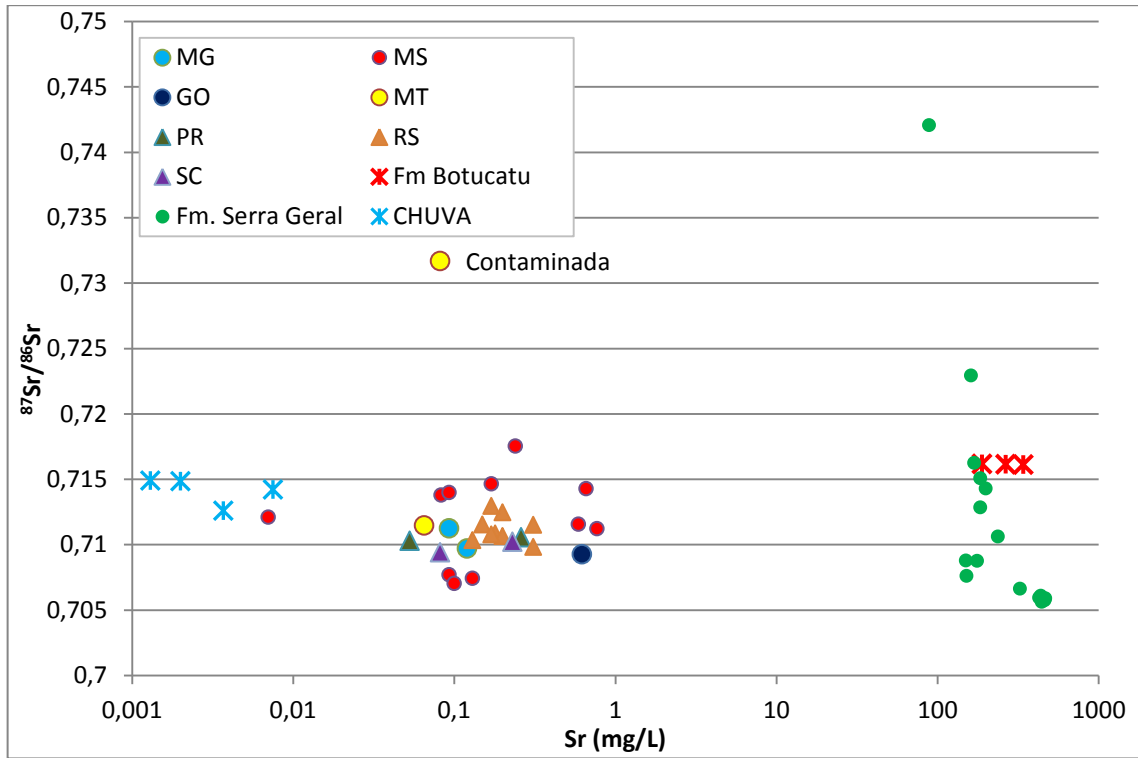
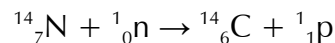


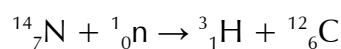
Figura 4.111 – Gráfico de dispersão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vs. Sr (mg/L) com resultados integrados de análises de água de chuva e de rochas da Bacia do Paraná encontrados na bibliografia.

#### 4.5.5.8 Trítio

O Trítio ( $^3\text{H}$ ) tem sido utilizado na datação de águas com até 50 anos em razão de sua meia-vida de 12,43 anos, que permite a estimativa da idade de águas jovens. Os isótopos de Trítio são produzidos na alta atmosfera por reações nucleares de bombardeio de fluxo de nêutrons, da radiação cósmica secundária, com átomos de nitrogênio presentes na atmosfera, conforme Equação 4.2 mostrada a seguir:



Equação 4.2



onde n = nêutron e p = próton.

A datação pelo decaimento do Trítio está baseada na suposição de que o Trítio inicial na água subterrânea é conhecido e que o Trítio “residual” é resultado apenas do decaimento, de acordo com a equação de decaimento abaixo:

$$a_t \text{ } ^3\text{H} = a_0 \text{ } ^3\text{H} \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{Equação 4.3}$$

Onde  $\alpha_0$  é a atividade específica inicial do nuclídeo-pai (em Bq/kg ou mBq/g; 1 Bq = 1 desintegração por segundo),  $\alpha_t$  é a atividade específica depois de certo tempo  $t$ , e  $\lambda$  é a constante de decaimento.

O termo da equação ( $a_0 \text{ } ^3\text{H}$ ) é a atividade inicial do trítio ou concentração (expressa em TU – *Tritium Unit*) e o termo ( $a_t \text{ } ^3\text{H}$ ) é a atividade residual remanescente (medida na amostra) após o decaimento por certo período  $t$ . Considerando que  $\lambda = \ln 2 / t_{1/2}$  é a meia-vida do trítio, sendo  $t_{1/2} = 12,43$  anos, essa equação pode ser reescrita do seguinte modo:

$$t = -17.93 \cdot \ln \left( \frac{a_t \text{ } ^3\text{H}}{a_0 \text{ } ^3\text{H}} \right) \quad \text{Equação 4.4}$$

Considerando a análise de Trítio pelo método enriquecido (limite de detecção = 0,8 TU), a faixa útil de datação é menor do que 50 anos. O Quadro 4.29 apresenta uma classificação da idade das águas subterrâneas para regiões continentais e costeiras de baixa latitude (Clark & Fritz, 1997).

**QUADRO 4.29 – CLASSIFICAÇÃO DA IDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PELO MÉTODO DO TRÍTIO**

Regiões	Concentração em TU	Classificação
Regiões Continentais	< 0,8 TU	Submoderno - recarga anterior a 1952
	0,8 a ~4 TU	Mistura entre submoderno e recarga recente
	5 A 15 TU	Moderno (< 5 a 10 anos)
	15 A 30 TU	Alguma "bomba" $\delta \text{ } ^3\text{H}$ presente
	> 30 TU	Considerável componenete de recarga de 1960 ou 1970
	> 50 TU	Dominantemente recarga dos anos 1960
Regiões Costeiras e de Baixa Latitude	< 0,8 TU	Submoderno - recarga anterior a 1952
	0,8 a ~2 TU	Mistura entre submoderno e recarga recente
	2 A 8 TU	Moderno (< 5 a 10 anos)
	10 A 20 TU	Alguma "bomba" $\delta \text{ } ^3\text{H}$ presente
	> 20 TU	Considerável componenete de recarga de 1960 ou 1970

Foram realizadas 35 análises de trítio em amostras de água do SAG coletadas nos poços localizados nas figuras 4.86 e 4.87. Os resultados e a classificação das águas encontram-se no Quadro 4.30.

Os resultados mostraram valores de  $\delta^3\text{H}$  que alcançaram até 2,2 TU, ou seja, águas com recarga submoderna, moderna e mistura entre recarga submoderna e recarga recente. Dentre as amostras analisadas, 27 apresentaram águas provenientes de mistura entre recarga submoderna e recarga recente, presentes tanto no compartimento noroeste quanto no compartimento sul do SAG.

**QUADRO 4.30 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE TRÍTIU E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS**

Nº Unesp	$\delta^3\text{H}$	$\pm 2\sigma$	Classificação das águas	Município	UF
GS089	< 1,0		Mistura de Submoderno com recente	São Sebasião do Caí	RS
GS194	< 1,1		Mistura de Submoderno com recente	São Sebasião do Caí	RS
GN175	< 0,7		Submoderno	Claraval	MG
GN177	< 1,4		Mistura de Submoderno com recente	Itamogi	MG
GN029	< 0,9		Mistura de Submoderno com recente	Mineiros	GO
GN185	1,8	0,7	Mistura de Submoderno com recente	São Gabriel do Oeste	MS
GN184	2,2	0,7	Moderno	São Gabriel do Oeste	MS
GN186	1,2	0,7	Mistura de Submoderno com recente	São Gabriel do Oeste	MS
GN182	1,8	0,7	Mistura de Submoderno com recente	São Gabriel do Oeste	MS
GN183	2	0,7	Moderno	São Gabriel do Oeste	MS
GN100	1,5	0,7	Mistura de Submoderno com recente	Alto Araguaia	MT
GN114	2,1	0,7	Moderno	Alto Araguaia	MT
GN116	< 0,9		Mistura de Submoderno com recente	Camapuã	MS
GN120	< 0,9		Mistura de Submoderno com recente	Camapuã	MS
GN020	0,9	0,7	Mistura de Submoderno com recente	Bela Vista	MS
GN021	0,8	0,7	Mistura de Submoderno com recente	Antônio João	MS
GN038	< 1,3		Mistura de Submoderno com recente	Nioaque	MS
GN033	1,6	0,7	Mistura de Submoderno com recente	Guia Lopez da Laguna	MS
GN090	0,8	0,7	Mistura de Submoderno com recente	Nioaque	MS
GN074	1,2	0,7	Mistura de Submoderno com recente	Nioaque	MS
GS140	1,1	0,7	Mistura de Submoderno com recente	Alegrete	RS
GS143	< 1,3		Mistura de Submoderno com recente	Manoel Viana	RS
GS153	1,4	0,7	Mistura de Submoderno com recente	Santana do Livramento	RS
GS084	< 0,7		Submoderno	Passo do Sobrado	RS
GS160	< 1,4		Mistura de Submoderno com recente	São Jerônimo da Serra	PR
GS158	< 0,7		Submoderno	Santo Antônio da Platina	PR
GS161	< 0,9		Mistura de Submoderno com recente	Porto União	SC
GS081	< 0,7		Submoderno	Tupandi	RS
GS148	< 0,8		Mistura de Submoderno com recente	Santa Maria	RS
GN001	< 0,8		Mistura de Submoderno com recente	Corguinho	MS
GN187	1,5	0,7	Mistura de Submoderno com recente	São Gabriel do Oeste	MS
GN003	< 1,0		Mistura de Submoderno com recente	Rochedo	MS
GS077	< 1,3		Mistura de Submoderno com recente	Nova Hartz	RS
GS195	< 0,7		Submoderno	São Sebasião do Caí	RS
GS167	0,9	0,7	Mistura de Submoderno com recente	Timbé do Sul	SC

Somente no compartimento noroeste do SAG foram identificadas águas modernas, ou seja, que apresentam tempo médio de residência inferior a 10 anos. Duas amostras estão localizadas no município de São Gabriel do Oeste (MS), ambas coletadas em poços rasos (16 metros de profundidade). Essas águas também apresentam concentrações muito baixas de estrôncio ( $Sr < 0,005$  mg/L, similar à água de chuva), indicando pouco tempo de interação água-rocha, corroborando com a baixa idade sugerida pelas análises de trítio. A terceira amostra está localizada no município de Alto Araguaia (MT), coletada em área rural de criação de aves e suínos. Essa amostra também apresenta alta concentração de nitrato (32,7 mg/L) e razão isotópica de estrôncio anômala ( $^{87}Sr/^{86}Sr=0,73168$ ), o que sugere provável contaminação por fontes antropogênicas. Assim, apesar do poço possuir 60 metros de profundidade, a análise de trítio indica que a água é moderna, ou seja, a contaminação observada é recente e esse elemento não sugere uma mistura de águas recentes com águas mais velhas.

No compartimento sul do SAG estão presentes 4 amostras de águas subterrâneas datadas como submodernas, ou seja, possuem recarga anterior ao ano de 1952. Estas amostras estão localizadas nos municípios de Passo do Sobrado, Tupandi e São Sebastião do Caí, no Rio Grande do Sul, em de Santo Antônio da Platina, no Paraná, e em Claraval, Minas Gerais.

Observa-se claramente uma diferença nos resultados das análises de trítio entre os compartimentos noroeste e sul do SAG. O compartimento noroeste apresenta valores mais altos de trítio, ou seja, indicativos da presença de águas mais jovens, enquanto que no compartimento sul os valores deste elemento são menores, indicativos de águas mais antigas.

#### **4.5.6 Comentários acerca da hidroquímica do SAG aflorante**

As águas subterrâneas das áreas de afloramento do SAG nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás (compartimento noroeste), Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (compartimento sul) foram classificadas, predominantemente, como bicarbonatadas cálcicas. Águas bicarbonatadas sódicas ocorrem subordinadamente, mas de modo mais expressivo no compartimento noroeste. Águas sulfatadas cálcicas e cloretadas sódicas ocorrem em menores proporções, porém são mais significantes no compartimento sul do SAG. No geral, as águas do compartimento noroeste são relativamente menos salinas ( $\approx 27$   $\mu S/cm$ ) do que no compartimento sul do SAG ( $\approx 220$   $\mu S/cm$ ).

No compartimento noroeste do SAG predominam águas ácidas de baixa salinidade, compatíveis com a composição mineralógica rica em quartzo e, subordinadamente, feldspatos e argilominerais. Amostras com alto teor de sais dissolvidos estão associadas à ocorrência de cimento carbonático. O bicarbonato é o ânion principal.

No compartimento sul do SAG, principalmente no Estado do Rio Grande do Sul, ocorrem águas mais salinizadas e ricas em cloreto e sulfato. As águas com baixa salinidade têm origem semelhante à que foi atribuída às águas do compartimento noroeste; as águas com altos teores de cloreto e sulfato, que se localizam predominantemente na região central do Rio Grande do Sul, podem estar associadas a águas de unidades sotopostas ao SAG.

Águas com teores de nitrato elevados, às vezes acima do permitido pela Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde, acompanhadas de cloreto podem ser relacionadas à contaminação antrópica.

Cada unidade hidroestratigráfica, em função de suas características geológicas (litologias, ambientes deposicionais e história evolutiva), alterações pós-deposicionais (soterramento, diagênese e tectônica), propriedades hidráulicas (porosidade e condutividade hidráulica) e do tempo de circulação das águas subterrâneas, possui uma assinatura hidrogeoquímica característica. Quando essa assinatura hidrogeoquímica destoa significativamente do padrão geral pode indicar: 1) mistura de águas de dois ou mais aquíferos diferentes, ou 2) contribuição natural, por difusão, das águas de outros aquíferos. Nesse sentido, é possível que águas com concentrações iônicas elevadas, como observado em algumas amostras, sejam resultantes destes dois fatores. Vale observar que essas águas são semelhantes às encontradas em poços profundos perfurados no SAG confinado, e cujas perfurações alcançaram ou atravessaram a base do SAG.

As amostras selecionadas para análises de qualidade e potabilidade das águas das áreas de afloramento do SAG (metais pesados, agroquímicos, BTEX e índice de fenóis), em sua maioria apresentaram valores inferiores ao máximo permitido pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Em alguns poços foram detectados teores de metais pesados acima do permitido pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

As análises microbiológicas apresentaram resultados positivos para coliformes totais em metade dos poços amostrados e coliformes fecais em apenas 3 amostras. Essas amostras localizam-se, em sua maioria, em zona rural e sua contaminação está relacionada à falta de proteção sanitária adequada dos poços.

As análises de isótopos estáveis de oxigênio ( $O^{18}$ ) e de hidrogênio (Deutério) confirmaram a origem meteórica das águas do SAG aflorante. A proporção relativamente maior de isótopos pesados nas águas do compartimento sul sugere condições climáticas mais secas comparativamente com o compartimento noroeste, condições estas que prevalecem até os dias de hoje devido à Zona de Convergência do Atlântico Sul.

As análises de isótopos estáveis de estrôncio mostraram que as águas do SAG apresentam grande variação na concentração de Sr e estreita variação na assinatura isotópica  $^{87}Sr/^{86}Sr$ , que é semelhante à das rochas das formações Botucatu e Serra Geral e das águas de chuva. Neste caso, não constitui uma ferramenta adequada para interpretações acerca das interações água-rocha.

Os resultados obtidos com a datação de amostras de água pelo método do trítio são inconclusivos, visto que normalmente as amostras de água de poços representam uma mistura de águas de diferentes idades e conteúdos de trítio. Além do mais, águas de poços profundos possuem idades maiores do que 50 anos, idade máxima determinada pelo método.

## **4.6 MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO**

O projeto “Estudo de Vulnerabilidade Natural à Contaminação e Estratégias de Proteção do Sistema Aquífero Guarani nas Áreas de Afloramento” definiu em seu escopo a elaboração de mapas hidrogeológicos na escala 1:250.000 de toda área aflorante do SAG em território brasileiro, e na escala 1:50.000 das áreas piloto de São Gabriel do Oeste (MS) e de São Sebastião do Caí (RS). O mapa hidrogeológico do SAG foi elaborado com base no mapeamento geológico na escala 1:250.000, realizado no âmbito deste projeto, das áreas de afloramento distribuídas em 7 estados integrantes do projeto: Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC), Paraná (PR), Minas Gerais (MG), Mato Grosso do Sul (MS), Mato Grosso (MT) e Goiás (GO). Conforme mencionado no item 4.1, em virtude do Mapa Geológico da Área de Afloramento do SAG no Estado de São Paulo ser da década de 80, não seria adequado fazer a sua incorporação no Mapa Hidrogeológico deste estudo (o qual é feito utilizando como base o mapa geológico).

E como não foi prevista a execução de mapeamento nas áreas de afloramento do SAG no Estado de São Paulo (SP), o mapa hidrogeológico do território paulista não foi elaborado.

### **4.6.1 Método para Elaboração do Mapa Hidrogeológico**

O mapa hidrogeológico representa um conjunto de informações que compreende caracterização do sistema aquífero, descrições litológicas e suas variações com respectivas distribuições geográficas; parâmetros hidráulicos e qualidade das águas; informações sobre os tipos de poços (público ou privado), nível estático, nível dinâmico, vazão; distribuição espacial de poços representativos; potenciometria com caracterização do fluxo subterrâneo; e definição de áreas de recarga e de descarga.

Segundo a concepção hidroestratigráfica adotada no PSAG e utilizada como referência neste projeto, o SAG compreende as seguintes unidades hidroestratigráficas: aquíferos Botucatu, Pirambóia, Guará, Caturrita e Passo das Tropas, e aquífero Alemoa. Essas unidades hidroestratigráficas correspondem às unidades litoestratigráficas formalmente definidas para a coluna sedimentar mesozoica da Bacia do Paraná. Em outras palavras, as rochas componentes do SAG estão enfeixadas entre a discordância permiana, na base, e os derrames de lava basáltica no topo.

As unidades Passo das Tropas e Alemoa, reunidas na Formação Santa Maria, e Caturrita são integrantes do Grupo Rosário do Sul e têm ocorrência restrita ao estado do Rio Grande do Sul. No mapeamento realizado no âmbito do projeto, foram reconhecidas em campo as unidades Botucatu, Pirambóia, Guará e Caturrita, além da Formação Santa Maria (sem distinção das unidades Passo das Tropas e Alemoa).

Assim, o mapa hidrogeológico mostra a distribuição espacial dessas unidades hidroestratigráficas reconhecidas nos diversos compartimentos do SAG, em sua área de afloramentos.

Quanto aos parâmetros hidráulicos, praticamente inexistem estudos de subsuperfície que caracterizem individualmente cada uma dessas unidades hidroestratigráficas integrantes do SAG, uma vez que para uma caracterização adequada é necessário um razoável conjunto de dados de subsuperfície, incluindo perfis geofísicos e boas descrições de amostras de calha de poços, além é claro, de testes de bombeamento bem executados. Infelizmente, a informação disponível nos cadastros de poços não registra elementos mínimos necessários e nem possui confiabilidade para permitir uma caracterização inequívoca. Assim, optou-se por levantar dados hidrodinâmicos disponíveis na bibliografia referente ao SAG e inseri-los na forma de um quadro com resumos dessas características.

O Quadro 4.31 resume as características das unidades hidroestratigráficas do SAG, com base nas fontes bibliográficas relacionadas.

**QUADRO 4.31 – CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS DO SAG**

<i>Unidades hidroestratigráficas</i>	<i>Classificação</i>	<i>Características</i>	<i>Vazão específica q/s (m<sup>3</sup>/h/m)</i>	<i>* Espessura (m)</i>	<i>Condutividade hidráulica</i>	<i>Transmissividade (m<sup>2</sup>/dia)</i>	<i>Vazões (m<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fonte</i>
Botucatu	Aquífero	Extensão regional, granular, relativamente homogêneo, contínuo, isotrópico	0,5 a 20	100	3,5	350	20 a 300	DAEE (1974, 1976)
Pirambóia	Aquífero	Extensão regional, granular, heterogêneo, contínuo, anisotrópico	0,2 a 10	250	2,5	625	10 a 250	DAEE (1974, 1976)
Guará	Aquífero	Extensão local, granular, heterogêneo, contínuo, anisotrópico	0,2 a 13,0	100	-	-	25 a 75	Machado (2005)
Caturrita	Aquífero	Extensão local, granular, heterogêneo, descontínuo, anisotrópico	0,2 a 0,6	50	-	-	5 a 40	Machado (2005)
Santa Maria	Aquitardo	Extensão local, granular, heterogêneo, descontínuo, anisotrópico	-	70	-	-	-	Machado (2005)

\* Espessuras médias



As características químicas das águas subterrâneas que circulam nas áreas de afloramento do SAG, em território brasileiro, foram determinadas no Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. De acordo com os resultados das análises e do zoneamento hidroquímico realizados naquele projeto, essas águas foram classificadas como principalmente bicarbonatadas cálcicas e, subordinadamente, como bicarbonatadas calco-magnesianas e calco-sódicas, com baixas condutividades elétricas. De modo similar ao que feito anteriormente com as características hidráulicas, também foi inserido no mapa hidrogeológico um texto resumindo a características hidroquímicas das águas do SAG.

Todos os poços cadastrados no projeto foram inseridos no mapa hidrogeológico, incluindo poços levantados nos órgãos públicos de gestão de recursos hídricos e outros, e poços novos cadastrados em campo. Visto que os dados de poços são incompletos com relação às características hidráulicas de interesse, como nível estático, nível dinâmico, vazão de produção, capacidade específica etc., e também com relação a atributos físicos como profundidade, optou-se por identificar estes poços no mapa hidrogeológico apenas com a sigla de cadastro do banco de dados, sem nenhum atributo associado.

A potenciometria dos diversos compartimentos do SAG aflorante, distribuídos pelos estados brasileiros, foi elaborada com auxílio do conjunto de poços com dados de níveis estáticos disponíveis levantados no projeto, incluindo os poucos poços nos quais foi possível realizar a medição de nível em campo, complementado por outros dados de poços reunidos no SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). A despeito da pequena quantidade de dados disponíveis e de problemas relativos à inconsistência das medições de níveis de água registradas nos cadastros, as correlações altimetria *versus* cota do NA (nível de água) ou carga hidráulica mostraram bons ajustes matemáticos e a viabilidade de utilização deste método para determinação da carga hidráulica do SAG aflorante. O coeficiente de determinação, também chamado de  $R^2$ , que é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico, apontou a função linear como a que melhor se ajustou aos dados amostrais. Neste método, o único objetivo foi estabelecer uma equação que melhor correlacionasse dados de altimetria e de carga hidráulica. Este tema é um dos componentes principais dos mapas hidrogeológicos elaborados.

Salienta-se que a determinação da carga hidráulica de zonas aflorantes de aquíferos superficiais é bem mais complexa do que nas áreas de confinamento. Isto se deve ao fato de que o fluxo subterrâneo nas porções não confinadas é controlado pelos divisores das bacias hidrográficas, cujas drenagens componentes representam zonas de descarga do aquífero. Considerando a forte interação entre águas superficiais e subterrâneas nas porções livres do aquífero, o fluxo subterrâneo apresenta duas componentes principais, uma regional e uma local.

A regional mostra a direção de fluxo governada pela tendência geral do escoamento subsuperficial, enquanto a local é controlada pelo escoamento e descarga através da rede de drenagem instalada nas inúmeras bacias hidrográficas. Fetter (2001) comenta que muitos estudos mostram que, em regiões úmidas, a superfície livre dos aquíferos (lençol freático) normalmente apresenta a mesma forma da superfície topográfica; segundo o autor, isto não é

surpresa, uma vez que a recarga em áreas topográficas elevadas tem maior potencial de energia do que em áreas topográficas mais baixas. Assim, a configuração do fluxo subterrâneo local deve mostrar tendência de escoamento no sentido das drenagens, e das porções mais elevadas para as menos elevadas do terreno.

Segundo conceito aplicado neste estudo, áreas de recarga são todas as áreas permeáveis expostas do aquífero (áreas de afloramento), que recebem diretamente águas das precipitações atmosféricas e permitem sua infiltração na forma de recarga do sistema. Nesse sentido, toda a área de afloramento do aquífero é potencialmente uma área de recarga, desde que sua condutividade hidráulica vertical seja suficientemente capaz de permitir a circulação de águas meteóricas. Por outro lado, áreas de descarga são representadas pelos cursos de água superficiais que descarregam a água subterrânea ao longo de toda sua área marginal, depois de esta haver circulado pelo aquífero. Esta inequívoca interação entre águas superficiais e subterrâneas é típica de aquíferos livres sob condições climáticas úmidas (precipitações médias anuais elevadas).

Assim, as áreas de recarga no mapa hidrogeológico são representadas pelos limites das próprias unidades hidroestratigráficas aflorantes, enquanto as zonas de descarga são representadas pela rede de drenagem que secciona a área aflorante.

O mapa hidrogeológico do SAG aflorante é composto pelos seguintes temas básicos:

- ✓ *Raster* de relevo sombreado (*shaded relief raster*): obtido a partir do emprego de ferramenta do programa *ArcGis 10* sobre Modelo Digital de Terreno (MDT) produzido pelo projeto PSAG (OEAb, 2009);
- ✓ Litoestratigrafia: obtida do mapeamento geológico na escala 1:250.000 realizado nas áreas de afloramento do SAG;
- ✓ Cursos de água (drenagens): obtidas do banco de dados do projeto PSAG e orientadas segundo a direção de fluxo superficial (OEAb, 2009);
- ✓ Lagos: obtidos do banco de dados do projeto PSAG (OEAb, 2009);
- ✓ Estruturas geológicas: obtidas do mapeamento geológico na escala 1:250.000 e da interpretação de sensores remotos, como imagens de satélites e fotos aéreas;
- ✓ Limites municipais: obtidos de IBGE (2007);
- ✓ Cidades: sedes municipais obtidas de IBGE (2007);
- ✓ Rodovias: obtidas do Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil (CPRM, 2007);
- ✓ Poços novos cadastrados pelo projeto;
- ✓ Poços existentes levantados de cadastros existentes;
- ✓ Potenciometria: produzida com dados de nível de água de poços presentes nos diversos compartimentos do SAG e emprego de ferramentas do programa *ArcGis 10*.

O mapa hidrogeológico regional do SAG aflorante encontra-se no Anexo I (apresentado na escala 1:2.000.000) e no Tomo IV (apresentado na escala 1:500.000).

#### 4.6.2 Potenciometria do SAG Aflorante do Estado do Rio Grande do Sul

A potenciometria do SAG no Estado do Rio Grande do Sul foi elaborada a partir da seleção de 627 poços que continham dados de nível estático. Estes poços foram plotados no Modelo Digital de Terreno (MDT) para extração das altitudes do terreno (cota da boca do poço). Em seguida, foi feita correlação da altitude com a cota do nível de água estático do poço (Figura 4.112), e gerada equação de correlação linear (melhor ajuste), neste caso com 90% de ajuste, conforme discriminada a seguir:

$$Y = 0,8844X - 8,0948 \quad (\text{Equação 4.5})$$

A equação foi aplicada aos dados altimétricos componentes do MDT e cada uma das células de 200 m x 200 m foi transformada em um ponto cotado. As drenagens também foram transformadas em pontos cotados com base no MDT. Por meio do aplicativo *Topo to Raster* do programa *ArcGis 10* foi elaborado grid representando a carga hidráulica distribuída no terreno e extraídas as equipotenciais em intervalos de 50 m.

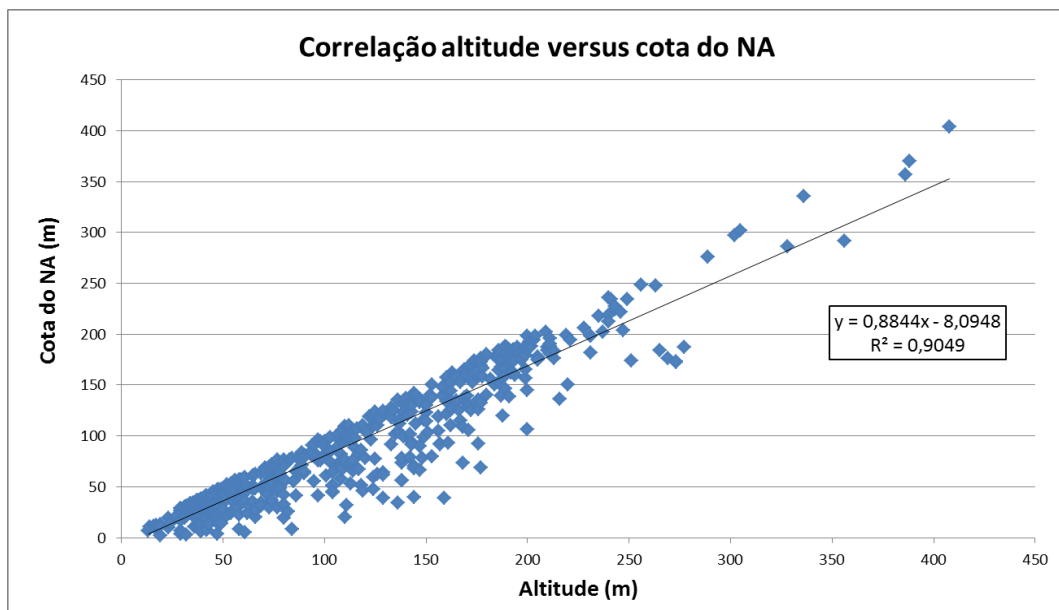


Figura 4.112 – Correlação entre altitude da boca do poço e cota do NA.

As Figuras 4.113 e 4.114 apresentam seções geológicas e hidrogeológicas de áreas do SAG aflorante no Estado do Rio Grande do Sul, podendo-se observar as unidades litoestratigráficas componentes do aquífero e as direções de fluxo locais controladas pelos divisores das bacias hidrográficas.

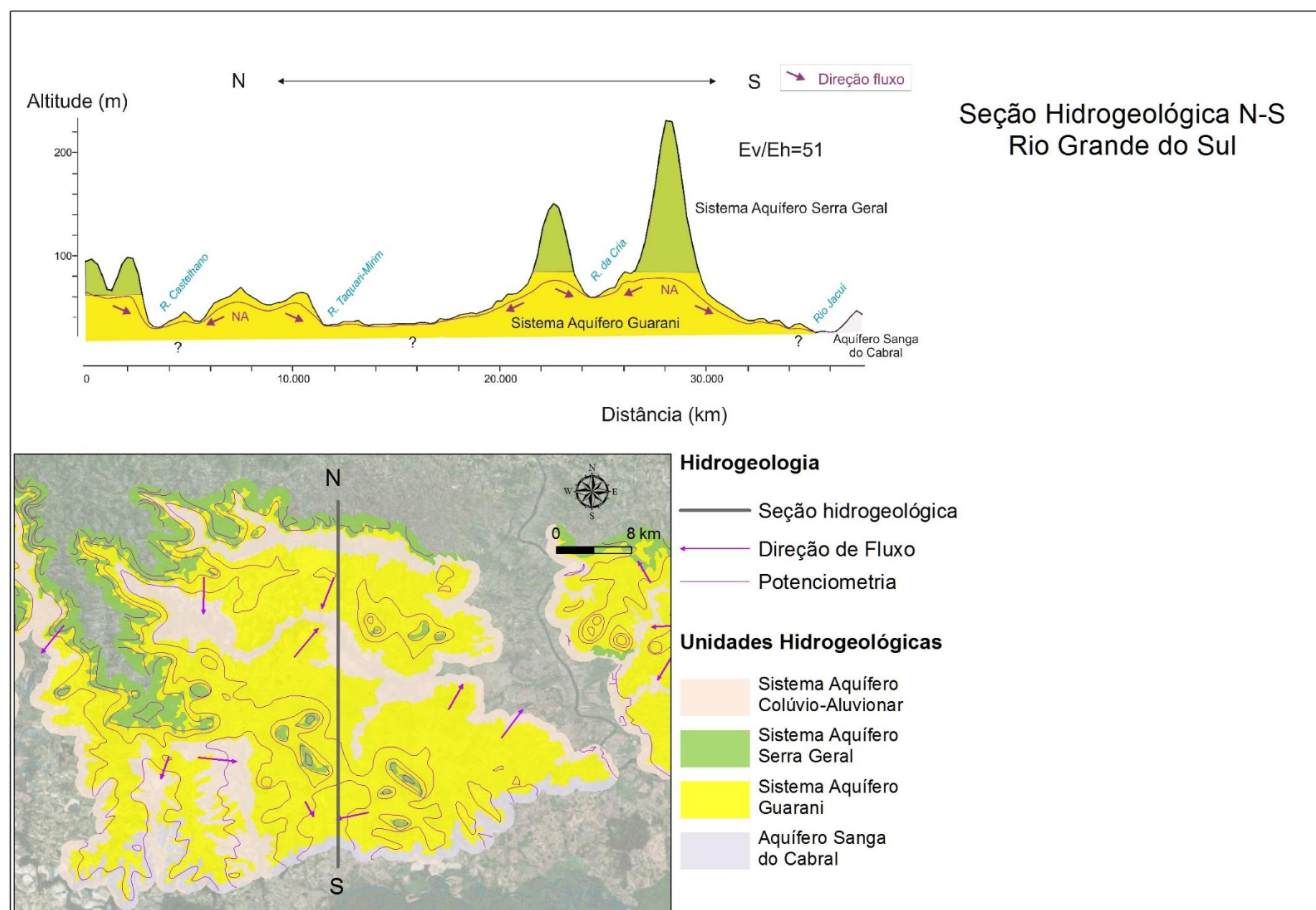
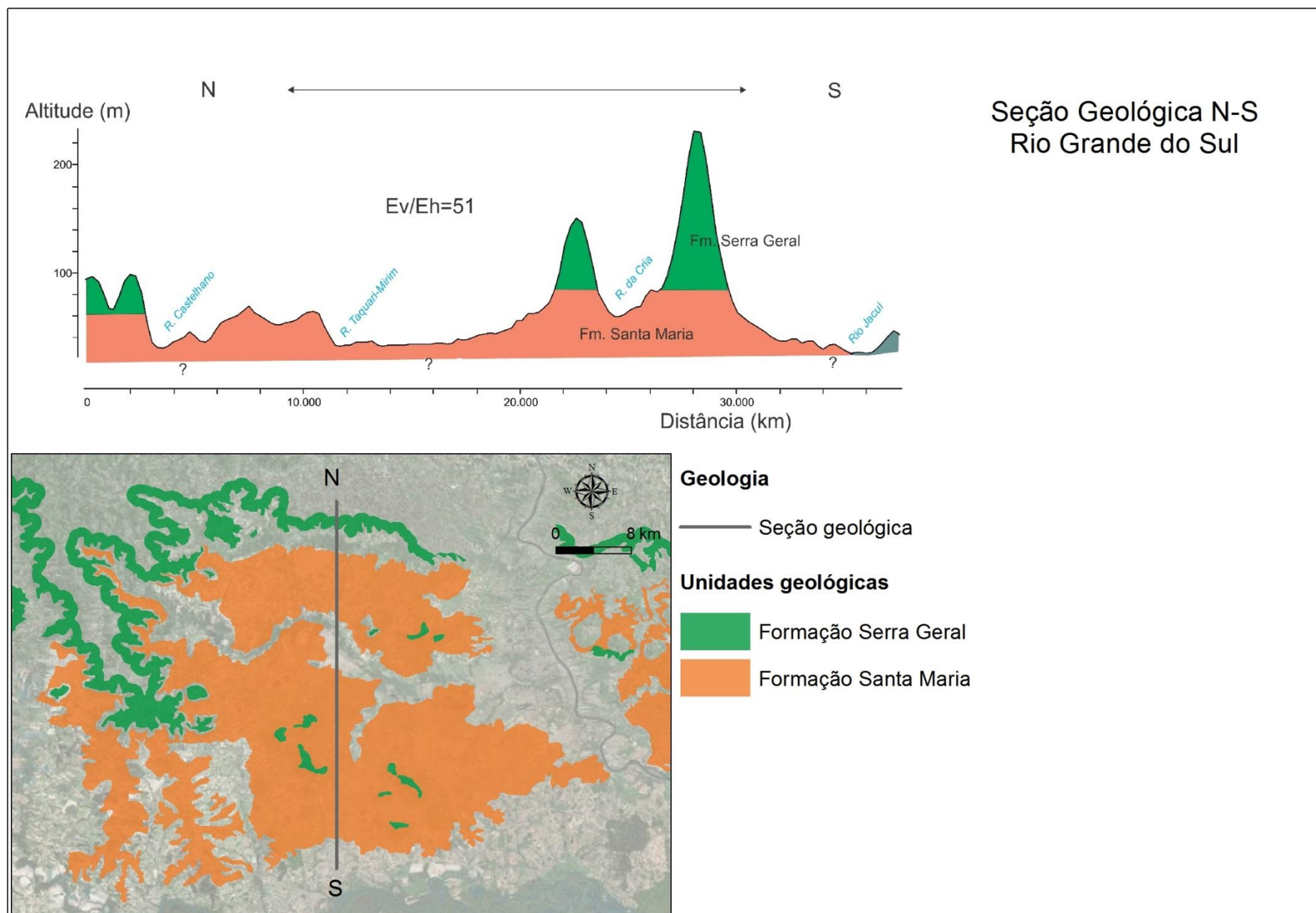


Figura 4.113 – Seções geológica e hidrogeológica N-S do SAG aflorante no Rio Grande do Sul.

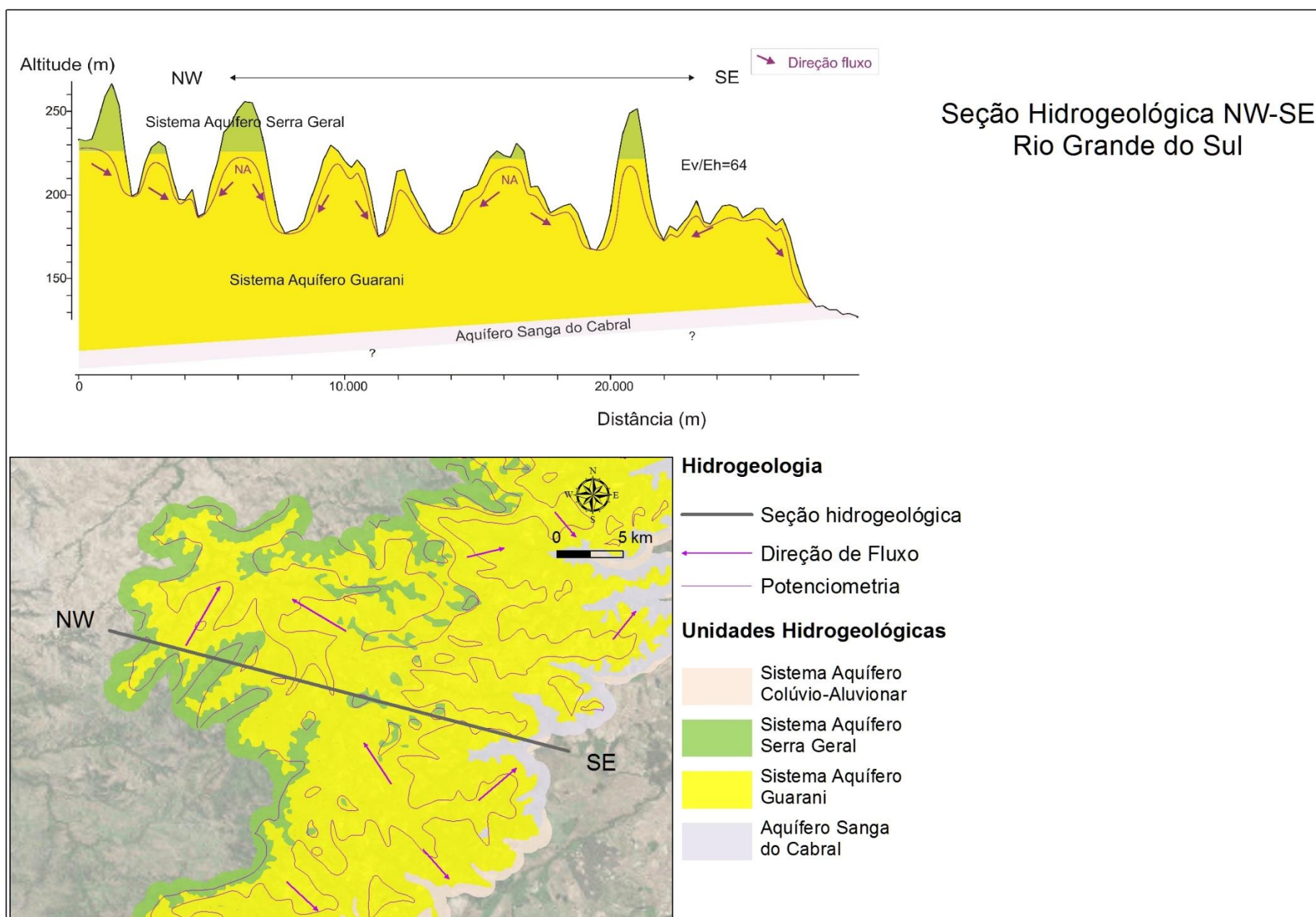
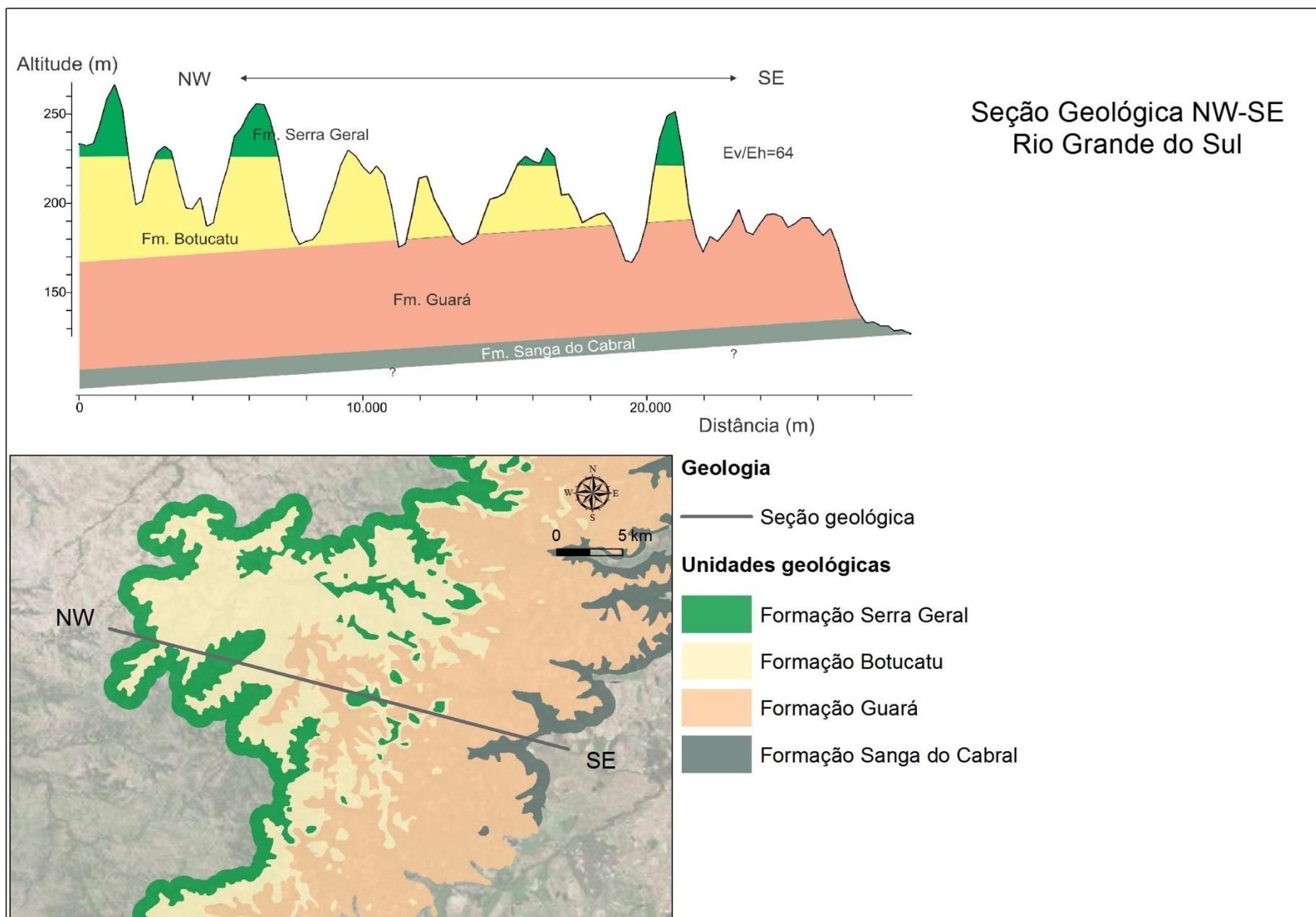


Figura 4.114 – Seções geológica e hidrogeológica NW-SE do SAG aflorante no Rio Grande do Sul.

### 4.6.3 Potenciometria do SAG Aflorante do Estado de Santa Catarina

Nenhum poço do projeto PSAG (OEA, 2009) e apenas um único poço, dentre os poços levantados em cadastros preexistentes, aparece inserido na área de afloramento do SAG no Estado de Santa Catarina (próximo à divisa com o Estado do Paraná). Com relação aos poços novos levantados em campo, nenhum deles apresenta dados de nível de água. Já nos poços selecionados para a rede de monitoramento, não houve condições para medição do NA em nenhum deles.

A alternativa para elaboração do mapa potenciométrico do SAG aflorante no Estado de Santa Catarina foi a utilização de 15 poços cadastrados no SIAGAS, contendo dados de NA. Seguindo procedimento já descrito anteriormente, esses poços foram plotados no Modelo Digital de Terreno (MDT) para extração das altitudes do terreno (cota da boca do poço) e posterior elaboração de correlação da altitude (boca do poço) com a cota do nível de água estático do poço. Neste caso, também foi gerada equação de correlação linear com ajuste de 99,5%, conforme discriminada na Figura 4.115 a seguir, que aplicada aos dados altimétricos componentes do MDT produziu o mapa de carga hidráulica do aquífero na zona aflorante. As equipotenciais foram, então, extraídas a intervalos de 50 metros com base no mapa de carga hidráulica.

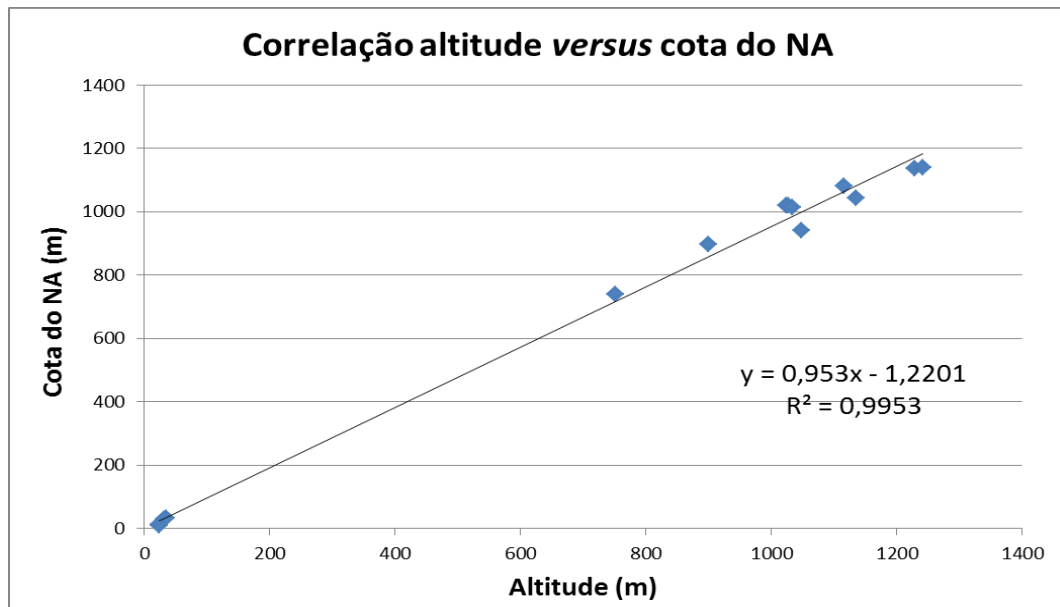


Figura 4.115 – Correlação entre altitude da boca do poço e cota do NA.

A Figura 4.116 apresenta as seções geológicas e hidrogeológica de área do SAG aflorante no Estado de Santa Catarina, podendo-se observar as unidades litoestratigráficas componentes do aquífero e as direções de fluxo locais controladas pelos divisores das bacias hidrográficas.

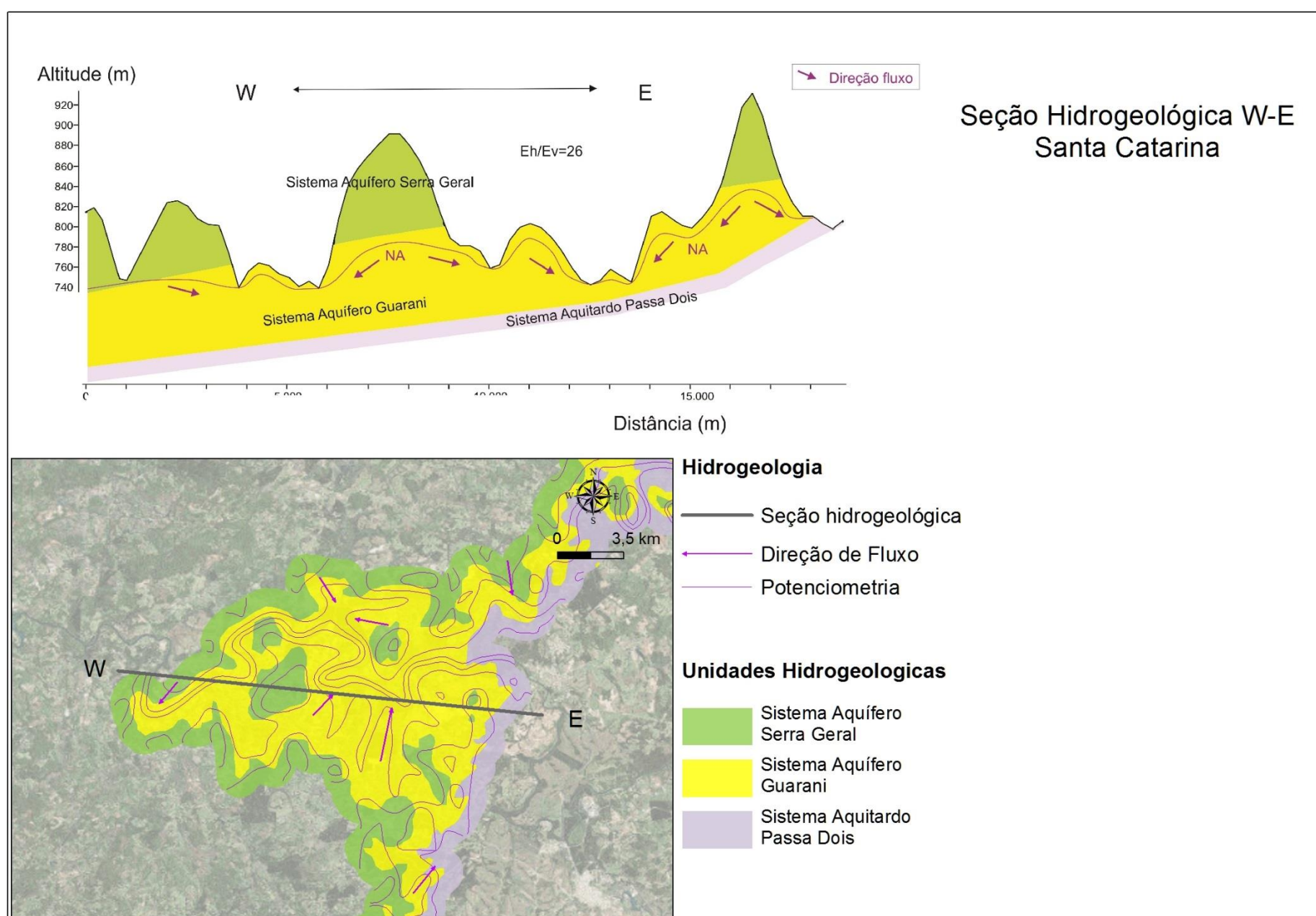
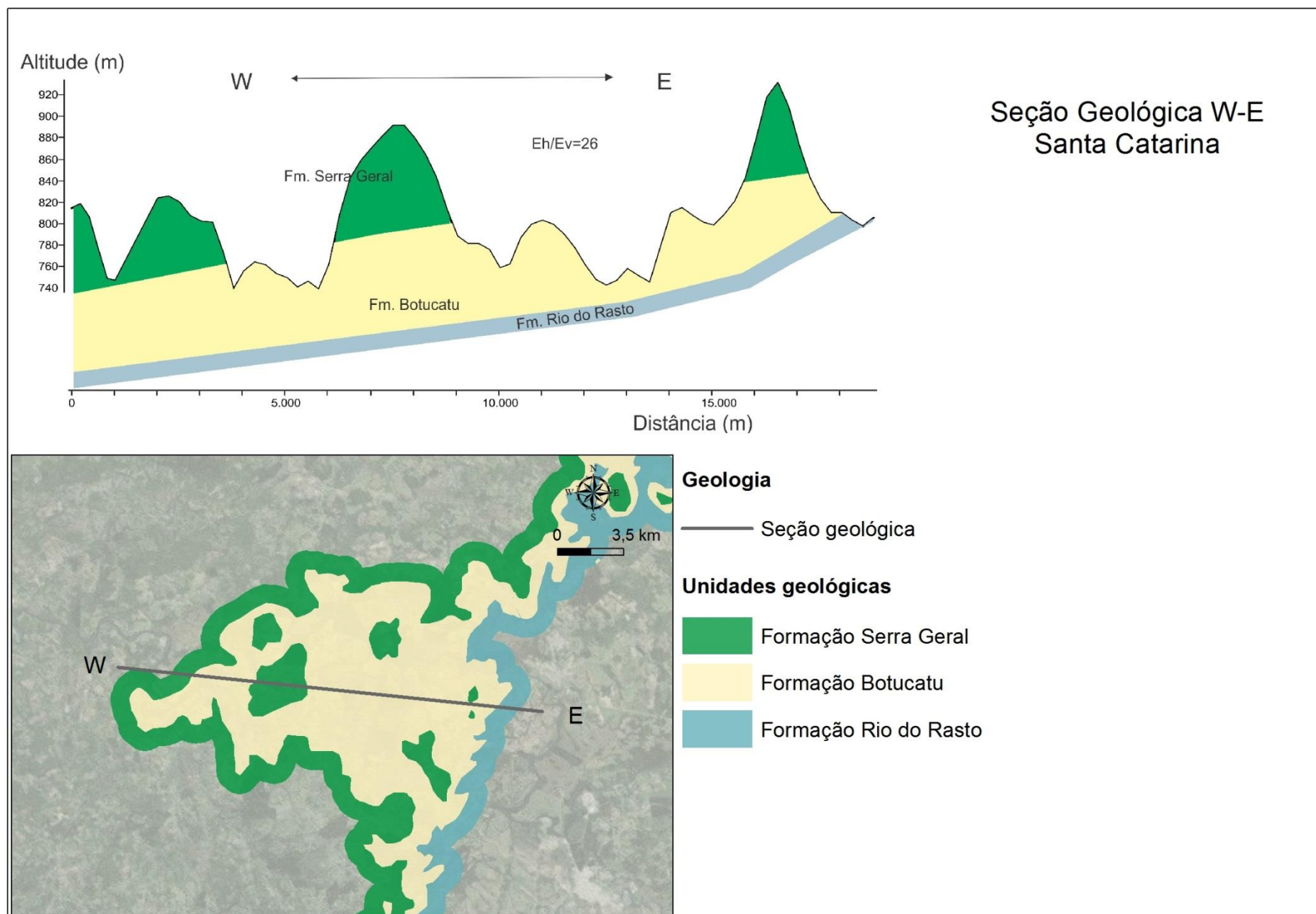


Figura 4.116 – Seções geológica e hidrogeológica SW-NE do SAG aflorante no Estado de Santa Catarina.

#### 4.6.4 Potenciometria do SAG Aflorante do Estado do Paraná

A análise dos dados levantados no Estado do Paraná mostrou que apenas 6 poços cadastrados no Projeto PSAG (OEA, 2009) e 17 poços existentes, previamente levantados em órgãos gestores, continham dados de nível estático. Nenhum dos 12 poços novos cadastrados em campo, neste projeto, continha dados de nível de água estático.

O procedimento adotado para elaboração do mapa potenciométrico foi o mesmo descrito anteriormente. Os poços levantados foram plotados no Modelo Digital de Terreno (MDT) para extração das altitudes do terreno (cota da boca do poço) e posterior elaboração de correlação da altitude (boca do poço) com a cota do nível de água estático do poço.

A equação de correlação obtida que mostrou melhor ajuste foi a função potencial ( $R^2=96\%$ ), conforme mostrado na Figura 4.117 a seguir. Aplicada ao MDT, a equação permitiu a geração da carga hidráulica do SAG aflorante no Paraná e a extração das equipotenciais em intervalos de 50 metros.

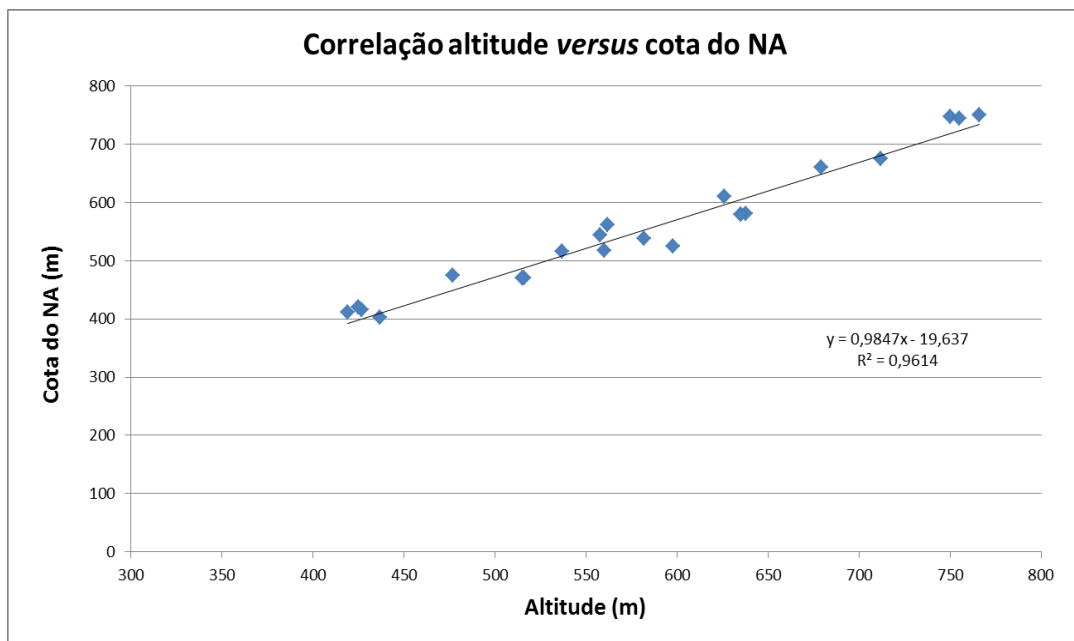


Figura 4.117 – Correlação entre altitude da boca do poço e cota do NA.

A Figura 4.118 apresenta as seções geológica e hidrogeológica de área do SAG aflorante no Estado do Paraná, podendo-se observar as unidades litoestratigráficas componentes do aquífero e as direções de fluxo locais controladas pelos divisores das bacias hidrográficas.



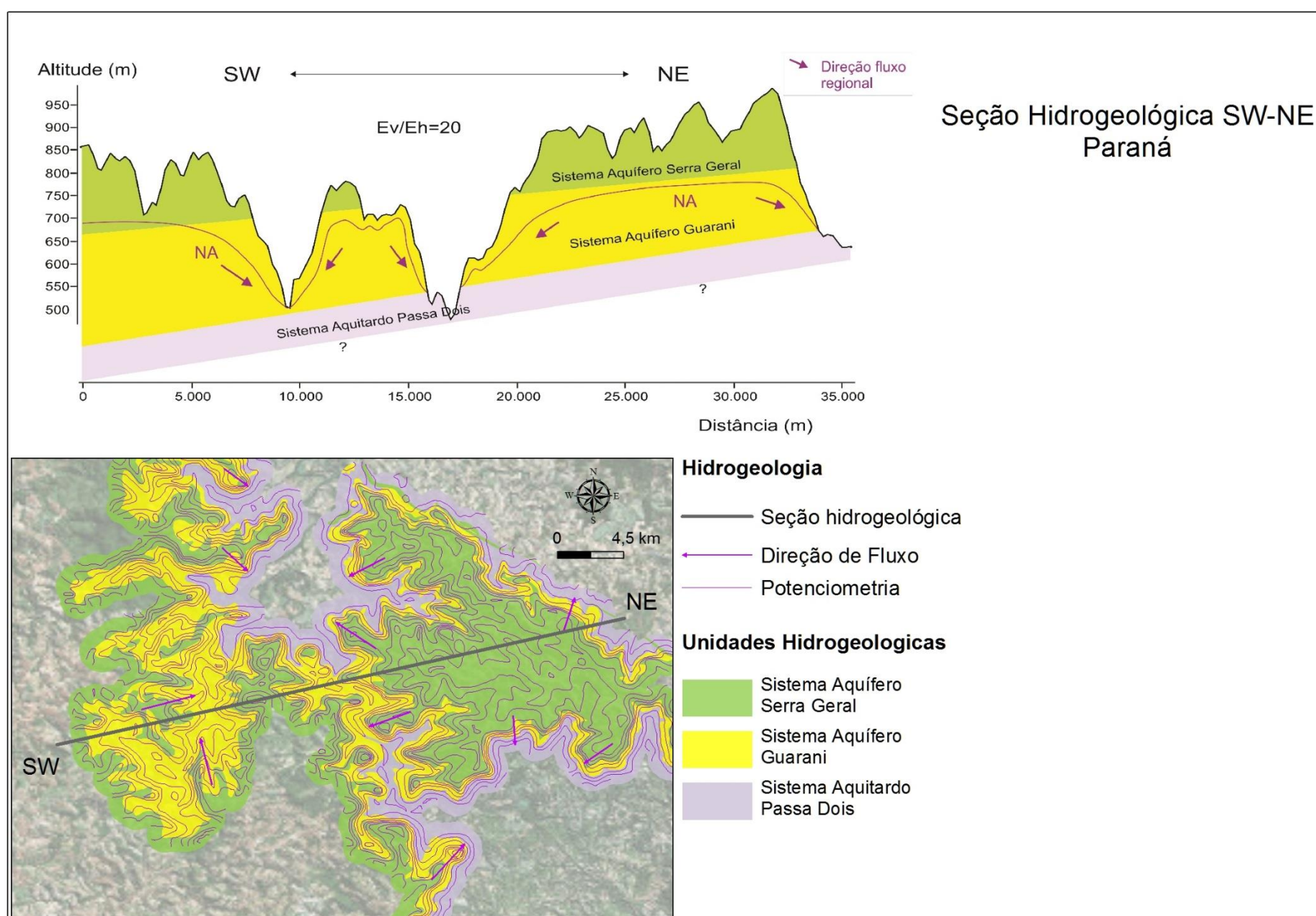
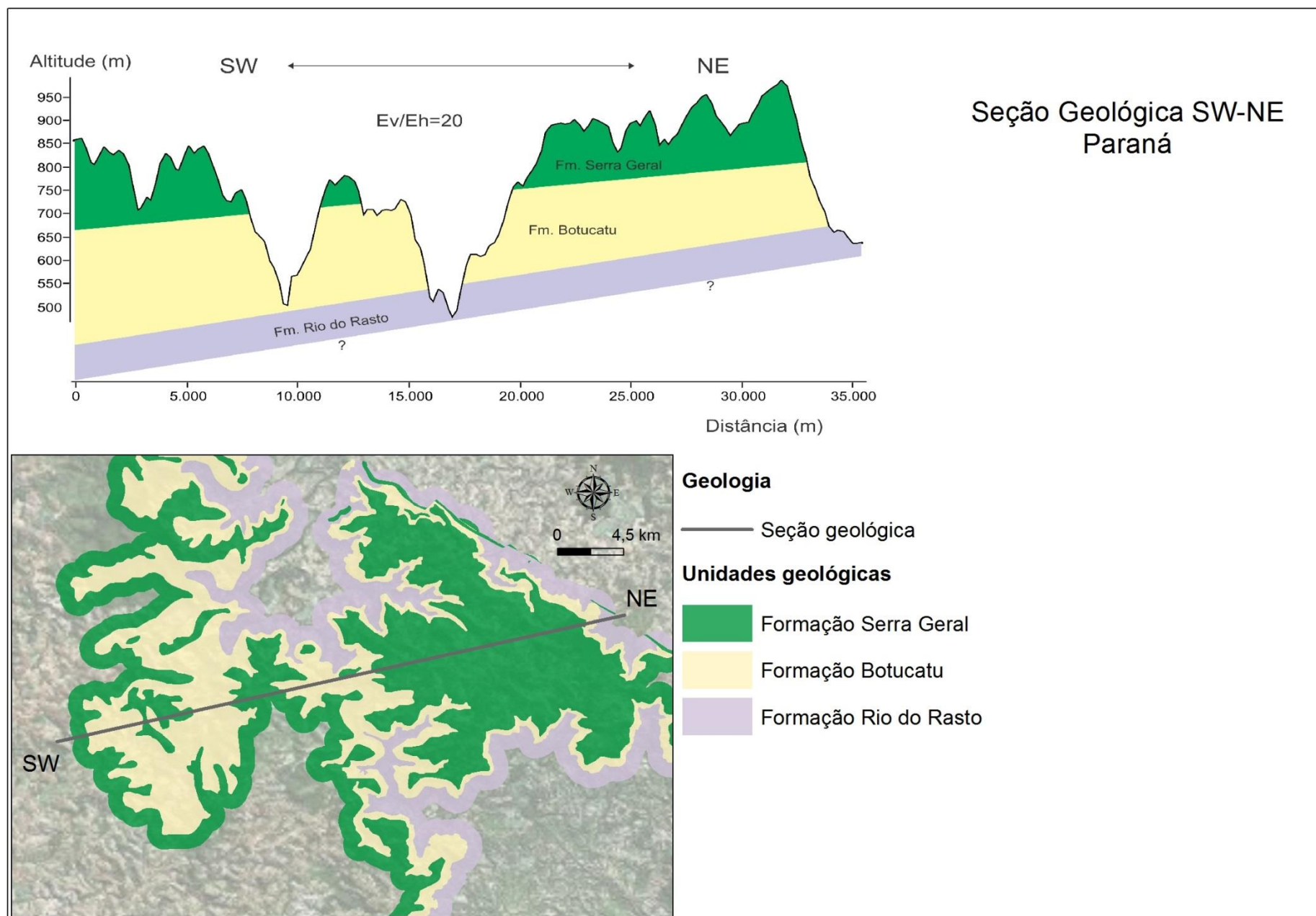


Figura 4.118 – Seções geológica e hidrogeológica SW-NE do SAG aflorante no Estado do Paraná.

#### **4.6.5 Potenciometria do SAG Aflorante do Estado de Minas Gerais**

A inexistência de dados de poços com registro de nível de água no SAG aflorante no Estado de Minas Gerais não permitiu a aplicação do método de correlação de altitude versus cota do N.A, para determinação da carga hidráulica e da potenciometria.

Para sua execução, pontos de descarga de águas subterrâneas representados pela intersecção da topografia do terreno com a rede de drenagem foram modelados de modo a definir uma superfície representativa da variação da carga hidráulica do SAG. Posteriormente, os valores de carga hidráulica foram filtrados para eliminação de distorções e elaboração da superfície potenciométrica do SAG aflorante em Minas Gerais.

A Figura 4.119 apresenta as seções geológica e hidrogeológica de área do SAG aflorante no Estado de Minas Gerais, podendo-se observar as unidades litoestratigráficas componentes do aquífero e as direções de fluxo locais controladas pelos divisores das bacias hidrográficas.

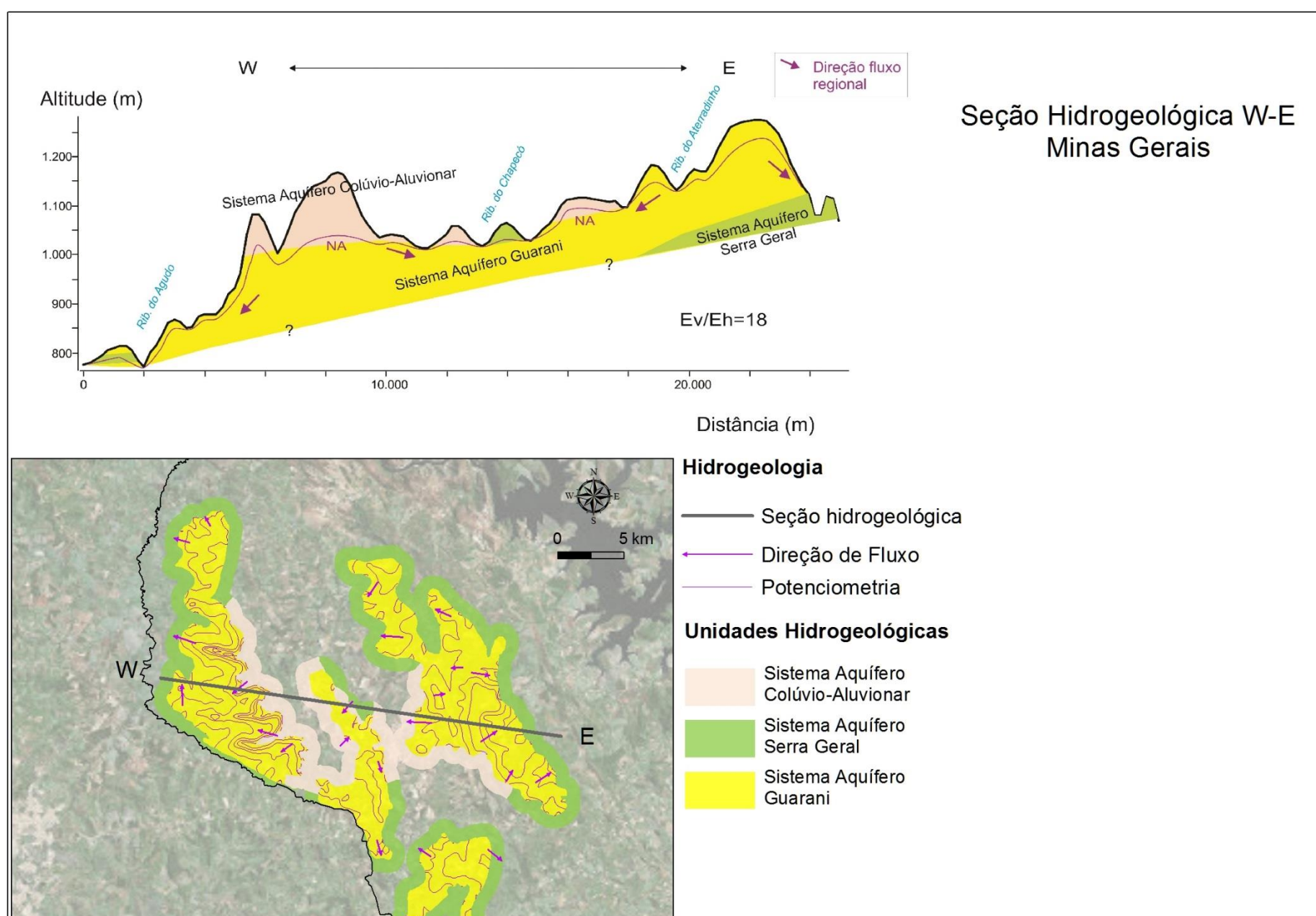
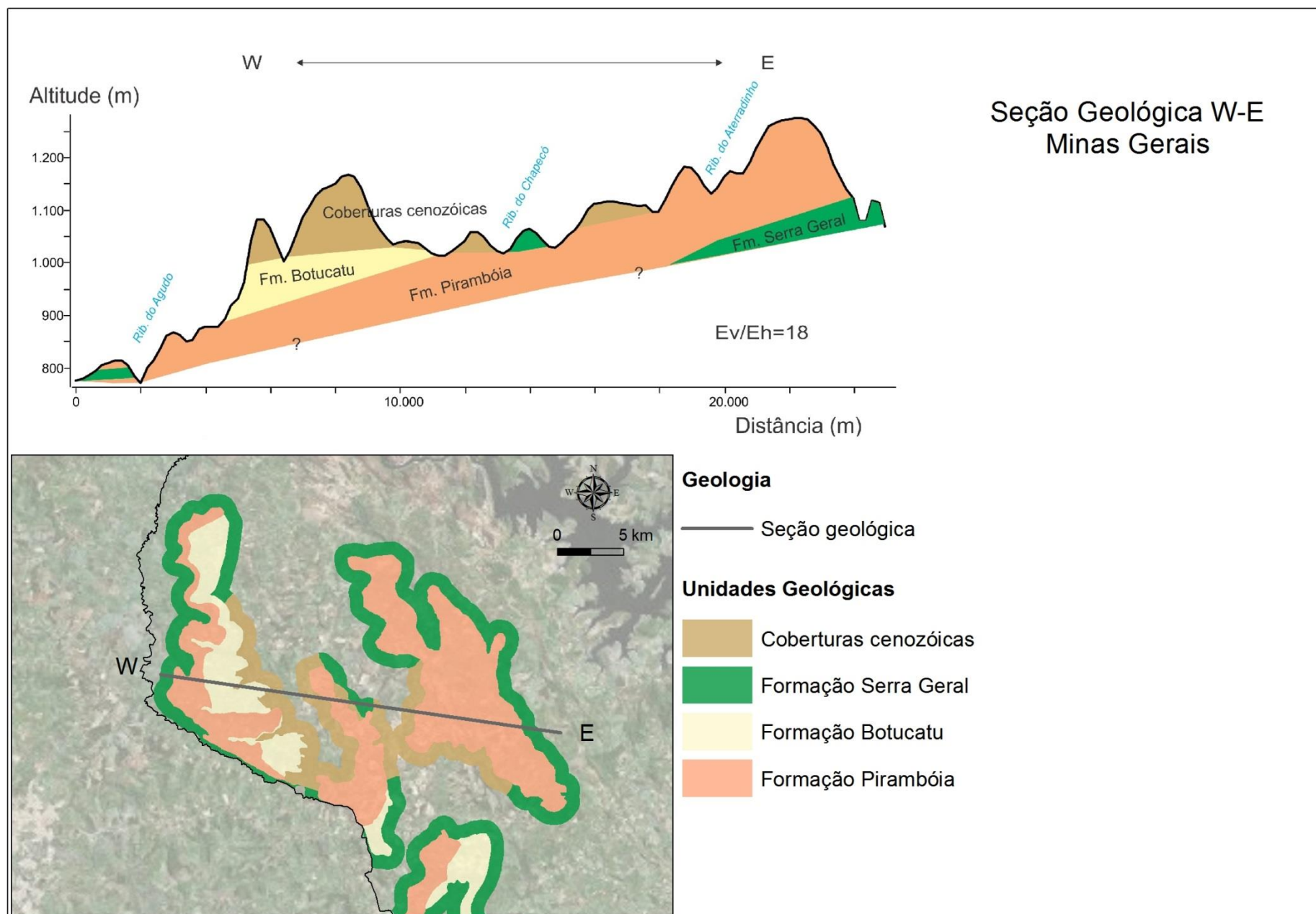


Figura 4.119 – Seções geológica e hidrogeológica W-E do SAG aflorante no Estado de Minas Gerais.

#### 4.6.6 Potenciometria do SAG Aflorante no compartimento noroeste

A potenciometria da parte noroeste do SAG, que compreende as unidades hidroestratigráficas deste sistema aquífero distribuídas nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, foi elaborada inicialmente abrangendo essa área com um todo, sem individualização por unidade federativa, uma vez que o pacote rochoso do SAG apresenta continuidade e a análise dos dados de nível de água dos poços mostrou que este procedimento era factível.

Ao todo, foram selecionados 484 poços dos cadastros de poços levantados em órgãos gestores, mais 31 poços do cadastro do projeto PSAG (OEA, 2009) e mais 114 poços novos levantados em campo durante a execução deste projeto. Destes, foram encontrados apenas 80 poços com dados de nível de água estático. A correlação altitude da boca do poço *versus* cota do nível de água, segundo procedimento adotado para a elaboração de todos os mapas potenciométricos neste projeto, mostrou melhor ajuste ( $R^2 = 97\%$ ) para função linear, como mostrado na Figura 4.120.

Aplicada aos dados altimétricos componentes do MDT, a equação gerou o mapa de carga hidráulica do aquífero na zona aflorante na porção noroeste do SAG. As equipotenciais foram, então, extraídas a intervalos de 50 metros com base no mapa de carga hidráulica.

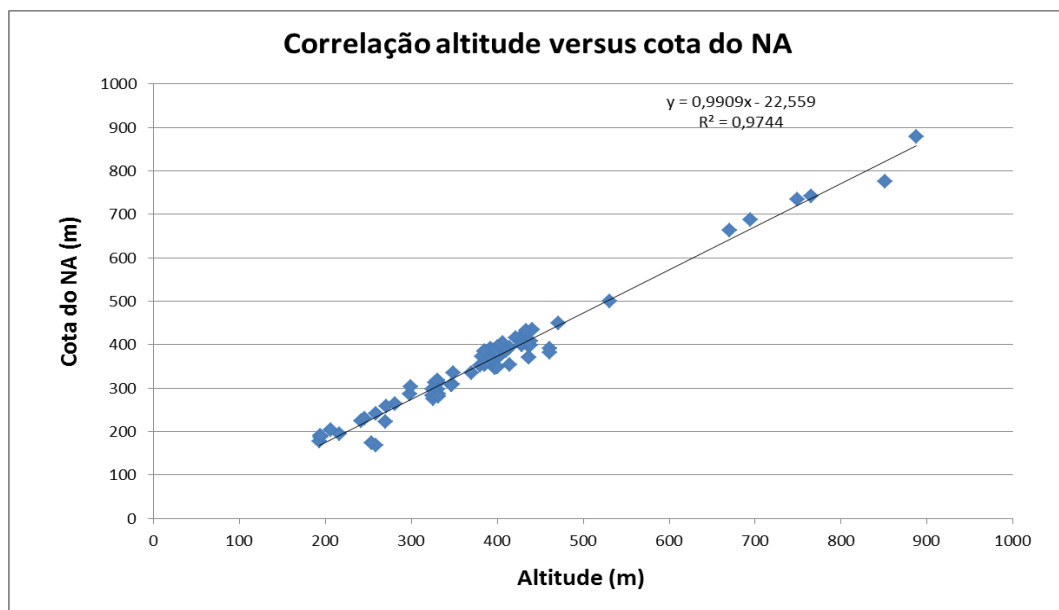


Figura 4.120 – Correlação entre altitude da boca do poço e cota do NA.

As Figuras 4.121 a 4.123 apresentam, respectivamente, as seções geológicas e hidrogeológicas de áreas do SAG aflorante nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás.

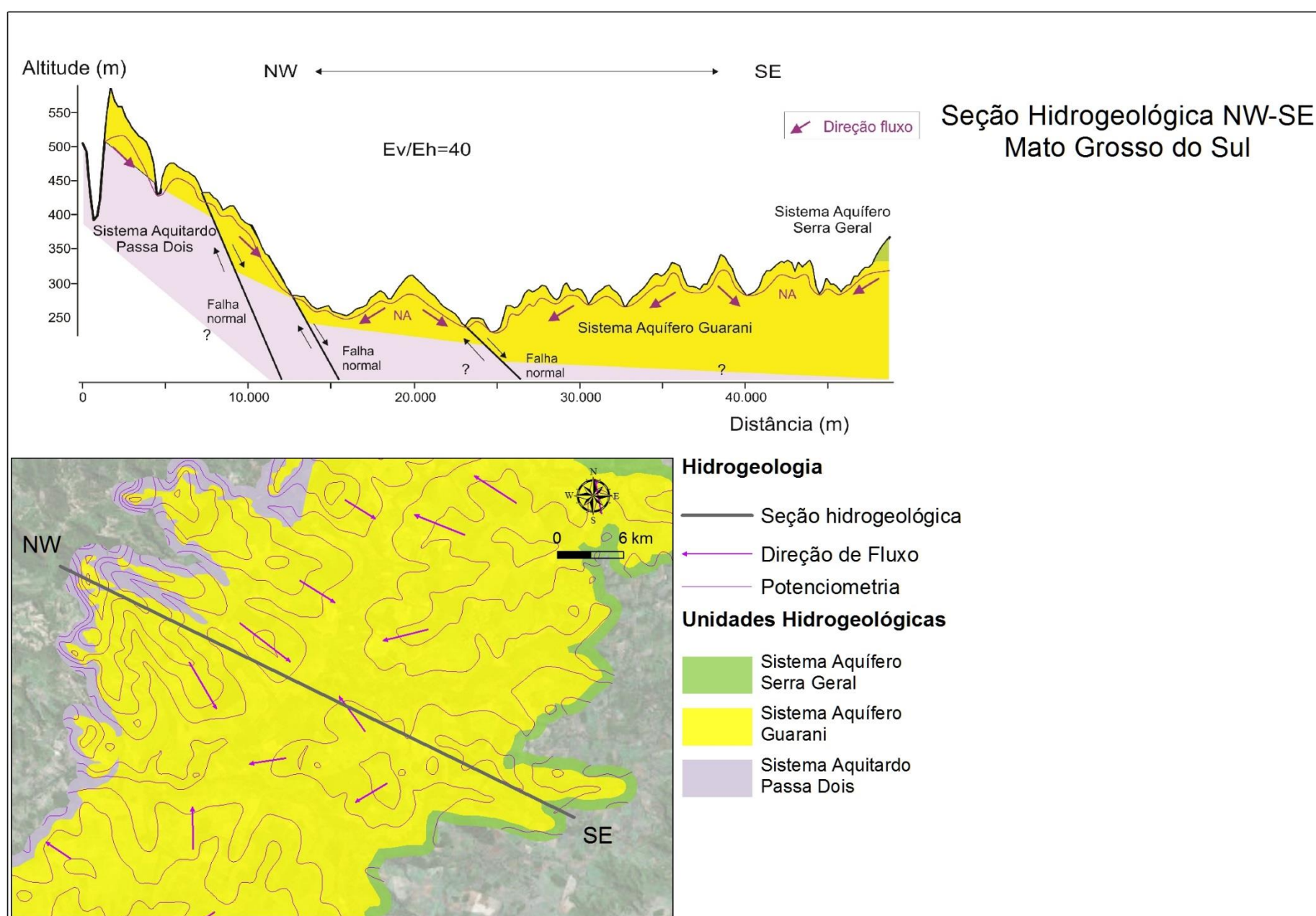
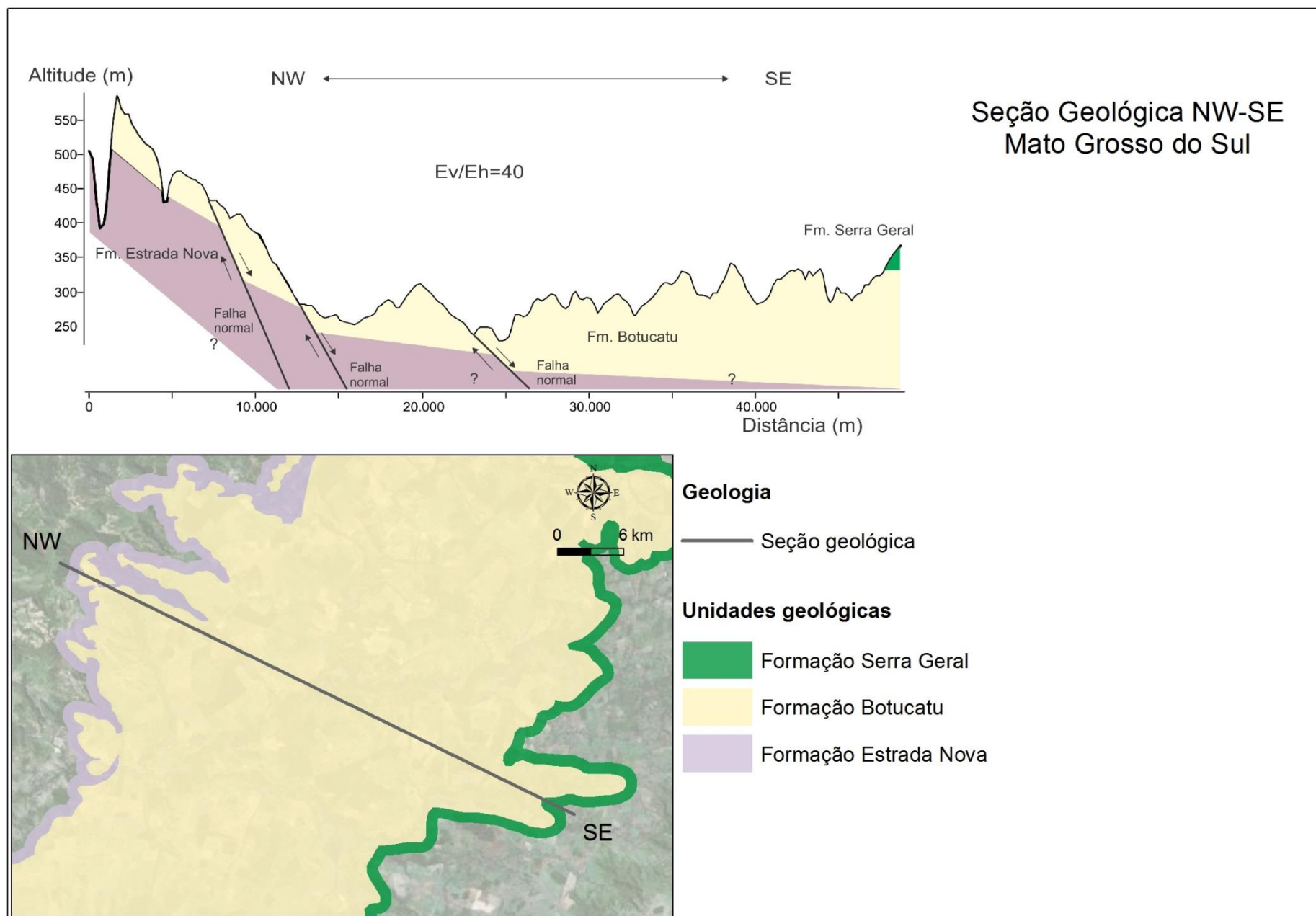


Figura 4.121 – Seções geológica e hidrogeológica NW-SE do SAG aflorante no Estado de Mato Grosso do Sul.

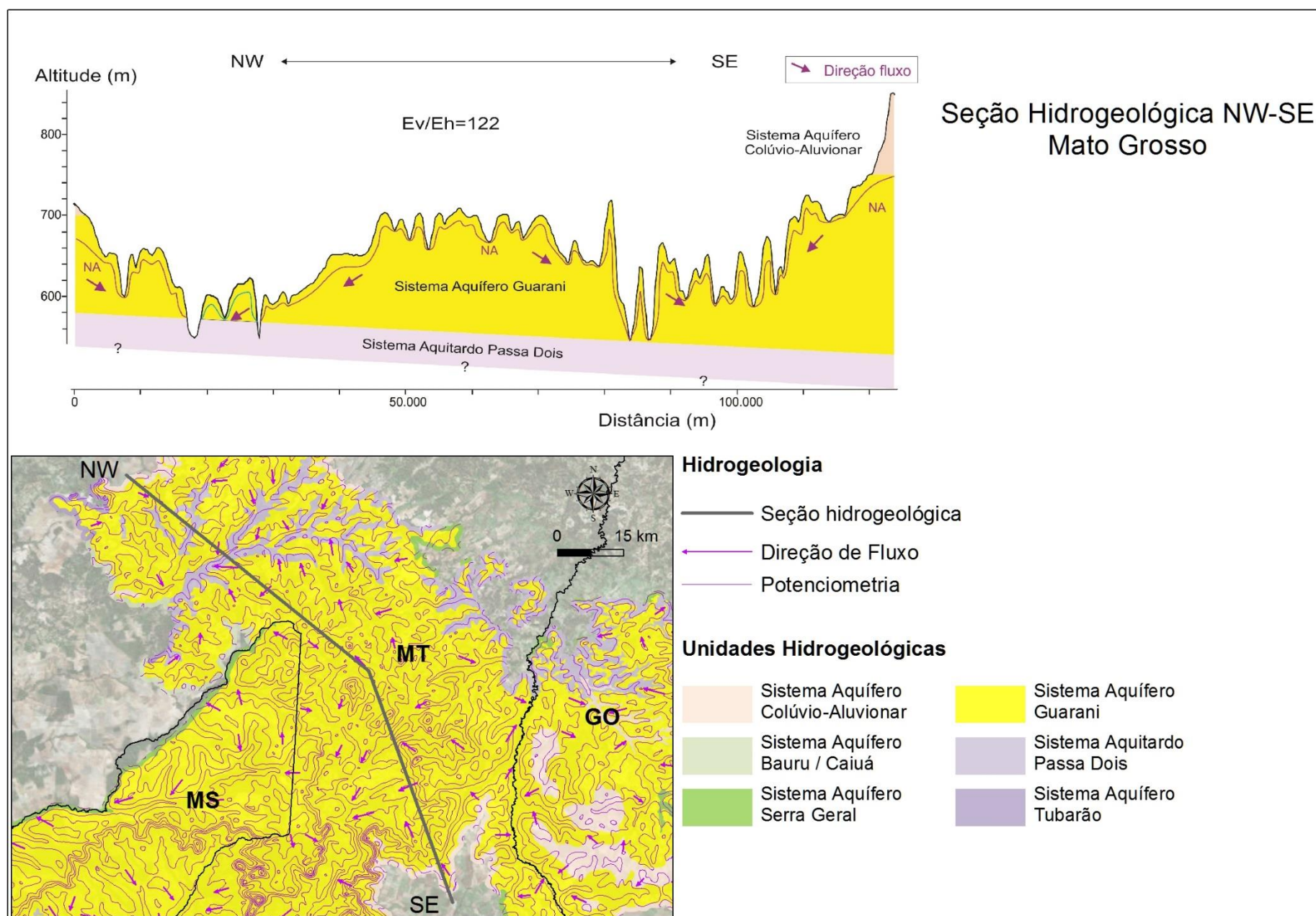
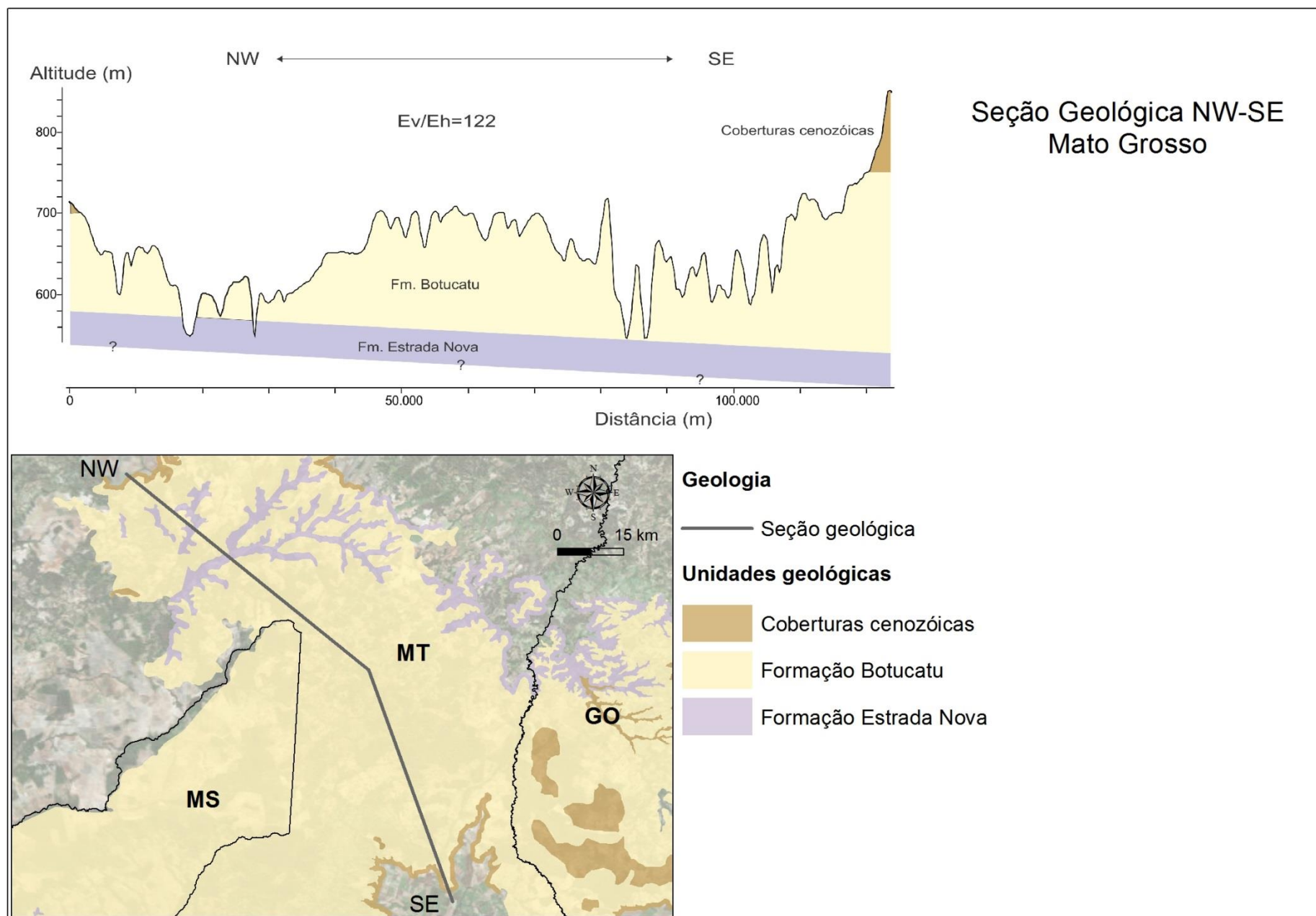


Figura 4.122 – Seções geológica e hidrogeológica NW-SE do SAG aflorante no Estado de Mato Grosso.

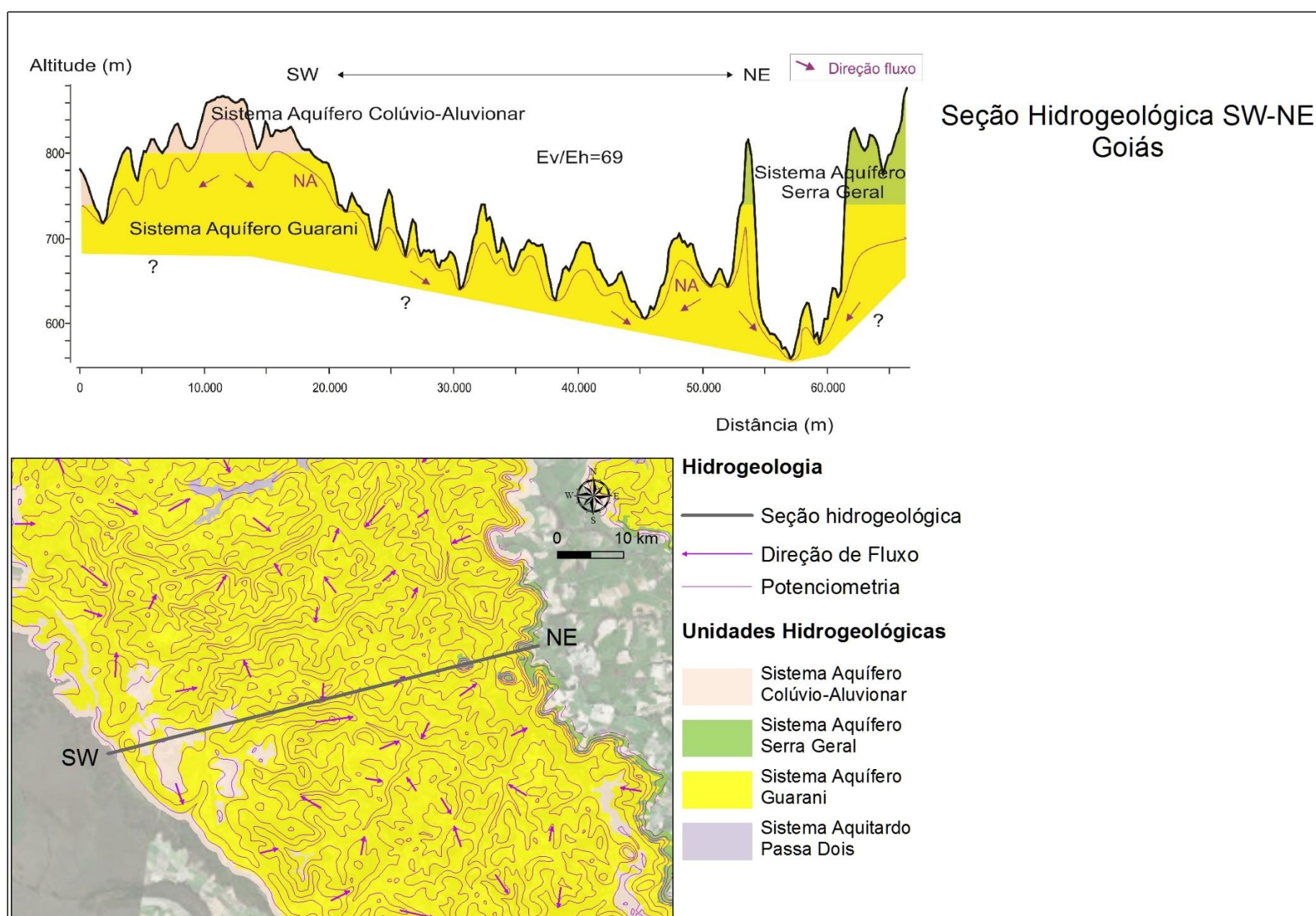
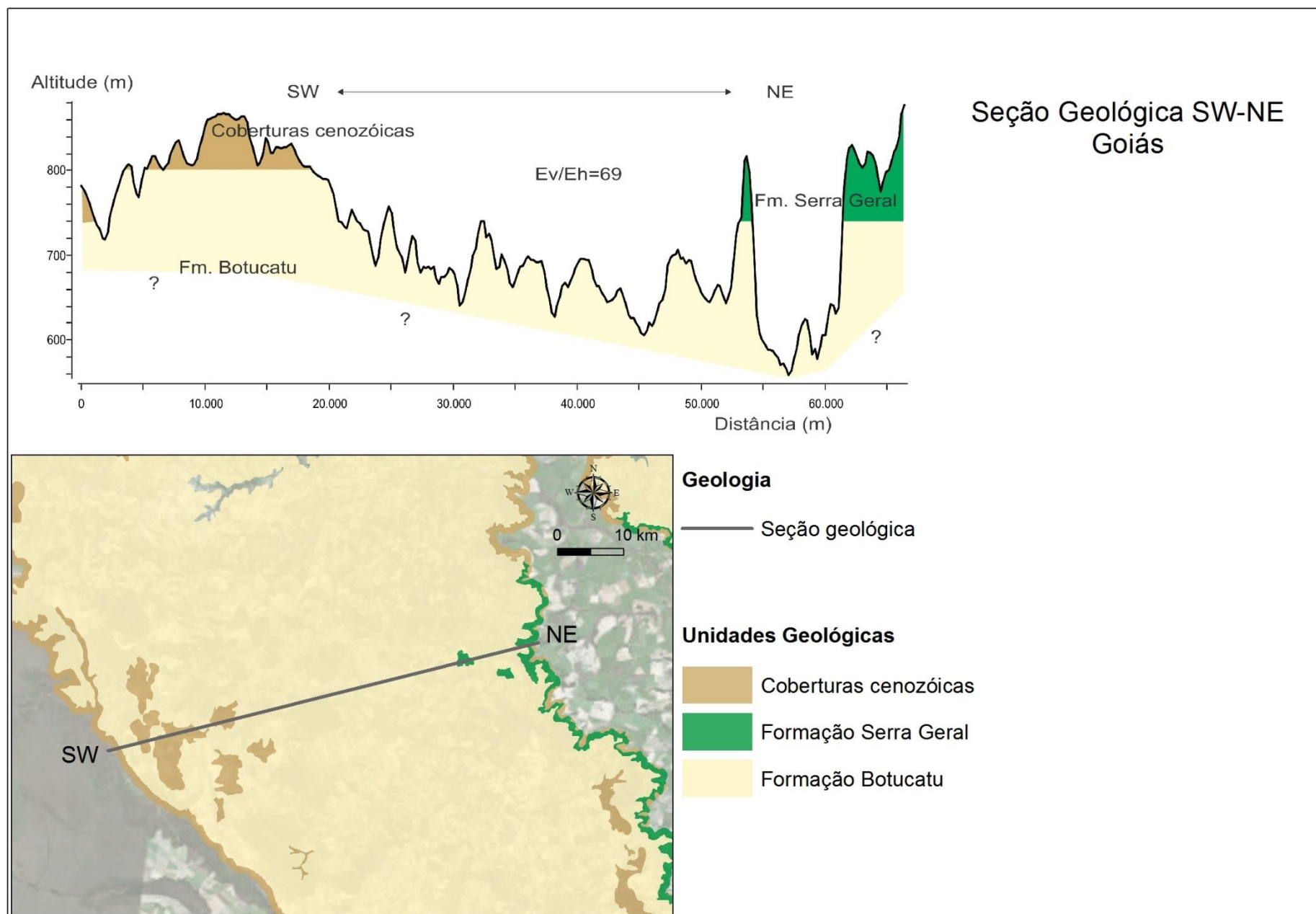


Figura 4.123 – Seções geológica e hidrogeológica SW-NE do SAG aflorante no Estado de Goiás.

#### 4.6.7 Comentários Gerais sobre os Aspectos Hidrogeológicos do SAG

Em termos regionais, o escoamento das águas subterrâneas inicia-se a partir das áreas de afloramento localizadas predominantemente nos bordos leste e oeste do SAG, e dirige-se no sentido geral de norte a sul, acompanhando o eixo da Bacia do Paraná, até as zonas de descarga. As principais áreas de descarga regional, por sua vez, também estão associadas às áreas de afloramento, como praticamente em todo o bordo oeste do SAG, que representa uma importante área de contribuição para a rede hidrográfica que alimenta a bacia do Rio Paraguai (Gastmans *et al.*, 2012).

Como resultado do levantamento dos bordos da Bacia Geológica do Paraná e posterior erosão de sequências sedimentares sobrepostas, as zonas de afloramento originadas tornaram-se zonas de recarga, algumas delas com fluxo radial a partir de áreas elevadas do terreno, como por exemplo, no extremo nordeste de São Paulo, no extremo norte de Goiás, na região do Arco de Ponta Grossa (PR) e no domo de Lages (SC) (Gastmans *et al.*, 2012). Por outro lado, os estudos realizados no âmbito do Projeto PSAG (OEAb, 2009) reconheceram uma faixa com cerca de 300 km de largura nas imediações do Rio Paraná, compreendendo os estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná e que adentra o território argentino, onde ocorre uma das descargas principais do SAG.

A dinâmica do escoamento subterrâneo em áreas de afloramento pode reunir tanto zonas de fluxos locais, provenientes da recarga direta pelas precipitações atmosféricas e cuja descarga na forma de escoamento de base alimenta a rede hidrográfica instalada, como fluxos regionais profundos, governados pelas características hidráulicas das rochas e pelo arcabouço geológico/estrutural (Figura 4.124).

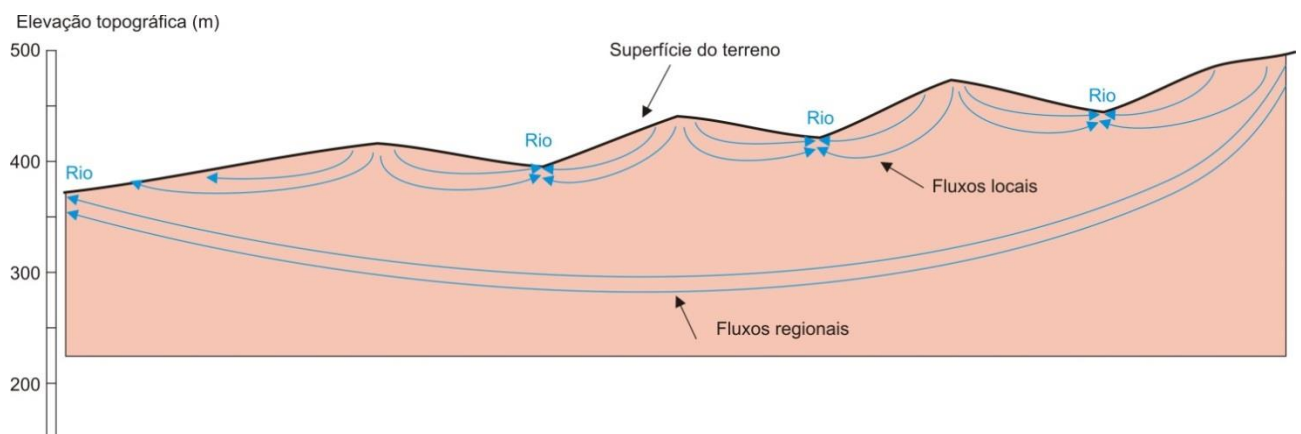


Figura 4.124 – Fluxos subterrâneos locais e regionais (baseado em Fetter, 2001).

Segundo Fetter (2001), na superfície topográfica de áreas com balanço hídrico positivo, ou seja, com precipitação superior à evaporação, uma série de sistemas de fluxo subterrâneos locais pode ser formada, em razão das ondulações do nível potenciométrico causadas pelas variações na topografia do terreno. Nestes sistemas locais, as áreas de recarga localizam-se prioritariamente nas porções mais elevadas do terreno e as áreas de descarga nas porções adjacentes, topograficamente deprimidas.



No contexto regional, os estudos do PSAG (OEAb, 2009) reconheceram quatro grandes domínios hidrogeológicos do SAG, com características específicas: sul, leste, nordeste e oeste.

O domínio sul compreende uma extensa faixa de afloramentos de direção E-W localizada à margem esquerda do Rio Jacuí, no Estado do Rio Grande do Sul. Esta faixa representa uma grande zona de descarga regional proveniente de terrenos mais elevados, localizados na região do Domo de Lajes (SC) (OEAb, 2009). De acordo com os estudos realizados pela ENGEORPS neste projeto, esta faixa pode ser subdividida em duas porções: leste e oeste.

A porção leste compreende a área de afloramentos a partir dos municípios de São Francisco de Paula e Santo Antônio da Patrulha, no limite leste de afloramentos, até os limites da bacia do Rio Ibicuí-Mirim, próximo à cidade de Mata. Neste compartimento, o fluxo subterrâneo é proveniente da região de confinamento dado pelos basaltos, localizada nos limites norte do SAG.

A seção hidrogeológica N-S, cortando o SAG neste compartimento (Figura 4.113), mostra a existência de fluxos locais e de fluxo regional que atravessa toda a área do aquífero e descarrega as águas para os limites externos do SAG, ao sul.

No compartimento oeste, formado pelas bacias hidrográficas dos rios Ibicuí, Itu e Caverá, o fluxo subterrâneo representado em seção hidrogeológica NW-SE, na Figura 4.114, também mostra a existência de fluxos locais associados à rede de drenagem das bacias hidrográficas e a existência de fluxo regional no sentido oeste, que vai desde as áreas de afloramento do SAG até subpor-se à cobertura de rochas basálticas da Formação Serra Geral. Esse compartimento, caracterizado como de descarga e de recarga regionais, foi bem definido no projeto PSAG (OEAb, 2009).

Situação similar é observada na Figura 4.116, representando seção hidrogeológica W-E cortando o SAG no Estado de Santa Catarina. O mapa hidrogeológico de Santa Catarina, elaborado neste estudo, indica um fluxo local das porções topográficas mais elevadas, a oeste, dirigindo-se para as porções mais deprimidas, a leste, controlada pela rede hidrográfica. De acordo com o PSAG (OEAb, 2009), desde o sul do Domo de Lajes (SC) até a região de Torres (RS) as equipotenciais seguem paralelas à faixa de afloramentos, definindo uma região de não-fluxo.

O domínio leste compreende as regiões do SAG situadas nos estados do Paraná e de Santa Catarina. Neste domínio, a direção predominante de fluxo subterrâneo regional é de leste para oeste, a partir das áreas de afloramento do SAG. No estado do Paraná, as intrusões de diabásio controlam e modificam a direção de fluxo. A Figura 4.118 mostra, por meio de seção hidrogeológica SW-NE, seccionando o SAG no Estado do Paraná, a existência de fluxos subterrâneos locais associados à rede hidrográfica, e fluxo regional para o interior da bacia governado pelo maior potencial hidráulico nos limites leste e basculamento do aquífero para o interior da bacia.

O domínio nordeste compreende as regiões do SAG localizadas nos estados de São Paulo e de Minas Gerais. Segundo o PSAG (OEAb, 2009), o fluxo subterrâneo segue na direção do Rio Paraná a partir das zonas de afloramento do aquífero. A Figura 4.119 exemplifica esta situação por meio de seção hidrogeológica W-E seccionando o SAG no Estado de Minas Gerais. A referida figura define bem a existência de fluxos locais governados pela rede hidrográfica instalada e de fluxo regional, no sentido de leste para oeste, que vai adentrar a região de confinamento originada pela cobertura do SAG por lavas basálticas. Observam-se também, as interferências que podem ser causadas no fluxo subterrâneo devido à presença de corpos intrusivos de diabásio. De acordo com Gastmans *et al.* (2012), gradientes hidráulicos próximos à zona de afloramentos, nesta região, podem variar entre 3 m/km e 5 m/km.

O domínio oeste do SAG, compreendido pelos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, é caracterizado como um sistema praticamente isolado do restante do aquífero, com áreas de recarga e de descarga associadas, cuja configuração espacial condiciona a existência de um divisor hidrogeológico paralelo ao divisor de águas superficiais que existe entre as Bacias dos Rios Paraná e Paraguai, representado pela Serra de Maracaju (OEAb, 2009). As áreas de recarga estão localizadas nas regiões topograficamente elevadas situadas no limite entre os estados de Mato Grosso do Sul, Goiás e Mato Grosso, as quais também apresentam fluxo radial orientado no sentido das zonas de afloramento. As seções hidrogeológicas seccionando áreas de afloramento do SAG em Mato Grosso do Sul (Figura 4.121), Mato Grosso (Figura 4.122) e Goiás (Figura 4.123), corroboram as conclusões apresentadas no PSAG (OEAb, 2009) para o compartimento oeste do aquífero.

#### **4.7 MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL**

O termo vulnerabilidade à contaminação de um aquífero é usado para representar as características intrínsecas que determinam a susceptibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga contaminante (Foster, 1987 *apud* Foster & Hirata, 1993). A CPRM (1997) define vulnerabilidade como o menor ou maior grau de disponibilidade que o aquífero apresenta de sofrer uma contaminação.

Segundo Foster & Hirata (1993), a vulnerabilidade do aquífero é função da inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes e da capacidade de atenuação dos estratos acima da zona saturada do aquífero, como resultado de sua retenção física e reações químicas com o contaminante. Ainda de acordo com estes autores, seria mais coerente avaliar a vulnerabilidade do aquífero para cada contaminante específico ou para cada classe de contaminante, todavia, este procedimento é impraticável.

Dentre os vários métodos utilizados atualmente para avaliação da vulnerabilidade natural de um aquífero, destacam-se o GOD (Foster, 1987), DRASTIC (Aller *et al.*, 1987), EPPNA (EPPNA, 1998), AVI (Stempvoort, 1992), SINTACS (Civita, 1994), IS (Francés *et al.*, 2001) etc. (Quadro 4.32). Uma consideração importante quando da aplicação destes métodos é a admissão da existência de um contaminante com a mesma mobilidade relativa da água em meio poroso (Foster, 1987). O método GOD foi eleito nos TDRs do projeto para avaliar a vulnerabilidade do SAG em sua porção aflorante.

**QUADRO 4.32 – ÍNDICES DE VULNERABILIDADE NATURAL À POLUIÇÃO DE AQUÍFEROS E SEUS RESPECTIVOS FATORES DE PONDERAÇÃO**

<i>Índice</i>	<i>Método de avaliação</i>	<i>Fatores</i>	<i>Referência</i>
Surface Impoundment Assessment	Paramétrico. Sistema de disposição de águas servidas.	Zona não saturada; Importância do recurso; qualidade das águas subterrâneas; periculosidade do material.	(Le Grand, 1964)
Site Ranking Methodology	Paramétrico. Disposição de resíduos sólidos e novas indústrias	Uso da água e qualidade; nível e tipos de contaminação; profundidade do nível d'água; permeabilidade do solo; características dos resíduos (toxicidade e persistência).	(Kulfs et al., 1980)
DRASTIC	Paramétrico. Vulnerabilidade Geral	(D) Profundidade do nível d'água; (R) Recarga do aquífero; (A) Material do aquífero; (S) Tipo de solo; (T) Topografia; (I) Influência da zona não saturada; (C) Condutividade hidráulica.	(Aller et al., 1987)
GOD	Paramétrico. Vulnerabilidade Geral	(G) Ocorrência de água subterrânea; (O) Classificação geral do aquífero; (D) Profundidade do nível d'água.	(Foster, 1987)
AVI (Aquifer Vulnerability Index)	Paramétrico. Vulnerabilidade Geral	Espessura (di) de cada nível sedimentar acima da superfície freática. Condutividade hidráulica (Ki).	(Stempvoort, 1992)
SINTAC	Paramétrico. Vulnerabilidade Geral	Igual ao DRASTIC, mas com pesos diferentes.	(Civita, 1994)
EPPNA (Equipe de Projeto do Plano Nacional da Água)	Paramétrico. Vulnerabilidade Geral	De acordo com as características de cada formação litológica/hidrogeológica.	(EPPNA, 1998)
IS (índice de Susceptibilidade)	Paramétrico. Vulnerabilidade Geral	Igual ao DRASTIC, mas com pesos diferentes e considerando a ocupação do solo.	(Francés et al., 2001)

#### 4.7.1 Método para Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante

Os mapas de vulnerabilidade são considerados uma base técnica simplificada para o planejamento de ações de controle dos aquíferos, principalmente em áreas potencialmente críticas. Neste projeto, foi previamente definido o método GOD para avaliar a vulnerabilidade do SAG em sua porção aflorante.

O método GOD se baseia em metodologia empírica proposta inicialmente por Foster & Hirata (1993), adotado no presente estudo, que leva em consideração parâmetros como modo de ocorrência de água subterrânea (*Groundwater occurrence*), classificação do aquífero (*Overall aquifer class*) e profundidade do topo do aquífero (*Depth to groundwater table*).

Estes três parâmetros são avaliados subjetivamente com base nos índices estabelecidos na Figura 4.125. Inicialmente, avalia-se a condição de ocorrência da água subterrânea numa escala de 0 a 1. Em seguida, avalia-se o tipo litológico do substrato acima da zona saturada do aquífero, com discriminação do grau de consolidação, características granulométricas e tipo de permeabilidade (por fissura ou poros), numa escala de 0,3 a 0,9. Logo após, avalia-se a profundidade de ocorrência do nível de água ou do topo do aquífero confinado numa escala de 0,3 a 1,0. O produto dos três parâmetros avaliados é o índice de vulnerabilidade, expresso em termos relativos numa escala de 0 a 1, que permite uma classificação em cinco classes compreendendo insignificante, baixa, média, alta e extrema (Figura 4.125).

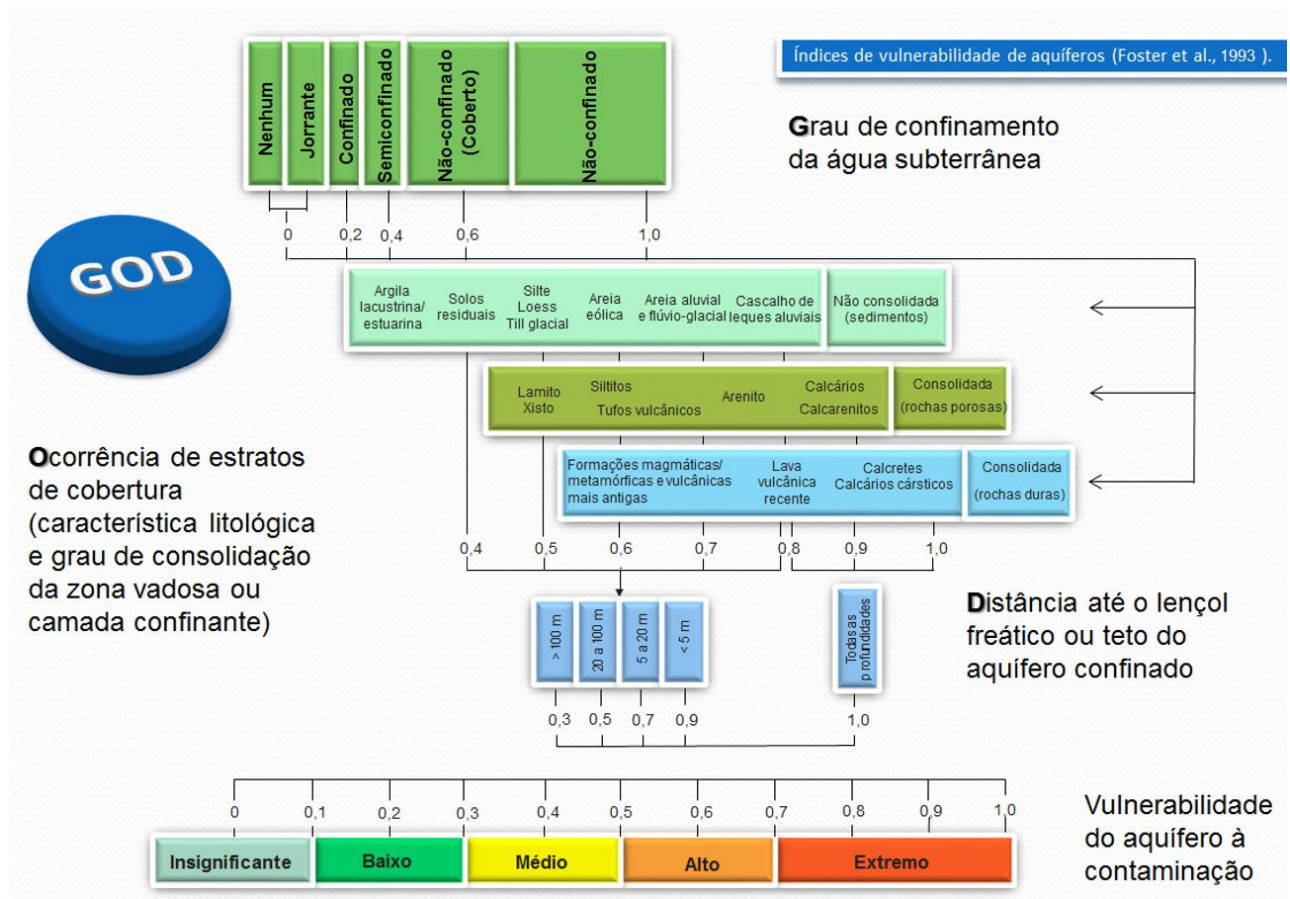


Figura 4.125 - Índices de vulnerabilidade de aquíferos (Foster et al., 1993).

A presença de camadas estratificadas com propriedades hidráulicas muito diferentes, como o caso de camadas menos permeáveis cobrindo aquíferos livres e dando origem a aquíferos suspensos ou cobertos não-confinados, ou ainda situações de semiconfinamento, podem dificultar a aplicação do método GOD, segundo Foster & Hirata (1993). Algumas recomendações a esse respeito podem ser consultadas no trabalho destes autores.

O primeiro parâmetro avaliado foi o modo de ocorrência da água subterrânea ou condição do aquífero, conforme indicado na Figura 4.125. Considerando que o estudo proposto deve avaliar a porção aflorante do SAG, este parâmetro foi generalizado e assumido com o índice de 0,9 para a condição de não-confinado, mesmo quando existia uma cobertura delgada de sedimentos terciários/quaternários arenosos, inconsolidados.

O segundo parâmetro avaliado foi o substrato litológico, representado pelas características das diferentes unidades litoestratigráficas componentes do SAG. Os valores atribuídos às unidades litoestratigráficas foram baseados em IG (1997). Para as unidades do SAG não distinguidas formalmente no trabalho de IG (1997), como no caso das formações Guará, Caturita e Grupo Santa Maria, foram atribuídos valores baseados em unidades com características geológicas similares, descritas no referido trabalho (Quadro 4.33).

O terceiro parâmetro de avaliação refere-se à profundidade de ocorrência do nível de água do aquífero livre, para o qual o método GOD estabelece quatro classes básicas (Figura 4.125). Para obter uma classificação da profundidade do nível de água estimado para a área aflorante

do SAG, foram inicialmente utilizados os Modelos Digitais de Terreno (MDT) e os mapas potenciométricos (carga hidráulica), elaborados anteriormente, conforme explanação no item 4.6.1.

**QUADRO 4.33 – ÍNDICES DO SUBSTRATO GEOLÓGICO CONSIDERADOS NO ESTUDO**

<i>Índices do substrato litológico para estimativa da vulnerabilidade pelo método GOD</i>		
<i>Unidades</i>	<i>Características litológicas</i>	<i>Índice</i>
Formações Cenozóicas	Depósitos sedimentares com idade cenozoica.	0,9
Botucatu	Depósitos de sistema eólico exibindo arenitos finos a médios, com estratificações cruzadas de grande porte.	0,80
Guará	Depósitos de sistema eólico úmido representados por arenitos finos com estratificação cruzada tangencial e plano-paralela.	0,70
Pirambóia	Depósitos de sistema eólico úmido associado a depósitos fluviais compostos de arenitos com estratificação cruzada a plano-paralela e intercalações de pelitos.	0,70
Caturrita	Depósitos fluviais associados a deltas lacustres, compostos por arenitos com intercalações de argilitos.	0,52
Santa Maria	Depósitos flúvio-lacustres com predomínio de sedimentos pelíticos.	0,30

Referência: IG. Instituto Geológico (1997).

Por meio do método de subtração de grids entre o *raster* do MDT e o *raster* do mapa potenciométrico, obteve-se um mapa preliminar de profundidade do nível de água (NA) do aquífero. Considerando que as profundidades do NA não podem ser menores do que zero, valores negativos foram transformados para zero. Em seguida, os rios e lagos existentes nas áreas aflorantes do SAG foram transformados também em *raster* com valores zero, uma vez que representam pontos de descarga das águas subterrâneas. Realizando uma operação de mosaico, juntou-se o *raster* de profundidade do NA com o *raster* dos rios e lagos. Em seguida, o *raster* resultante foi transformado em pontos cotados e feito nova gridagem com o aplicativo *topo to raster* do programa *ArcGis* para obtenção de mapa mais ajustado, representativo do mapa de profundidade do NA. Na continuação, o mapa de profundidade do NA foi reclassificado para as quatro classes estabelecidas pelo método GOD (Figura 4.125).

A análise pelo método GOD determina que o índice de vulnerabilidade final seja dado pelo produto simples da avaliação dos três parâmetros envolvidos, ou seja, condição do aquífero, substrato do aquífero e profundidade do nível de água. Os resultados são agrupados em cinco classes principais de vulnerabilidade, variando entre insignificante, baixa, média, alta e extrema (Figura 4.125). As operações executadas para estimativa da vulnerabilidade do SAG em sua porção aflorante foram realizadas por intermédio do programa *ArcGis* e os resultados foram expressos em formato *raster*.

O método GOD, assim como outros métodos que visam estabelecer classes de vulnerabilidade com vistas à proteção e preservação de recursos hídricos subterrâneos, incorpora índices e pesos bastante subjetivos, os quais influenciam substancialmente os resultados.

Normalmente, os índices litológicos do método GOD sugeridos nas publicações especializadas baseiam-se nas características gerais apresentadas pelas unidades litoestratigráficas formais. Os índices litológicos do método GOD são fundamentados exclusivamente numa classificação genética genérica, ao invés de uma classificação estabelecida com base na condutividade hidráulica do meio, que é a propriedade física essencial que controla o fluxo subterrâneo. O

grau de cimentação, o grau compactação e alterações pós-deposicionais modificam as características hidrodinâmicas, de sorte que sedimentos geneticamente equivalentes podem apresentar diferentes condutividades hidráulicas. Por outro lado, sedimentos geneticamente diferentes também podem apresentar condutividades semelhantes. Este fato demonstra o peso da avaliação subjetiva na determinação dos índices de vulnerabilidade associados às características litológicas, os quais podem ser manejados para consecução de objetivos específicos.

Outro aspecto que merece ser discutido refere-se às variações litológicas existentes em subsuperfície, as quais somente podem ser identificadas com base em conhecimento geológico adequado. Uma avaliação mais geral pode constatar sedimentos de elevada condutividade expostos à superfície, ao passo que a poucos metros de profundidade podem ocorrer sedimentos de baixa condutividade hidráulica ou mesmo impermeáveis. Neste caso, uma avaliação com base somente nos sedimentos aflorantes não representa a realidade.

O método GOD também estabelece, de antemão, que quanto maior a distância da superfície do terreno até o lençol subterrâneo, maior a proteção do aquífero, fato que sob a ótica do tempo de trânsito de percolação descendente de um contaminante, em meio não saturado, está correto. Assim, são estabelecidas áreas de maior ou de menor vulnerabilidade, influenciadas respectivamente pelos níveis de água profundos ou rasos. Nas áreas de níveis mais profundos de águas subterrâneas admite-se menor vulnerabilidade dos aquíferos, o que pode incentivar a ocupação por empreendimentos potencialmente mais poluentes e o relaxamento na fiscalização dos impactos ambientais por parte dos órgãos gestores. A lenta percolação de contaminantes nestas áreas pode ocasionar, em longo prazo, uma contaminação generalizada do aquífero e de difícil remediação, ao contrário daquelas áreas onde o nível de água subterrânea encontra-se próximo da superfície e da zona de descarga.

Os mapas de vulnerabilidade, segundo os conceitos utilizados em Foster *et al.* (1993), tem o objetivo de distinguir áreas naturais segundo o critério do tempo de residência de um contaminante na zona não saturada, que por sua vez determinará a demora com que o contaminante atingirá o aquífero, nada mais além disto. Ou seja, uma contaminação persistente vai alcançar o aquífero num determinado momento, independentemente se a área está classificada como de baixa ou alta vulnerabilidade. Portanto, a instalação de empreendimentos com potencial poluidor, em qualquer região, deve atender normas e procedimentos definidos pelos órgãos ambientais gestores.

Na avaliação da vulnerabilidade, foram englobadas no SAG coberturas sedimentares delgadas ou aluviões sobrejacentes ao aquífero, razão pela qual estas áreas são maiores do que as áreas de afloramento mapeadas.

#### **4.7.2 Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado do Rio Grande do Sul**

O mapa de vulnerabilidade estimada do SAG no Estado do Rio Grande do Sul, na escala 1:250.000, com base no método GOD, determinou somente quatro classes de vulnerabilidade

variando entre baixa, média, alta e extrema (Figura 4.126). A distribuição percentual dessas classes é mostrada no Quadro 4.34.

**QUADRO 4.34 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE VULNERABILIDADE NATURAL DO SAG NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

<i>Vulnerabilidade GOD</i>			
<i>Estado</i>	<i>Classes</i>	<i>Área (km<sup>2</sup>)</i>	<i>% do total</i>
RS	Insignificante	0	0%
	Baixa	2.868	16,6%
	Média	8.015	46,3%
	Alta	4.957	28,6%
	Extrema	1.475	8,5%

A heterogeneidade litológica das diversas unidades componentes do SAG, neste estado, representou um fator preponderante para o estabelecimento de área relativamente grande (16,6%), classificada como de baixa vulnerabilidade, comparativamente com os resultados observados nos demais estados analisados. A análise do mapa de vulnerabilidade do Rio Grande do Sul mostra claramente a distribuição desta classe principalmente nas áreas de ocorrência da Formação Santa Maria, composta por depósitos flúvio-lacustres com predomínio de sedimentos pelíticos.

A classe de vulnerabilidade média (46,3%) predomina no Rio Grande do Sul, seguida da classe de vulnerabilidade alta (28,6%). A classe de vulnerabilidade extrema representa pequena parcela (8,5%) que está associada aos cursos de água superficiais.

#### **4.7.3 Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado de Santa Catarina**

O mapa de vulnerabilidade estimada do SAG no Estado de Santa Catarina, na escala 1:250.000, com base no método GOD, também determinou somente quatro classes de vulnerabilidade variando entre baixa, média, alta e extrema (Figura 4.127). A distribuição percentual dessas classes é mostrada no Quadro 4.35.

**QUADRO 4.35 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE VULNERABILIDADE NATURAL DO SAG NO ESTADO DE SANTA CATARINA**

<i>Vulnerabilidade GOD</i>			
<i>Estado</i>	<i>Classes</i>	<i>Área (km<sup>2</sup>)</i>	<i>% do total</i>
SC	Insignificante	0	0%
	Baixa	20	1,3%
	Média	1.132	74,9%
	Alta	274	18,1%
	Extrema	86	5,7%

No Estado de Santa Catarina predomina absolutamente a classe de vulnerabilidade média (74,9%), seguida da classe de vulnerabilidade alta (18,1%). A classe de vulnerabilidade extrema ocorre em apenas 5,7% da área e a classe de vulnerabilidade baixa é praticamente desprezível (1,3%).

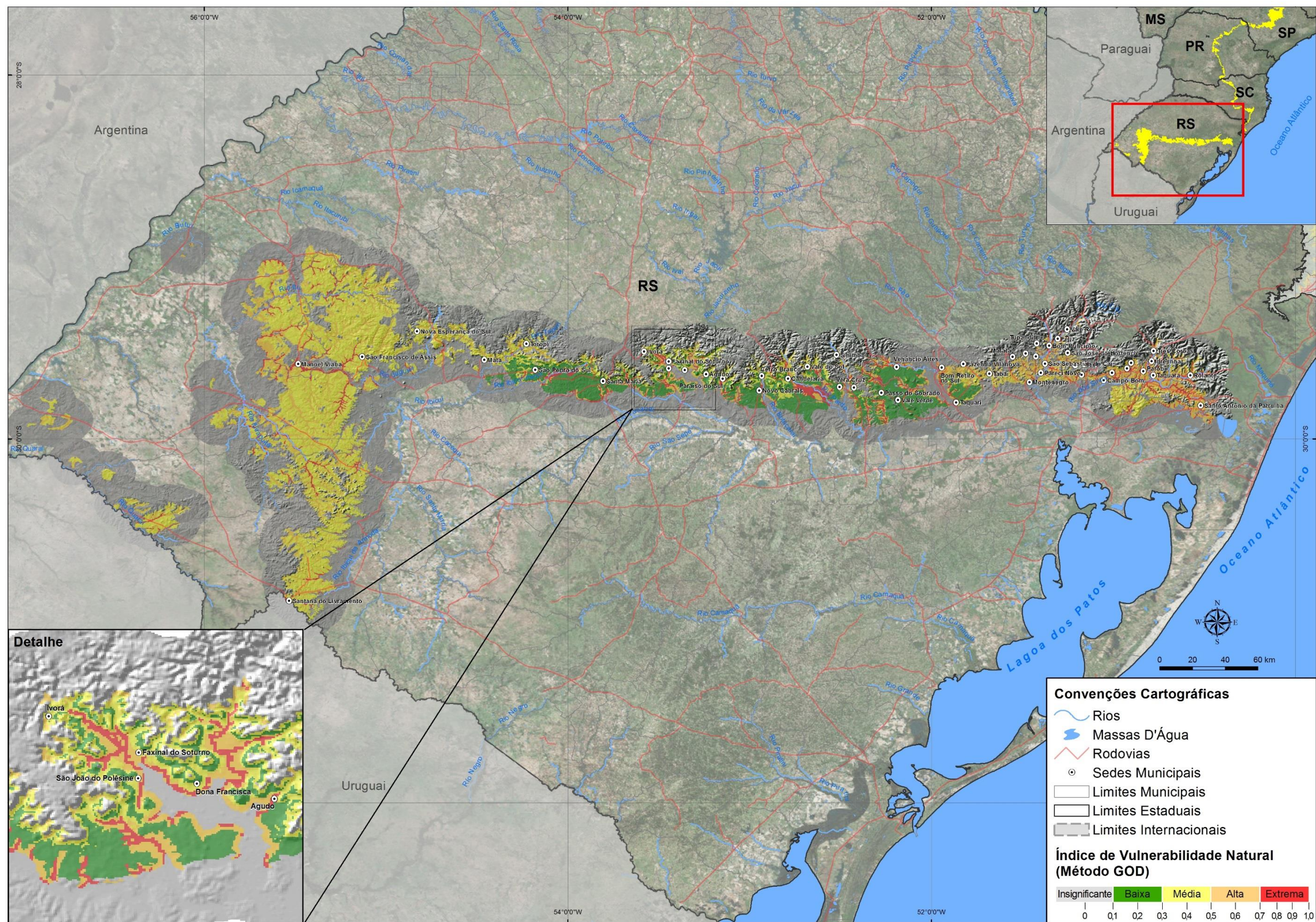


Figura 4.126 - Mapa de vulnerabilidade natural do SAG aflorante no Estado do Rio Grande do Sul.



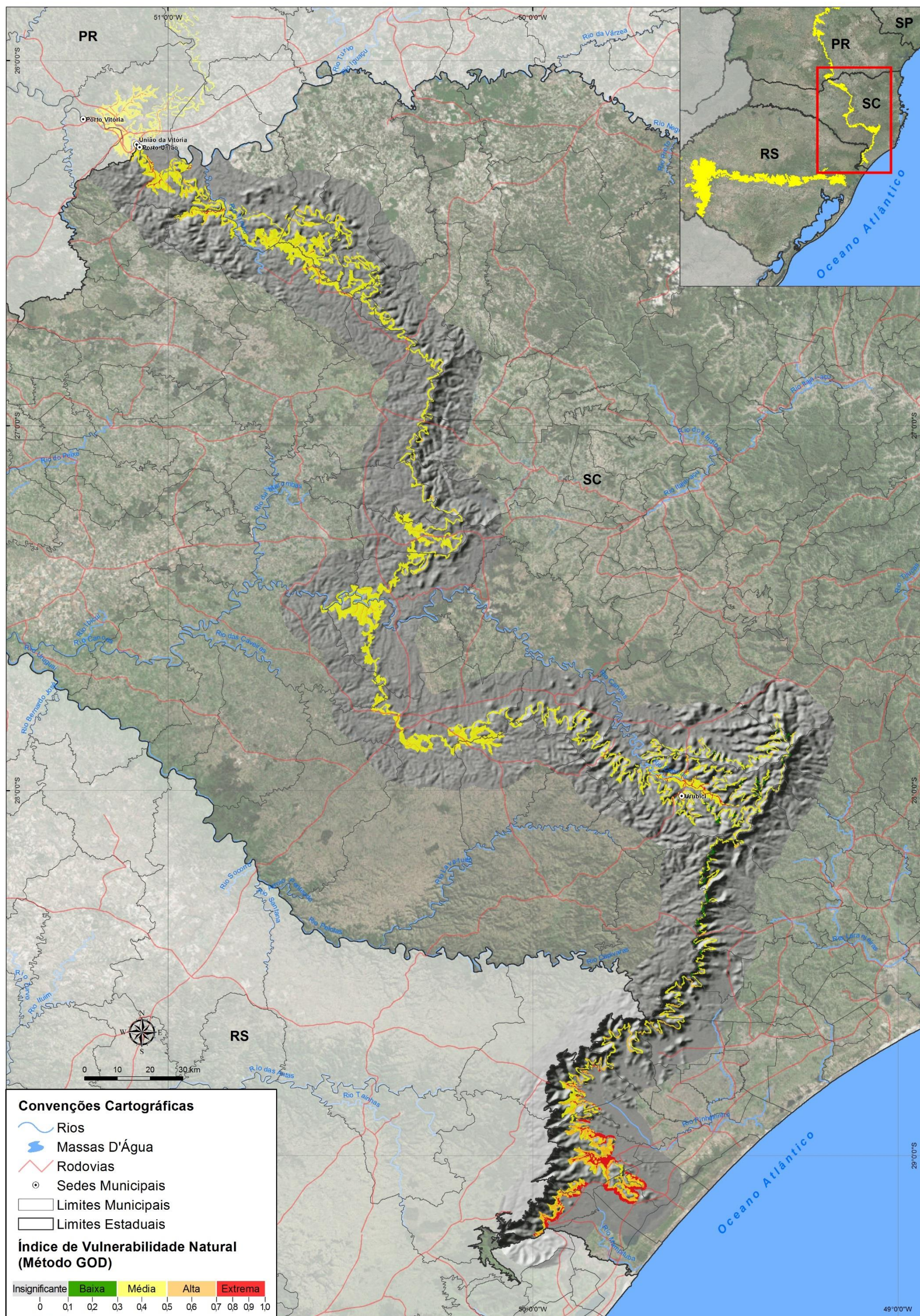


Figura 4.127 - Mapa de vulnerabilidade natural do SAG aflorante no Estado de Santa Catarina.

#### 4.7.4 Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado do Paraná

O mapa de vulnerabilidade estimada do SAG no Estado do Paraná, na escala 1:250.000, com base no método GOD, também determinou apenas três classes de vulnerabilidade variando entre média, alta e extrema (Figura 4.128). A distribuição percentual dessas classes é mostrada no Quadro 4.36.

**QUADRO 4.36 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE VULNERABILIDADE NATURAL DO SAG NO ESTADO DO PARANÁ**

<i>Vulnerabilidade GOD</i>			
<i>Estado</i>	<i>Classes</i>	<i>Área (km<sup>2</sup>)</i>	<i>% do total</i>
PR	Insignificante	0	0%
	Baixa	12	0,8%
	Média	1.011	68,6%
	Alta	420	28,5%
	Extrema	31	2,1%

O comportamento da distribuição das classes de vulnerabilidade do SAG aflorante no Estado do Paraná é bastante similar ao observado no Estado de Santa Catarina. Predomina de modo absoluto a classe de vulnerabilidade média (68,6%), seguida pela classe de vulnerabilidade alta (28,5%), enquanto que a classe extrema comparece com apenas 2,1%.

#### 4.7.5 Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado de Minas Gerais

O mapa de vulnerabilidade estimada do SAG no Estado de Minas Gerais, na escala 1:250.000, com base no método GOD, determinou somente três classes de vulnerabilidade variando entre média, alta e extrema (Figura 4.129). A distribuição percentual dessas classes é mostrada no Quadro 4.37.

**QUADRO 4.37 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE VULNERABILIDADE NATURAL DO SAG NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

<i>Vulnerabilidade GOD</i>			
<i>Estado</i>	<i>Classes</i>	<i>Área (km<sup>2</sup>)</i>	<i>% do total</i>
MG	Insignificante	0	0,0%
	Baixa	0	0,0%
	Média	620	89,0%
	Alta	68	9,8%
	Extrema	8	1,2%

Em Minas Gerais, a classe de vulnerabilidade média é dominante com 89% da área total de afloramentos do SAG. A classe de vulnerabilidade alta vem em seguida com 9,8% e a classe de vulnerabilidade extrema é desprezível (1,2%).

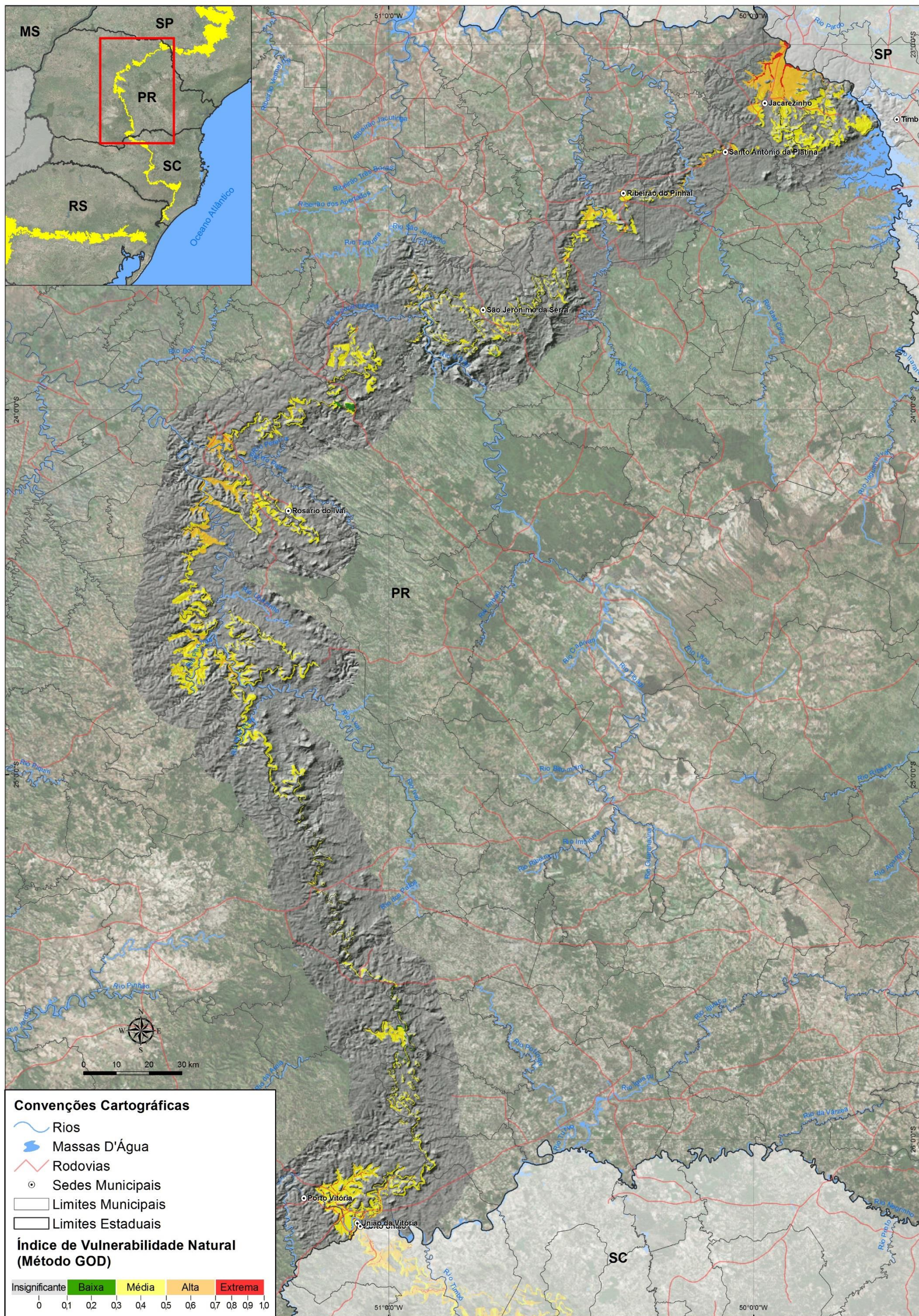


Figura 4.128 - Mapa de vulnerabilidade natural do SAG aflorante no Estado do Paraná.

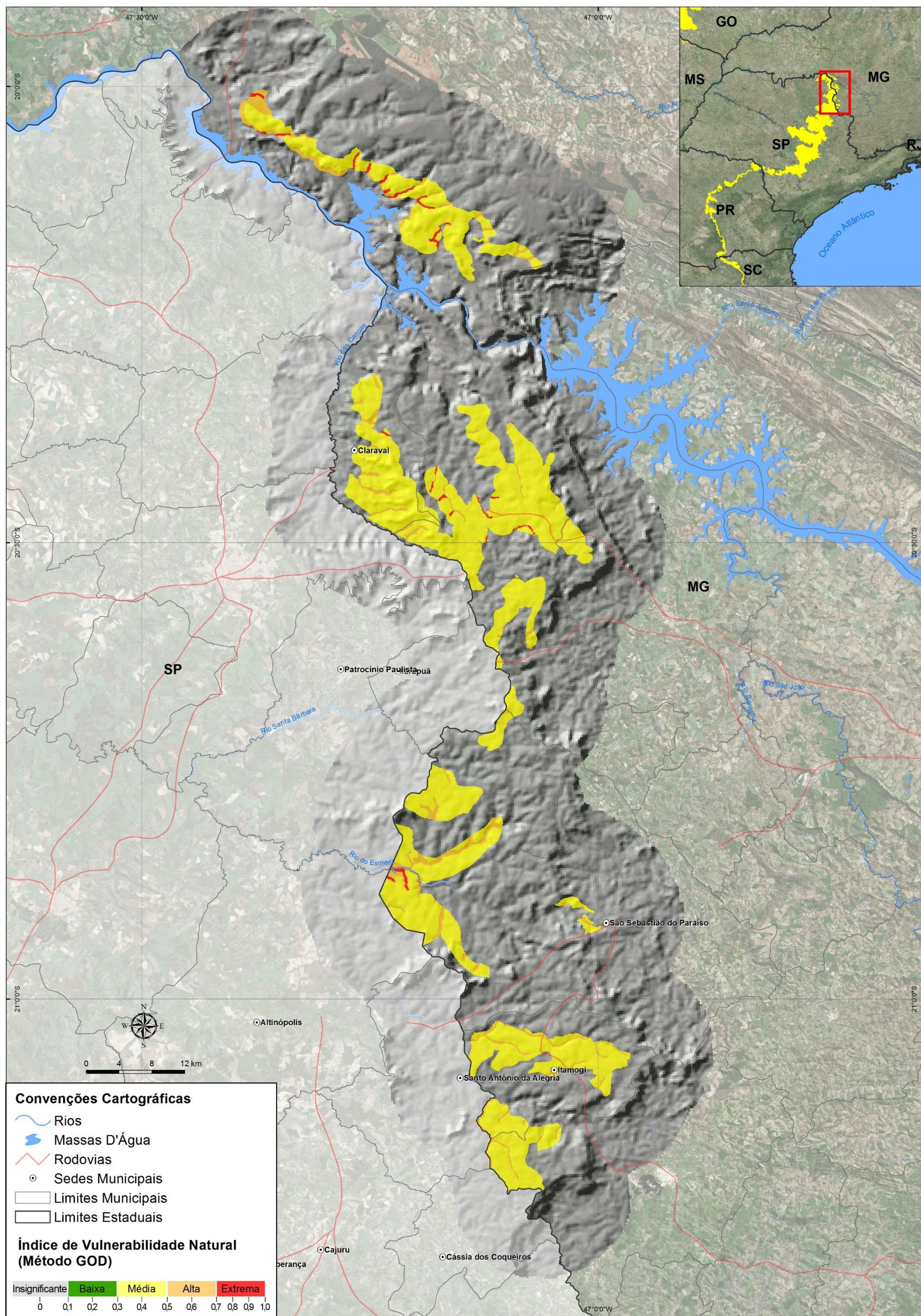


Figura 4.129 - Mapa de vulnerabilidade natural do SAG aflorante no Estado de Minas Gerais.

#### 4.7.6 *Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado do Mato Grosso do Sul*

O mapa de vulnerabilidade estimada do SAG no Estado do Mato Grosso do Sul, na escala 1:250.000, com base no método GOD, determinou somente três classes de vulnerabilidade variando entre média, alta e extrema (Figura 4.130). A distribuição percentual dessas classes é mostrada no Quadro 4.38.

**QUADRO 4.38 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE VULNERABILIDADE NATURAL DO SAG NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL**

<i>Vulnerabilidade GOD</i>			
<i>Estado</i>	<i>Classes</i>	<i>Área (km<sup>2</sup>)</i>	<i>% do total</i>
MS	Insignificante	0	0%
	Baixa	8	0,04%
	Média	10.446	55,4%
	Alta	5.739	30,4%
	Extrema	2.675	14,16%

Neste estado, a classe de vulnerabilidade média é predominante, com 55,4% do total da área de afloramentos do SAG no Mato Grosso do Sul. A classe de vulnerabilidade alta comparece em seguida com apenas 30,4% e a classe de vulnerabilidade extrema é insignificante (14,16%).

#### 4.7.7 *Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado do Mato Grosso*

O mapa de vulnerabilidade estimada do SAG no Estado do Mato Grosso, na escala 1:250.000, com base no método GOD, repetiu a tendência registrada nos demais estados do compartimento noroeste, com a determinação de apenas três classes de vulnerabilidade variando entre média, alta e extrema (Figura 4.131). A distribuição percentual dessas classes é mostrada no Quadro 4.39.

**QUADRO 4.39 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE VULNERABILIDADE NATURAL DO SAG NO ESTADO DE MATO GROSSO**

<i>Vulnerabilidade GOD</i>			
<i>Estado</i>	<i>Classes</i>	<i>Área (km<sup>2</sup>)</i>	<i>% do total</i>
MT	Insignificante	0	0%
	Baixa	14	0,2%
	Média	3.752	58,2%
	Alta	1.807	28,0%
	Extrema	871	13,6%

A classe de vulnerabilidade média predomina pela área do Estado de Mato Grosso (58,2%), seguida da classe de vulnerabilidade alta com apenas 28%, enquanto a classe de vulnerabilidade extrema ocupa 13,6% da área estadual.

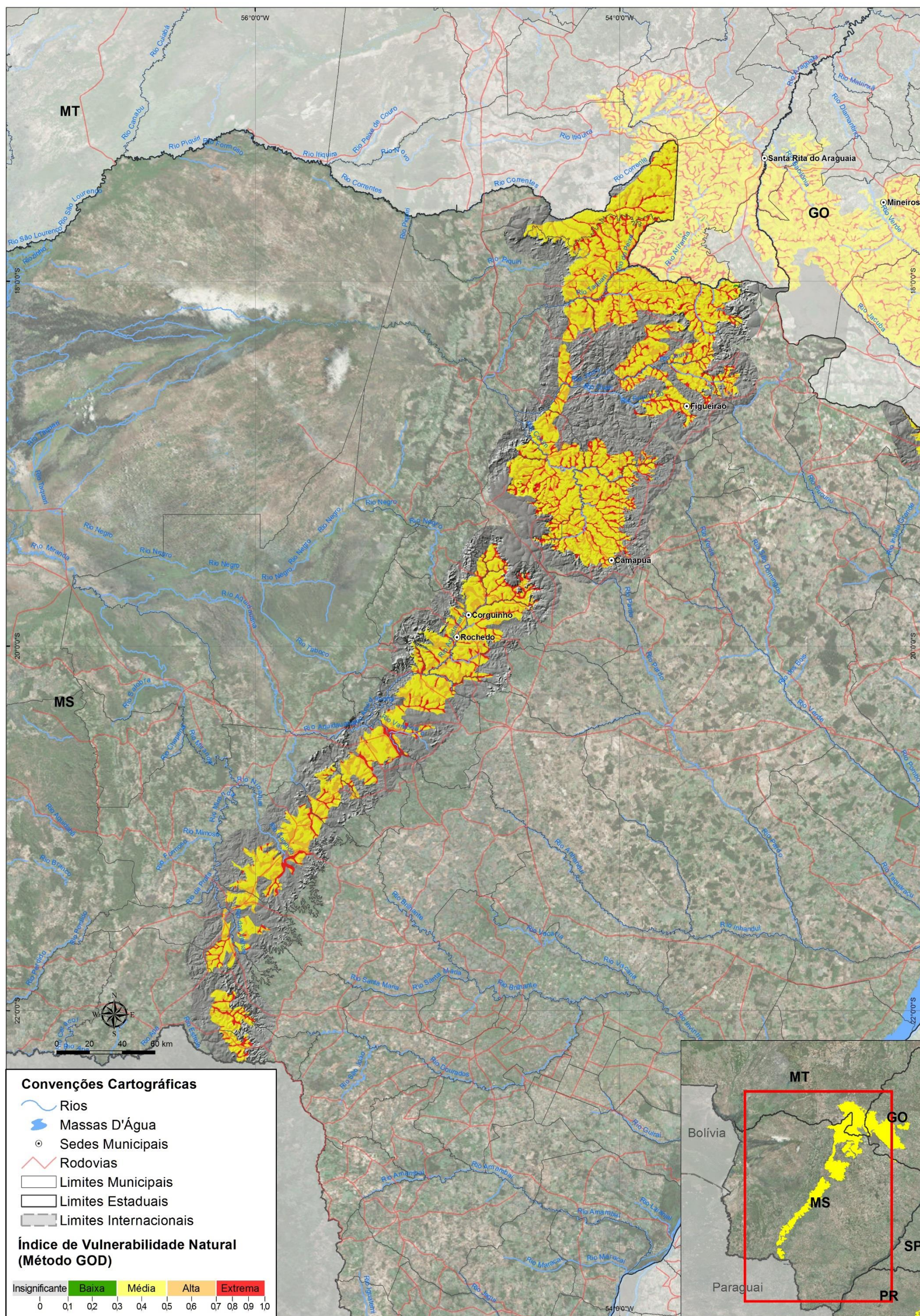


Figura 4.130 - Mapa de vulnerabilidade natural do SAG aflorante no Estado do Mato Grosso do Sul.

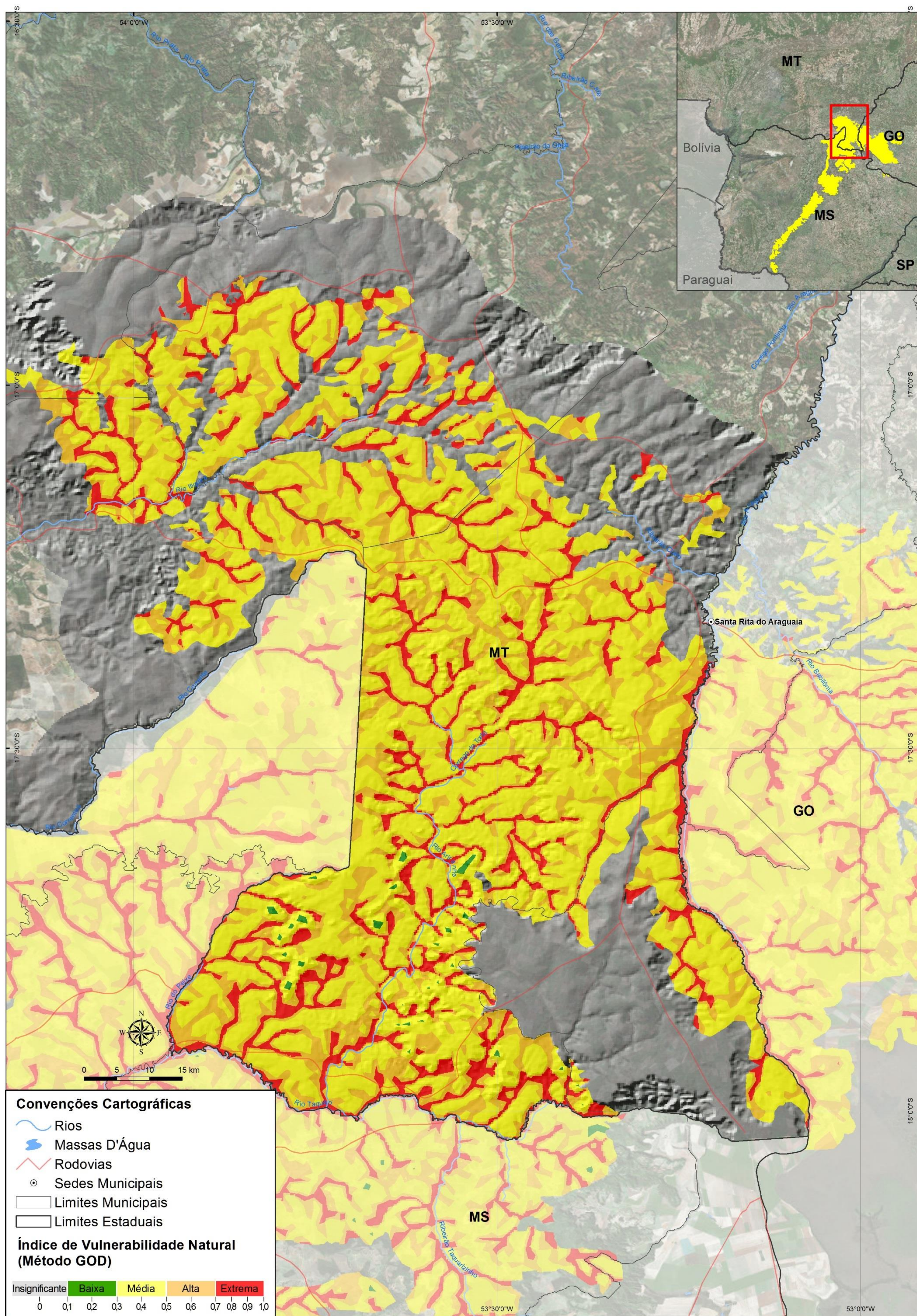


Figura 4.131 - Mapa de vulnerabilidade natural do SAG aflorante no Estado do Mato Grosso.

#### 4.7.8 Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante do Estado de Goiás

O mapa de vulnerabilidade estimada do SAG no Estado de Goiás, na escala 1:250.000, com base no método GOD, também determinou somente três classes de vulnerabilidade variando entre média, alta e extrema (Figura 4.132). A distribuição percentual dessas classes é mostrada no Quadro 4.40.

**QUADRO 4.40 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE VULNERABILIDADE NATURAL DO SAG NO ESTADO DE GOIÁS**

<i>Vulnerabilidade GOD</i>			
<i>Estado</i>	<i>Classes</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>% do total</i>
GO	Insignificante	0	0,0%
	Baixa	0	0,0%
	Média	6.083	61,8%
	Alta	2.556	26,0%
	Extrema	1.200	12,2%

De modo similar ao constatado no Estado de Mato Grosso do Sul, a classe de vulnerabilidade média preponderou com 61,8%, seguida da classe de vulnerabilidade alta com 26%. A classe de vulnerabilidade extrema soma 12,2%.



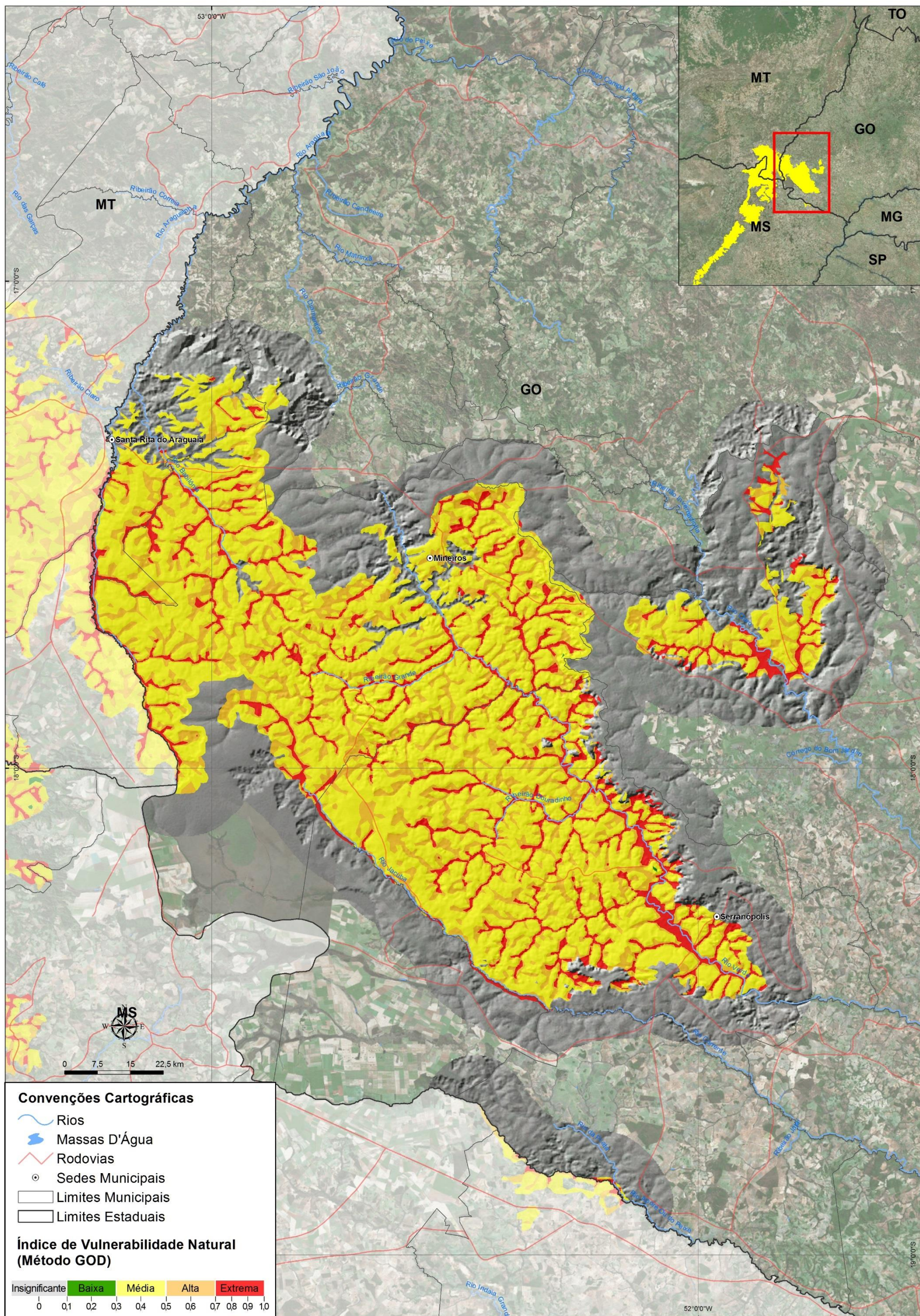


Figura 4.132 - Mapa de vulnerabilidade natural do SAG aflorante no Estado Goiás.

#### 4.8 MAPEAMENTO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO

O conceito de contaminação de aquíferos utilizado neste trabalho é o mesmo proposto por Foster *et al.* (2006), que considera degradação da água subterrânea quando parâmetros hidroquímicos de referência estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para a qualidade da água potável excedem os limites permitidos.

A contaminação das águas subterrâneas é mais preocupante no caso de aquíferos livres, com nível de água pouco profundo, dada a maior susceptibilidade à poluição ambiental, não desmerecendo aquíferos semiconfinados e confinados que, embora mais protegidos, também podem ser contaminados em longo prazo. A persistência de processos poluentes pode, ainda que lentamente, conduzir contaminantes desde a superfície do terreno até alcançar o nível da água subterrânea. E uma vez que as velocidades percolação e de fluxo das águas subterrâneas são muito lentas, a reabilitação de aquíferos é um processo demoraadamente moroso e dispendioso. Neste sentido vale o lema: melhor prevenir do que remediar.

Foster & Hirata (1993) destacam que, entre os constituintes inorgânicos, o nitrato é o elemento mais problemático nas águas subterrâneas devido à sua mobilidade em subsuperfície e ampla distribuição. Outros constituintes, como o cloreto, sulfato, sódio, ferro e manganês são bastante frequentes nas águas subterrâneas e, muitas vezes, podem estar associados a causas naturais. Metais pesados, incluindo cádmio, cromo, estanho e mercúrio são imobilizados por precipitação e outros processos químicos na maioria dos aquíferos, mas frente a Eh e pH muito baixos estes elementos podem mobilizar-se.

Estes autores citam que entre os constituintes inorgânicos encontram-se substâncias halogenadas dos grupos alifático (não contêm nenhum anel benzênico) e aromático (contêm pelo menos um anel benzênico), moderadamente solúveis em água, relativamente móveis e persistentes em subsuperfície, que graças ao uso expressivo na indústria como solvente, desinfetante etc., e às baixas concentrações permitidas na legislação de potabilidade, merecem atenção.

Quanto aos pesticidas, Foster & Hirata (1993) observam que a maioria dos citados pela OMS (Organização Mundial da Saúde) são fortemente sorvidos pelo solo e pouco prováveis de causar contaminação das águas subterrâneas. Para Foster *et al.* (2006), devido à dificuldade de fazer estimativas precisas das perdas por lixiviação, a classificação do solo agrícola em termos de seu potencial de gerar carga contaminante no subsolo deve começar com o mapeamento da distribuição dos cultivos mais importantes, juntamente com o inventário de suas aplicações de fertilizante e agrotóxicos. Com esses dados, geralmente é possível classificar a área de solo cultivado com base na probabilidade de que a atividade agrícola venha potencialmente a gerar no subsolo uma carga contaminante reduzida, moderada ou elevada.

Em sua conceituação, a expressão “perigo de contaminação de aquífero” designa a probabilidade de que a água subterrânea venha a apresentar concentrações de contaminantes superiores aos valores estabelecidos pela OMS para a qualidade da água potável (Foster *et al.*, 2006).

O perigo de contaminação é determinado pela interação entre a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação e a carga contaminante que é, será ou pode ser aplicada no meio como resultado da atividade humana (Foster *et al.*, 2006). Segundo os autores, pode-se ter alta vulnerabilidade, mas nenhum perigo de poluição por causa da ausência de carga contaminante significativa, e vice-versa. Além disso, a carga contaminante pode ser controlada ou modificada, mas a vulnerabilidade do aquífero é essencialmente determinada pelo contexto hidrogeológico natural. Reforçam os autores que o perigo resultará ou não em uma ameaça à qualidade da água subterrânea num determinado manancial para abastecimento público, dependendo primeiramente de sua zona de captura e, em segundo lugar, da mobilidade, persistência e dispersão dos contaminantes dentro do regime de fluxo do aquífero.

#### **4.8.1 Método para Elaboração do Mapa de Classificação de Fontes Pontuais de Contaminação do SAG**

Fontes pontuais de contaminação estão associadas a empreendimentos industriais e comerciais, geralmente instalados nas áreas urbanas dos municípios, e ao esgotamento sanitário *in situ* (fossas sépticas). As plumas de contaminação derivadas de fontes pontuais são mais concentradas e claramente definidas, o que facilita sua identificação e, em alguns casos, seu controle. Quando as fontes pontuais são múltiplas, acabam representando, no final, uma fonte basicamente difusa no que diz respeito à identificação e ao controle (Foster *et al.*, 2006).

A caracterização da carga poluente no subsolo é difícil de ser estimada, segundo SMA (1997), em razão de:

- ✓ Tipo ou classe de poluente definida quanto a tendência à degradação pela atividade biológica ou química, e ao retardamento devido ao processo de troca iônica, sorção e outros;
- ✓ Intensidade do evento poluidor em termos de concentração;
- ✓ Modo de disposição no solo ou subsolo do poluente em relação à carga hidráulica associada e profundidade de descarga do efluente, de lixiviação de resíduos sólidos ou produtos aplicados no solo;
- ✓ Duração do evento poluidor.

Normalmente estas características são pouco conhecidas e a alternativa para estimar a carga poluente é feita com base nas atividades potencialmente geradoras, conforme mostrado, por exemplo, no Quadro 4.41, para diferentes tipologias definidas pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo).

**QUADRO 4.41 - FONTES PONTUAIS COM POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO E DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (MANUAL DE GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS – CETESB)**

<i>Tipologia</i>	<i>Atividades</i>	<i>Principais contaminantes</i>
Petróleo, Gás Natural, Carvão Mineral.	Extração de petróleo cru, gás natural, xisto, carvão, areias betuminosas, linhito, turfa, antracito, hulha.	Hidrocarbonetos, fenóis, ácidos e bases
Refino de Petróleo, Coque, Combustíveis Nucleares e Alcool.	Fabricação de: produtos do refino do petróleo (butano, GLP, metano, propano, gasolina, nafta, gás natural, querosene comum e de aviação); óleos (diesel, combustível, gasóleo); produtos aromáticos; ceras minerais; parafina; hexano vaselina; aguarrás; lubrificantes; asfalto; coque e alcatrão de petróleo; alcatrão e gás de hulha; álcool anidro e hidratado; combustíveis nucleares (urânio e tório).	Hidrocarbonetos, fenóis, ácidos e bases, potássio, nitrato, sulfato, vanádio, antimônio, bário, berílio, tálio, mercúrio, selênio, resíduos radioativos, hidrocarbonetos policíclicos-PAH
Produtos Minerais Não Metálicos	Fabricação de canos, manilhas, ladrilhos, azulejos, tubos, conexões, mosaicos, pastilhas, artefatos de cré, material sanitário, porcelana, faiança e misturas betuminosas	Chumbo, cobre, cromo, níquel, cádmio, antimônio, bário, alumínio, tálio, silicatos.
Material Refratário	Fabricação de materiais aluminosos, silicosos, sílico-aluminosos, grafíticos, pós-exotérmicos e refratários	Chumbo, cobre, cromo, níquel, silicatos, alumínio.
Metalurgia Básica	Produção de ferro e aço; fundidos, laminados, forjados, soldas e ânodos; metalurgia de metais preciosos; galvanica (tempera, cementação, cromação, zincagem, niquelação, anodização estanhagem e douração)	Ferro, cádmio, chumbo, cobre, cromo, bário níquel, antimônio, cianetos, asbestos, bifenilas policloradas-PCB, solventes, hidrocarbonetos, tintas, óleos e graxas
Máquinas e Equipamentos	Fabricação de máquinas, equipamentos e acessórios em geral	Ferro, alumínio, chumbo, cobre, cromo, cádmio, níquel, vanádio, antimônio, tungstênio, cianetos, hidrocarbonetos, óleos e graxas, solventes.
Material Elétrico e Eletrônico	Fabricação de: materiais equipamentos e acessórios para produção, transmissão e distribuição de energia elétrica de alta e baixa tensão; pilhas, baterias e lâmpadas	Ácidos, bases, fenóis, hidrocarbonetos, chumbo, cobre, cromo, níquel, cádmio, mercúrio, antimônio, bário, óleos e graxas
Equipamentos de Transporte	Fabricação e montagem de veículos (rodoviários e ferroviários), reboques, carrocerias, máquinas, motores e turbinas; construção e reparação de embarcações e aeronaves, incluindo peças e acessórios	Ferro, cádmio, chumbo, cobre, cromo, berílio, níquel, cianetos, hidrocarbonetos, tintas e solventes
Produtos de Madeira	Peças e artefatos de madeira com tratamento a base de produtos químicos, preservação e imunização da madeira	Hidrocarbonetos, chumbo, cobre, cromo compostos organoclorados,
Celulose e Papel	Fabricação de : celulose, pasta mecânica, polpa de madeira, papel, papelão e cartolina	Óleos e graxas, ácidos, bases; bário, alumínio, chumbo, cádmio, cromo, sulfetos, cloretos
Borracha	Beneficiamento de borracha natural e produção de borracha sintética	Selênio, hidrocarbonetos, cianetos
Couros e Peles	Preparação de Couros e Fabricação de Artefatos de Couro, Artigos de Viagem e Calçados; secagem, salga, curtimento e outras preparações de couros e peles, inclusive subprodutos	Cromo, níquel, cádmio, bário, cianeto, fluoretos, ácidos, óleos e graxas, sódio, corantes
Química	Fabricação de produtos químicos, petroquímicos e agroquímicos	Ácidos, bases, metais, solventes, fenóis, cianetos
Farmacêutica e Veterinária	Fabricação de medicamentos	Ácidos, bases, metais, solventes, fenóis, cianetos
Perfumaria	Fabricação de produtos de perfumaria e cosméticos	Óleos e graxas, glicerina, chumbo zinco
Sabões e Detergentes	Fabricação de sabões, detergentes e domossanitários	Fluoretos, surfactantes
Utilidade Pública e Tratamento de Efluentes e Resíduos	Aterros Sanitários, aterros industriais, estações de tratamento de esgotos, cemitérios, incineradores; estação de tratamento de águas residuárias industriais; recuperação de tambores e bombonas; unidades de reciclagem de resíduos; produção e distribuição de Eletricidade e Gás	Ácidos, bases, metais, solventes, fenóis, cianetos
Serviços	Lavanderias a seco, oficinas mecânicas, garagens de veículos de transporte coletivo, transportadoras, postos de abastecimento de combustível	Amônia, solventes, hidrocarbonetos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - PAH,
Têxtil	Beneficiamento e acabamento de fios e tecidos	Chumbo, cobre, cromo, cianetos, hidrocarbonetos, corantes
Gráfica	Serviços de impressão em geral, excetuando serviços de computação gráfica e utilização de meios digitais	Chumbo, cádmio, cromo, solventes
Alimentícia	Abatedouros, matadouros, frigoríficos	Sódio
Combustíveis e Produtos Químicos	Bases de distribuição de produtos químicos e combustíveis	Hidrocarbonetos, fenol, óleos e graxas, etanol e metanol, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - PAH

Mesmo com as dificuldades de se caracterizar a carga poluidora, pode-se estabelecer uma gradação em termos de periculosidade a partir das informações sobre os tipos de poluentes envolvidos nas diversas atividades (SMA, 1997).

Dentre todos os cadastros de fontes potenciais pontuais de contaminação levantados neste estudo, o Cadastro Técnico Federal (CTF) de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais do IBAMA mostrou-se o mais indicado para elaboração do mapa de classificação de fontes de contaminação pontuais.

O CTF é o mais completo e abrangente em razão de possuir representatividade adequada em todos os estados, atividades enquadradas em grupos e critérios já estabelecidos de estimativa do grau de risco, conforme discutido no item 4.4.1.

Aplicando-se o método POSH (*Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically*), adotado neste estudo para classificação das fontes potenciais pontuais de contaminação em função do impacto da atividade econômica exercida, às mesmas atividades identificadas no CTF do IBAMA e distinguindo-as com os índices similares que variam entre reduzido, moderado e elevado, tem-se o resultado apresentado no Quadro 4.42.

**QUADRO 4.42 – CLASSIFICAÇÃO COMPARATIVA DE ATIVIDADES POTENCIALMENTE POLUIDORAS OU UTILIZADORAS DE RECURSOS NATURAIS**

Código	Classificação	IBAMA	POSH
		Grau	Grau
1	Extração e Tratamento de Minerais	Alto	Elevado
2	Indústria de Produtos Minerais Não Metálicos	Médio	Moderado
3	Indústria Metalúrgica	Alto	Elevado
4	Indústria Mecânica	Médio	Elevado
5	Indústria de Material Elétrico, Eletrônico e Comunicações	Médio	Elevado
6	Indústria de Material de Transporte	Médio	Reduzido
7	Indústria de Madeira	Médio	Reduzido
8	Indústria de Papel e Celulose	Alto	Moderado
9	Indústria de Borracha	Pequeno	Moderado
10	Indústria de Couros e Peles	Alto	Moderado
11	Indústria Têxtil, de Vestuário, Calçados e Artefatos de Tecidos	Médio	Moderado
15	Indústria Química	Alto	Elevado
16	Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Médio	Reduzido
17	Serviços de Utilidade	Médio	Moderado
18	Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Alto	Moderado
98	Veículos Automotores - Pneus - Pilhas e Baterias	Médio	Elevado

As atividades industriais, de comércio e de serviços com potencial para geração de carga contaminante pontual estão preferencialmente concentradas nas áreas urbanizadas dos municípios, principalmente em distritos compreendidos pelas sedes municipais. Estas fontes estão associadas somente aos municípios de origem no cadastro do IBAMA, não possuindo coordenadas de localização. Como sua distribuição é desconhecida, o critério utilizado para representação em mapa foi a vinculação das classes de risco de contaminação resultantes aos elementos geográficos correspondentes às áreas dos municípios seccionadas pelos afloramentos do SAG.

A análise de risco das fontes potenciais pontuais obedeceu aos mesmos critérios utilizados em SMA (2010), para o Diagnóstico Ambiental para a Proteção da Área de Afloramento do SAG no Estado de São Paulo, ou seja, as atividades classificadas como de elevado potencial foram ponderadas pelo peso 1, as atividades moderadas pelo peso 0,5, e as atividades classificadas como de risco reduzido foram desprezadas. Os resultados dessa ponderação foram somados e os valores foram atribuídos aos municípios correspondentes. A classificação quanto ao

potencial de contaminação das fontes pontuais estabeleceu três classes variando entre reduzido, moderado e elevado, de acordo com o Quadro 4.43.

**QUADRO 4.43 – CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR FONTES PONTUAIS (SMA, 2010)**

<i>Classificação do potencial de contaminação de fontes pontuais</i>		
<i>Reduzido</i>	<i>Moderado</i>	<i>Elevado</i>
Valor de 0 a 20	Valor de 20 a 100	Valor maior que 100

Deve-se ressaltar que a distribuição em área das classes mostradas nos mapas de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais de contaminação é apenas uma representação, com base nos limites municipais, do potencial de contaminação associado exclusivamente às áreas urbanizadas e distritos industriais que poderão ou não estar localizadas sobre as áreas de afloramento do SAG identificadas no mapeamento geológico apresentado no item 4.1 deste tomo. Em nenhuma hipótese o leitor deverá extrapolar esta avaliação para o município como um todo.

#### **4.8.2 *Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado do Rio Grande do Sul***

No Estado do Rio Grande do Sul existem 99 municípios seccionados por áreas de exposição do SAG. Destes, 42 possuem sede administrativa situada até 2 km de distância da zona de afloramentos. Utilizando os critérios de classificação propostos em SMA (2010), 69 municípios foram enquadrados na classe de potencial de contaminação “reduzido”, 20 na classe “moderado” e 10 na classe “elevado”, conforme mostrado no mapa da Figura 4.133. Os municípios de Santa Maria e da porção oriental do Rio Grande do Sul, como Novo Hamburgo, Gravataí e Sapiranga, foram classificados como de potencial elevado de contaminação.

#### **4.8.3 *Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado de Santa Catarina***

No Estado de Santa Catarina, 41 municípios são cortados por áreas de afloramento do SAG, dentre os quais apenas 7 deles possuem sede administrativa situada até 2 km de distância da zona de afloramentos. Segundo os critérios de classificação propostos em SMA (2010), 33 municípios foram enquadrados na classe de potencial de contaminação “reduzido”, 7 na classe “moderado” e apenas 1 na classe “elevado”, conforme mostrado no mapa da Figura 4.134. Timbó Grande é o município com potencial de contaminação elevado.

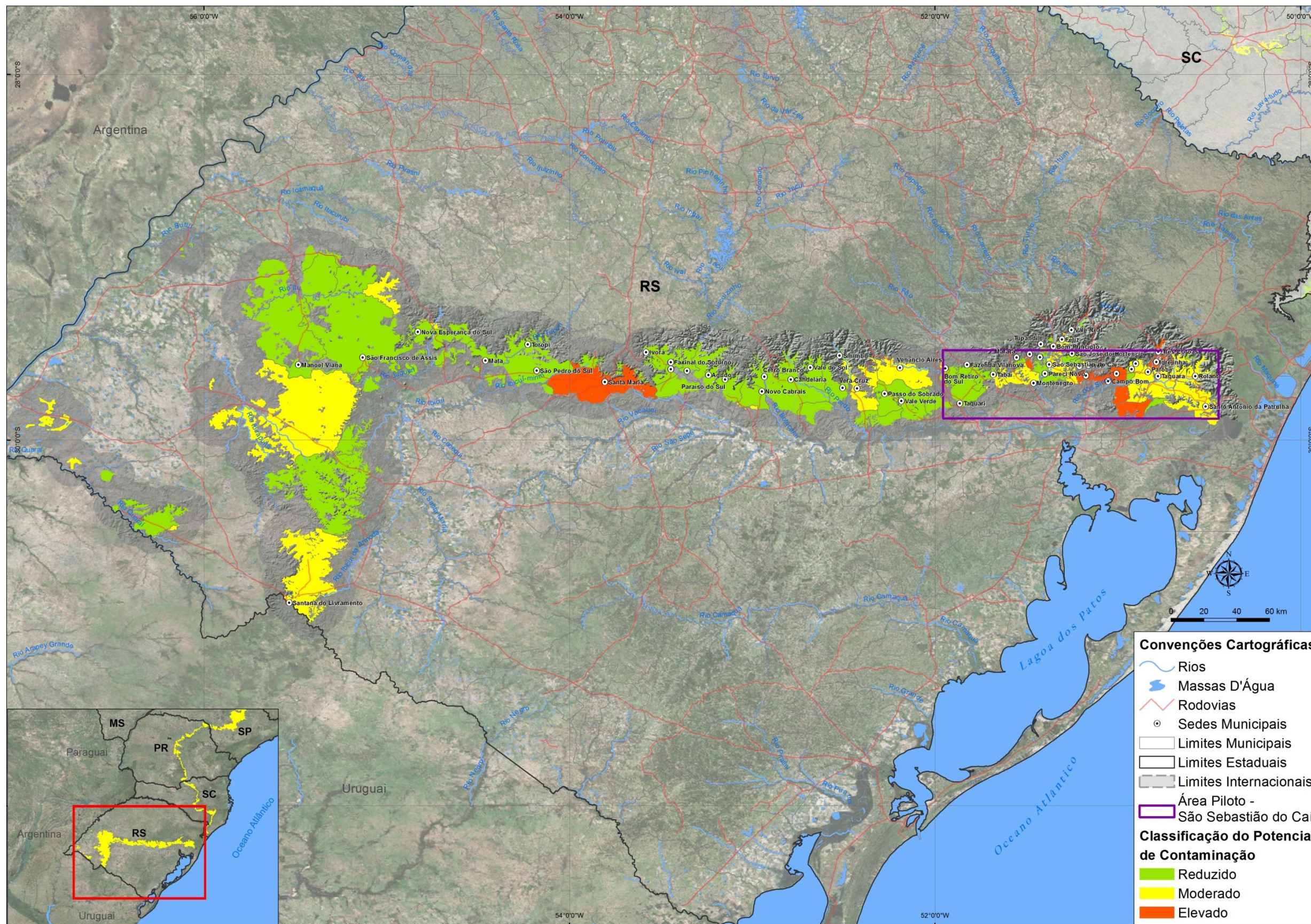


Figura 4.133 – Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG aflorante no Rio Grande do Sul, por fontes pontuais.

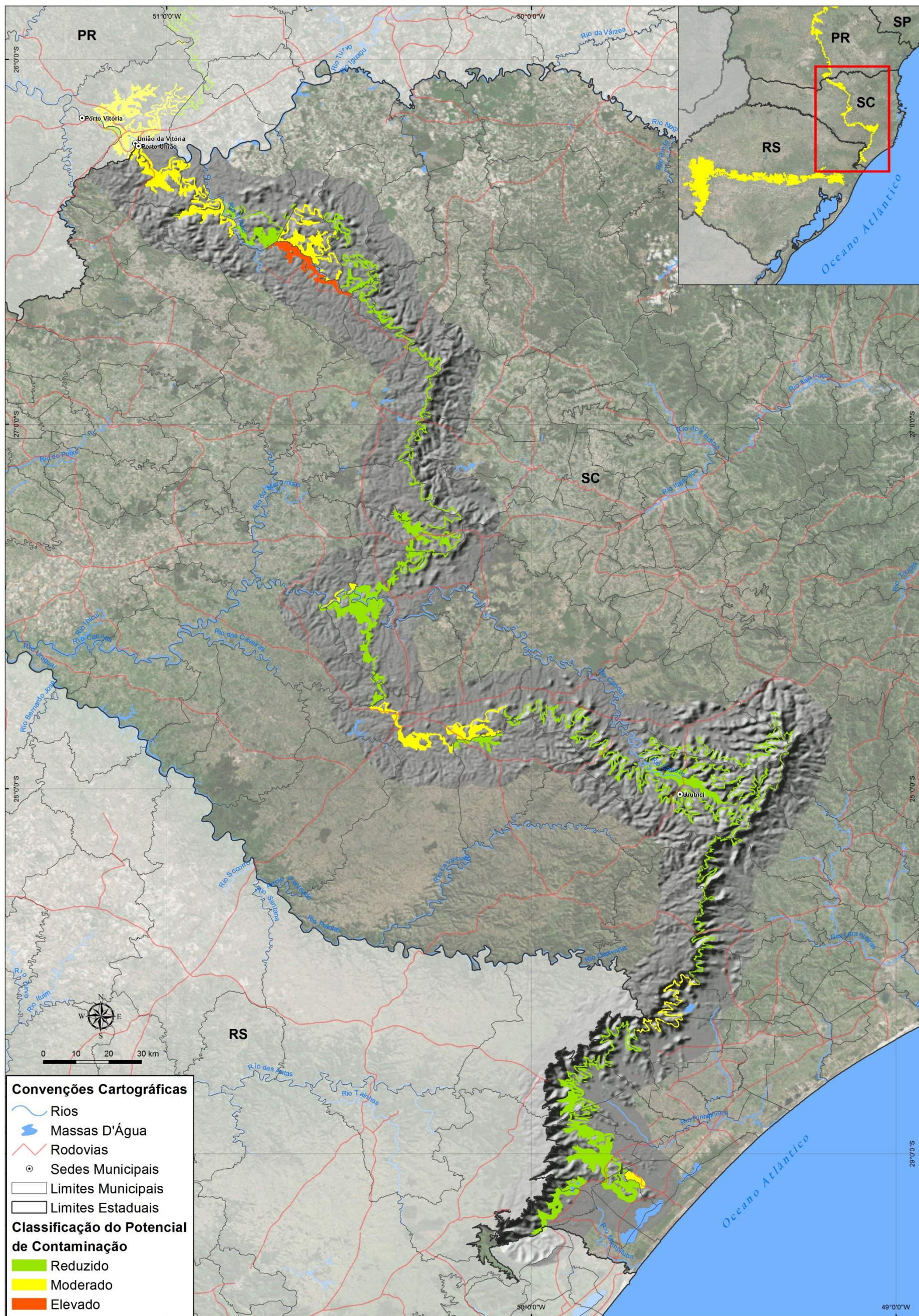


Figura 4.134 - Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG aflorante em Santa Catarina, por fontes pontuais.



#### **4.8.4 *Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado do Paraná***

No Estado do Paraná, 37 municípios são cortados por áreas de afloramento do SAG, entre os quais 10 deles possuem sede administrativa situada até 2 km de distância da zona de afloramentos. Destes, 30 enquadram-se como de potencial reduzido, 6 como de potencial moderado e apenas 1, representado pelo Município de Londrina, como de potencial elevado quanto ao risco de contaminação por fontes pontuais com base no critério utilizado (Figura 4.135).

#### **4.8.5 *Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado de Minas Gerais***

No Estado Minas Gerais, 10 municípios são cortados por áreas de afloramento do SAG, entre os quais 5 deles possuem sede administrativa situada até 2 km de distância da zona de afloramentos. Destes, 9 enquadram-se como de potencial reduzido e apenas um como de potencial moderado quanto ao risco de contaminação por fontes pontuais com base no critério utilizado (Figura 4.136).

#### **4.8.6 *Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado de Mato Grosso do Sul***

No Estado do Mato Grosso do Sul, 27 municípios são cortados por áreas de afloramento do SAG, entre os quais apenas 7 deles possuem sede administrativa situada até 2 km de distância da zona de afloramentos. Destes, 11 enquadram-se como de potencial reduzido, 14 como de potencial moderado e 2 como de potencial elevado quanto ao risco de contaminação por fontes pontuais com base no critério utilizado (Figura 4.137). Os municípios de Camapuã e Campo Grande foram indicados como de potencial elevado de contaminação.

#### **4.8.7 *Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado de Mato Grosso***

No Estado do Mato Grosso, 5 municípios são cortados por áreas de afloramento do SAG, entre os quais apenas Alto Garças possui sede administrativa situada até 2 km de distância da zona de afloramentos. Com base no critério utilizado, todos esses municípios foram classificados como de potencial reduzido quanto aos riscos de contaminação por fontes pontuais (Figura 4.138).

#### **4.8.8 *Mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais do Estado de Goiás***

No Estado de Goiás, 4 municípios são cortados por áreas de afloramento do SAG. Dentre eles, 3 possuem sede administrativa situada até 2 km de distância da zona de afloramentos. Destes, 2 enquadram-se como de potencial reduzido e 2 como de potencial moderado quanto ao risco de contaminação por fontes pontuais com base no critério utilizado (Figura 4.139).

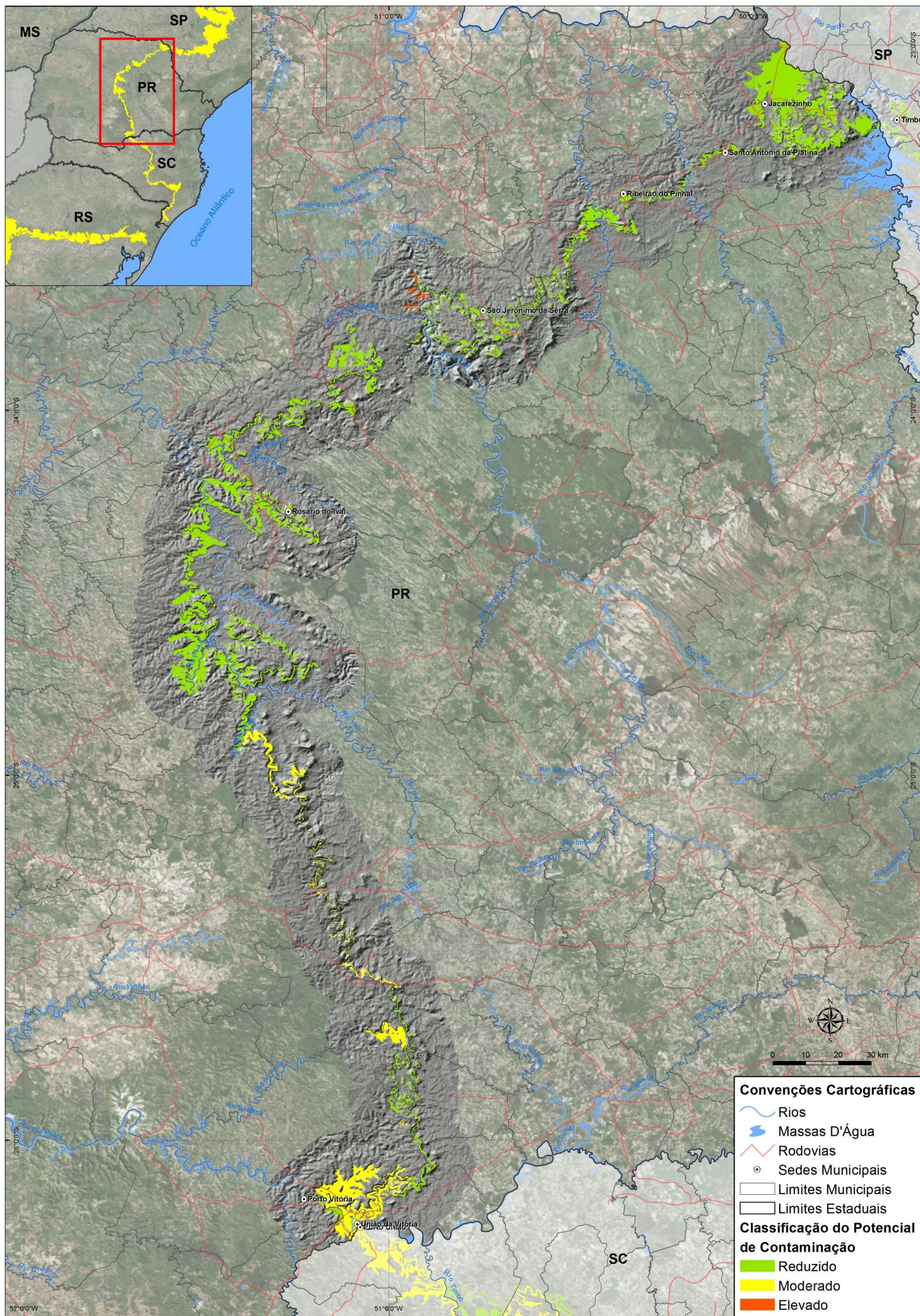


Figura 4.135 - Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG aflorante no Paraná, por fontes pontuais.

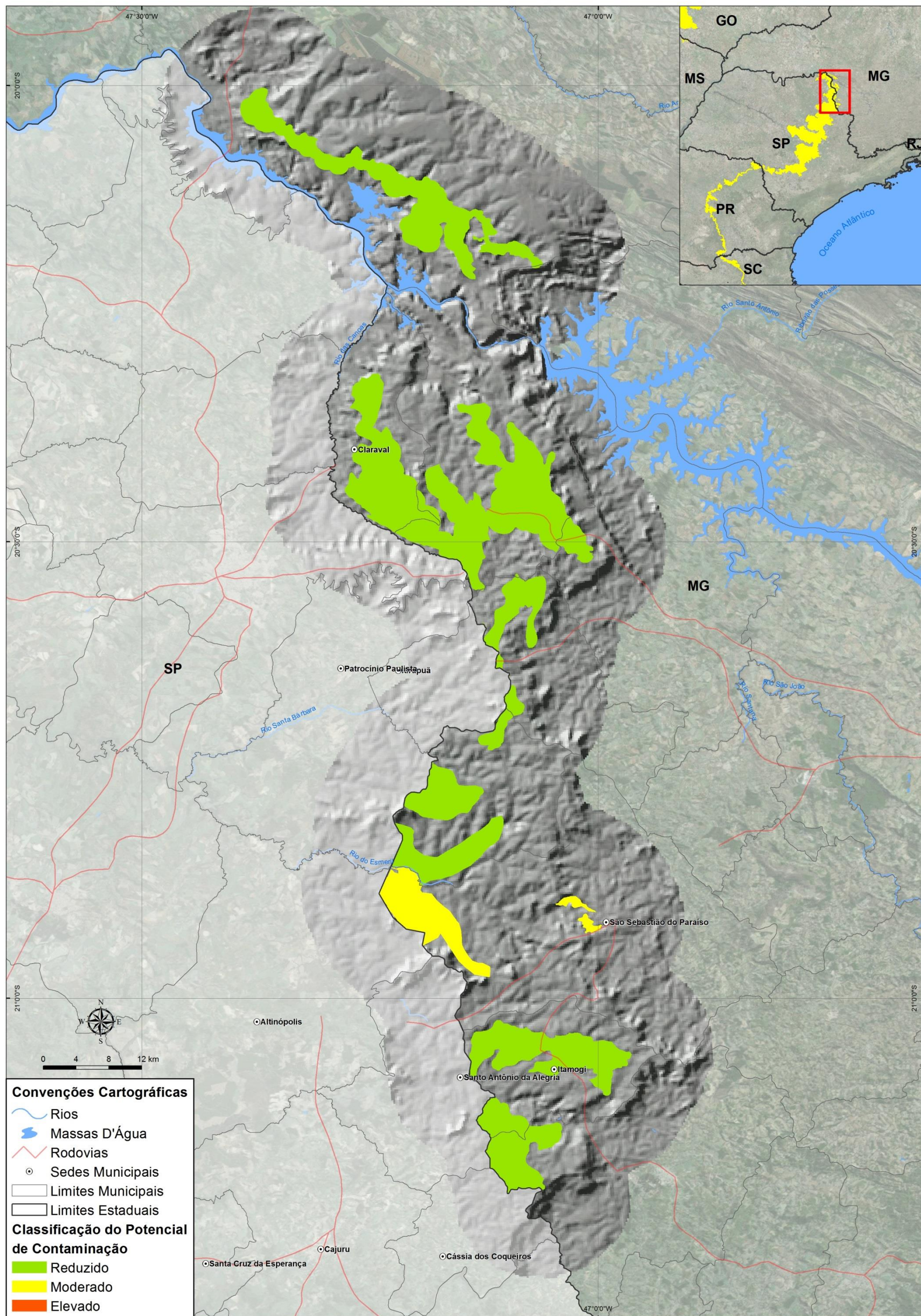


Figura 4.136 - Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG aflorante em Minas Gerais, por fontes pontuais.

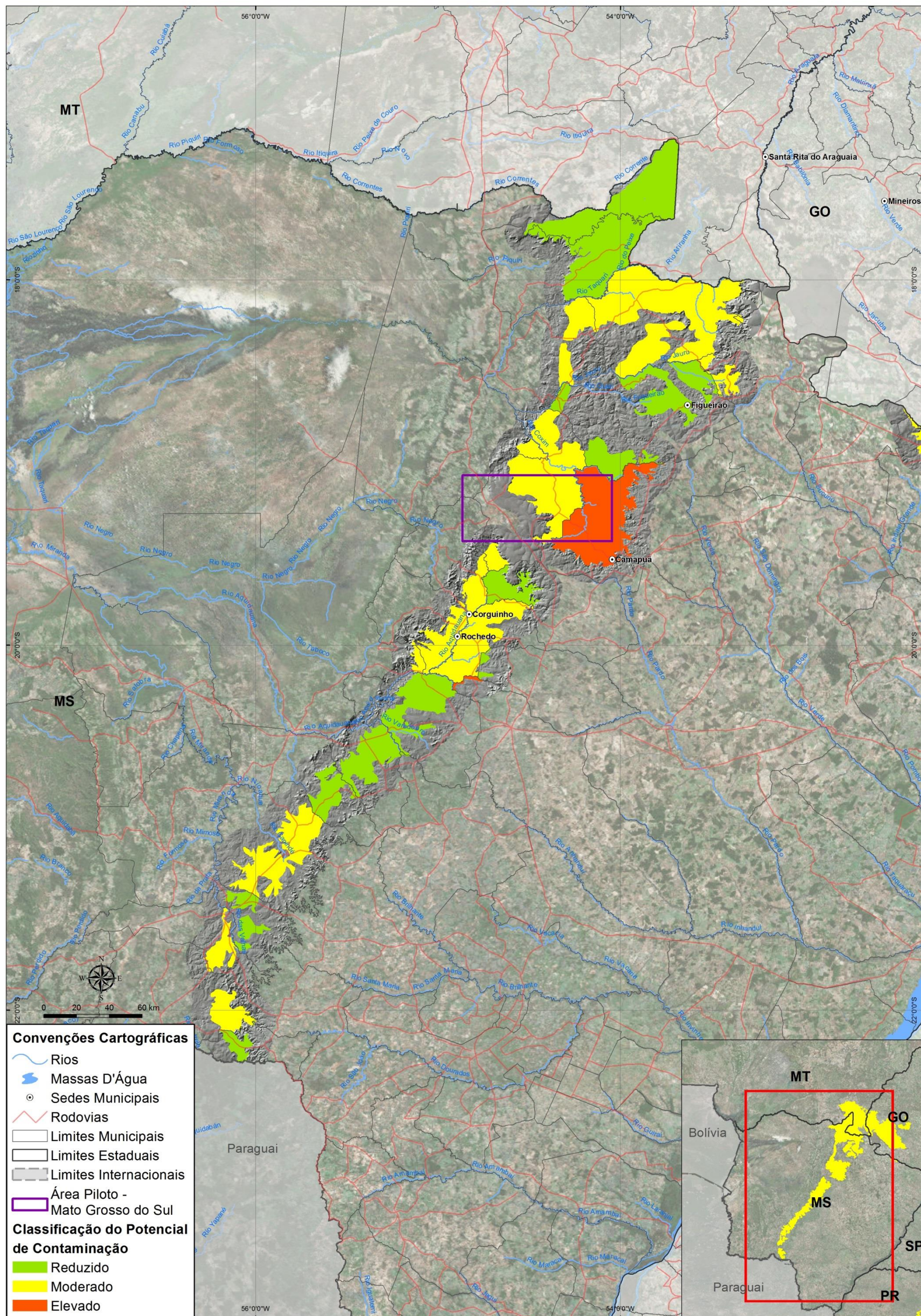


Figura 4.137 - Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG aflorante no Mato Grosso do Sul, por fontes pontuais.

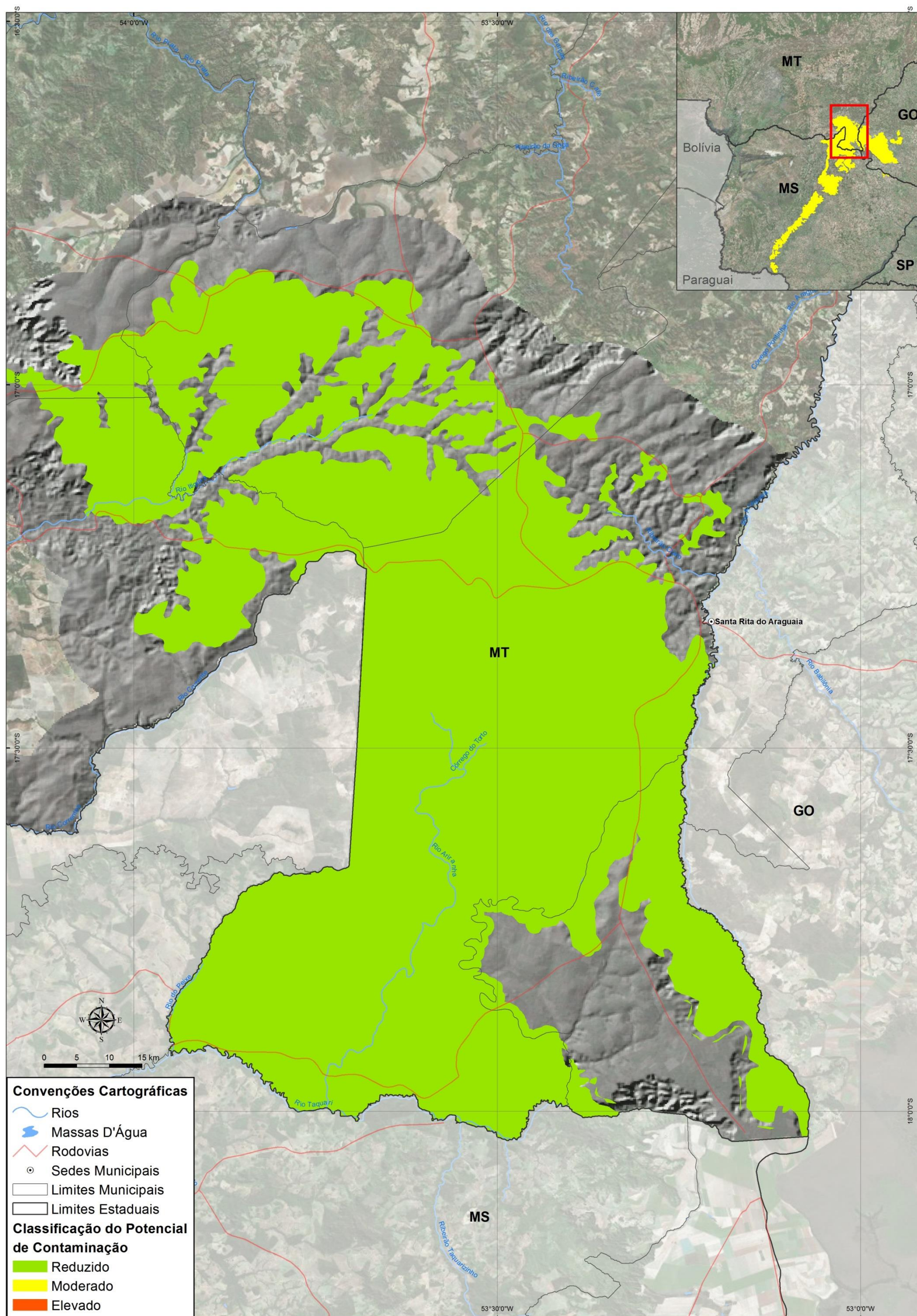


Figura 4.138 - Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG aflorante em Mato Grosso, por fontes pontuais.

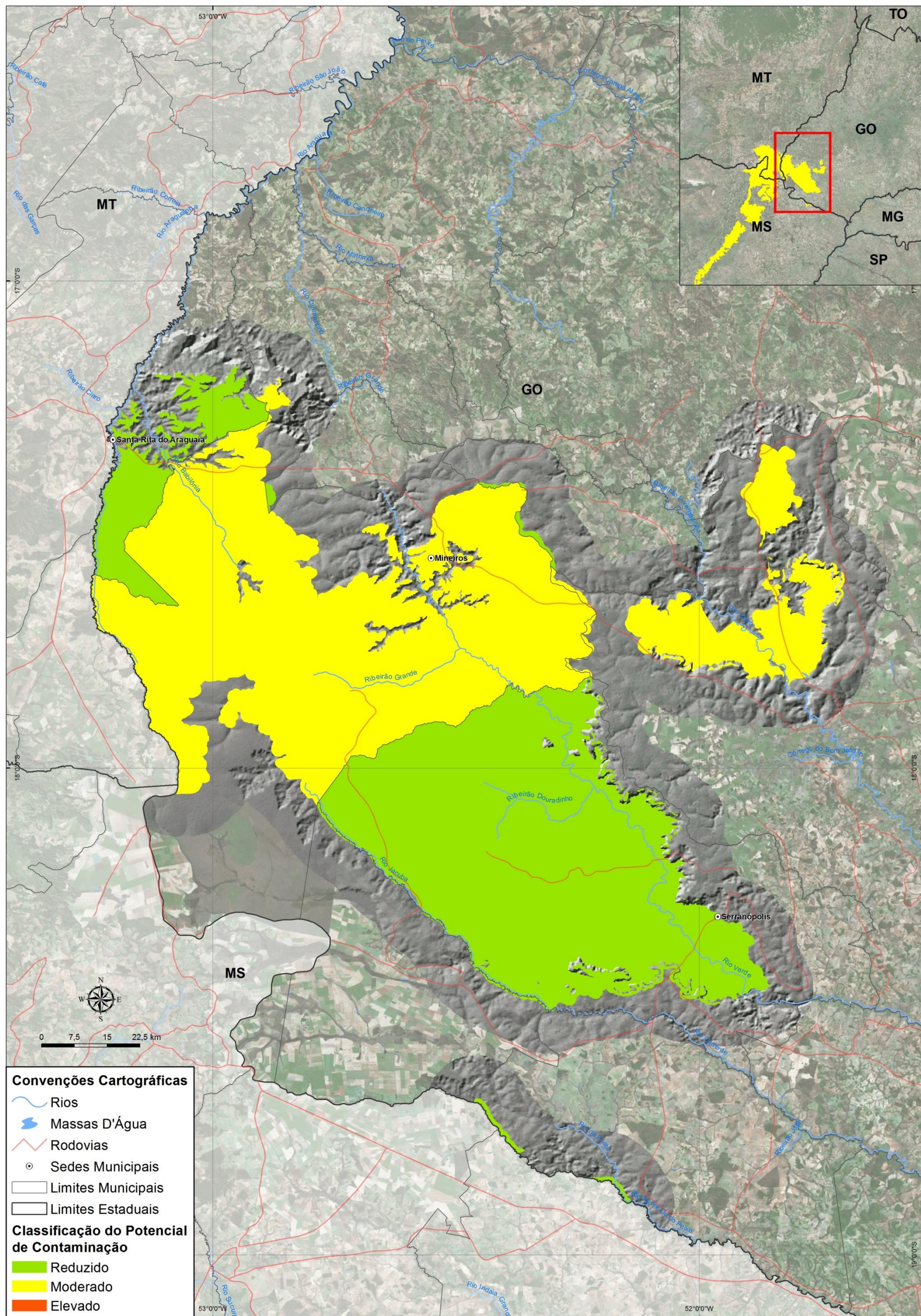


Figura 4.139 - Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG aflorante em Goiás, por fontes pontuais.

#### 4.8.9 Método para Elaboração do Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas

No contexto das águas subterrâneas, as diferentes formas de uso e ocupação da terra determinarão quais os principais tipos de contaminantes que apresentam potencial de alcançar os aquíferos. Destacam-se as atividades agrícolas como responsáveis pelos casos mais graves de contaminação difusa de água subterrânea, através da utilização de fertilizantes e agrotóxicos, e dos usos inadequados da terra. As fontes de contaminação difusas não geram plumas de contaminação claramente definidas, mas normalmente afetam uma área muito maior do aquífero.

O mapeamento de uso e ocupação da terra na escala 1:250.00 das áreas de afloramento do SAG foi elaborado com base na classificação de imagens de satélite do sensor Landsat-TM5. Foram utilizadas imagens Landsat em razão da qualidade final alcançada e possibilidade de obtenção de sensores em datas recentes, entre 2010 e 2011. As imagens foram georreferenciadas a partir de imagens previamente retificadas, e então foram elaborados mosaicos parciais utilizando-se o *software Global Mapper*.

As 16 classes de uso e ocupação da terra mapeadas neste projeto em áreas de afloramento do SAG, na escala 1:250.000, estão indicadas no Quadro 4.44. O cenário atual de ocupação do SAG apontou o uso antrópico como predominante, destacando-se as porções destinadas às pastagens e a agricultura, as quais ocupam, respectivamente, 26.386,4 km<sup>2</sup> (39,2%) e 18.647,7 km<sup>2</sup> (27,7%). O mapeamento de uso e ocupação da terra apontou ainda a presença de 18.720,4 km<sup>2</sup> de remanescentes de cobertura vegetal natural, representando 27,8% da área de estudo.

**QUADRO 4.44 – CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA**

Classe de Uso	Área (km <sup>2</sup> )	%
Mineração	4,2	0,01%
Solo Exposto	17,5	0,03%
Rios	132,7	0,20%
Lagos	267,1	0,40%
Urbano	499,4	0,74%
Campos Úmidos ou de Várzea	668,0	0,99%
Culturas Anuais - Arroz	684,7	1,02%
Culturas Perenes	1.212,8	1,80%
Culturas Anuais - Soja	1.681,6	2,50%
Mata	2.555,3	3,79%
Silvicultura	2.670,3	3,97%
Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	7.073,9	10,50%
Mata Ciliar ou de Galeria	7.162,1	10,63%
Culturas Anuais	7.994,7	11,87%
Cerrado	8.335,0	12,38%
Pastagens	26.386,4	39,18%
<b>Total</b>	<b>67.345,7</b>	<b>100,00%</b>

A classificação de fontes difusas decorrentes das atividades agrícolas baseou-se na classificação dos Domínios Pedomorfoagroclicmáticos proposta por Gomes (2008). Este método classifica os riscos de contaminação das águas subterrâneas conforme as atividades agrícolas (tipos de culturas) existentes, considerando a entrada potencial de agroquímicos no solo e a qualidade do manejo praticado, o qual pode resultar em maior ou menor taxa de lixiviação/infiltração (Barbosa *et al.*, 2011), como apresentado no fluxograma da Figura 4.83.

O Quadro 4.45 apresenta a classificação do potencial contaminante do solo em função das atividades agrícolas, adaptada da proposta de Gomes (2008).

**QUADRO 4.45 – CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL CONTAMINANTE EM FUNÇÃO DO USO DO SOLO**

<i>Classe de uso</i>	<i>Potencial de contaminação</i>
Mineração	Sem classificação *
Solo Exposto	Sem classificação *
Rios	Sem classificação *
Lagos	Sem classificação *
Urbano	Reduzido
Culturas Perenes	Moderado
Culturas Anuais - Arroz	Elevado
Culturas Anuais - Soja	Elevado
Reflorestamento	Moderado
Mata	Sem classificação *
Mata Ciliar ou de Galeria	Sem classificação *
Cerrado	Sem classificação *
Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	Elevado
Culturas Anuais	Elevado
Pastagens	Moderado
Campos úmidos ou de várzeas	Sem classificação *

\*Sem classificação se refere aquelas não classificadas de acordo com a metodologia proposta por Gomes (2008).

A avaliação do perigo de contaminação das áreas de afloramento do SAG, por fontes potenciais difusas, envolve o cruzamento de informações do potencial de contaminação decorrente de atividades relacionadas ao uso e ocupação da terra com a vulnerabilidade natural do terreno à contaminação. O perigo de contaminação é maior quando atividades com alto potencial de contaminação se desenvolvem em áreas onde o aquífero possui alta vulnerabilidade natural à contaminação. À medida que as condições do grau de vulnerabilidade e do potencial de contaminação das atividades diminuem, por consequência, também diminui o perigo (SMA, 2010). Do ponto de vista prático, esta avaliação é feita por meio de sobreposição do mapa de classes de uso e ocupação com o mapa de vulnerabilidade.

A classificação do perigo de contaminação tomou como base aquela elaborada por SMA (2010) para as áreas de afloramento do SAG no Estado de São Paulo, conforme mostrado no Quadro 4.46. Esta classificação apresenta complementações de modo a ajustar os índices de



vulnerabilidade estimados para o SAG em todo o território brasileiro, com as classes de potencial de contaminação definidas por SMA (2010). Ressalta-se que em SMA (2010) os índices de vulnerabilidade determinados para o Estado de São Paulo foram somente altos e médios, enquanto os índices determinados neste estudo variaram entre alto, médio e baixo.

**QUADRO 4.46 – CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO**

<i>Índice de vulnerabilidade natural</i>	<i>Potencial de contaminação</i>		
	<i>Elevado</i>	<i>Moderado</i>	<i>Reduzido</i>
Extremo	Extremo	Alto	Moderado
Alto	Alto	Alto	Moderado
Médio	Alto	Moderado	Baixo
Baixo	Moderado	Baixo	Desprezível

#### **4.8.10 Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado do Rio Grande do Sul**

No Estado do Rio Grande do Sul foram identificadas 4 classes de perigo de contaminação por fontes difusas, conforme mostrado no Quadro 4.47, distribuídas em área de 17.768 km<sup>2</sup>.

**QUADRO 4.47 – CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO NO RIO GRANDE DO SUL**

<i>Rio Grande do Sul</i>		
<i>Classes</i>	<i>Área km<sup>2</sup></i>	<i>%</i>
Extremo	681	3,8%
Alto	6.851	38,6%
Moderado	5.672	31,9%
Baixo	974	5,5%
Desprezível	0	0,0%
Sem classificação	3.590	20,2%
<b>Total</b>	<b>17.768</b>	<b>100,0%</b>

A classe de perigo de contaminação “alto” predomina com distribuição em 38,56% da área, seguida da classe “moderado” com 31,9%. As classes “extremo” e “baixo” comparecem em 9,3% da área. As áreas não classificadas atingem 20,2% do total.

A Figura 4.140 apresenta o mapa de perigo de contaminação para fontes difusas do Estado do Rio Grande do Sul. Este mapa é apresentado na escala 1:500.000 no Tomo IV.

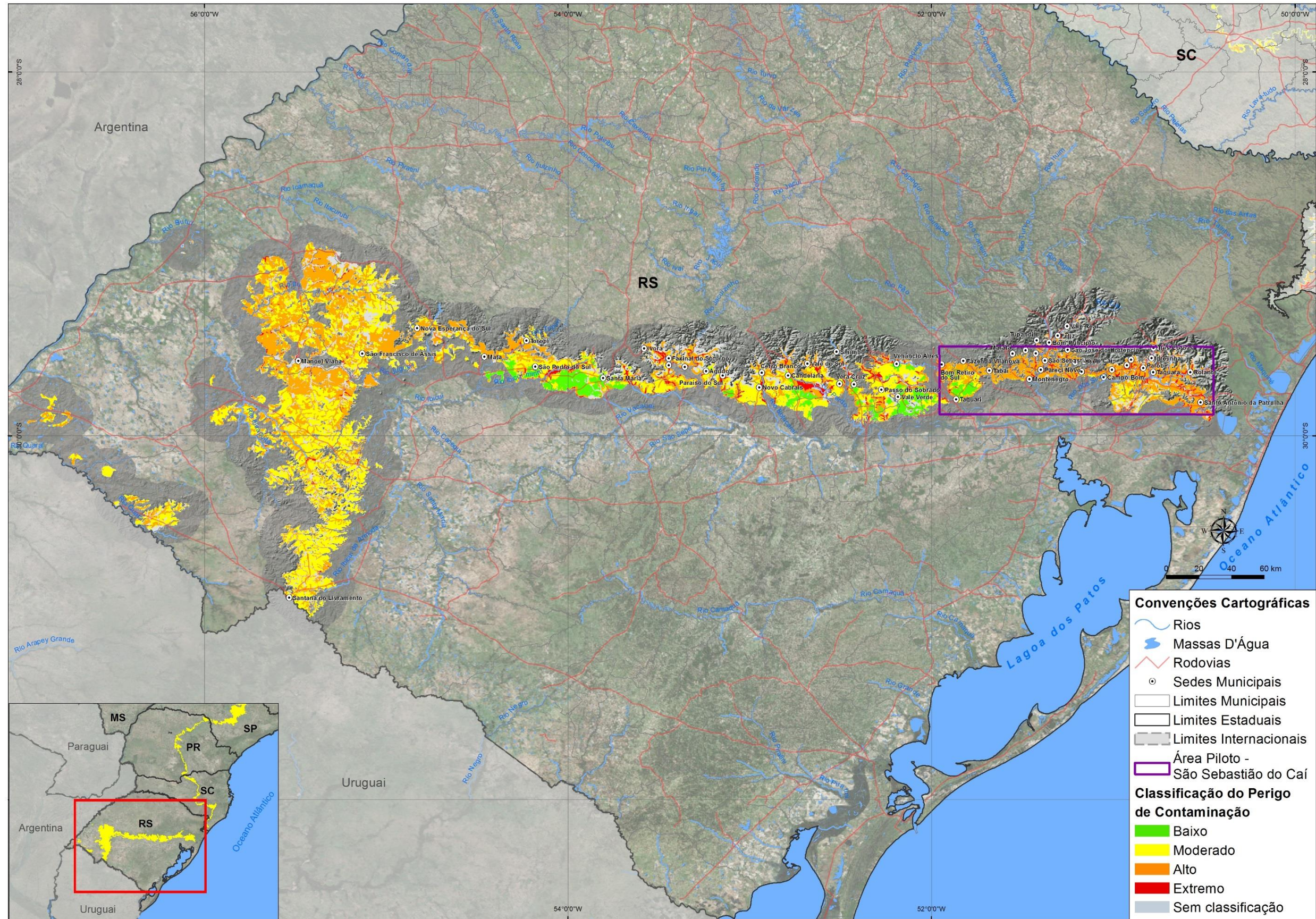


Figura 4.140 – Mapa de perigo de contaminação do SAG aflorante no Rio Grande do Sul, por fontes difusas.

#### 4.8.11 Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado de Santa Catarina

No Estado de Santa Catarina foram identificadas 3 classes de perigo de contaminação por fontes difusas, conforme mostrado no Quadro 4.48, distribuídas em área de 1.601 km<sup>2</sup>.

**QUADRO 4.48 – CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO EM SANTA CATARINA**

Santa Catarina		
Classes	Área km <sup>2</sup>	%
Extremo	62	3,9%
Alto	253	15,8%
Moderado	431	26,9%
Baixo	5	0,3%
Desprezível	0	0,0%
Sem classificação	850	53,1%
<b>Total</b>	<b>1.601</b>	<b>100,0%</b>

A classe de perigo de contaminação “moderado” predomina com distribuição em 26,9% da área, seguida da classe “alto” com 15,8%. A classe “extremo” comparece em apenas 3,9% da área. As áreas não classificadas atingem 53,1% do total.

A Figura 4.141 apresenta o mapa de perigo de contaminação do Estado de Santa Catarina. Este mapa é apresentado na escala 1:500.000 no Tomo IV.

#### 4.8.12 Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado do Paraná

No Estado do Paraná foram identificadas 4 classes de perigo de contaminação por fontes difusas, conforme mostrado no Quadro 4.49, distribuídas em área de 1.475 km<sup>2</sup>.

**QUADRO 4.49 – CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO NO PARANÁ**

Paraná		
Classes	Área km <sup>2</sup>	%
Extremo	9	0,6%
Alto	459	31,1%
Moderado	581	39,4%
Baixo	8	0,5%
Desprezível	0	0,0%
Sem classificação	418	28,4%
<b>Total</b>	<b>1.475</b>	<b>100,0%</b>

A classe de perigo de contaminação “moderado” predomina com distribuição em 39,4% da área, seguida da classe “alto” com 31,1%. As classes “extremo” e “baixo” comparecem com inexpressivos 1,1% da área. As áreas não classificadas atingem 28,3% do total.

A Figura 4.142 apresenta o mapa de perigo de contaminação do Estado do Paraná. Este mapa é apresentado na escala 1:500.000 no Tomo IV

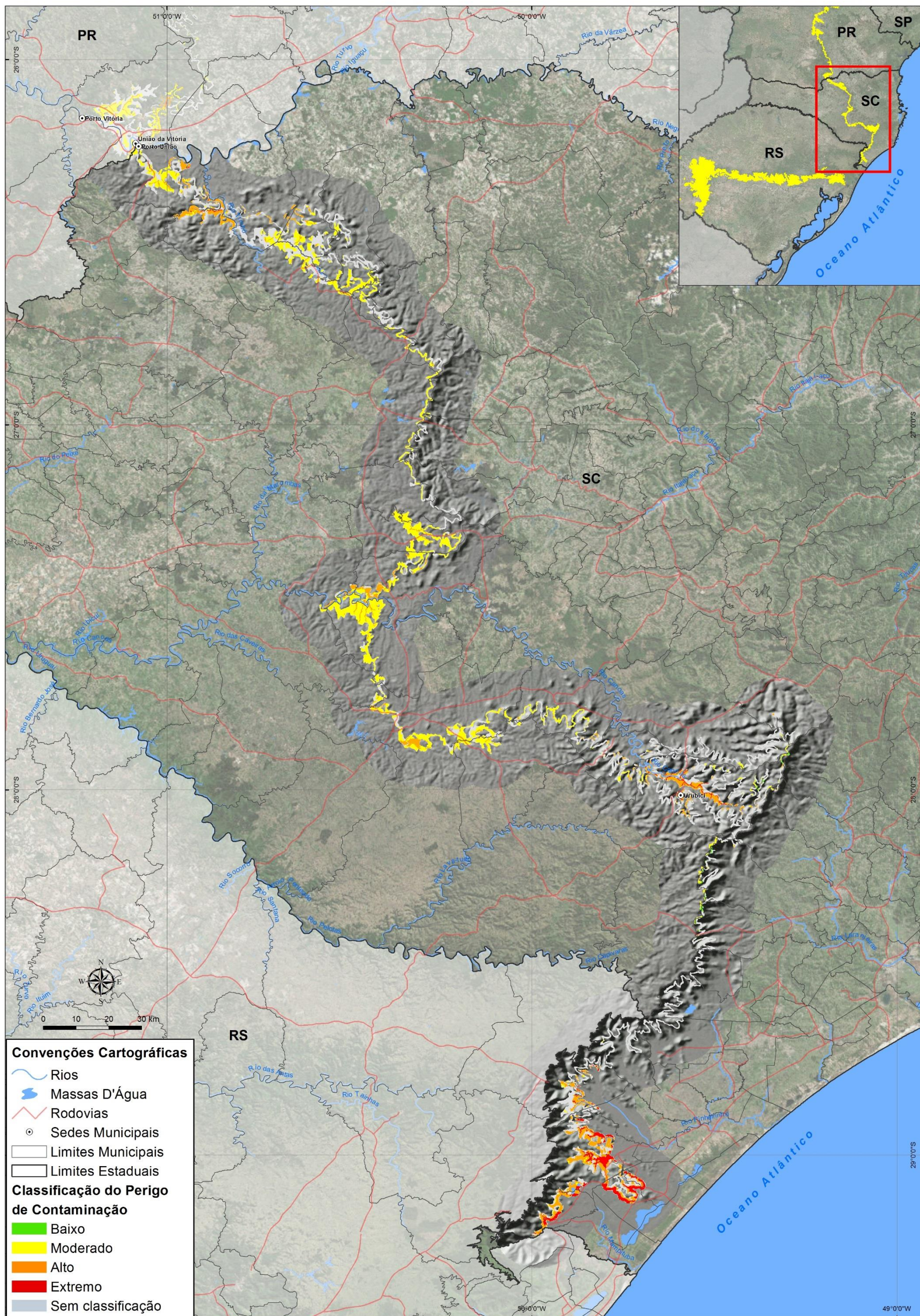


Figura 4.141 – Mapa de perigo de contaminação do SAG aflorante em Santa Catarina, por fontes difusas.

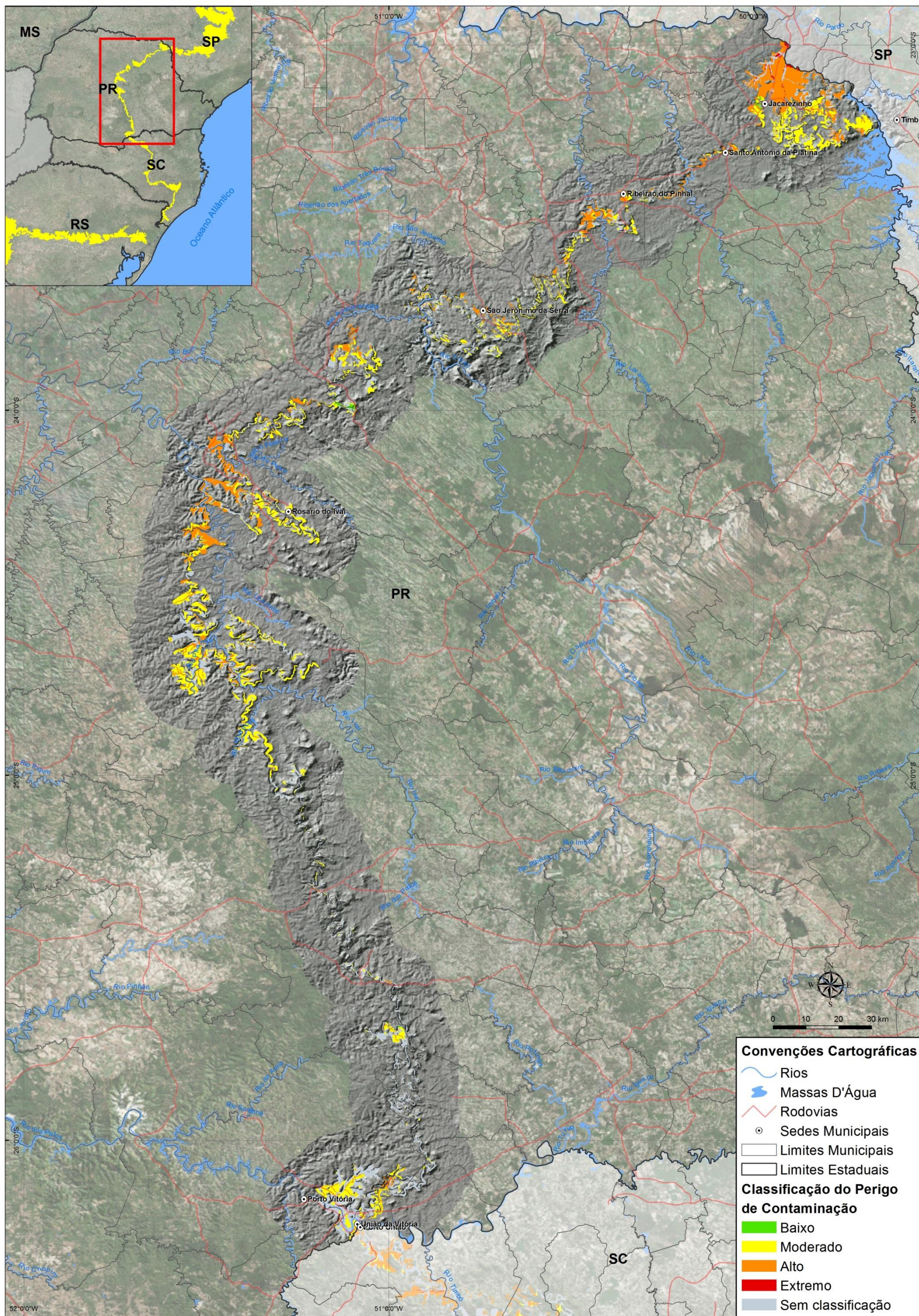


Figura 4.142 – Mapa de perigo de contaminação do SAG aflorante no Paraná, por fontes difusas.

#### 4.8.13 *Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado de Minas Gerais*

No Estado de Minas Gerais foram identificadas 4 classes de perigo de contaminação por fontes difusas, conforme mostrado no Quadro 4.50, distribuídas em área de 697 km<sup>2</sup>.

**QUADRO 4.50 – CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO EM MINAS GERAIS**

<i>Minas Gerais</i>		
<i>Classes</i>	<i>Área km<sup>2</sup></i>	<i>%</i>
Extremo	1	0,1%
Alto	215	30,9%
Moderado	335	48,1%
Baixo	3	0,4%
Desprezível	0	0,0%
Sem classificação	143	20,5%
<b>Total</b>	<b>697</b>	<b>100,0%</b>

As classes de perigo de contaminação “moderado” e “alto” predominam com distribuição, respectivamente, de 48,1% e 30,9% na área. As classes “baixo” e “extremo” compõem apenas 0,5%. As áreas não classificadas atingem 20,5% do total.

A Figura 4.143 apresenta o mapa de perigo de contaminação do Estado de Minas Gerais. Este mapa é apresentado na escala 1:500.000 no Tomo IV.

#### 4.8.14 *Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado do Mato Grosso do Sul*

No Estado do Mato Grosso do Sul foram identificadas 4 classes de perigo de contaminação por fontes difusas, conforme mostrado no Quadro 4.51, distribuídas em área de 18.870 km<sup>2</sup>.

As classes de perigo de contaminação “moderado” e “alto” predominam com distribuição, respectivamente, de 34,1% e 31,1% na área. As classes “baixo” e “extremo” compõem apenas 0,5%. As áreas não classificadas atingem 34,3% do total.

**QUADRO 4.51 – CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO NO MATO GROSSO DO SUL**

<i>Mato Grosso do Sul</i>		
<i>Classes</i>	<i>Área km<sup>2</sup></i>	<i>%</i>
Extremo	94	0,5%
Alto	5.866	31,1%
Moderado	6.441	34,1%
Baixo	0	0,0%
Desprezível	0	0,0%
Sem classificação	6.469	34,3%
<b>Total</b>	<b>18.870</b>	<b>100,0%</b>

A Figura 4.144 apresenta o mapa de perigo de contaminação do Estado do Mato Grosso do Sul. Este mapa é apresentado na escala 1:500.000 no Tomo IV.

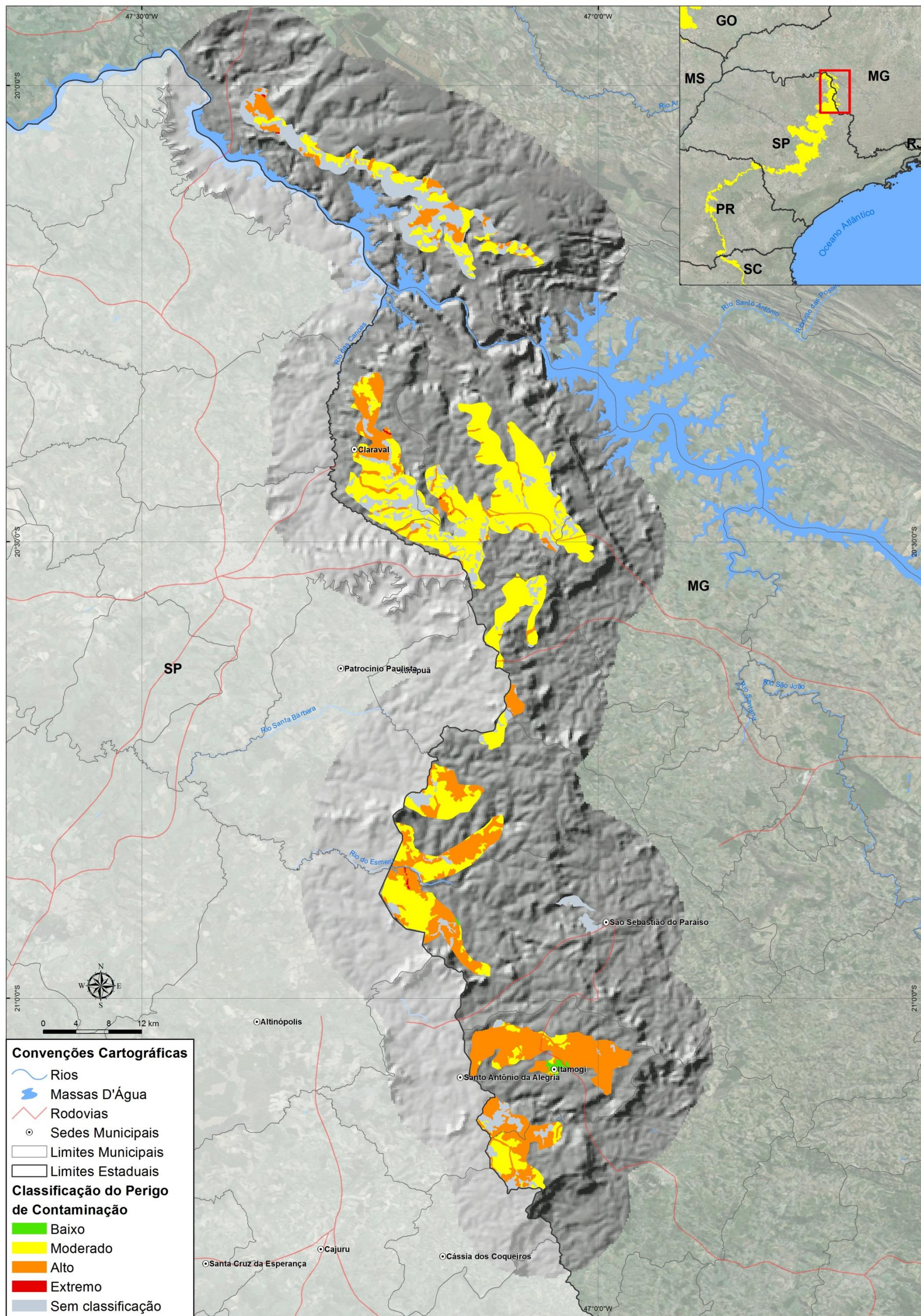


Figura 4.143 – Mapa de perigo de contaminação do SAG aflorante em Minas Gerais, por fontes difusas.

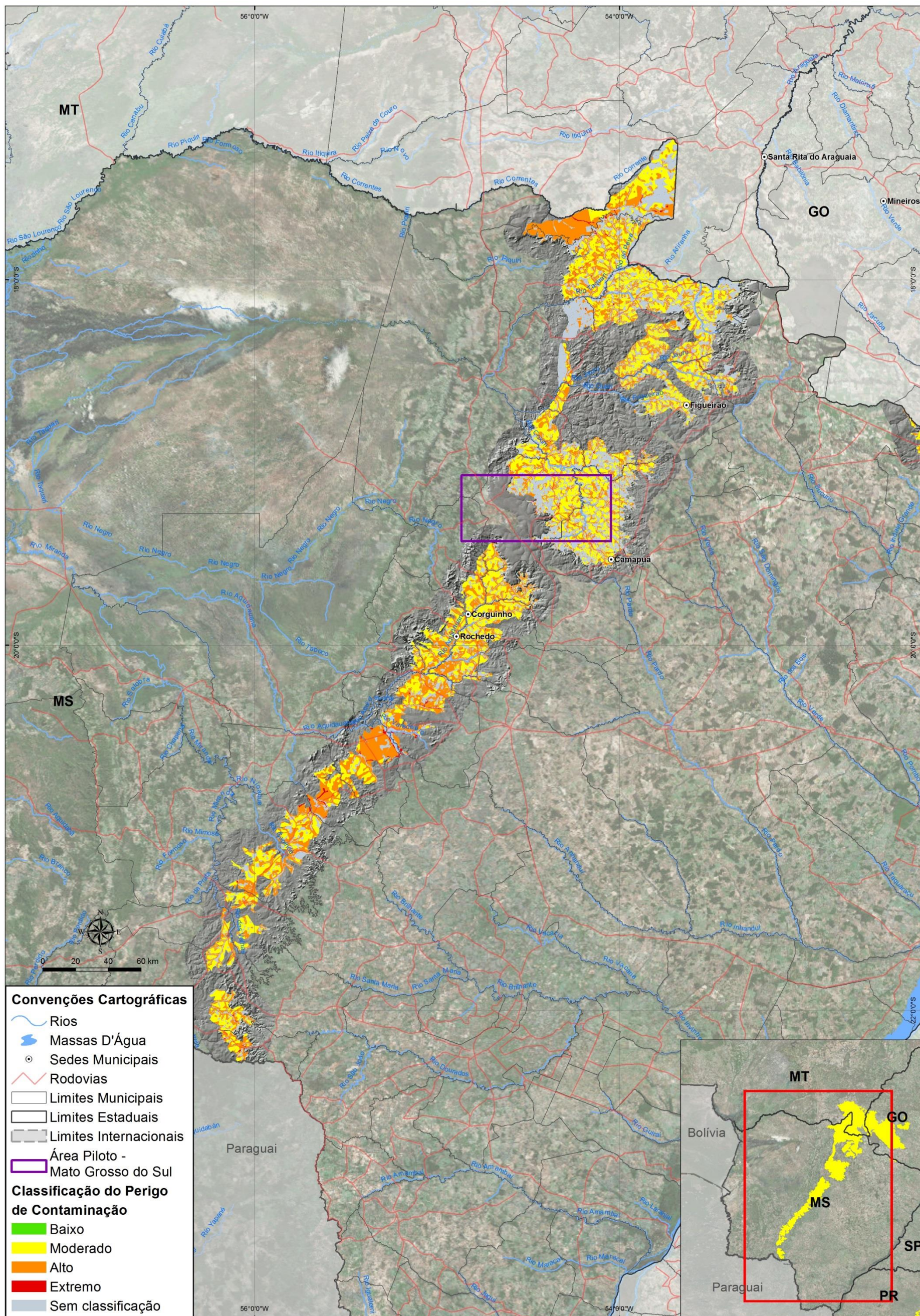


Figura 4.144 – Mapa de perigo de contaminação do SAG aflorante no Mato Grosso do Sul, por fontes difusas.



#### 4.8.15 Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado do Mato Grosso

No Estado do Mato Grosso foram identificadas 4 classes de perigo de contaminação por fontes difusas, conforme mostrado no Quadro 4.52, distribuídas em área de 6.446 km<sup>2</sup>.

**QUADRO 4.52 – CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO NO MATO GROSSO**

<i>Mato Grosso</i>		
<i>Classes</i>	<i>Área km<sup>2</sup></i>	<i>%</i>
Extremo	77	1,2%
Alto	1.685	26,1%
Moderado	1.254	19,5%
Baixo	1	0,0%
Desprezível	0	0,0%
Sem classificação	3.429	53,2%
<b>Total</b>	<b>6.446</b>	<b>100,0%</b>

As classes de perigo de contaminação “alto” e “moderado” mostram distribuição, respectivamente, de 26,1% e 19,4% na área. As classes “baixo” e “extremo” comparecem com apenas 1,2%. As áreas não classificadas predominam com 53,3% do total da área.

A Figura 4.145 apresenta o mapa de perigo de contaminação do Estado do Mato Grosso. Este mapa é apresentado na escala 1:500.000 no Tomo IV.

#### 4.8.16 Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas do Estado de Goiás

No Estado de Goiás foram identificadas 4 classes de perigo de contaminação por fontes difusas, conforme mostrado no Quadro 4.53, distribuídas em área de 9.879 km<sup>2</sup>.

**QUADRO 4.53 – CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO EM GOIÁS**

<i>Goiás</i>		
<i>Classes</i>	<i>Área km<sup>2</sup></i>	<i>%</i>
Extremo	53	0,5%
Alto	2.510	25,4%
Moderado	2.752	27,9%
Baixo	12	0,1%
Desprezível	0	0,0%
Sem classificação	4.552	46,1%
<b>Total</b>	<b>9.879</b>	<b>100,0%</b>

As classes de perigo de contaminação “moderado” e “alto” mostram distribuição, respectivamente, de 27,9% e 25,4% na área. As classes “baixo” e “extremo” comparecem com apenas 0,6%. As áreas não classificadas predominam com 46,1% do total da área.

A Figura 4.145 apresenta o mapa de perigo de contaminação do Estado de Goiás. Este mapa é apresentado na escala 1:500.000 no Tomo IV.

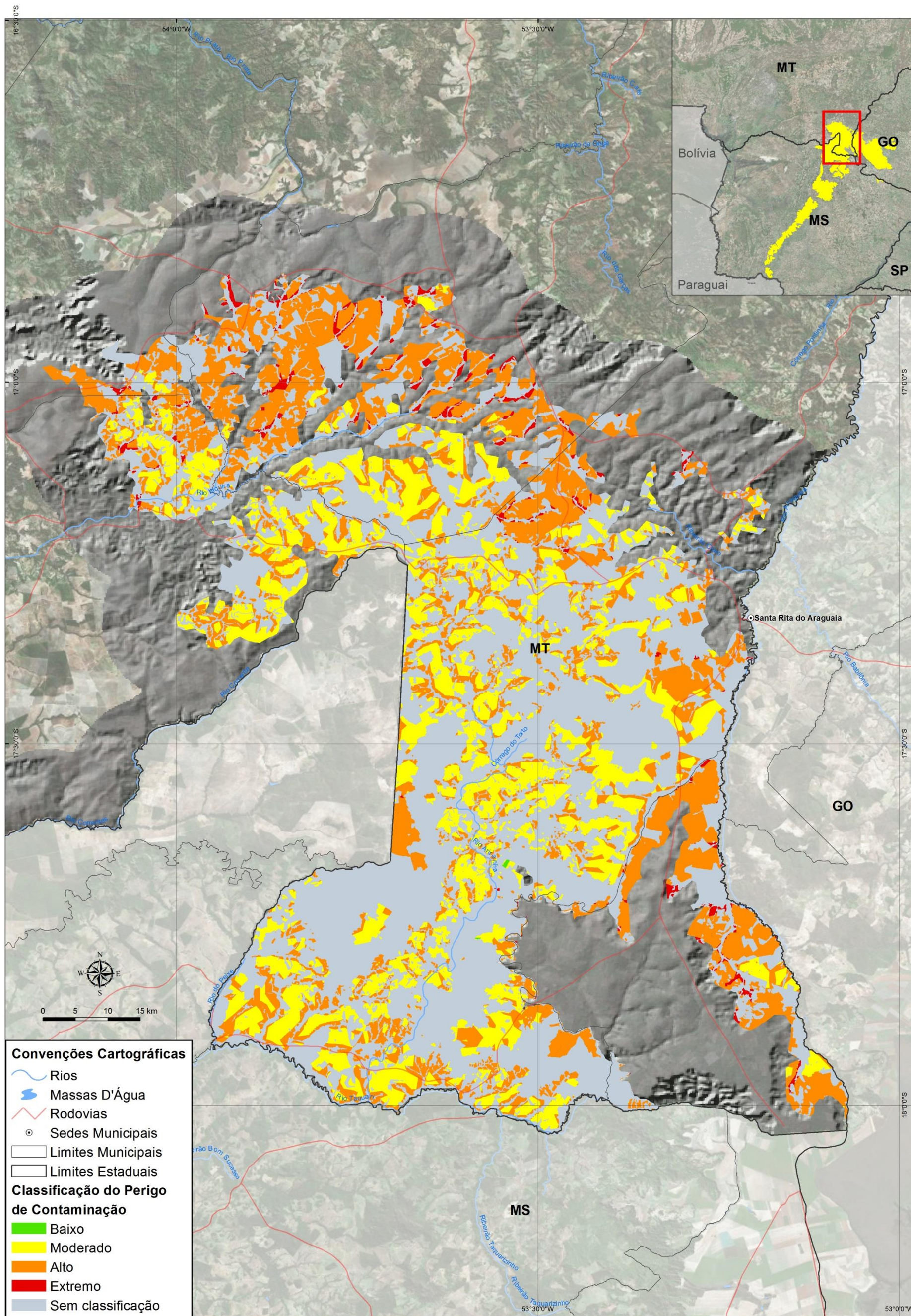


Figura 4.145 – Mapa de perigo de contaminação do SAG aflorante no Mato Grosso, por fontes difusas.

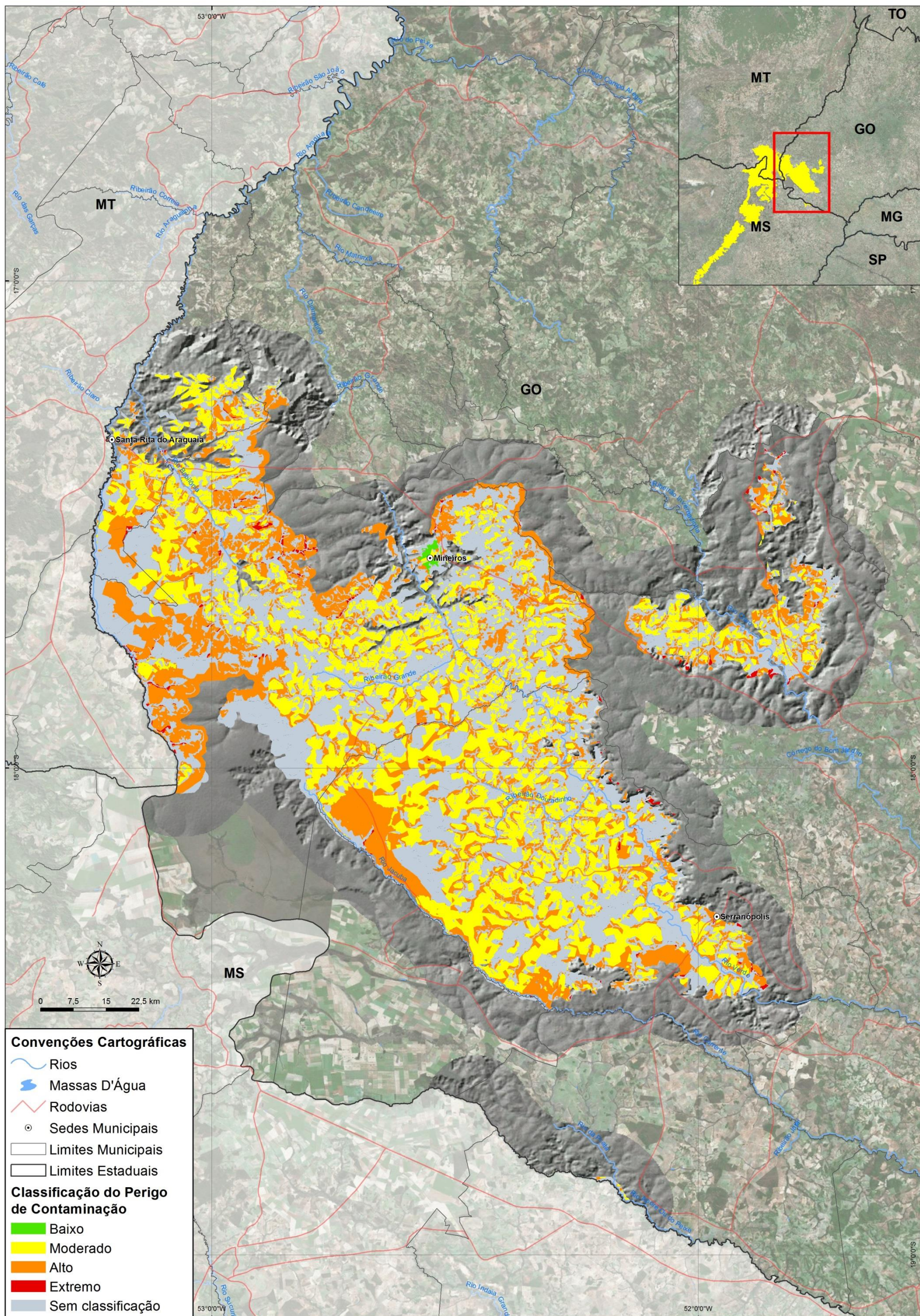


Figura 4.146 – Mapa de perigo de contaminação do SAG aflorante em Goiás, por fontes difusas.

#### **4.8.17 Análise Geral do Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas**

Numa análise geral com base na escala 1:250.000 para todos os estados do território brasileiro onde o SAG aflora, menos para o Estado São Paulo, pode-se constatar que, segundo os critérios aplicados para elaboração dos mapas de perigo de contaminação, a classe de perigo alto predomina com 38%, seguida da classe de perigo moderado com 25,9% da área total de 56.027 km<sup>2</sup> avaliada. As classes de perigo extremo, baixo e desprezível ficaram com apenas 3,5%, enquanto em 32,6% da área não foi possível estabelecer uma classificação de perigo de contaminação segundo os critérios adotados. A Figura 4.147 apresenta a distribuição das classes de perigo de contaminação de fontes difusas por estado e geral.

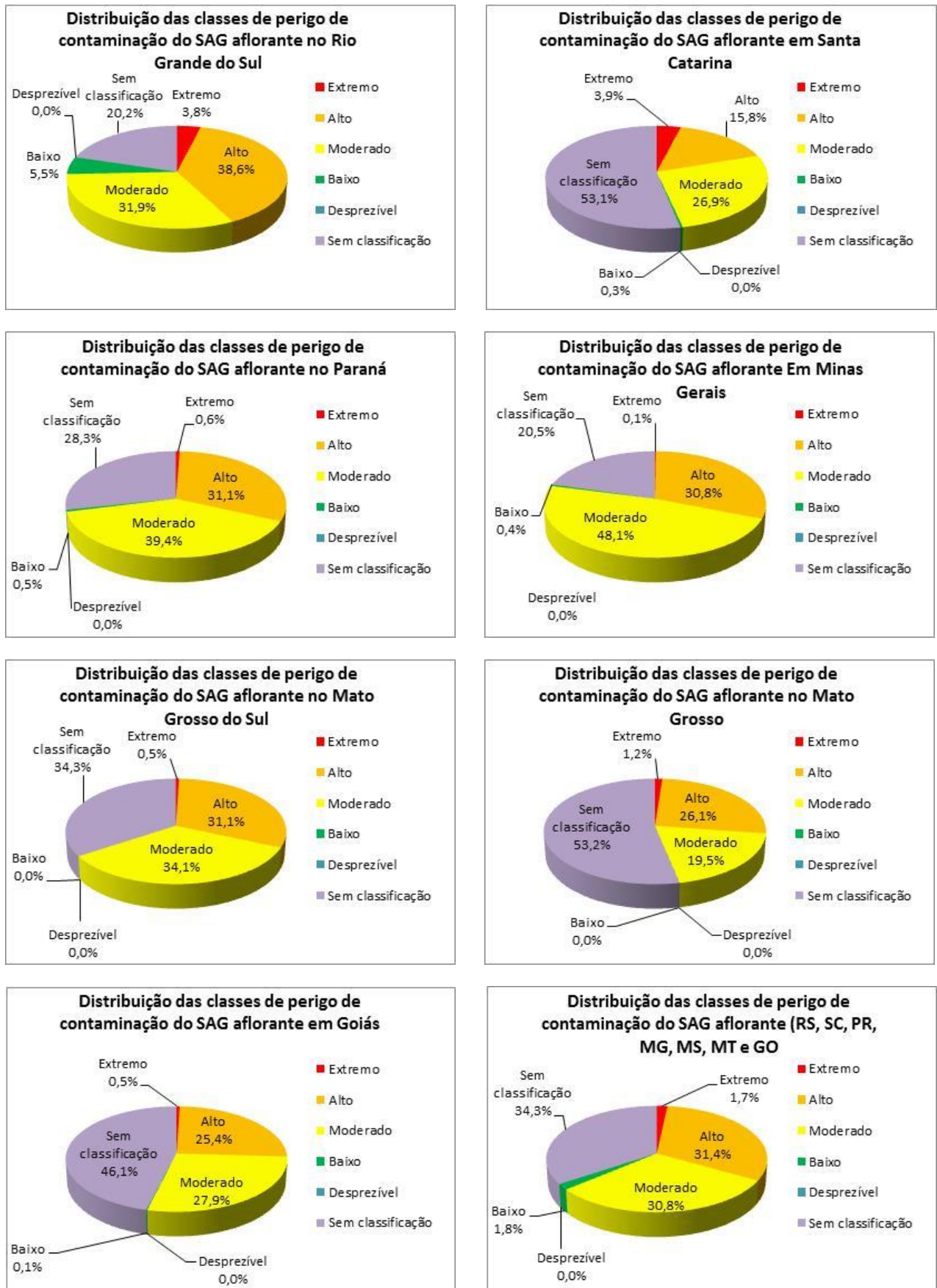


Figura 4.147 – Distribuição das classes de perigo de contaminação, por estado e geral, de fontes difusas do SAG aflorante menos São Paulo.

## **5. ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG**

As estratégias de proteção das águas subterrâneas do SAG são endereçadas a duas vertentes do planejamento regional – a disseminação de informações e a gestão integrada do território, tal como descrito neste capítulo.

Complementarmente, definem-se o embasamento legal e as diretrizes para a elaboração de um projeto de lei específico para a proteção do aquífero, e descreve-se a ferramenta de gerenciamento espacial proposta, constituída pelo Sistema de Informações Geográficas – SIG, desenvolvido no âmbito do presente estudo.

### **5.1 DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÕES**

O debate com a população referente à preservação dos mananciais subterrâneos, bem como o acesso da população à informação, traz relevantes benefícios, tais como o estímulo à organização e participação na busca das resoluções dos problemas vivenciados cotidianamente na gestão das águas, além de claramente adicionar o componente da mudança de atitude e comportamentos, de maneira proativa em favor de melhorias nas condições de saúde, qualidade de vida e reflexos positivos no meio ambiente e seu entorno.

Dessa forma, no contexto geral ora apresentado, a disseminação de informações no âmbito deste estudo foi desenvolvida a partir da realização de Workshops e da proposição de ações de Educação Ambiental, conforme descrito na continuação.

#### **5.1.1 Workshops Realizados**

Foram realizados quatro Workshops nos Estados abrangidos pelo SAG, para apresentação e discussão dos resultados dos estudos, salientando a relevância da sua utilização para o planejamento do uso do solo pelos municípios e para o planejamento ambiental integrado ao de usos múltiplos dos recursos hídricos.

Dentre os objetivos gerais dos Workshops, destacam-se a viabilização do debate com a população e/ou seus representantes, sobre o manejo sustentável na área do aquífero. Objetivou-se, ainda, estimular a participação qualificada dos grupos interessados em promover a preservação dos mananciais subterrâneos da área de abrangência do SAG, bem como a sua gestão integrada.

Também foi objetivo dos Workshops obter a contribuição dos Estados que abrigam as áreas de afloramento do SAG para a definição de diretrizes específicas para solução de problemas locais, com foco nas áreas de vulnerabilidade alta e extrema e de perigo alto de contaminação do aquífero.

A realização dos eventos ocorreu da seguinte forma:

- ✓ Dia 27 de março – Workshop em Porto Alegre, com participação de representantes dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná;

- ✓ Dia 04 de abril – Workshop em Campo Grande, reunindo convidados dos Estados de Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul;
- ✓ Dia 11 de abril – Workshop em São Paulo, com participação de representantes desse Estado e de Minas Gerais.
- ✓ Workshop em Brasília, com participação da CTAF SAG, profissionais convidados da área de águas subterrâneas e técnicos da ANA.

Nesses Workshops, foram apresentadas, para discussão, entre outras, as propostas para atividades de educação ambiental que possibilitem uma abordagem estratégica, privilegiando a participação da população na busca de soluções viáveis para os problemas que decorrem da falta de conhecimento do usuário e da população em geral quanto ao entendimento do comportamento das águas subterrâneas.

Os Workshops foram realizados pela ENGECORPS, com apoio técnico da CTAF-SAG e da ANA.

Foram convidados a participar dos Seminários, representantes das seguintes entidades:

- ✓ Poderes Públicos Municipais (todos da abrangência do SAG);
- ✓ Instituições não governamentais;
- ✓ Professores;
- ✓ Universidades;
- ✓ Comitês de Bacias Hidrográficas;
- ✓ Entidades de classe;
- ✓ ONGs Ambientais;
- ✓ Órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos municipais e estaduais.

Os eventos tiveram a duração de 8 horas cada um, sendo divididos entre os períodos matutino e vespertino, com dois intervalos para *coffee break* e um para almoço. A etapa inicial de cada Workshop contou com o “protocolo de abertura”, incluindo a participação de representantes da ANA e de técnicos da ENGECORPS.

A primeira parte dos Workshops foi reservada às explicações / apresentações de conteúdos técnicos, em forma de palestras. Na segunda parte do Workshop, coordenada por técnicos da ANA, o público presente se manifestou, mediante a apresentação de perguntas e sugestões para qualificar os estudos e dar continuidade a eles.

Também foi apresentada pela ENGECORPS uma sugestão preliminar para desenvolvimento de ações de Educação Ambiental, conforme descrito no próximo item.

### 5.1.2 *Propostas de Ações de Educação Ambiental*

Em janeiro de 2009, foi publicado pela Organização dos Estados Americanos – OEA, o Programa Estratégico de Ação (PEA), integrante do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani - PSAG, que teve por objetivo criar um arcabouço de gestão para esse importante aquífero, apoiando o manejo sustentável de águas subterrâneas na Argentina, no Brasil, no Paraguai e no Uruguai, países que o abrigam.

O PSAG apoiou, por meio do Fundo Guarani da Cidadania, ações desenvolvidas pela sociedade civil em termos de comunicação, participação e educação ambiental formal, informal e não formal. Os resultados dessas ações aglutinam-se em três grandes grupos:

- ✓ Esforços para que as águas subterrâneas, em sua dimensão ambiental e social, formem parte da agenda da sociedade civil da região;
- ✓ Apoio à divulgação do Projeto; e
- ✓ Atividades para despertar a consciência da sociedade civil sobre a importância da preservação e da gestão sustentável do SAG.

O conhecimento sobre o Aquífero Guarani teve uma excelente difusão nos quatro países da região. O Fundo Guarani da Cidadania é um exemplo concreto. Por meio dele, cerca de 2,3 milhões de pessoas tiveram contato direto com os trabalhos do PSAG para a preservação ambiental, uso sustentável e gestão do SAG.

A sensibilização e a inserção da sociedade civil na gestão dos recursos hídricos foram assumidas pelo PSAG como orientação prioritária dos quatro países participantes, orientação que se expressou no PEA. Efetivou-se, assim, a tendência mundial de permitir que a opinião pública esteja no centro da tomada de decisões a respeito da formulação e da execução de iniciativas relacionadas ao meio ambiente e aos recursos naturais. Tanto o princípio nº 10 da Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, quanto a Estratégia Interamericana para a Promoção da Participação Pública (ISP), aprovada na OEA, em 2000, reconhecem a necessidade dessa participação na gestão integrada dos recursos hídricos e o dever dos Estados de promovê-la.

Ações levadas a cabo por países participantes do PSAG, tais como os Planos Nacionais de Recursos Hídricos da Argentina e do Brasil, a Lei de Recursos Hídricos do Paraguai e as emendas à Constituição do Uruguai, são exemplos desse compromisso.

O PSAG contou com ampla participação da sociedade, incluindo no próprio processo de preparação do PEA. Para isso, lançou mão de mecanismos, como:

- ✓ Criação das Unidades Nacionais de Execução do Projeto (UNEP) sob a articulação das instituições executoras nacionais, com ampla participação interinstitucional (Estados e União), interministerial, vinculadas ao uso das águas subterrâneas, e da sociedade civil organizada, no caso dos países com sistema federativo.



- ✓ Identificação, promoção e apoio aos Projetos-Piloto, que buscaram ampliar a participação da sociedade, gerando compromissos locais como requisito básico para o desenvolvimento sustentável do SAG. A estratégia adotada pelas comunidades para possibilitar o exercício participativo foi a formação das Comissões Locais de Apoio aos Projetos-Piloto. Diante dessas Comissões, buscou-se influenciar as decisões a respeito das políticas públicas que afetam o aquífero e difundir, aplicar e avaliar as ações locais.

O Fundo Guarani da Cidadania, instrumento financeiro constituído como parte do PSAG via Fundo para o Meio Ambiente Mundial - FMAM, foi criado com o objetivo de apoiar ações desenvolvidas pela sociedade civil da região no SAG. O Fundo apoiou ações de comunicação, participação e educação ambiental formal e informal, relacionadas às águas subterrâneas, e visava promover a participação da sociedade no PSAG.

Eram objetivos do Fundo:

- ✓ Garantir que as águas subterrâneas, em sua dimensão ambiental e social, formassem parte da agenda da sociedade civil da região;
- ✓ Promover a educação ambiental formal e informal na região;
- ✓ Divulgar o Projeto PSAG; e
- ✓ Conscientizar a sociedade civil sobre a importância da preservação e da gestão sustentável do SAG.

No âmbito do PEA, foi proposta a criação de um Comitê de Capacitação e Disseminação, que tem o propósito de buscar o apoio necessário para implementar uma agenda mínima de intercâmbio institucional e de programas de capacitação. Dá continuidade à divulgação da informação produzida, em apoio a formadores de opinião, processos de educação ambiental, disseminação de boas práticas e participação da sociedade na gestão da água subterrânea.

Durante a execução do PSAG foi, também, estabelecida uma comissão preliminar com suporte das áreas de comunicação das instituições vinculadas às políticas hídricas nos países. O vínculo com a rede de jornalistas ambientais durante a execução do PSAG pode ser um caminho a ser seguido como apoio à disseminação de informação.

Dessa forma, verifica-se que ações de Educação Ambiental para promoção da preservação e conservação do SAG no Brasil já possuem um caminho prévio concebido e trilhado, cabendo inserir os resultados do presente estudo no arcabouço de dados e informações preexistentes, para que eles passem a fazer parte das propostas de capacitação pública e educação ambiental do PEA/PSAG.

Recomenda-se, assim, adicionalmente às propostas do PSAG, a elaboração de material de divulgação deste trabalho, redigido em linguagem alinhada com a documentação que já foi utilizada pelo PSAG visando aos mesmos objetivos, incluindo:

- ✓ A produção e edição de uma cartilha pedagógica, com linguagem acessível, a proposta de atividades lúdicas para dar subsídios aos educadores sobre gestão preventiva (fontes potenciais de contaminação) e integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, dentre outros temas relacionados;
- ✓ A produção e edição de material informativo consolidando os principais resultados do estudo desenvolvido e as informações gerais sobre gestão participativa de uso e ocupação do solo, dos recursos hídricos e das especificidades da região do SAG.

## **5.2 GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, MEIO AMBIENTE E USO DO SOLO NO TERRITÓRIO DE ABRANGÊNCIA DO SAG**

Enquanto as ações propostas para a Disseminação de Informações, apresentadas no item 5.1 estão voltadas à inserção da sociedade na proteção do SAG, as diretrizes expostas a seguir se aplicam mais diretamente às ações dos órgãos e entidades com atribuição na gestão ambiental e de recursos hídricos, no contexto do território das áreas de afloramento do SAG.

Cabe salientar o papel fundamental das prefeituras municipais na implementação das ações de gestão propostas, haja vista suas atribuições para disciplinar o uso do solo. Tendo em vista a necessidade de organizar o uso do solo, sem descaracterizar a proteção das águas subterrâneas, cabe destacar que os instrumentos econômicos existentes, relativos às compensações financeiras para a conservação ambiental, também podem ser aplicados em ações de proteção a esses bens. Além disso, a participação dos municípios nos Comitês de Bacias Hidrográficas, garante sua presença nas discussões acerca dos usos múltiplos dos recursos hídricos, da conservação ambiental, dos critérios de outorga e da cobrança pelo uso da água.

### **5.2.1 O Uso e Ocupação da Terra nas Áreas de Afloramento do SAG**

Para a proposta de gestão integrada do uso e ocupação da terra nas áreas de afloramento do SAG, conta-se com o mapeamento de vulnerabilidade e de perigo de contaminação do aquífero, apresentado no Capítulo 4 deste relatório. Tal mapeamento é de fundamental importância para subsidiar ações de disciplinamento do uso da terra na área de afloramento do aquífero, servindo como referência básica para a tomada de decisões por parte dos órgãos ambientais e órgãos gestores dos recursos hídricos dos Estados, bem como orientar o planejamento dos órgãos de saneamento.

É certo que as atividades antrópicas representam risco ao aquífero e à qualidade de suas águas. Assim, a gestão do SAG deve levar em consideração os diversos usos da água subterrânea ao longo da sua área de afloramento, bem como a identificação das principais fontes potenciais de contaminação.

Em termos do uso e ocupação da terra das áreas de afloramento do SAG, sugerem-se algumas ações ou formas de organização para a proteção do aquífero, apresentadas a seguir – ações de caráter geral e mecanismos de planejamento do uso do território regional e local.

### 5.2.1.1 Ações de Caráter Geral

O primeiro ponto a ser discutido é a necessidade da definição de normas que possibilitem o controle do uso e ocupação do solo, bem como a fiscalização do cumprimento destas normas, as quais constituem estratégias que podem ser adotadas para a proteção do aquífero.

Nos limites dos territórios dos municípios, essas normas são de competência dos poderes públicos municipais, que têm autonomia para a elaboração de leis específicas para o disciplinamento do uso e ocupação antrópica.

Tais normas devem prever estratégias para minimizar impactos decorrentes da implantação de empreendimentos com potencial poluidor em áreas de maior vulnerabilidade do aquífero, bem como indicar a possibilidade de definir e delimitar, por exemplo, zonas destinadas à conservação ambiental ou zonas de especial interesse ambiental.

No âmbito do licenciamento ambiental, os órgãos competentes, sejam municipais ou estaduais devem estabelecer maiores exigências para os estudos ambientais requeridos para a concessão de licenças para empreendimentos com maior potencial de contaminação localizados nas áreas de vulnerabilidade à contaminação do aquífero mais elevada; dentre esses, incluem-se, os estabelecimentos industriais, projetos de agricultura irrigada (pelo seu potencial de utilização de agrotóxicos e defensivos agrícolas), empreendimentos minerários e unidades de tratamento de esgotos domésticos.

Da mesma forma, no contexto da tomada de decisões sobre a aplicação de recursos, os órgãos do setor de saneamento devem considerar as áreas de maior vulnerabilidade do aquífero como prioritárias para implantação de sistemas de esgotamento sanitário, visando reduzir o perigo de contaminação, bem como evitar a instalação, nessas áreas, de sistemas de disposição de resíduos sólidos, buscando áreas de menor vulnerabilidade, de preferência fora das áreas de afloramento de aquíferos porosos, uma vez que um dos critérios para seleção de locais para implantação de aterros sanitários, por exemplo, é, justamente, o potencial de contaminação do aquífero.

Também devem ser atendidas as recomendações técnicas e as normas vigentes relacionadas com a construção de fossas sépticas, além das normas para a construção de poços tubulares profundos e poços cacimba.

Dentre as metas a serem adotadas nos Planos Municipais de Saneamento Básico, deve constar a universalização dos serviços de coleta e tratamento de esgotos, além da adequação de todos os sistemas de depósito e tratamento de resíduos sólidos. Tais metas devem fazer parte dos referidos planos, instituídos pela Lei Federal nº 11.445/07, que institui a Política Nacional de Saneamento Básico. O atendimento dessas metas é imprescindível para a prevenção da contaminação do SAG e também de outros aquíferos.

No caso dos resíduos sólidos, experiências bem-sucedidas indicam que a constituição de consórcios intermunicipais é um mecanismo de gestão que pode ser utilizado, visando à seleção de área localizada em região de baixa vulnerabilidade do SAG ou mesmo fora das

áreas de afloramento do aquífero, para abrigar aterro sanitário para disposição dos resíduos sólidos de mais de um município.

Tais consórcios são associações civis sem fins lucrativos que reúnem diferentes municípios para a execução de ações conjuntas que se fossem produzidas individualmente, não atingiriam os mesmos resultados ou utilizariam um volume maior de recursos, além de demandar mais tempo.

Após a implementação prática de ações de planejamento, tais como as acima expostas, cabe, ainda, a execução de atividades de fiscalização, que dependem do aparelhamento e capacitação dos órgãos responsáveis, nomeadamente, dos órgãos ambientais.

Nesse sentido, a questão assume contornos complexos, na medida em que são grandes as dificuldades para realização de fiscalização eficiente e eficaz no Brasil, via de regra, pela inexistência de corpo técnico em número suficiente. No entanto, não se pode conceber estratégias para proteção dos recursos ambientais sem considerar a obrigatoriedade da fiscalização permanente, para identificação de problemas de toda a sorte, descumprimento da legislação etc.

Do ponto de vista dos atores governamentais (União, Estados e municípios), e não governamentais, a conexão entre os sistemas de gestão de recursos hídricos e de meio ambiente é um modo de induzir a produção de resultados convergentes e possibilitar a mediação de conflitos de competência e interesses, na busca de ações integradas para a proteção do aquífero.

Tal cenário ideal depende de uma articulação interinstitucional eficiente, nem sempre de fácil viabilização; por essa razão, no item 5.6 deste capítulo, apresentam-se diretrizes para elaboração de normas para a proteção do SAG, criando um embasamento jurídico que possibilite orientar as ações dos órgãos envolvidos a partir de prescrições legais, considerando as competências e atribuições das instâncias estaduais e municipais.

#### *5.2.1.2 Mecanismos de Planejamento Regional e Local*

No presente estudo e considerando o contexto da área de interesse, entende-se que instrumentos de planejamento estratégico do uso e ocupação do território para a gestão dos recursos naturais são imprescindíveis para a proteção das áreas de afloramento do SAG. Dentre esses instrumentos, destacam-se:

##### Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE)

O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) é fundamental para embasar as decisões do Governo, no que diz respeito à orientação dos processos de desenvolvimento, ordenamento territorial, conservação da biodiversidade e gestão e monitoramento de áreas ambientalmente frágeis.

O processo de ordenamento territorial e definição de prioridades devem ser construídos a partir de uma metodologia que combine a realização de amplos processos de consulta e negociação com os agentes econômicos e sociais já presentes na área, com os estudos técnicos e científicos que possam oferecer subsídios a estes mesmos processos e orientar decisões governamentais que, seguramente, irão além dos acordos celebrados entre atores setoriais, sub-regionais ou particulares.

A delimitação de zonas recomendadas para determinadas atividades econômicas, compatíveis com a conservação ambiental, algumas ocupando extensas áreas, possibilita incorporar às diretrizes do ZEE restrições para implantação em áreas de maior vulnerabilidade do SAG, por exemplo, de atividades agrícolas que, em geral, se utilizam de agroquímicos, bem como para instalação de Distritos Industriais.

Da mesma forma, o ZEE pode propor a manutenção e a preservação dos remanescentes de vegetação existentes e promover a revegetação de locais degradados, sobretudo nas margens dos rios, regiões de escarpas e relevo acentuado, entre outras, a fim de contribuir para o equilíbrio da recarga do aquífero.

Dessa forma, recomenda-se a elaboração de ZEEs para as áreas de afloramento do SAG, a serem promovidos pelos Estados, tendo como recorte espacial o conjunto de municípios em que se verifica a ocorrência do aquífero.

#### Planos Diretores Urbanos - PDUs

Conforme já referido no item 5.2.1.1, a competência para legislar sobre o uso do solo nos municípios é do poder público municipal.

Dessa forma, caberia às municipalidades a elaboração de Planos Diretores que levassem em conta as áreas de afloramento do SAG mapeadas como de extrema, alta e média vulnerabilidade, definindo para elas, zonas destinadas a usos para conservação ambiental e evitando o uso industrial ou mesmo para expansão de áreas urbanas; e no caso dos Planos já existentes, poderia ser realizada uma revisão das diretrizes predefinidas, inserção de restrições etc.

Diversos municípios têm definidas taxas máximas de impermeabilização de terrenos, para que haja infiltração das águas subterrâneas. Essas taxas devem ser revistas para as áreas de afloramento de aquíferos, em especial do SAG. O ideal é que elas fossem mais restritivas em áreas mais vulneráveis do SAG.

Evidentemente, essas também não são tarefas fáceis, haja vista que as cidades já se encontram constituídas e consolidadas, contudo, cabe recomendar essas ações, seja para implementação em curto, médio ou longo prazo, à medida que a conscientização da sociedade e do meio técnico sobre a necessidade de proteção dos aquíferos for amadurecendo.

## Planos de Bacia Hidrográfica

Os Planos de Bacia Hidrográfica e os Planos Estaduais de Recursos Hídricos constituem instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos previstos na Lei Federal nº 9.433/97, que estão também presentes nas leis estaduais correlatas. A referida lei, em seu Art. 7, inciso X, refere que, dentre os temas integrantes dos Planos de Bacia, devem constar propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos, o que vem ao encontro das estratégias aqui apresentadas para proteção do SAG.

Dentre outros vários temas, permeiam o escopo dos Planos de Bacia os conceitos de ciclo hidrológico e o binômio quantidade-qualidade da água, com rebatimentos diretos na gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas e na disponibilidade dos recursos hídricos.

Algumas diretrizes podem ser inseridas para atendimento pelos programas que compõem o escopo dos planos de bacia, visando à proteção do SAG, podendo-se citar:

- ✓ cadastrar os poços existentes, inseri-los nos sistemas de cadastros de usuários e regularizar as outorgas dos poços tubulares e poços cacimba ou cisterna, junto ao órgão competente;
- ✓ promover estudos detalhados, em escalas compatíveis, para quantificação da disponibilidade hídrica do SAG, de acordo com características climatológicas e hidrogeológicas;
- ✓ regularizar e disciplinar as captações de água subterrânea do SAG;
- ✓ incentivar o reuso da água e conscientizar a população para o uso racional desse recurso, onde a educação ambiental e a cobrança pelo uso da água podem representar fator decisivo no início desse processo;
- ✓ avaliar a demanda pela água subterrânea e superficial e a disponibilidade hídrica global;
- ✓ incentivar a adoção de tecnologias e estruturas de revestimento do solo (pavimentos porosos, por exemplo) que possibilitem uma adequada infiltração da água de chuva para a recarga do aquífero;
- ✓ preservar as nascentes, por serem áreas mais vulneráveis e representarem locais favoráveis à manutenção das condições ambientais da região;
- ✓ corrigir os processos erosivos já iniciados e estabelecer programas específicos de recuperação dessas áreas.

Cabe, portanto, aos órgãos contratantes desses Planos inserir, nos Termos de Referência dos estudos a serem contratados, atividades específicas que considerem as águas subterrâneas nos diagnósticos das bacias hidrográficas e na fase de elaboração de programas de curto a longo prazos, dando às áreas de afloramento do SAG especial atenção, contando com os resultados do presente estudo no que se refere ao mapeamento dos diferentes níveis de vulnerabilidade e de perigo de contaminação.

## 5.2.2 *Proposição de Alternativas para a Consolidação das Unidades de Conservação*

Segundo a Lei Federal nº 9.985, de 18 de junho de 2000, uma Unidade de Conservação (UC) é definida como “espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção” (Cap. I; art 2º/I). Essas unidades de conservação estão divididas em duas categorias de manejo: Unidade de Proteção Integral, objetivando “preservar a natureza, sendo admitido apenas uso indireto dos seus recursos naturais” (Cap. III; art.7º; §1º); e Unidades de Uso Sustentável, objetivando “compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela de seus recursos naturais” (Cap. III; art.7º; §2º).

São consideradas Unidades de Proteção Integral as seguintes categorias de Unidades de Conservação: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre. Constituem Unidades de Uso Sustentável as Áreas de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva da Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

A consolidação e/ou o fortalecimento das UCs localizadas em áreas de afloramento do SAG constituem uma forma de proteção do aquífero, na medida em que, sendo as UCs do tipo de Proteção Integral, não são permitidos usos antrópicos com potencial de impactar os ecossistemas nos seus limites, e sejam elas de Uso Sustentável, são permitidos usos controlados, que atendam a um Plano de Manejo preestabelecido.

Estando as UCs sob proteção legal, as normas a elas aplicáveis serão absorvidas também, indiretamente, no âmbito da proteção do SAG.

O levantamento das Unidades de Conservação na região de estudo foi realizado por meio da compilação da legislação vigente, de dados bibliográficos, cartográficos e de consultas aos órgãos federais e estaduais.

Foram registradas 29 Unidades de Conservação nas áreas de afloramento do SAG, sendo 16 de Proteção Integral e 13 de Uso Sustentável.

Considerados os aspectos legais diretamente relacionados à gestão das UCs, que de forma geral contribuem para o estabelecimento de restrições e para o ordenamento dos usos de seus territórios, entende-se que as Unidades de Proteção Integral têm toda a sua área atualmente conservada e protegida, com baixo risco ou, até mesmo, risco nulo de contaminação do aquífero.

Por sua vez, para as UCs de Uso Sustentável é recomendável que sejam identificadas e delimitadas as áreas de maior fragilidade de contaminação do aquífero, de tal forma a permitir a correspondente proposição de medidas de restrição para certas tipologias de uso ou controle de uso da terra, no contexto dos respectivos Planos de Manejo.

Para tanto, deve-se considerar que das 29 UCs identificadas, apenas 8 têm Plano de Manejo concluído e 4 têm planos em elaboração; portanto, há grande possibilidade de contribuição dos gestores do SAG, durante o desenvolvimento dos Planos de Manejo ainda não elaborados ou mesmo em elaboração, no que se refere à inserção de ações específicas para conservação do aquífero, principalmente nas áreas de maior vulnerabilidade.

Quanto às UCs de Proteção Integral criadas no País, a grande maioria delas ainda se encontra não consolidada como efetiva área protegida, por situação fundiária irregular e fiscalização deficiente, entre outros problemas. Assim, ações para viabilizar as desapropriações necessárias nos limites dessas UCs, implantação de equipamentos e atividades de fiscalização são recomendadas, embora se reconheça não serem tarefas fáceis, devido ao montante de recursos necessários.

Neste sentido, uma ação dos órgãos ambientais possível, quando do licenciamento de empreendimentos localizados em UCs situadas em áreas de afloramento do SAG seria a de priorizar a aplicação de recursos da compensação ambiental nessas UCs, contribuindo para a proteção do aquífero.

No item 5.3.2 do Capítulo 5 deste relatório, são expostas diretrizes específicas, recomendando que as normas instituidoras das Unidades de Conservação contenham dispositivo enfatizando a necessidade de se considerar a incidência das águas subterrâneas nos seus Plano de Manejo, ainda que a finalidade da criação do espaço protegido não seja necessariamente essa.

### **5.2.3 Ações para Proteção de Mananciais Subterrâneos**

No Estado de São Paulo, a Lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1997, estabelece diretrizes e normas para proteção e recuperação da qualidade ambiental das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional para abastecimento da população, assegurados, desde que compatíveis, os demais usos múltiplos dos recursos hídricos.

A lei considera como mananciais de interesse regional as águas interiores subterrâneas, superficiais, fluentes, emergentes ou em depósito, efetiva ou potencialmente utilizáveis para o abastecimento público, e cria a denominada Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais – APRM, constituída por uma ou mais sub-bacias hidrográficas dos referidos mananciais.

São instrumentos de planejamento e gestão previstos pela lei paulista (Art. 10):

- ✓ Áreas de intervenção e respectivas diretrizes e normas ambientais e urbanísticas de interesse regional;
- ✓ Normas para implantação de infraestrutura sanitária;
- ✓ Mecanismos de compensação financeira aos municípios;
- ✓ Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental – PDPA;
- ✓ Controle das atividades potencialmente degradadoras do meio ambiente, capazes de afetar os mananciais;



- ✓ Sistema Gerencial de Informações; e
- ✓ Imposição de penalidades por infrações às disposições da lei e das leis específicas de cada APRM.

A Seção II do Capítulo IV da referida lei é dedicada a diretrizes específicas para a implantação de infraestrutura sanitária nas APRMs.

O Capítulo IV define o escopo básico do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental – PDPA - das APRMs, que inclui a definição de diretrizes para políticas setoriais e programas de indução à implantação de usos e atividades compatíveis com a conservação dos mananciais. O PDPA deve fazer parte do Plano da Bacia Hidrográfica e integrar o Plano Estadual de Recursos Hídricos.

As diretrizes, recomendações e determinações da lei paulista representam estratégia de proteção dos mananciais subterrâneos que poderia ser adotada pelos demais Estados que abrigam áreas de afloramento do SAG, visando, basicamente, à proposta de ações para garantia de disponibilidade de água e qualidade das águas subterrâneas, compatível com o uso para abastecimento público e também outros usos, quando aplicável.

#### **5.2.4 Diretrizes para Controle da Contaminação das Águas Subterrâneas**

Segundo Foster et al. (2006), a vulnerabilidade do aquífero à contaminação deve ser concebida em relação interativa com a carga contaminante que é (será ou poderá ser) aplicada no ambiente subterrâneo como resultado da atividade humana, causando, assim, o perigo de contaminação da água.

Uma vez que se pode controlar a carga contaminante, a política de proteção da água subterrânea deve focar-se na obtenção do controle necessário, segundo a vulnerabilidade do aquífero (ou, em outras palavras, segundo a capacidade natural dos estratos de cobertura do aquífero de atenuarem a contaminação).

No presente item, apresentam-se diretrizes para controle dessa contaminação, considerando a prevenção da contaminação futura, o manejo de fontes potenciais de contaminação existentes, o método recomendado para investigação de passivos ambientais e a escolha de novas áreas para abastecimento com uso de águas subterrâneas.

##### **5.2.4.1 Prevenção da Contaminação Futura**

Nos casos em que o planejamento do uso da terra é uma prática habitual, por exemplo, para a expansão de uma área urbana ou para a realocação de uma zona industrial, os mapas de vulnerabilidade são uma ferramenta valiosa para reduzir o risco de um futuro perigo de contaminação da água subterrânea. Eles identificam as áreas mais vulneráveis à contaminação, permitindo que atividades que representam perigo potencial sejam proibidas ou evitadas nesses locais.

Se a área em questão já tem fontes de abastecimento importantes, deve-se definir áreas de proteção para essas fontes como parte do planejamento, utilizando-se o mapa de perigo de contaminação do aquífero para orientar os níveis de controle necessários para a atividade potencialmente poluente.

Em escalas de mapeamento mais detalhadas, para definição do perigo de contaminação, as características dos solos do entorno das fontes poluentes também devem ser consideradas, tendo em vista que contribuem para a maior ou menor dispersão e transporte de poluentes que poderão atingir o aquífero.

A aplicação desse método deve ser flexível a cada caso analisado, levando-se em conta o nível provável da demanda futura de água do aquífero e o custo de fontes alternativas de abastecimento de água (Foster et. al., 2006).

No caso de novas atividades potencialmente poluentes de larga escala e grande potencial de impacto, a exigência de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) como parte do processo de autorização é hoje uma prática legal e/ou técnica aceita.

A experiência demonstra que esse mecanismo assegura uma melhor avaliação dos impactos ambientais (inclusive sobre a qualidade da água subterrânea) na fase de planejamento, favorecendo a adoção de uma abordagem mais eficaz para a proteção ambiental.

O foco do EIA está na definição e análise de problemas, conflitos e limitações relacionados com a implementação de projetos, entre eles, o impacto sobre as atividades vizinhas, a população local e o ambiente próximo (UNEP, 1988; *apud* Foster et al., 2006); em certos casos, pode levar à realocação do projeto para um local mais aceitável.

O EIA é parte integrante do estudo de viabilidade do projeto, e os estudos sobre a água subterrânea devem assumir especial importância quando estão envolvidos certos tipos de produção industrial, grandes aterros para despejo de resíduos sólidos, empresas de mineração, agricultura intensiva irrigada de grande escala etc. Portanto, os mapas de vulnerabilidade e de perigo de contaminação do aquífero e a definição do tempo de fluxo e das zonas de captura das fontes de abastecimento de água subterrânea são dados fundamentais que devem fazer parte do escopo do EIA.

Tentar eliminar a possibilidade de descarga de efluentes pode ser muito dispendioso e, às vezes, desnecessário. Assim, uma das melhores maneiras de obter vantagem econômica e reduzir o perigo de contaminação ambiental é assegurar que o uso da terra proposto seja totalmente compatível com sua capacidade de atenuar possíveis contaminantes (Foster et al., 2006).

O item 5.6.2 deste relatório aborda diretrizes específicas para o licenciamento ambiental de empreendimentos com potencial de contaminação das águas subterrâneas, no âmbito das atribuições dos Estados e municípios.

#### 5.2.4.2 *Manejo de Fontes Potenciais de Contaminação Existentes*

Em áreas onde já existem várias atividades potencialmente poluentes, a principal necessidade será estabelecer prioridades para as medidas de controle da contaminação da água subterrânea. Tanto nas zonas rurais como urbanas, será necessário primeiro definir qual, dentre essas atividades, representa perigo mais sério para a qualidade da água. Três componentes constituem a base fundamental para essa avaliação: mapeamento da vulnerabilidade e perigo de contaminação do aquífero; delimitação das áreas de proteção das fontes de abastecimento; e cadastro das fontes potenciais de contaminação, incluindo a determinação da carga contaminante de subsolo – tipo, quantidade e forma de disposição

Em muitos casos, é possível reduzir ou eliminar a carga contaminante de subsolo com modificações no projeto. Por exemplo, o saneamento *in situ* pode ser substituído por rede de esgoto, as lagoas de evaporação/percolação dos efluentes podem ser substituídas por plantas de tratamento de efluentes, e mesmo um cemitério pode ser substituído por um crematório.

É preciso reconhecer, no entanto, que os controles voltados para a redução de uma futura carga contaminante de subsolo não eliminarão os contaminantes que já existem desde práticas passadas. Por exemplo, a instalação de redes de esgoto num distrito urbano reduzirá radicalmente a carga contaminante gerada pelo saneamento *in situ*, mas as várias toneladas de contaminantes depositadas no subsolo durante as décadas anteriores ainda podem liberar uma significativa carga contaminante no aquífero mais profundo (Foster et. al, 2006).

Em alguns casos e em certas localidades, talvez seja possível aceitar uma atividade potencialmente contaminante sem exigir alterações no projeto existente, desde que se implante uma intensa campanha de monitoramento da qualidade da água. Isso exigiria a instalação de uma rede de monitoramento (capaz de detectar qualquer incipiente contaminação da água subterrânea e alertar antecipadamente sobre a necessidade de ações de remediação) nas proximidades imediatas da atividade em questão (Foster et al., op. cit).

#### 5.2.4.3 *Método da Investigação do Passivo Ambiental*

Consideráveis extensões de solo urbano e áreas rurais mais isoladas que estiveram, durante longos períodos, ocupadas por certos tipos de atividade industrial, mineradora ou militar, frequentemente exibem grave contaminação, mesmo em locais onde a atividade foi encerrada há muitos anos. Sob certas circunstâncias, esse solo pode gerar uma séria carga contaminante na água subterrânea.

Nesses casos, é necessário avaliar o risco do impacto sobre seres humanos, animais e vegetais, em decorrência do contato com o solo contaminado e/ou da ingestão daquela água. Esta avaliação de risco é normalmente utilizada para orientar a decisão sobre o tipo de remediação ou medidas de limpeza a ser adotada (Busmaster e Lear, 1991, *apud* Foster et al., 2006). O critério a ser adotado deve ser definido caso a caso, dependendo das informações e dados disponíveis e da orientação do órgão ambiental.

#### 5.2.4.4 Seleção de Novas Áreas para Abastecimento com Água Subterrânea

Segundo Foster et al. (2006), em situações nas quais a avaliação identifica atividades capazes de gerar uma elevada carga contaminante de subsolo e/ou quando a vulnerabilidade do aquífero à contaminação é elevada ou extrema na maior parte da zona de captura da fonte, a avaliação deve ser seguida de uma análise técnica e econômica para estabelecer se:

- ✓ será possível controlar adequadamente todas as fontes potenciais de contaminação relevantes;
- ✓ seria aconselhável buscar outros locais para a instalação das novas sistemas de captação de águas subterrâneas.

Desta forma, sempre que possível, os planos diretores municipais ou planos diretores de águas e esgoto devem procurar efetuar esta análise técnica e econômica da possibilidade de controle das fontes potenciais de contaminação relevantes próximas aos sistemas de captação de águas subterrâneas para abastecimento público.

#### 5.2.4.5 Critérios para Construção de Poços

Uma das razões da contaminação das águas subterrâneas está relacionada com a construção inadequada dos poços, a despeito da existência de normatizações sobre o tema, já definidas pela ABNT.

Assim, as normas de construção de poços tubulares no SAG devem atender aos padrões gerais já estabelecidos pela ABNT, os quais foram previamente analisados e discutidos por comissão de estudos composta por especialistas de diversos ramos interagentes, e integram um instrumento com embasamento jurídico.

As normas brasileiras para projeto e construção de poços tubulares estão contidas em dois títulos da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT:

- ✓ NBR 12.212/2006 – Projeto de Poço para captação de água subterrânea e;
- ✓ NBR 12.244/2006 - Construção de poço para captação de água subterrânea.

A primeira norma trata dos projetos de captação que precedem a extração de água subterrânea dos aquíferos e aborda aspectos técnicos gerais, principalmente no que se refere ao abastecimento público. Já a segunda trata dos aspectos construtivos, também de modo geral e direcionada ao abastecimento público.

Embora existam outros manuais (Manual de Perfuração de Poços Tubulares para Investigação e Captação de Água Subterrânea, produzido pelo projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani; Manual de Projeto e Construção de Poços Tubulares Profundos, produzido pela Fundação Nacional de Saúde – FUNASA), as duas normas da ABNT, acima referidas cumprem bem a função de orientar os trabalhos de perfuração de um poço, devendo, portanto, serem obedecidas em toda a área de afloramento do SAG.

### 5.2.5 Diretrizes para Classificação de Atividades Poluidoras

Os Estados e a União se utilizam de classificações de empreendimentos potencialmente poluidores que nem sempre atendem os mesmos critérios quanto à sua natureza, ramo e tipologia da atividade, bem como à intensidade do potencial poluidor. Essas diferenças dificultam a gestão integrada do SAG, na medida em que as diretrizes para proteção das águas subterrâneas – quer em processos de licenciamento ambiental, quer quando da emissão de outorgas – não se apoiam em uma base homogênea, orientadora de maiores ou menores restrições a serem exigidas.

Os exemplos abaixo, referentes ao cadastro de empreendimentos potencialmente poluentes com localização na área do SAG, identificados no âmbito do presente estudo ilustram esses aspectos:

- ✓ A FEPAM/RS apresenta como empreendimentos com potencial poluidor: aterro de resíduo sólido industrial, curtimento de peles de animais, fabricação de agrotóxicos, incineração de resíduo sólido, dentre outras atividades;
- ✓ O IAP/PR classifica empreendimentos como potencialmente poluentes: aterro sanitário, depósito, comércio de agrotóxico, postos de combustíveis, matadouros, metalúrgicas, usinas, estação de tratamento de esgoto, entre outras atividades;
- ✓ O IMASUL/MS aponta como empreendimentos potencialmente poluentes: postos de combustíveis, fabricação de aguardente, suinocultura, fabricação de ração e laticínios;
- ✓ Já o Cadastro Técnico Federal do IBAMA classifica as atividades potencialmente poluidoras em 20 classes principais, às quais está associado um índice específico em função do grau potencial de risco de contaminação dos recursos ambientais, que varia entre pequeno, médio e alto; no caso do presente estudo, foram identificadas na região do SAG as classes de indústria de madeiras, transporte, terminais, depósito e comércio e indústria têxtil, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos, como as mais representativas.

Outro problema de compatibilização entre diversos cadastros (Estados e União) refere-se à dificuldade de se agrupar diferentes classes de atividade potencialmente poluentes em classes comuns a todos, fato que pode gerar distorções quando da estimativa dos riscos associados. Por fim, cadastros mais completos e organizados podem induzir à interpretação de riscos potenciais mais elevados em função da quantidade de empreendimentos registrados, comparados com cadastros incompletos.

De todos os cadastros consultados por este estudo, seguramente, o Cadastro Técnico Federal do IBAMA é o mais completo e abrangente. Possui representatividade adequada em todos os Estados, atividades enquadradas em grupos já determinados e critérios já estabelecidos de estimativa de grau de risco, porém não apresenta informações sobre a localização, com coordenadas geográficas, do empreendimento, impossibilitando sua espacialização.

Dessa forma, seria de todo recomendável que os Estados em que ocorrem afloramentos do SAG revisassem os critérios que classificam as atividades potencialmente poluidoras de forma conjunta, à luz do Cadastro Técnico Federal, padronizando os ramos de atividades específicos

e definindo limites iguais para enquadramento das atividades em alto, médio e baixo potencial poluidor, a depender da tipologia potencial de cargas poluentes geradas, e porte dos empreendimentos, o que se reflete diretamente na quantidade de cargas poluentes que eventualmente possam atingir as águas subterrâneas e nas características dessas cargas, em termos de parâmetros poluentes.

Por fim, com relação à metodologia de classificação de fontes difusas decorrentes de atividades agrícolas propõe-se seu aprimoramento no sentido de atribuir potencial a classes de uso atualmente não classificadas, bem como detalhar os tipos de culturas e riscos associados. Recomenda-se também a incorporação das coordenadas geográficas dos empreendimentos.

### **5.3 ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE**

Áreas de Restrição e Controle (ARC) são caracterizadas pela necessidade de disciplinar as extrações, controlar fontes poluidoras já implantadas e restringir novas atividades potencialmente poluidoras. Essas áreas são identificadas quando indicadores de disponibilidade ou de qualidade da água subterrânea ultrapassam certos limites e colocam em risco o abastecimento público.

Normalmente os indicadores de disponibilidade utilizados referem-se à relação entre a quantidade de água disponível para uso e a quantidade de água captada por poços para abastecimento. Indiretamente, o monitoramento de níveis de água pode alertar para problemas de depleção do aquífero, os quais afetam as disponibilidades hídricas.

Indicadores de qualidade da água subterrânea como, por exemplo, nitrato, cloreto, sólidos totais dissolvidos, elementos de elevada toxicidade como arsênio, chumbo, organoclorados além de microorganismos patológicos, entre outros, presentes na água, alertam para a presença de fontes de contaminação associadas ao uso e ocupação da terra na área do aquífero, originadas normalmente pelas atividades antrópicas. Por outro lado, a presença de elementos em quantidades acima dos Valores Máximos Permitidos pela legislação também pode estar associada às características geológicas ou à circulação natural de água entre aquíferos com distintos padrões hidroquímicos, sem que haja interferência provocada pela atividade humana.

Vale a pena citar algumas iniciativas da CNRH e do CRH do Estado de São Paulo. A resolução do CNRH nº 92/2008 estabelece critérios e procedimentos gerais para a proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro, visando identificar, prevenir e reverter processos de superexploração, poluição e contaminação, considerando as áreas de uso restrito previstas na Resolução nº 22/2002.

Visando a uma classificação de Áreas de Restrição e Controle (ARC) de captação e uso das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, a Deliberação nº 52 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH), de 15 de abril de 2005, definiu três situações, como se segue:

- ✓ Áreas Potenciais de Restrição e Controle (ARC-PO): são aquelas onde a densidade de poços tubulares e o volume de água extraído indicam superexploração ou aquelas onde estão

sendo ou foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras de solo e águas subterrâneas;

- ✓ Áreas Prováveis de Restrição e Controle (ARC-PR): são aquelas onde são observados indícios de superexploração e interferência entre poços ou apresentam indícios de contaminação no solo e águas subterrâneas;
- ✓ Áreas Confirmadas de Restrição e Controle (ARC-CO): são aquelas onde foi constatada a superexploração ou a contaminação das águas subterrâneas.

Observa-se que a conceituação das áreas de restrição e controle com os adjetivos “potenciais”, “prováveis” e “confirmadas” exprimem uma gradação do nível de certeza com relação à contaminação efetiva do solo e das águas subterrâneas, que varia desde simples percepção até a comprovação real do fato, ou em outras palavras, do pressentível ao mensurável. De qualquer forma, nenhuma das classificações de áreas de restrição e controle pode efetivamente ser aplicada sem que haja um conhecimento mínimo de indicadores de disponibilidade e/ou de qualidade das águas subterrâneas baseados em parâmetros técnicos que incorporam dados de volumes de água outorgados, quantidade de água armazenada e disponível para extração nos aquíferos, densidade de poços em operação e análises hidroquímicas periódicas. As análises hidroquímicas identificam – e permitem classificar – águas subterrâneas com padrões característicos distintos, baseados nos tipos e concentrações dos elementos químicos constituintes, de modo que alterações composicionais posteriores possam alertar para possíveis contaminações.

Poucos exemplos são conhecidos sobre o estabelecimento de áreas de restrição e controle de uso de águas subterrâneas, em áreas de afloramento do SAG. Destaca-se o zoneamento realizado nas regiões urbanas e de expansão urbana da cidade de Ribeirão Preto (SP), com base em indicadores de quantidade de água extraída, concentração de poços, prováveis interferências no bombeamento e rebaixamento do nível de água do Sistema Aquífero Guarani (Resolução CRH 82/2008 e Deliberação CBH-PARDO 002/10). Nessas zonas, delimitadas geograficamente em caráter temporário em função da maior ou menor intensidade de uso das águas subterrâneas, foram estabelecidas condições específicas para a perfuração de novos poços e substituição de poços antigos, priorizando o abastecimento público. A conclusão do estudo “Desenvolvimento de Modelo Numérico para a Área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto” (EESC/USP, Contrato FEHIDRO 047/2005) deverá fornecer os subsídios técnicos necessários para a exploração de águas subterrâneas do SAG e efetivar o zoneamento atualmente em caráter temporário, de acordo com os gestores locais.

Vários municípios do País que exploram água subterrânea do SAG, normalmente em áreas de confinamento ou próximas, têm sido citados em diversas publicações técnico-científicas, periódicos, jornais e seminários, as quais relatam problemas associados à superexploração, como rebaixamento dos níveis de água ou diminuição da carga hidráulica, ou a contaminações esporádicas das águas subterrâneas. Em praticamente todos os casos, ausência de controle sistemático de registro de níveis e de análises hidroquímicas completas, aliadas à deficiência no conhecimento geológico básico, principalmente de subsuperfície, não permitem a comprovação científica dos fatos, relegando as observações ao campo das especulações.

Embora neste estudo tenha havido uma atividade de Cadastro de Poços e duas campanhas de medição de níveis de água, os dados obtidos, mesmo consolidados com as informações preexistentes não foram suficientes para calcular a potencialidade e a quantidade de água passível de extração no aquífero, que constituem informações essenciais para determinação dos indicadores de disponibilidades hídricas do SAG, um dos parâmetros utilizados para o estabelecimento das áreas de restrição e controle.

O outro indicador utilizado para estabelecimento das áreas de restrição e controle é a qualidade da água subterrânea, que não deve conter elementos em quantidades acima dos Valores Máximos Permitidos pela legislação ou elementos considerados contaminantes. A seleção de parâmetros analíticos para o monitoramento da qualidade de águas subterrâneas é necessária em função da complexidade hidrogeológica, da variada gama de elementos potencialmente presentes nas águas, do difícil acesso e representatividade das amostras (CETESB, 2001). Várias espécies químicas, tais como sódio, cloreto, magnésio, sulfato, ferro manganês, flúor, bário, cromo etc., podem estar presentes naturalmente nas águas subterrâneas, como um resultado da interação geoquímica água-solo-rocha (CETESB, 1998). No Estado de São Paulo, por exemplo, a CETESB optou pela determinação de alguns indicadores de qualidade, acrescidos dos elementos de maior interesse, em termos de ocorrência natural, e alguns indicadores de efeito antrópico, a seguir:

- ✓ Parâmetros físicos e químicos: temperatura, pH, condutividade elétrica, cálcio, cloreto, cromo total, dureza total, ferro total, fluoreto, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato nitrogênio nitrito, nitrogênio Kjeldahl total, potássio, sólidos dissolvidos totais;
- ✓ Parâmetros bacteriológicos: contagem padrão de bactérias, coliformes totais e coliformes fecais.
- ✓ Atividade estrogênica: avaliação dos interferentes endócrinos, por meio da determinação da atividade estrogênica. Interferentes endócrinos são compostos que possuem a capacidade de interferir na produção ou ação dos hormônios, podendo causar danos ao sistema reprodutor e imunológico de organismos superiores, especialmente organismos aquáticos. Estes compostos podem atingir os mananciais subterrâneos pela contaminação com esgoto doméstico ou pela percolação de pesticidas ou outros compostos aplicados no solo.

Os resultados das análises químicas realizadas neste projeto mostraram que quase todas as amostras de água estão com parâmetros químicos situados abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação vigente (Portaria nº 2.914/11). As exceções (Quadro 5.1) podem corresponder a: i) vazamentos em redes de esgotamento sanitário, presença de fossas sépticas ou origem nas camadas superiores do solo, no caso da detecção de nitrato acima do Valor Máximo Permitido; ii) presença de minerais ferromagnesianos constituintes de rochas vulcânicas ou corrosão de revestimento e de tubulações adutoras de poços, no caso de ferro e manganês; iii) captação de águas subterrâneas de unidades hidroestratigráficas com influência deposicional marinha, localizadas abaixo do SAG, no caso da presença de flúor, sódio e sulfato com teores elevados. Por outro lado, a maioria das amostras apresentou contaminação



microbiológica em razão da falta de cimentação e de proteção sanitária dos poços, conforme Quadro 5.1.

**QUADRO 5.1 - AMOSTRAS DE ÁGUA DE POÇOS COLETADAS DURANTE A PRIMEIRA CAMPANHA, COM PARÂMETROS ACIMA DOS VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS PELA PORTARIA MS/2.914**

<i>Amostra</i>	<i>UF</i>	<i>Município</i>	<i>Ions</i>	<i>VPM(2.914/11) (mg/l)</i>	<i>Valor obtido (mg/L)</i>
GS145	RS	São Francisco Assis	Nitrato	44	83,2
GS146	RS	Santa Maria			58,1
GS153	RS	Santana do Livramento			51,2
GN050	MS	Nioaque			102
GN100	MT	Alto Araguaia			113
GN114	MT	Alto Araguaia			47,3
GS169	SC	Urubici	Ferro	0,3	0,5
GN047	GO	Mineiros			1,47
GS169	SC	Urubici	Manganês	0,1	0,64
GN052	MS	Nioaque			0,11
GN100	MT	Alto Araguaia			1,62
GN111	MT	Alto Araguaia			0,13
GN114	MT	Alto Araguaia			0,25
GS086	RS	Restinga Seca	Fluoreto	1,5	1,8
GS148	RS	Santa Maria			2,01
GS148	RS	Santa Maria	Sódio	200	448
GS148	RS	Santa Maria	Sulfato	250	444
GS167	SC	Timbé do Sul		250	255

Para determinar se esses elementos com concentrações acima do Valor Máximo Permitido estão vinculados somente ao poço no qual foram coletadas as amostras de água ou estão propagados por área mais extensa do aquífero, investigações posteriores de caráter local devem ser feitas para dirimir as dúvidas.

Considerando a distribuição e número de poços amostrados para análise e os resultados dos parâmetros hidroquímicos, não se justifica a proposição de áreas com necessidade de medidas de controle mais restritivas nas faixas de afloramentos do SAG, no momento atual. Todavia, recomenda-se a realização de estudos futuros nestas áreas para, se for o caso, propor áreas de restrição devido à qualidade da água ou ações de fiscalização para a paralisação do bombeamento de poços com problemas de qualidade que possam afetar a saúde humana ou até mesmo o monitoramento preventivo da qualidade aliado à quantidade.

---

## 5.4 PROPOSIÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO DE AQUÍFEROS

---

### 5.4.1 Identificação e Delimitação das Áreas de Proteção do SAG

Independentemente do estabelecimento de áreas de proteção, aquíferos aflorantes devem ser sistematicamente monitorados quanto à preservação da qualidade de suas águas para os diversos usos, principalmente abastecimento público. Nesse sentido, legislações e diretrizes específicas devem ser aplicadas pelos órgãos ambientais para controle das práticas agrícolas e uso da terra, bem como para a instalação de empreendimentos industriais em zonas urbanas. Não se pode ignorar que todo aquífero aflorante é, em menor ou maior grau, vulnerável a contaminantes e, portanto, não existe uma única porção que não mereça cuidados.

Áreas de proteção de aquíferos são áreas selecionadas e delineadas no terreno com base em critérios técnicos e/ou políticos, cuja função é manter e preservar as condições naturais do aquífero, como capacidade de infiltração e capacidade de atenuação ou degradação de substâncias poluentes, de modo a assegurar suprimento público de água adequado e de boa qualidade.

Os critérios técnicos para seleção de áreas de proteção incluem análises de mapas de vulnerabilidade, mapas de uso e ocupação da terra e mapas de perigo de contaminação. Os critérios políticos incluem amplas discussões com órgãos gestores de recursos hídricos, de meio ambiente, prefeituras, comitês de bacias hidrográficas e representantes da sociedade civil. Também devem ser avaliadas as questões de ordem econômica, as quais exercem pressão sobre áreas naturais ou de preservação ambiental.

As áreas de proteção de aquíferos podem ter caráter local ou regional. Em muitos países, como nos EUA, as áreas de proteção estão diretamente vinculadas às bacias contribuintes dos sistemas de captação por meio de poços, o que lhes confere caráter local. Em outros, como no Brasil, as áreas de proteção de aquíferos tendem a ser extensas e não estão, necessariamente, associadas às bacias de contribuição das captações subterrâneas, conferindo-lhes caráter regional.

O método para proposição de áreas de proteção, com a finalidade de manter as características naturais do solo e da cobertura vegetal, de modo a favorecer a recarga direta, baseou-se no mapeamento do uso da terra e na vulnerabilidade natural do aquífero.

O mapeamento do uso da terra evidenciou áreas naturais com cobertura de matas, matas galeria e várzeas pouco impactadas pela atividade antrópica. As duas últimas são áreas protegidas por legislação específica e localizadas em regiões de descarga de águas subterrâneas, portanto, foram desconsideradas para indicação de áreas de proteção. Já as áreas de mata ou de cerrado representam terrenos que beneficiam a manutenção do regime hídrico subterrâneo e constituem áreas potenciais para proteção do aquífero.

O mapa de vulnerabilidade definiu regiões classificadas como de grau insignificante, baixo, médio, alto e extremo quanto à facilidade de acesso à infiltração de contaminantes pelo solo. Áreas de vulnerabilidade alta a extrema normalmente estão associadas às zonas de descarga,

nas quais o nível de água do aquífero está próximo ou aflora na superfície do terreno. Áreas de vulnerabilidade insignificante a baixa são caracterizadas pela distância superior a 50 metros da superfície do terreno até o lençol de água subterrâneo, ou por terrenos constituídos por litologias pouco permeáveis que dificultam a recarga natural do aquífero. Assim, áreas com vulnerabilidade média parecem ser as mais interessantes para indicação com vistas à proteção de aquíferos, pois são definidas por litologias permeáveis e profundidades de nível de água entre 20 metros e 50 metros.

Definidos os critérios acima, ou seja, uso da terra por áreas de mata e de cerrado, e vulnerabilidade média do aquífero, o cruzamento dos respectivos mapas definiu regiões potenciais para seleção e proposição de áreas de proteção do SAG. Essas regiões revelaram-se preponderantemente descontínuas, dispersas e com áreas pouco expressivas, com raras exceções. Como critério complementar, as regiões foram agrupadas entre si para formar núcleos maiores, desde que distantes no máximo 1 km umas das outras. Finalizado o agrupamento das regiões, foram consideradas de interesse para indicação como áreas de proteção de aquíferos somente aquelas com superfície superior a 10 km<sup>2</sup>. As indicações, todavia, constituem apenas sugestões baseadas em conceitos técnicos e a implementação das mesmas dependerá da decisão de cada estado envolvido.

Para o Estado do Rio Grande do Sul foram delimitadas 6 regiões potenciais com áreas variando entre 10 km<sup>2</sup> e 20 km<sup>2</sup>, localizadas nos municípios de Agudo, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Ivorá, Nova Palma, Paraíso do Sul, Santa Maria e Silveira Martins (Figura 5.1). Nenhuma dessas áreas encontra-se em Unidades de Conservação.

Para o Estado de Santa Catarina foram delimitadas 13 regiões potenciais com áreas entre 10 km<sup>2</sup> e 48 km<sup>2</sup>, localizadas nos municípios de Porto União, Irineópolis, Timbó Grande, Canoinhas, Santa Cecília, Bela Vista do Toldo, Major Vieira, Monte Castelo, Timbé do Sul, Rio Rufino, Urubici, Bom Jardim da Serra, Bom Retiro, Treviso e Lauro Muller (Figuras 5.2 e 5.3). Algumas áreas situadas no Município de Urubici são contíguas ao Parque Nacional de São Joaquim.

Para o Estado do Paraná foram delimitadas 5 regiões potenciais com áreas entre 10 km<sup>2</sup> e 50 km<sup>2</sup>, localizadas nos municípios de Pitanga, Cruz Machado, Inácio Martins, Porto Vitória, União da Vitória, Paula Freitas e Paulo Frontin (Figura 5.4). Nenhuma dessas áreas encontra-se em Unidades de Conservação.

Para o Estado de Minas Gerais foram delimitadas 3 regiões potenciais com áreas entre 16 km<sup>2</sup> e 33 km<sup>2</sup>, localizadas nos municípios de Sacramento, Claraval e Ibiraci (Figura 5.5), também localizadas fora de Unidades de Conservação.

Para o Estado de Mato Grosso do Sul foram delimitadas 35 regiões potenciais com áreas entre 10 km<sup>2</sup> e 119 km<sup>2</sup>, localizadas nos municípios de Nioaque, Anastácio, Terenos, Coxim, Sonora, Rochedo, São Gabriel do Oeste, Pedro Gomes, Camapuã, Figueirão, Alcinópolis e Costa Rica (Figura 5.6 e 5.7). Algumas áreas situam-se próximas ou dentro da Unidade de Conservação Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari e da área de proteção ambiental Rio Cênico Rotas Monçoeiras.

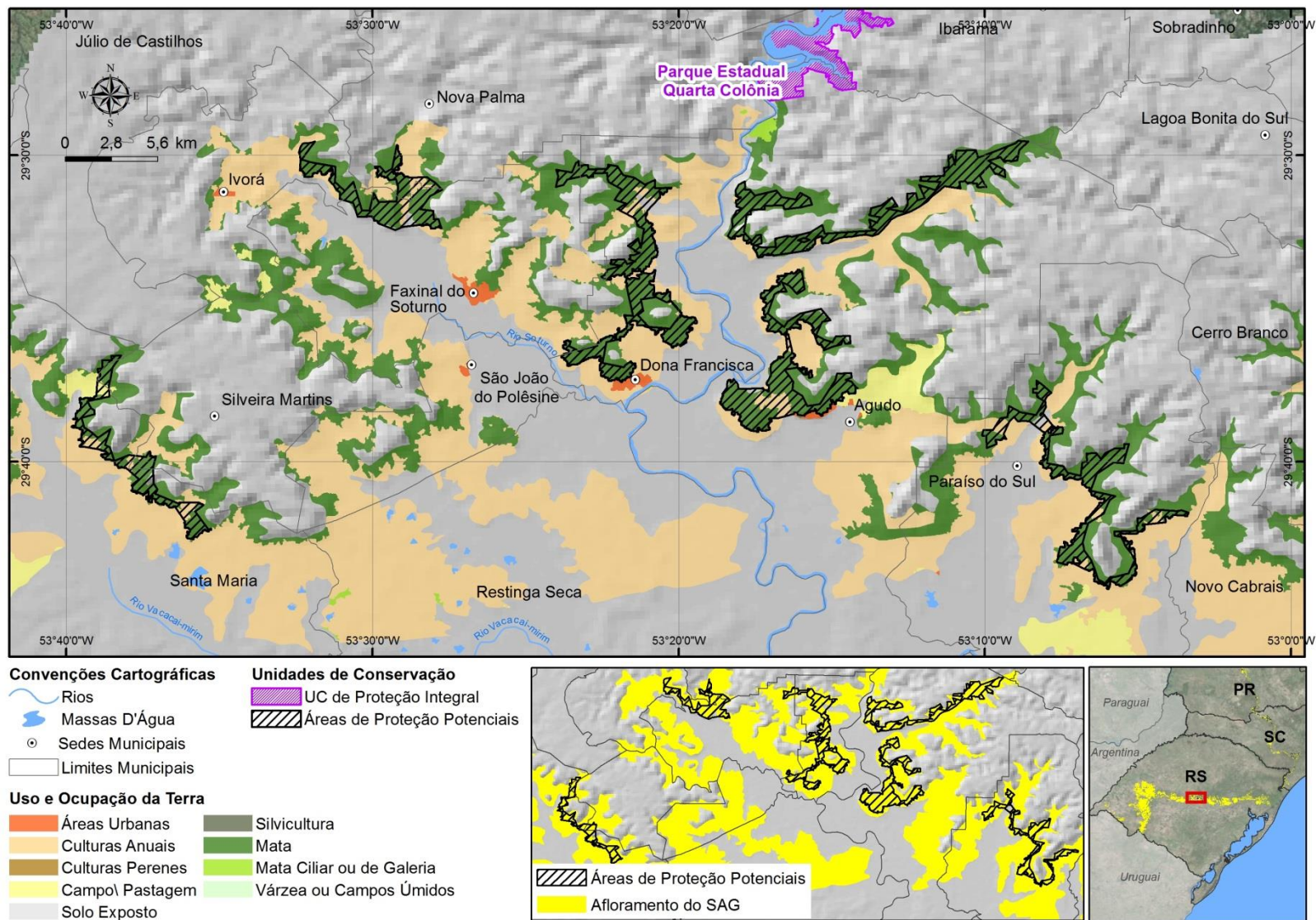


Figura 5.1 – Mapa de localização das áreas de proteção de aquíferos potenciais para o Estado do Rio Grande do Sul.

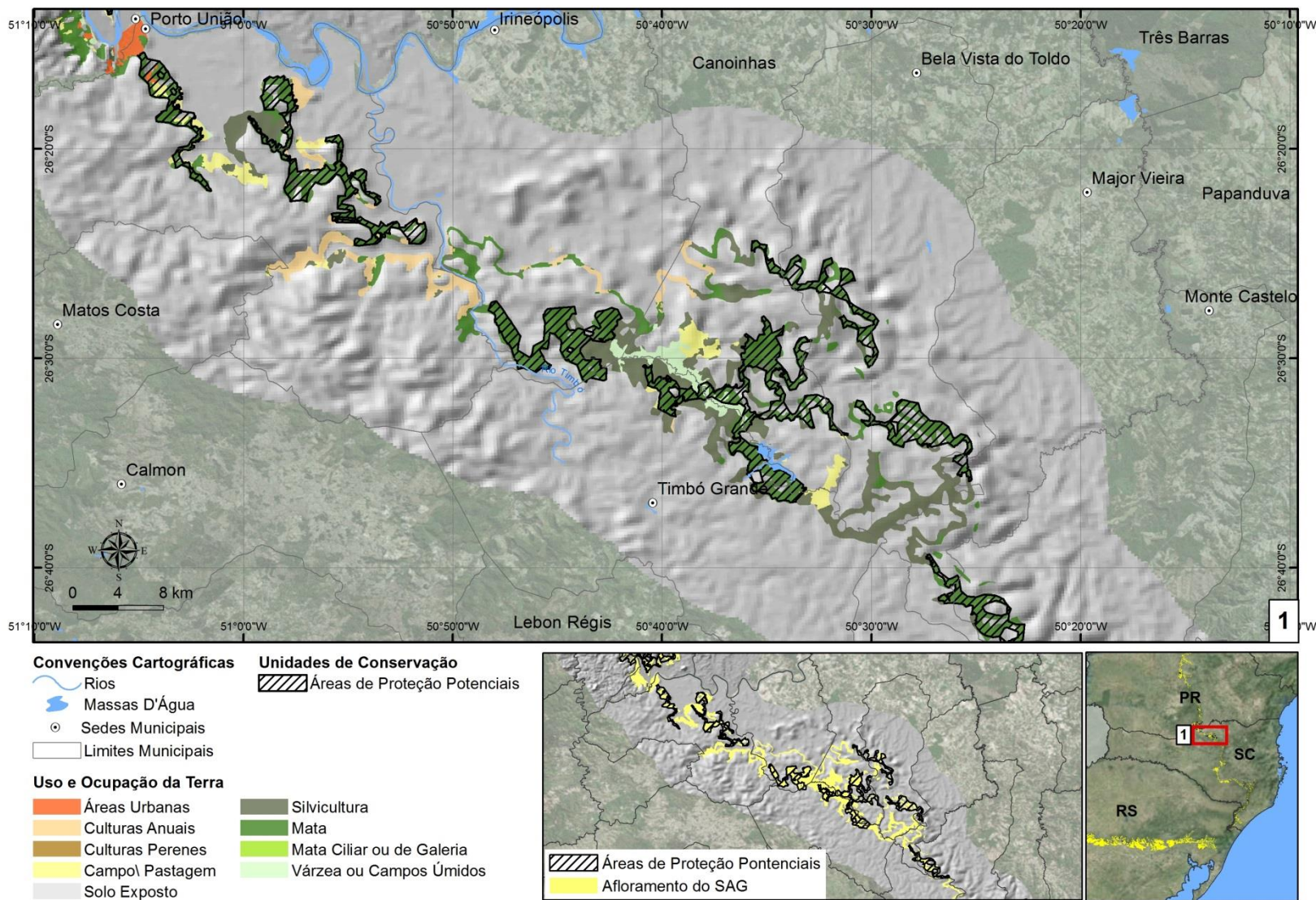


Figura 5.2 – Mapa de localização das áreas de proteção de aquíferos potenciais para o Estado de Santa Catarina – Porção Norte do Afloramento.

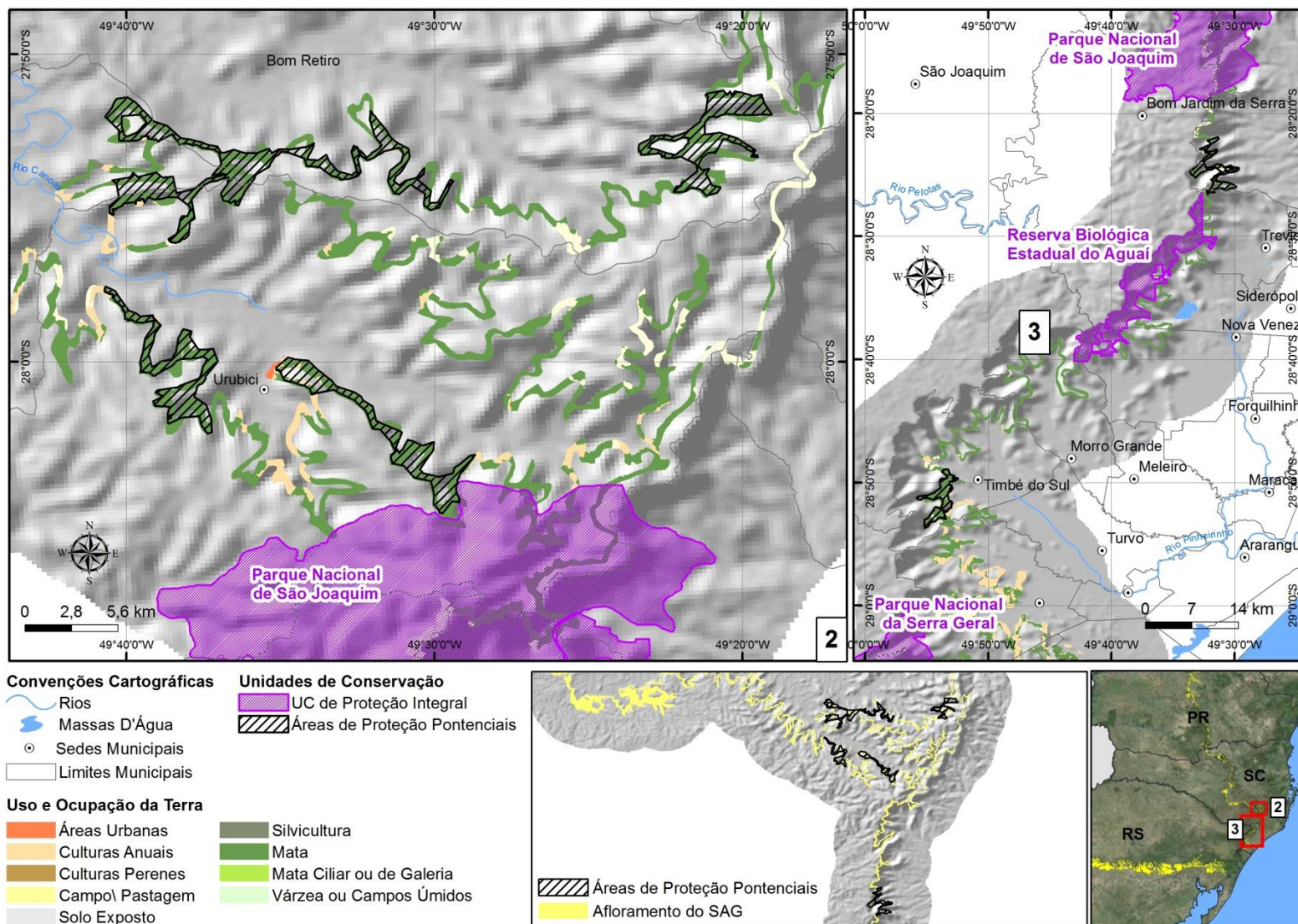


Figura 5.3 – Mapa de localização das áreas de proteção de aquíferos potenciais para o Estado de Santa Catarina – Porção Sul do Afloramento.

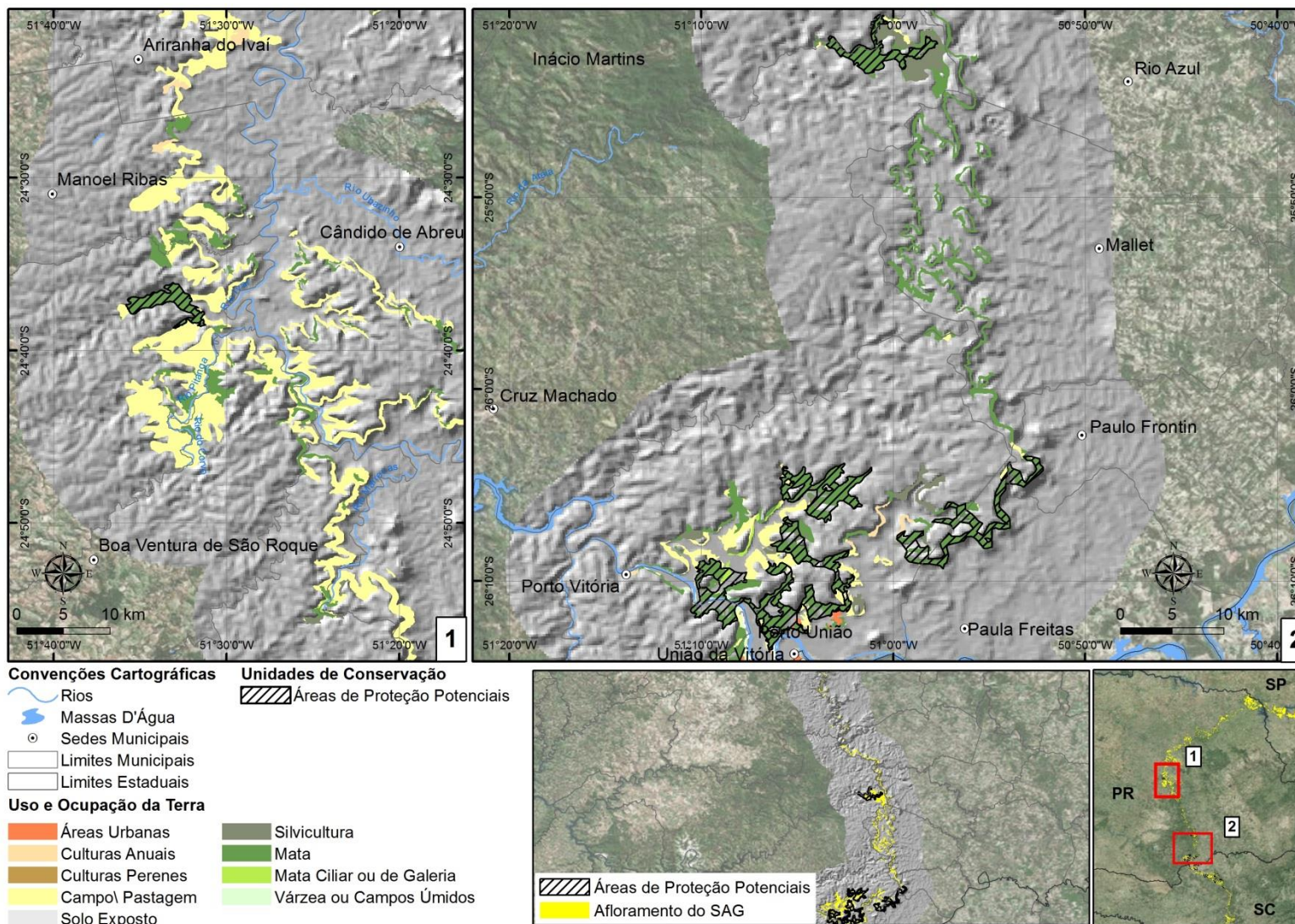


Figura 5.4 – Mapa de localização das áreas de proteção de aquíferos potenciais para o Estado do Paraná.

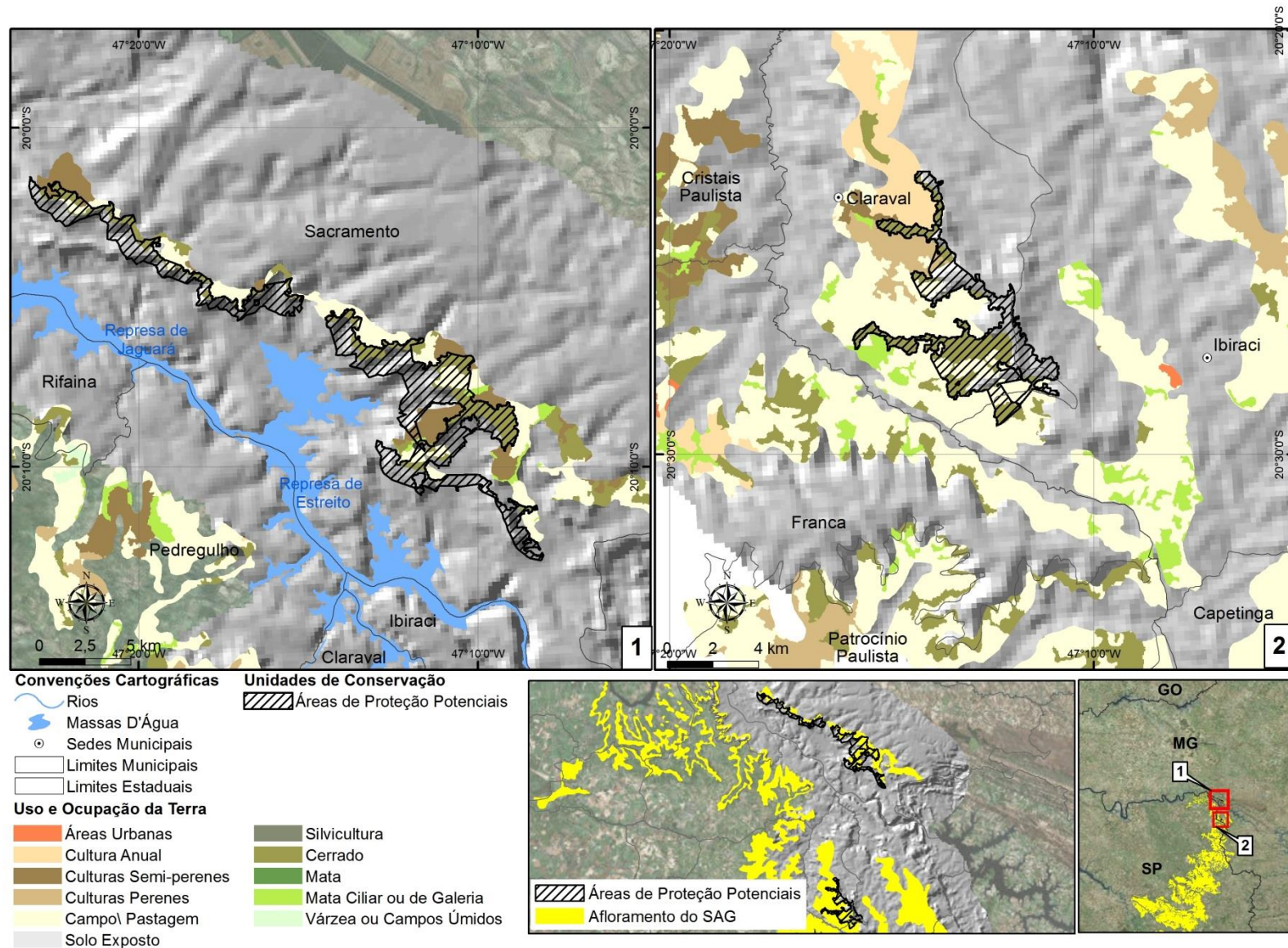


Figura 5.5 – Mapa de localização das áreas de proteção de aquíferos potenciais para o Estado de Minas Gerais.



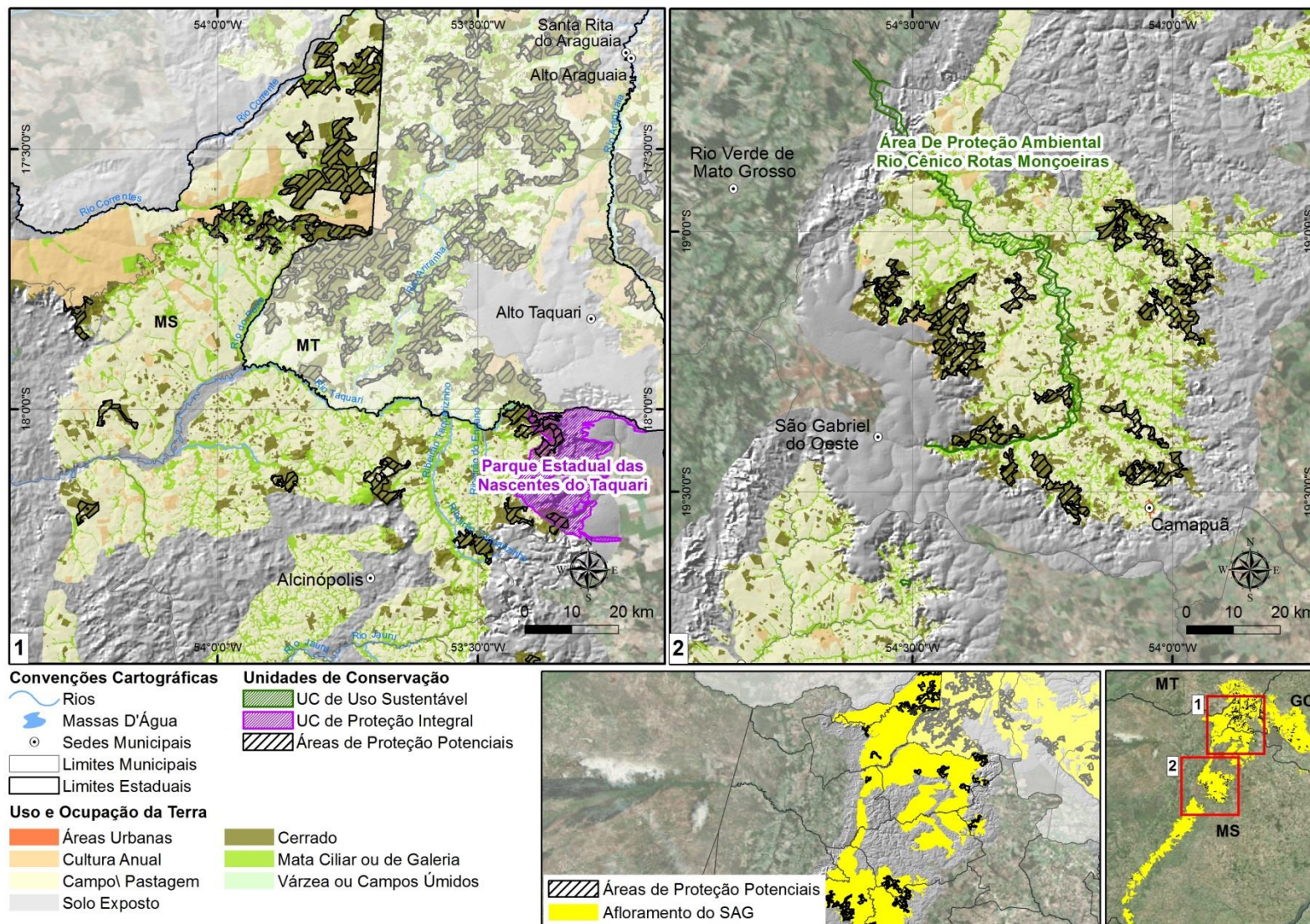


Figura 5.6 – Mapa de localização das áreas de proteção de aquíferos potenciais para o Estado de Mato Grosso do Sul – Porção Norte do Afloramento.

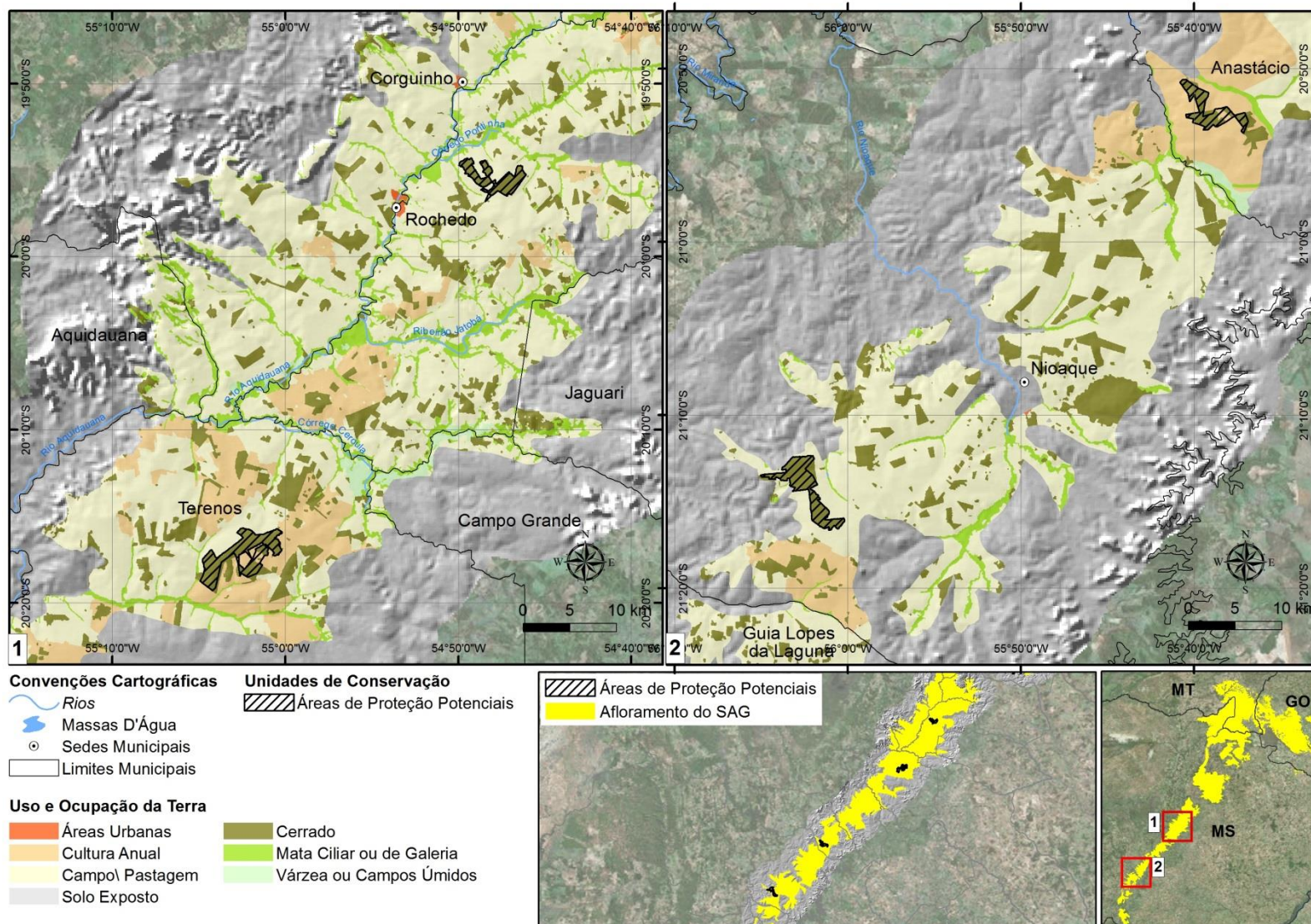


Figura 5.7 – Mapa de localização das áreas de proteção de aquíferos potenciais para o Estado de Mato Grosso do Sul – Porção Sul do Afloramento.

Para o Estado de Mato Grosso foram delimitadas 26 regiões potenciais com áreas entre 10 km<sup>2</sup> e 398 km<sup>2</sup>, localizadas nos municípios de Itiquira, Alto Garças, Alto Araguaia e Alto Taquari (Figura 5.8). Nenhuma dessas áreas localiza-se dentro de Unidades de Conservação.

Para o Estado de Goiás foram delimitadas 27 regiões potenciais com áreas entre 10 km<sup>2</sup> e 32 km<sup>2</sup>, localizadas nos municípios de Santa Rita do Araguaia, Mineiros e Serranópolis (Figura 5.9). Destaca-se que algumas dessas áreas já estão contidas no Parque Nacional das Emas e outras são contíguas.

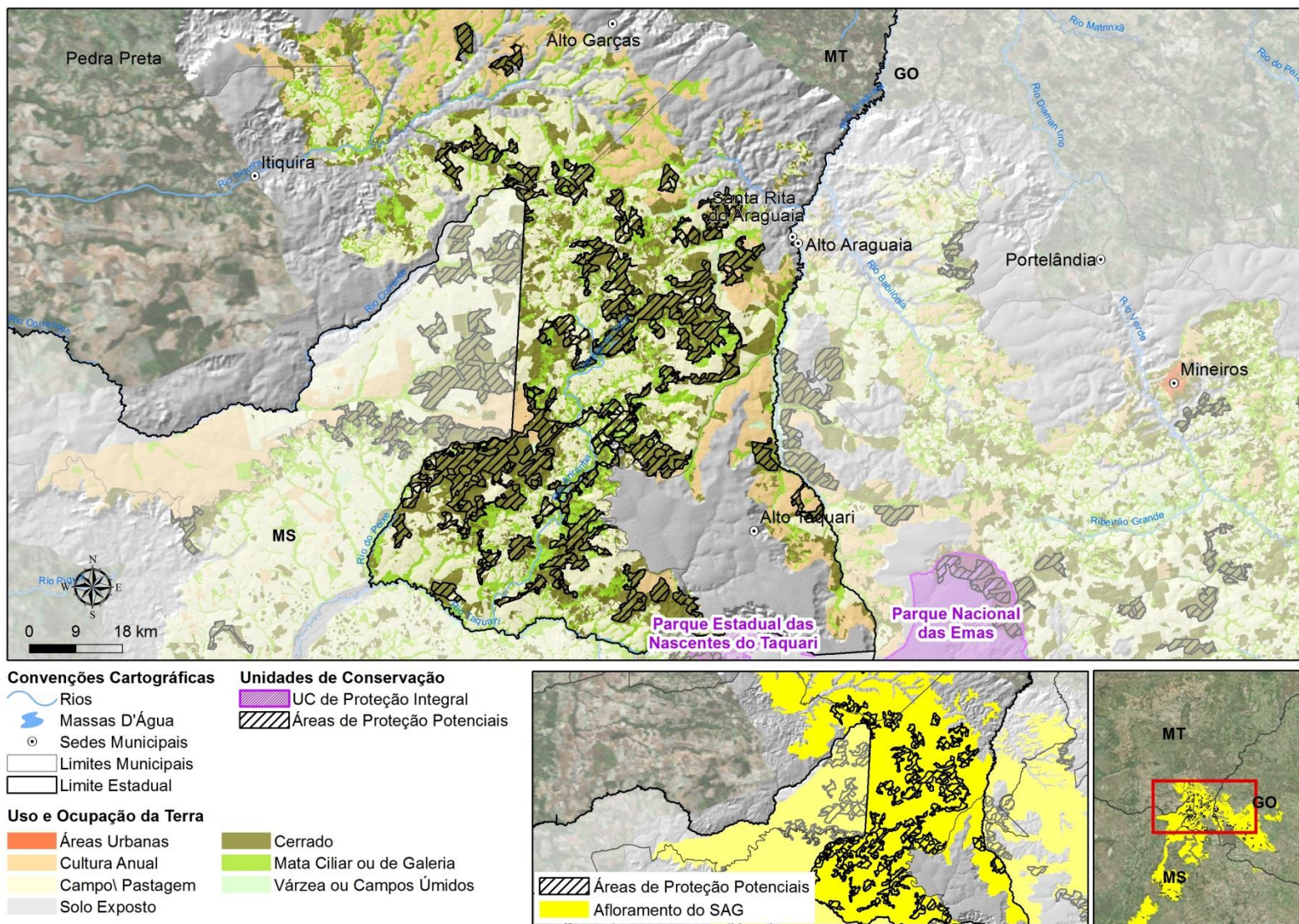


Figura 5.8 - Mapa de localização das áreas de proteção de aquíferos potenciais indicadas para o Estado de Mato Grosso.

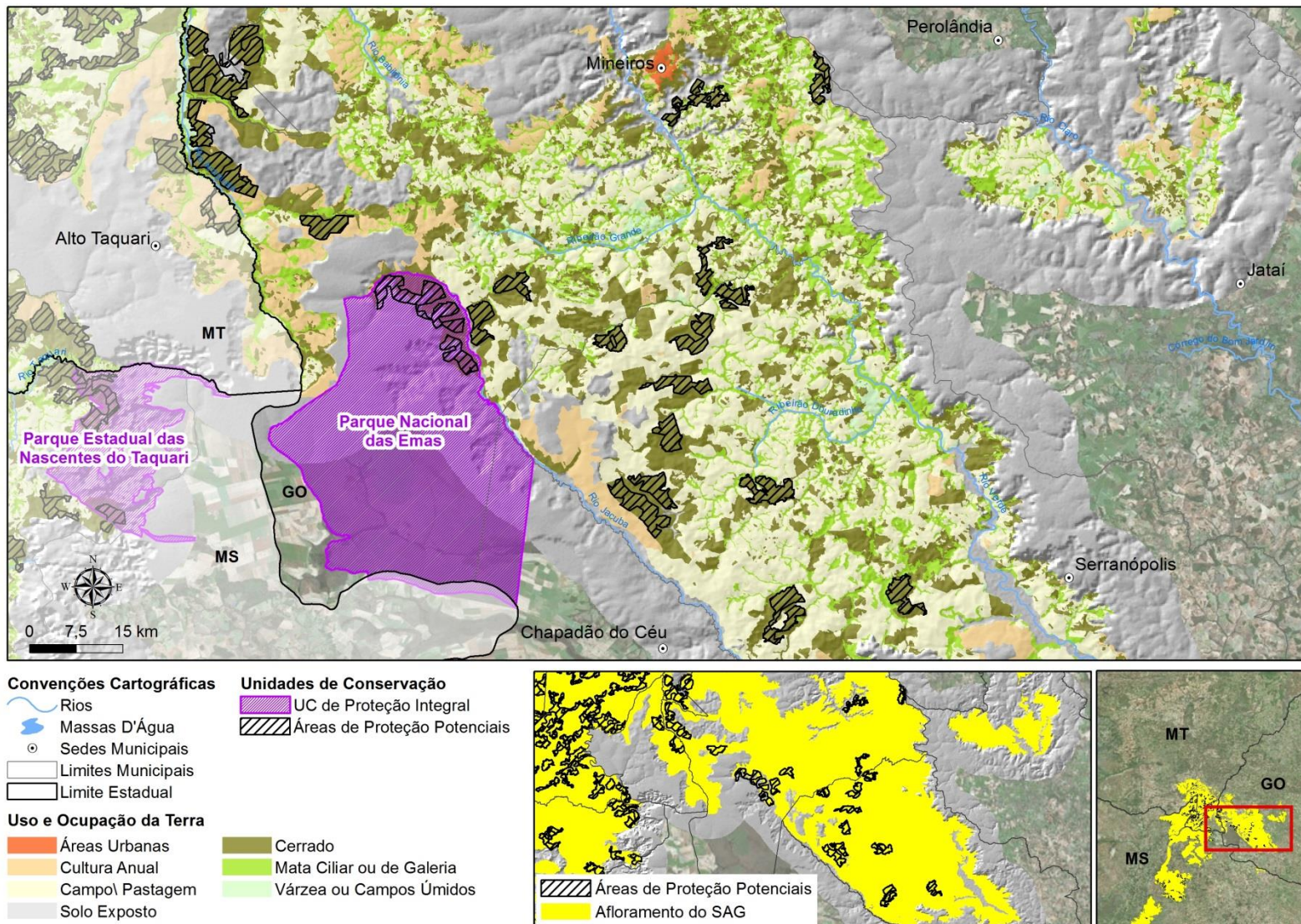


Figura 5.9 - Mapa de localização das áreas de proteção de aquíferos potenciais indicadas para o Estado de Goiás.

#### **5.4.2 Diretrizes Específicas para as Áreas de Proteção do Aquífero**

As áreas de proteção do aquífero Guarani foram definidas e mapeadas obedecendo à metodologia descrita no item anterior.

Os resultados obtidos levaram à proposta de estratégias adicionais direcionadas especificamente para conservação das áreas de proteção do SAG, abordadas no presente item.

Essas estratégias, discutidas a seguir, foram definidas tomando por base o mapeamento das áreas de proteção do aquífero, em cada Estado, as Unidades de Conservação (UCs) existentes nas suas proximidades e também os padrões de uso e ocupação da terra na área de interesse.

A primeira estratégia avaliada foi a de ampliar as áreas das UCs de proteção integral que se localizam próximas às áreas de proteção do SAG, o que se aplicaria particularmente aos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás.

Contudo, julga-se que a viabilização dessa alternativa seria possível apenas para pequenas parcelas de áreas, tendo em vista que a efetiva implementação de UCs de proteção integral requer a desapropriação das terras dentro dos seus limites, o que oneraria em muito essa opção. E para abranger todas as áreas de proteção do SAG, seriam necessárias UCs de proteção integral com grande extensão.

Especificamente com relação a Santa Catarina, porções das áreas de proteção do SAG se localizam entre três UCs de proteção integral. Para este caso, foi cogitada a criação de um corredor ecológico ligando as três UCs, e passando pelas áreas de proteção citadas.

De acordo com sua definição, corredores ecológicos são porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando Unidades de Conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais.

Outra possibilidade analisada foi a criação de uma lei de proteção de mananciais, a exemplo do modelo adotado no Estado de São Paulo, abrangendo as áreas de proteção do SAG. Julga-se que essa opção, porém, não se mostra atraente, tendo em vista os seguintes aspectos:

- ✓ Seriam necessárias leis estaduais para instituir o modelo, e discussões no âmbito dos comitês de bacia hidrográfica para negociar o zoneamento das áreas de proteção do SAG incidentes nas bacias, além de um compromisso de todos os municípios de replicarem a lei estadual;
- ✓ Seriam necessárias discussões entre mais de um comitê de bacia hidrográfica para chegar a um acordo de criação de uma área de proteção de aquífero.

Outra alternativa considerada foi a criação de Áreas de Proteção Ambiental (APAs) estaduais e federais, abrangendo as áreas de proteção do SAG, cabendo as seguintes observações:

- ✓ As APAs são UCs de uso sustentável, possibilitando, pois, o uso controlado da terra e eliminando a necessidade de que as terras nelas contidas tenham que ser desapropriadas;
- ✓ A criação de APAs estaduais depende de lei estadual e de APAs federais, de lei federal;
- ✓ O zoneamento das APAs, instrumento que dá efetividade ao modelo, depende de decreto federal ou estadual, e possibilita definir zonas específicas para proteção do aquífero, por exemplo, zonas de interesse ambiental, zonas de proteção de águas subterrâneas etc.

Uma vez avaliadas essas hipóteses, nos itens seguintes, apresentam-se as estratégias recomendadas para cada Estado, cabendo salientar que as propostas apresentadas constituem sugestões, a serem analisadas e detalhadas caso a caso.

#### 5.4.2.1 Rio Grande do Sul

Neste Estado, está localizada nas proximidades das áreas de proteção do SAG uma UC de proteção integral, o Parque Estadual Quarta Colônia. Destaca-se que esta Unidade de Conservação não possui Plano de Manejo. Para ampliar a proteção do aquífero, propõe-se a criação de uma APA estadual, lindeira ao Parque, tal como ilustra a Figura 5.10.

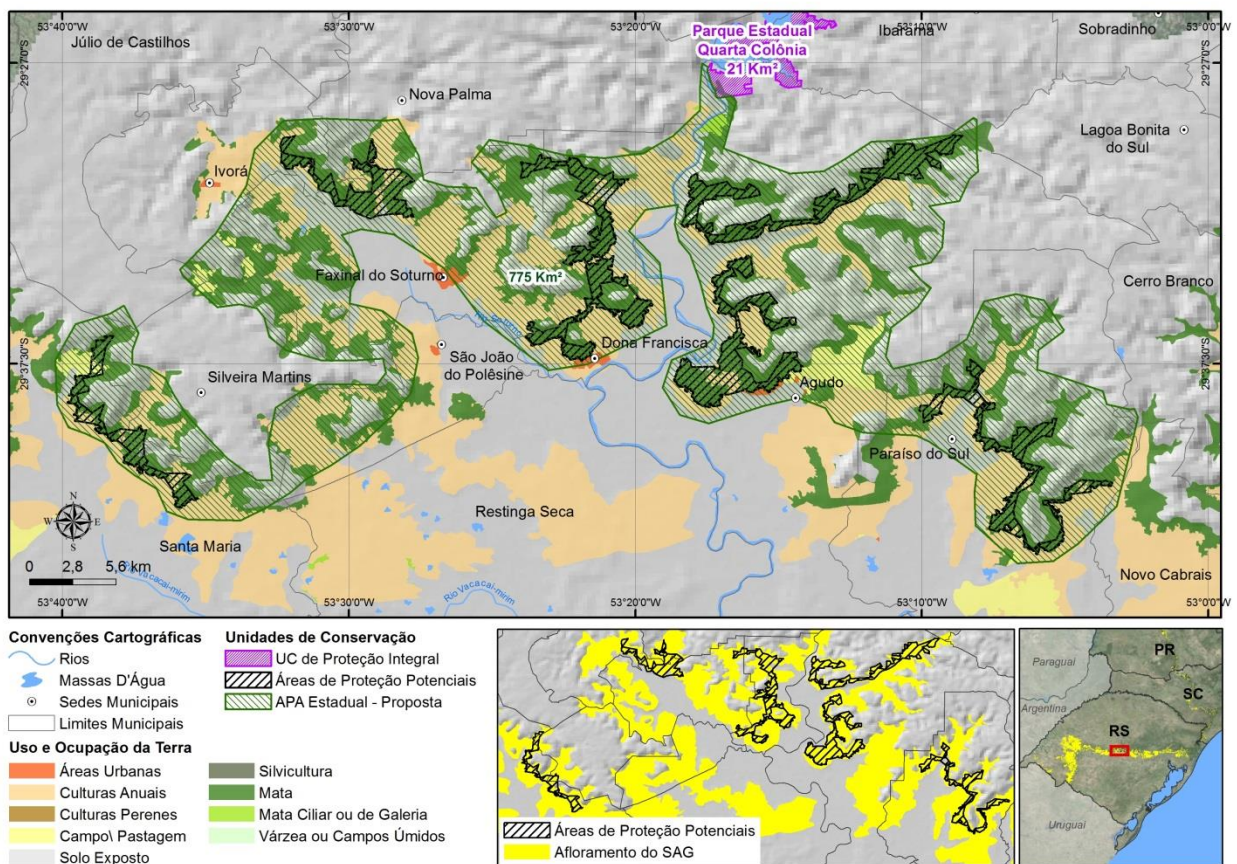


Figura 5.10 – Áreas de proteção potenciais do SAG no Rio Grande do Sul e proposta para criação de APA

Portanto, a APA proposta seria lindeira ao Parque Estadual existente e envolveria todas as áreas de proteção do SAG, resultando num total de cerca de 780 km<sup>2</sup>.

O uso e ocupação da terra nas áreas de proteção do SAG no Rio Grande do Sul está quantificado no Quadro 5.2, observando-se que quase 90% dessas áreas estão ocupadas por matas, o que representa condição muito favorável à proteção do aquífero, e que seria reforçada pela criação da APA proposta.

**QUADRO 5.2 – USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NAS ÁREAS DE PROTEÇÃO DO SAG NO RIO GRANDE DO SUL**

Classe	Área de Proteção do SAG	
	km <sup>2</sup>	%
Urbano	0,06	0,07
Culturas Anuais	7,57	8
Culturas Anuais - Arroz	0,72	1
Culturas Anuais - Soja	1,90	2
Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	-	-
Culturas Perenes	-	-
Pastagens	0,88	1
Solo Exposto	-	-
Silvicultura	-	-
Mata	80,47	88
Mata Ciliar ou de Galeria	-	-
Campos Úmidos ou de Várzea	-	-
Cerrado	-	-
Rios	-	-
Lagos	-	-
Mineração	-	-
Total	91,62	100

#### 5.4.2.2 Santa Catarina

Em Santa Catarina, parte das áreas de proteção do SAG se localiza nas proximidades de três UCs de proteção integral: Reserva Biológica Estadual do Aguai, Parque Nacional de São Joaquim e Parque Nacional da Serra Geral. Nenhuma dessas UCs possui Plano de Manejo.

Para esse Estado, propõem-se as seguintes estratégias para ampliar a proteção do SAG, a serem incorporados nos seus Planos de Manejo:

Para a porção norte do afloramento:

- ✓ Criação de uma APA federal, envolvendo as áreas de proteção do aquífero localizadas no compartimento noroeste do afloramento, com área de cerca de 1.000 km<sup>2</sup> em Santa Catarina (Figura 5.11), que teria continuidade no Estado do Paraná.

Para a porção sul do afloramento:

- ✓ Criação de uma APA estadual, envolvendo as áreas de proteção do aquífero localizadas ao norte do Parque Nacional de São Joaquim, com área de aproximadamente 500 km<sup>2</sup> (Figura 5.12, Mapa 2); e



- ✓ Criação de um Corredor Ecológico interligando as três UCs de proteção integral (Reserva Biológica Estadual do Aguai, Parque Nacional de São Joaquim e Parque Nacional da Serra Geral), no qual estariam inseridas as áreas de proteção do SAG (Figura 5.12, Mapa 3). O corredor proposto teria área de cerca de 550 km<sup>2</sup>.

Sobre a criação de Corredores Ecológicos, o site do Instituto Chico Mendes de Biodiversidade – ICMBio, informa o seguinte:

*A implementação de um Corredor Ecológico depende da pactuação entre a União, Estados e Municípios para permitir que os órgãos governamentais responsáveis pela preservação do meio ambiente e outras instituições parceiras possam atuar em conjunto para fortalecer a gestão das Unidades de Conservação, elaborar estudos, prestar suporte aos proprietários rurais e aos representantes de comunidades quanto ao planejamento e o melhor uso do solo e dos recursos naturais, auxiliar no processo de averbação e ordenamento das reservas legais - RL, apoiar na recuperação das Áreas de Preservação Permanente - APP, entre outros.*

Portanto, a criação de um Corredor depende da atuação dos Estados e municípios diretamente sobre as propriedades, organizando e disciplinando o uso da terra. Dadas as dificuldades inerentes à imposição de regras para o uso da terra nas propriedades particulares, uma hipótese a ser considerada seria a de beneficiar aqueles proprietários que adotarem práticas ambientalmente adequadas. Isso é possível mediante a aplicação de instrumentos econômicos, tais como a implantação do Pagamento por Serviços ambientais (PSA) aos proprietários, considerados, neste caso, como “Produtores de Água”.

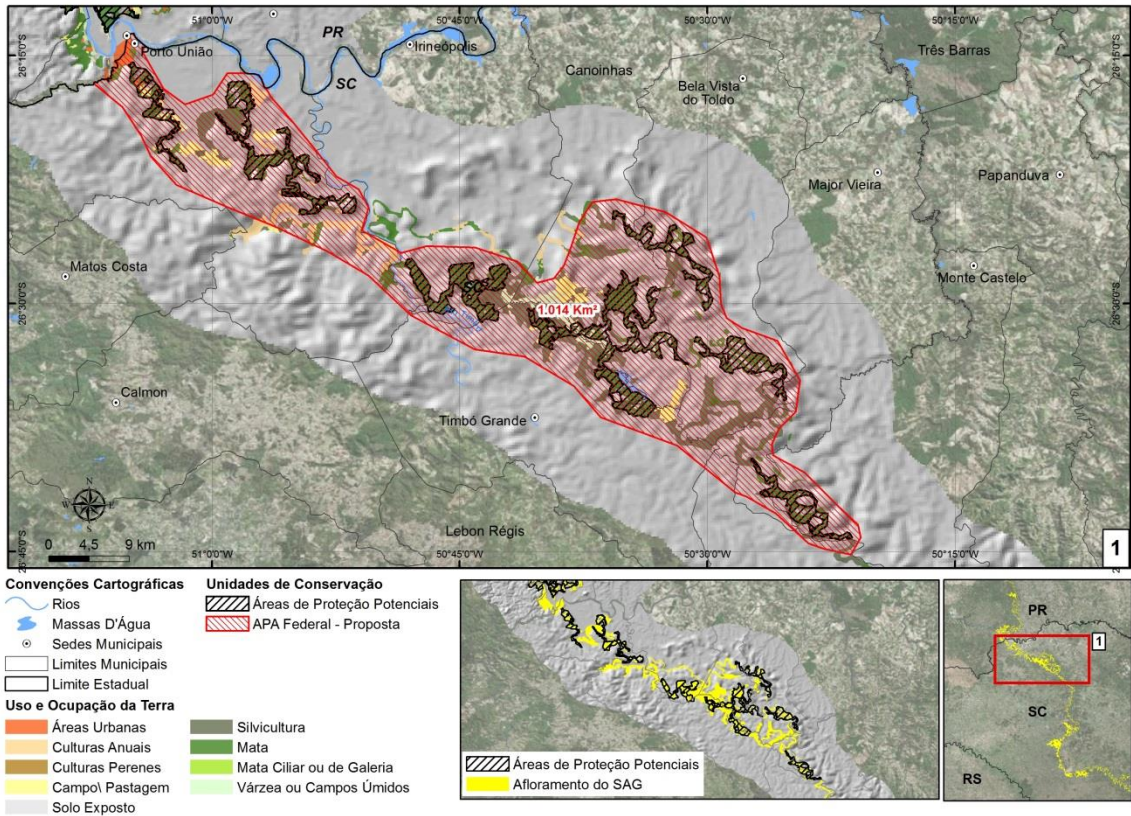


Figura 5.11 - Áreas de Proteção Potenciais do SAG em Santa Catarina - Porção Norte do Afloramento – Proposta para a Criação de APA Federal

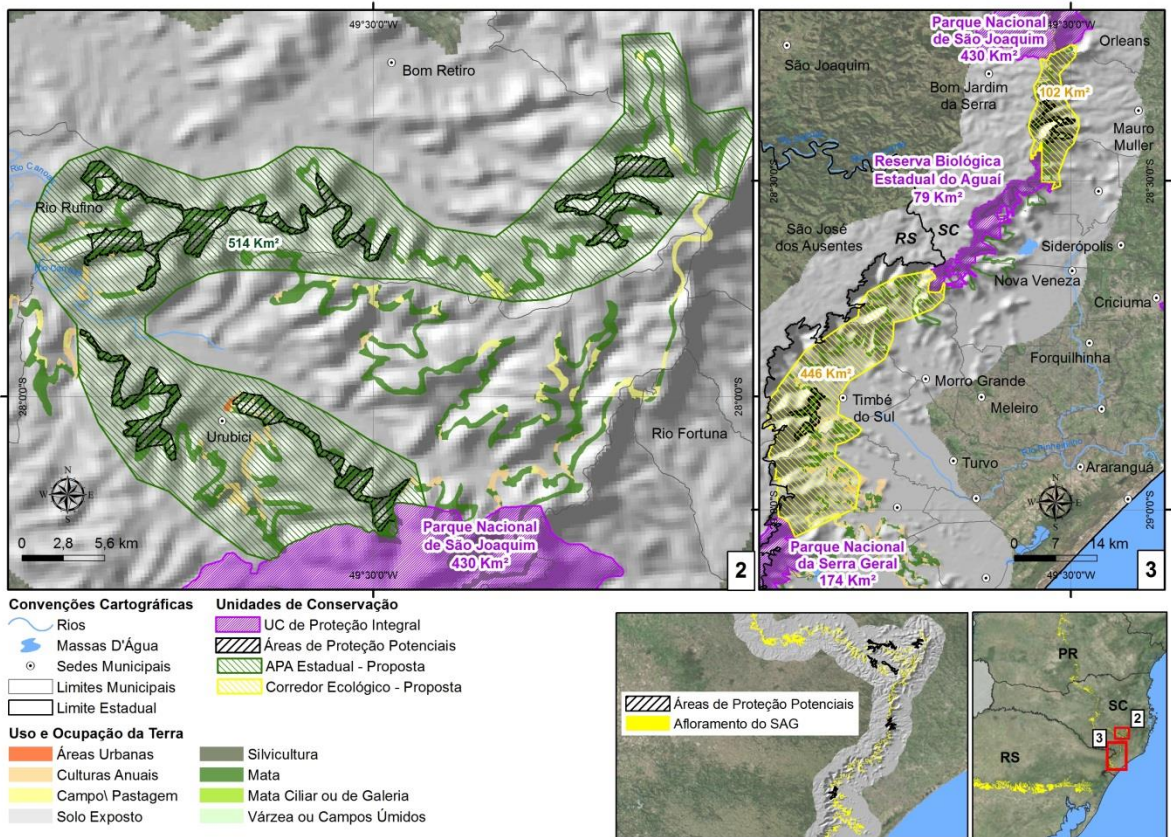


Figura 5.12 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG em Santa Catarina – Porção Sul do Afloramento - Proposta para a Criação de APA Estadual e Corredor Ecológico

O Quadro 5.3 apresenta o uso e a ocupação da terra nas áreas de proteção do SAG em Santa Catarina, verificando-se que 74% das áreas de proteção se encontram cobertas por mata, à semelhança da condição favorável para o aquífero constatada no Rio Grande do Sul.

A criação das APAs propostas e do Corredor Ecológico poderia contribuir para a preservação dessas áreas vegetadas, ampliando a proteção do SAG.

**QUADRO 5.3 – USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NAS ÁREAS DE PROTEÇÃO DO SAG EM SANTA CATARINA**

Classe	Área de Proteção do SAG	
	km <sup>2</sup>	%
Urbano	0,69	0,28
Culturas Anuais	1,38	0,6
Culturas Anuais - Arroz	-	-
Culturas Anuais - Soja	-	-
Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	-	-
Culturas Perenes	-	-
Pastagens	2,95	1,2
Solo Exposto	-	-
Silvicultura	4,73	1,9
Mata	182,54	74,0
Mata Ciliar ou de Galeria	-	-
Campos Úmidos ou de Várzea	1,58	0,6
Cerrado	-	-
Rios	0,27	0,1
Lagos	-	-
Mineração	-	-
Fora	52,63	21
<b>Total</b>	<b>246,76</b>	<b>100</b>

#### 5.4.2.3 Paraná

No Paraná, não existem UCs próximas das áreas de proteção do aquífero. Para esse Estado, conforme ilustrado pela Figura 5.13, propõe-se a criação de duas APAs estaduais, envolvendo as áreas de proteção do SAG, com áreas, respectivamente, de 73 km<sup>2</sup> e 145 km<sup>2</sup> e uma APA federal, que teria continuidade com a APA proposta para a porção norte do afloramento em Santa Catarina, com área de 500 km<sup>2</sup> somente no Paraná.

A Figura 5.14 mostra a totalidade da APA federal sugerida para proteção do SAG nos Estados de Santa Catarina e Paraná, que teria área de 1.514 km<sup>2</sup>.

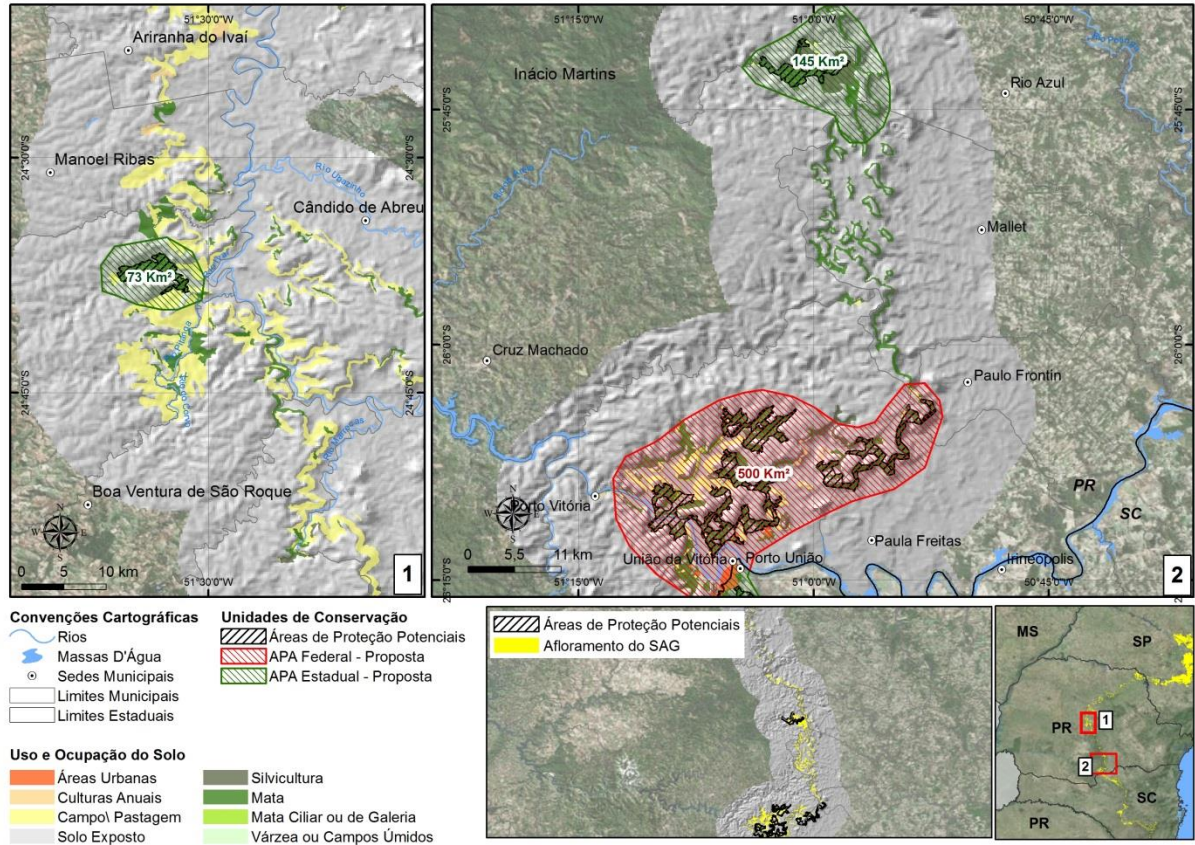


Figura 5.13 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG no Paraná e APAs Estaduais e Federal Propostas

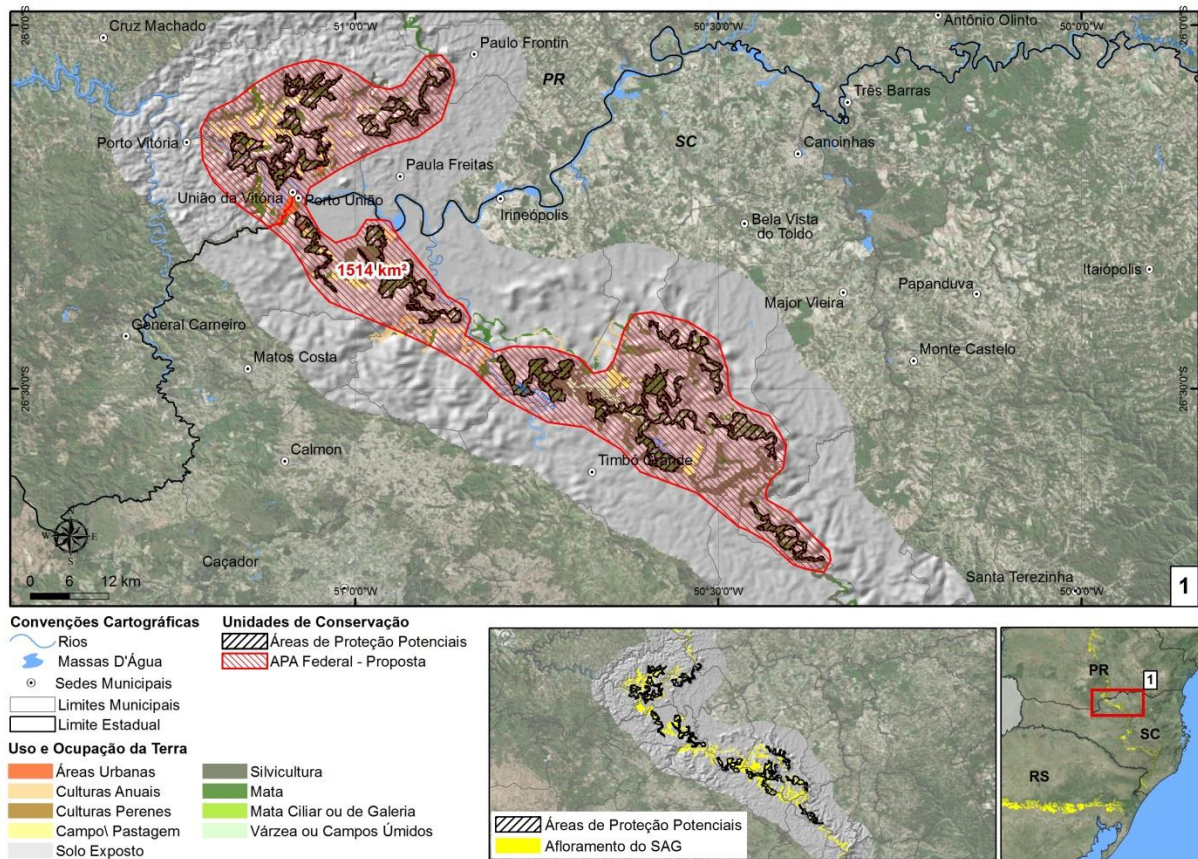


Figura 5.14 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG nos Estados de Santa Catarina e Paraná e APA Federal Proposta

O Quadro 5.4 mostra o uso e a ocupação da terra nas áreas de proteção do SAG no Estado do Paraná, observando-se que 81% dessas áreas estão cobertas por vegetação de mata, o que contribui para a maior proteção do aquífero.

**QUADRO 5.4 - USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NAS ÁREAS DE PROTEÇÃO DO SAG NO PARANÁ**

Classe	Área de Proteção do SAG	
	km <sup>2</sup>	%
Urbano	0,1	0,11
Culturas Anuais	0,02	0,02
Culturas Anuais - Arroz	-	-
Culturas Anuais - Soja	-	-
Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	-	-
Culturas Perenes	-	-
Pastagens	0,8	1
Solo Exposto	-	-
Silvicultura	0,9	1
Mata	89,0	81
Mata Ciliar ou de Galeria	0,6	1
Campos Úmidos ou de Várzea	0,1	0,1
Cerrado	-	-
Rios	0,4	0,4
Lagos	-	-
Mineração	-	-
Fora	17,4	16
<b>Total</b>	<b>109,4</b>	<b>100</b>

#### 5.4.2.4 Minas Gerais

Em Minas Gerais, também não existem UCs localizadas nas proximidades das áreas de proteção do SAG. A proposta para ampliar a proteção do aquífero é constituída pela criação de duas APAs estaduais, envolvendo as áreas de proteção, com cerca de 220 km<sup>2</sup> e 80 km<sup>2</sup>, respectivamente, conforme ilustrado pela Figura 5.15.

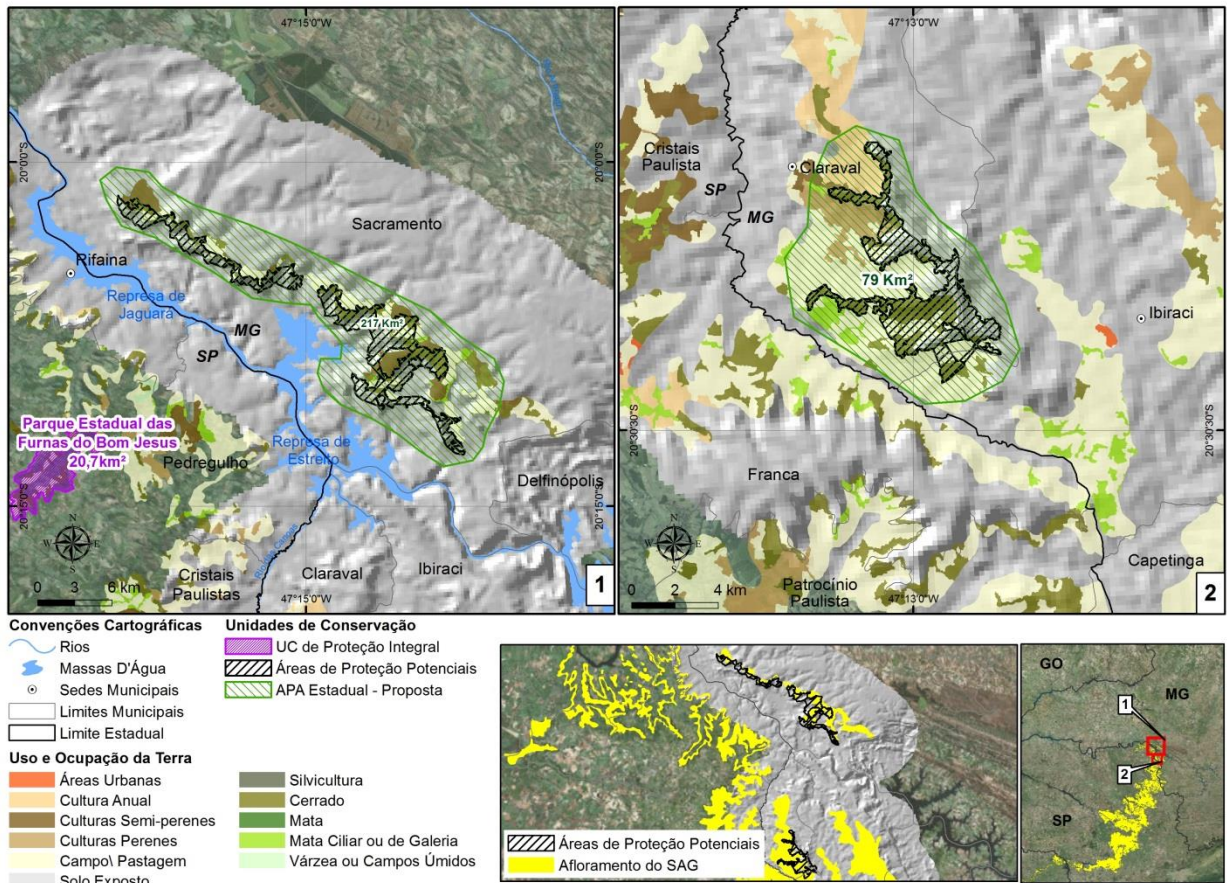


Figura 5.15 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG em Minas Gerais e APAs Propostas

Próximo a APA proposta, localizada na Figura 5.15 (Mapa 1), encontram-se os reservatórios de Estreito e Jaguará. Ressalta-se que a criação da APA poderá proteger e ajudar a qualidade da água dos reservatórios.

O Quadro 5.5 apresenta o uso e a ocupação da terra nas áreas de proteção do aquífero.

**QUADRO 5.5 - USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NAS ÁREAS DE PROTEÇÃO DO SAG EM MINAS GERAIS**

Classe	Área de Proteção do SAG	
	km <sup>2</sup>	%
Urbano	-	-
Culturas Anuais	0,1	0,2
Culturas Anuais - Arroz	-	-
Culturas Anuais - Soja	-	-
Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	1,1	2
Culturas Perenes	0,3	0,5
Pastagens	7,9	11
Solo Exposto	-	-
Silvicultura	-	-
Mata	-	-
Mata Ciliar ou de Galeria	0,2	0
Campos Úmidos ou de Várzea	-	-
Cerrado	20,5	30
Rios	-	-
Lagos	-	-
Mineração	-	-
Fora	38,9	56
<b>Total</b>	<b>69,0</b>	<b>100</b>

A cobertura vegetal de Cerrado e as pastagens representam, juntas, cerca de 40% das áreas de proteção do SAG. A criação das APAs propostas e o seu futuro zoneamento poderiam contribuir para a maior proteção do aquífero.

#### 5.4.2.5 Mato Grosso do Sul

No Mato Grosso do Sul, existem duas UCs nas proximidades das áreas de proteção do SAG na porção norte do afloramento – uma delas de proteção integral e uma de uso sustentável, respectivamente, o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (que já possui seu Plano de Manejo) e a Área de Proteção Ambiental (APA) Rio Cênico Rotas Monçoeiras, com Plano de Manejo ainda não elaborado.

A APA existente possui área total de 172 km<sup>2</sup>, sendo que 0,02 km<sup>2</sup> do seu território (0,01%) estão inseridos em áreas de proteção do SAG. O Parque Estadual, com área total de 306 km<sup>2</sup>, tem 32 km<sup>2</sup> (11% do total) coincidentes com áreas de proteção do SAG.

Na porção sul do afloramento do SAG não existem UCs nas proximidades das áreas de proteção do aquífero.

Diante desse cenário, para o Mato Grosso do Sul, as estratégias propostas são as seguintes:

- ✓ Porção norte do afloramento: criação de uma APA estadual, lindeira ao Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari com área de cerca de 738 km<sup>2</sup>, envolvendo as áreas de proteção do SAG (Figura 5.16, Mapa 1); criação de uma APA federal, ao norte da mencionada, com

área de cerca de 1.066 km<sup>2</sup> somente no Mato Grosso do Sul (Figura 5.16, Mapa 1, ver também Figura 5.20, mais adiante); e ampliação da área da APA existente (Rio Cênico Rotas Monçoeiras) em cerca de 2.350 km<sup>2</sup>, envolvendo as áreas de proteção do aquífero (Figura 5.16., Mapa 2);

- ✓ Porção sul do afloramento: criação de duas APAs estaduais, com áreas, respectivamente, de cerca de 340 km<sup>2</sup> e 380 km<sup>2</sup>, envolvendo as áreas de proteção do SAG (Figura 5.17, Mapas 1 e 2).

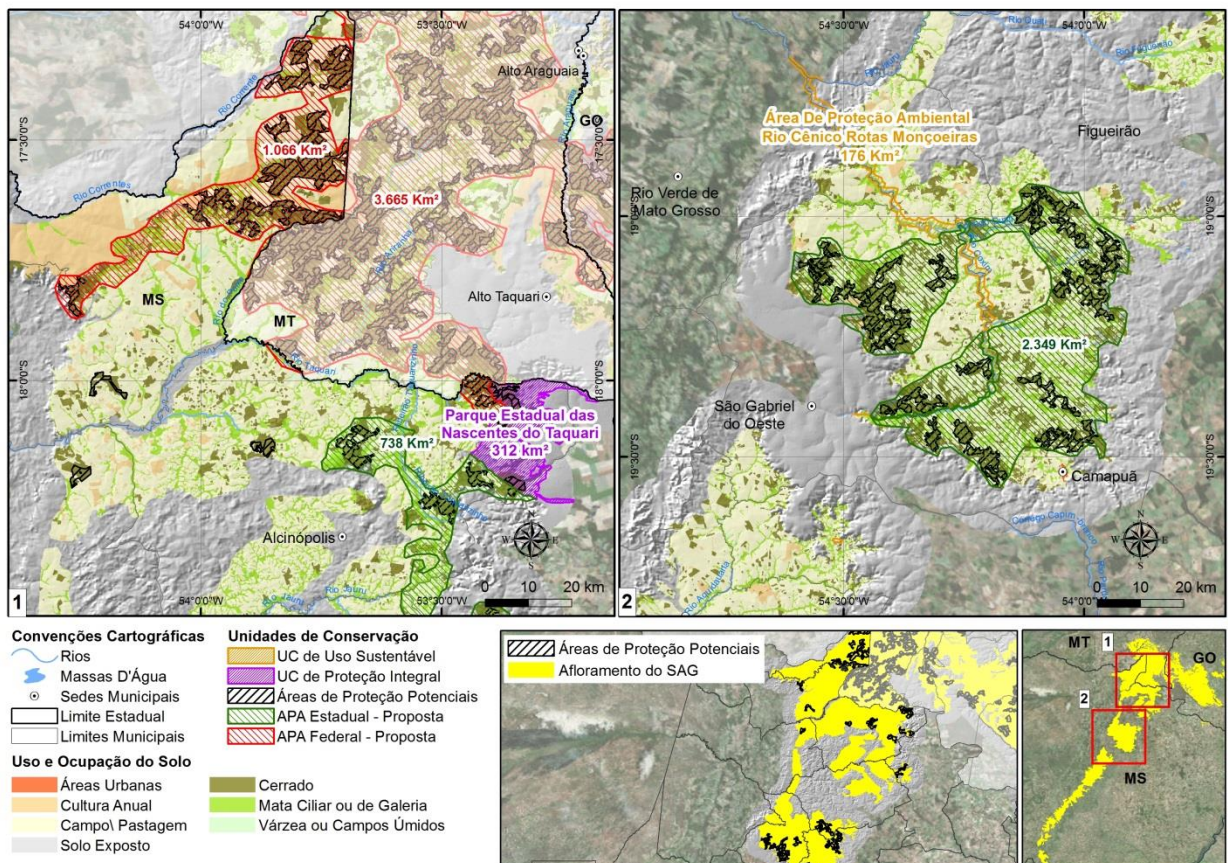


Figura 5.16 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG no Mato Grosso do Sul e APAs Estadual e Federal Propostas – Porção Norte do Afloramento



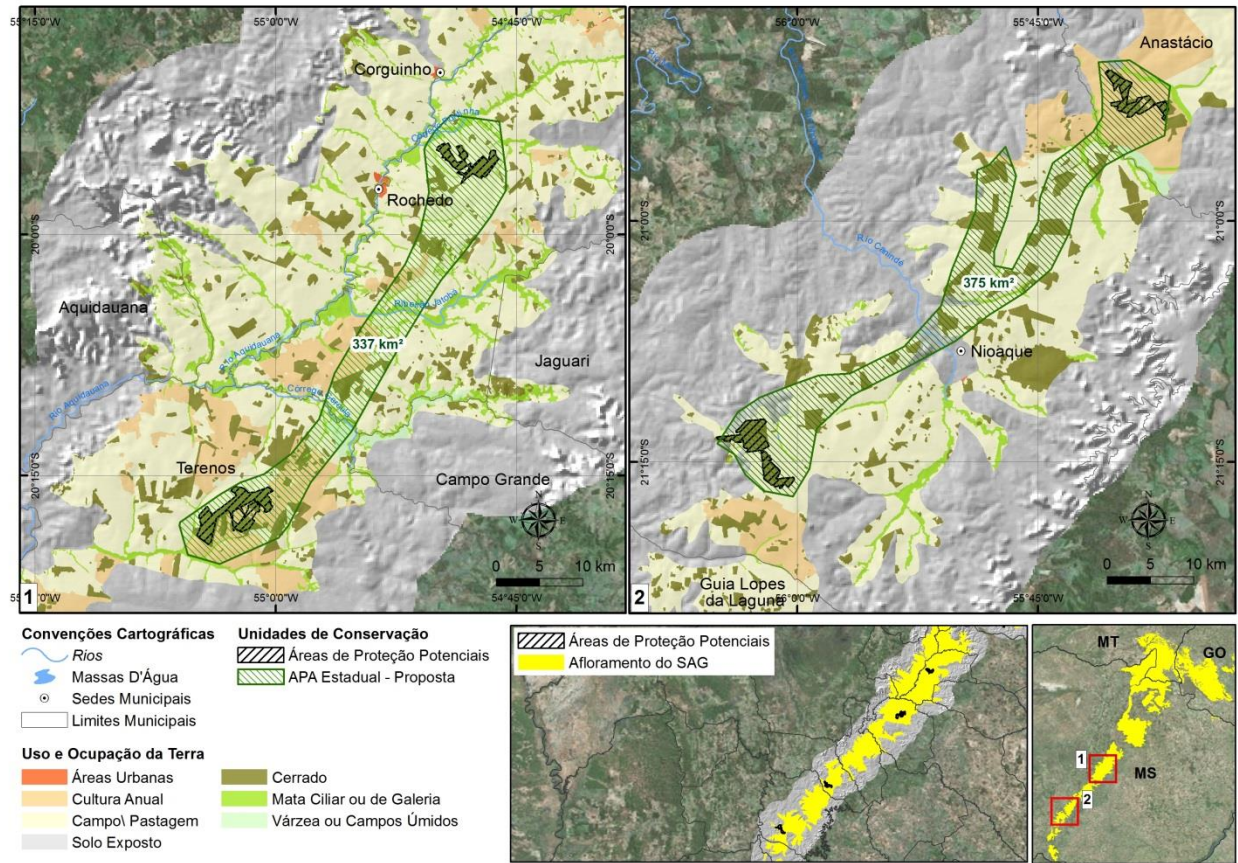


Figura 5.17 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG no Mato Grosso do Sul e APAs Propostas – Porção Sul do Afloramento

O Quadro 5.6 apresenta o uso e a ocupação da terra nas áreas de proteção do SAG no Mato Grosso do Sul.

**QUADRO 5.6 - USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NAS ÁREAS DE PROTEÇÃO DO SAG NO MATO GROSSO DO SUL**

Classe	Área de Proteção do SAG	
	km <sup>2</sup>	%
Urbano	-	-
Culturas Anuais	4,94	1
Culturas Anuais - Arroz	-	-
Culturas Anuais - Soja	0,59	0,1
Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	-	-
Culturas Perenes	-	-
Pastagens	74,84	8
Solo Exposto	-	-
Silvicultura	-	-
Mata	-	-
Mata Ciliar ou de Galeria	15,12	2
Campos Úmidos ou de Várzea	0,02	0,0
Cerrado	857,95	90
Rios	-	-
Lagos	-	-
Mineração	-	-
Fora	1,73	0,2
<b>Total</b>	<b>955,2</b>	<b>100</b>

Conforme o quadro anterior, nas áreas de proteção do SAG predomina o Cerrado, que ocupa 90% dessas áreas, condição favorável para o aquífero e que pode ser ampliada pela criação das APAs propostas.

#### 5.4.2.6 Mato Grosso

No Mato Grosso, as áreas de proteção do SAG são vizinhas ao Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, não havendo, porém áreas de proteção do aquífero dentro dos limites do Parque. A proposta sugerida é a criação de uma APA federal, lindeira ao Parque, envolvendo as áreas de proteção do SAG, que teria área de aproximadamente 3.665 km<sup>2</sup> somente no Estado do Mato Grosso (ver Figura 5.18 e, mais adiante, também a Figura 5.20).

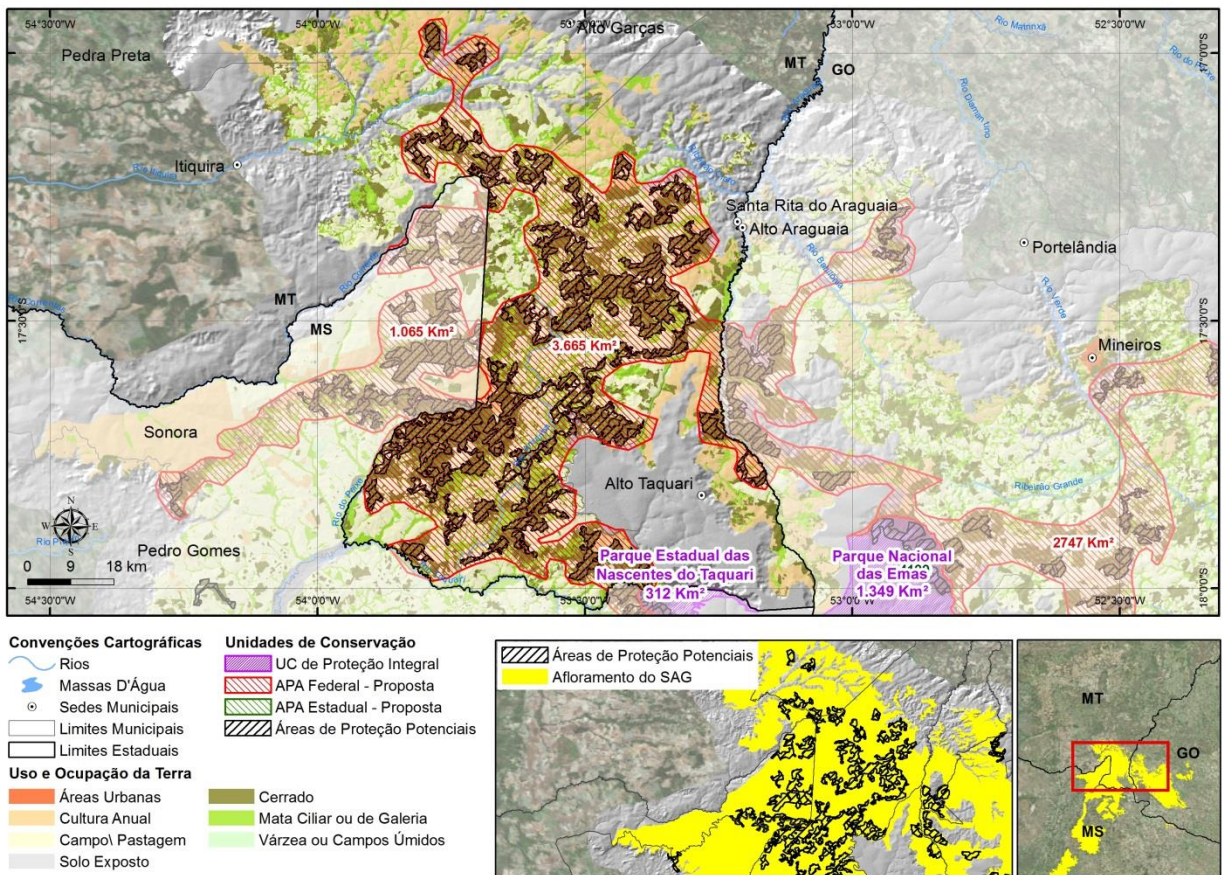


Figura 5.18 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG no Mato Grosso e APA Proposta

O Quadro 5.7 apresenta o uso e a ocupação da terra nas áreas de proteção do SAG no Mato Grosso.

#### 5.4.2.7 Goiás

Em Goiás, uma porção das áreas de proteção do SAG está inserida nos limites do Parque Nacional das Emas, que já possui Plano de Manejo, correspondendo a 59,4 km<sup>2</sup>, o que equivale a 4% do território do Parque, que possui um total de 1.267 km<sup>2</sup>.

A proposta do presente estudo para Goiás contempla a criação de uma APA federal, lindeira ao Parque Nacional das Emas e que tem continuidade nos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, envolvendo as áreas de proteção do SAG, com área total de aproximadamente 2.750 km<sup>2</sup> somente em Goiás, segundo ilustrado pelas Figuras 5.19 e 5.20.

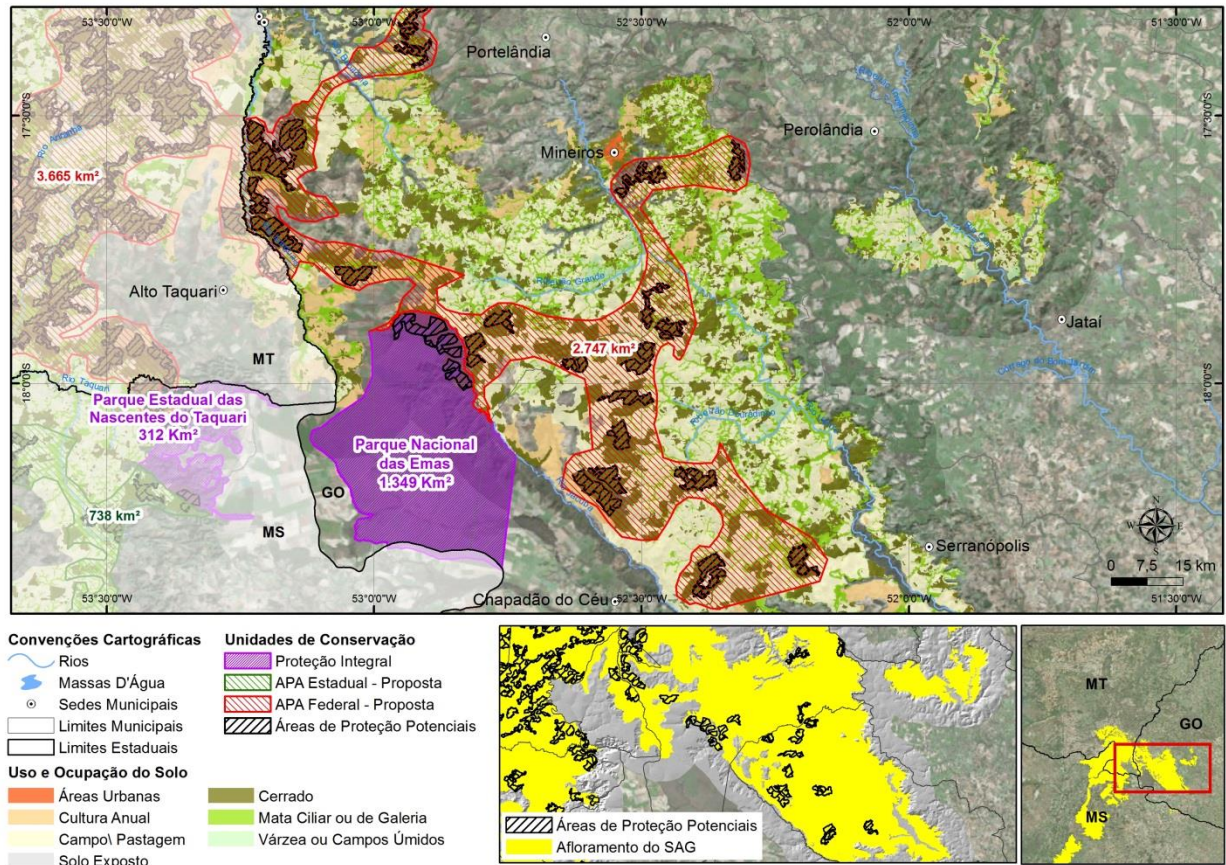


Figura 5.19 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG em Goiás e APA Federal Proposta

O uso e a ocupação da terra nas áreas de proteção do SAG em Goiás estão expostos no Quadro 5.8.

**QUADRO 5.7 - USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NAS ÁREAS DE PROTEÇÃO DO SAG NO MATO GROSSO**

Classe	Área de Proteção do SAG	
	km <sup>2</sup>	%
Urbano	-	-
Culturas Anuais	5,3	1
Culturas Anuais - Arroz	-	-
Culturas Anuais - Soja	1,7	0,2
Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	-	-
Culturas Perenes	-	-
Pastagens	67,7	7
Solo Exposto	-	-
Silvicultura	-	-
Mata	-	-
Mata Ciliar ou de Galeria	44,7	4
Campos Úmidos ou de Várzea	0,5	0
Cerrado	904,7	88
Rios	-	-
Lagos	-	-
Mineração	-	-
Fora	1,6	0
<b>Total</b>	<b>1.026,3</b>	<b>100</b>

Tal como no Mato Grosso do Sul, a cobertura vegetal de Cerrado ocupa quase 90% das áreas de proteção do aquífero no Mato Grosso, contribuindo para a preservação do SAG, o que pode ser melhor assegurado mediante a criação da APA federal proposta.

**QUADRO 5.8 - USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NAS ÁREAS DE PROTEÇÃO DO SAG EM GOIÁS**

Classe	Área de Proteção do SAG	
	km <sup>2</sup>	%
Urbano	-	-
Culturas Anuais	1,18	0,3
Culturas Anuais - Arroz	-	-
Culturas Anuais - Soja	0,69	0,1
Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	-	-
Culturas Perenes	-	-
Pastagens	5,13	1
Solo Exposto	-	-
Silvicultura	-	-
Mata	-	-
Mata Ciliar ou de Galeria	2,62	1
Campos Úmidos ou de Várzea	0,12	0,02
Cerrado	411,92	89
Rios	-	-
Lagos	-	-
Mineração	-	-
Fora	39,25	9
<b>Total</b>	<b>460,90</b>	<b>100</b>

Em Goiás, se reproduz a condição favorável para a preservação do SAG encontrada no Mato Grosso do Sul e no Mato Grosso, uma vez que quase 90% das áreas de proteção do aquífero estão cobertas por Cerrado. A criação da APA federal proposta ampliaria as possibilidades de conservação do aquífero.

A Figura 5.20 mostra a totalidade da APA federal proposta, envolvendo as áreas de proteção do SAG localizadas na região dos limites entre os Estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, com área de aproximadamente 7.480 km<sup>2</sup>, que se situaria nas proximidades do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari e Parque Nacional das Emas.

Tendo em vista que ambos os Parques possuem seus Planos de Manejo, seria necessário verificar as diretrizes definidas para as zonas *buffer* dessas UCs, de modo a incorporá-las ao Plano de Manejo da APA federal aqui sugerida.

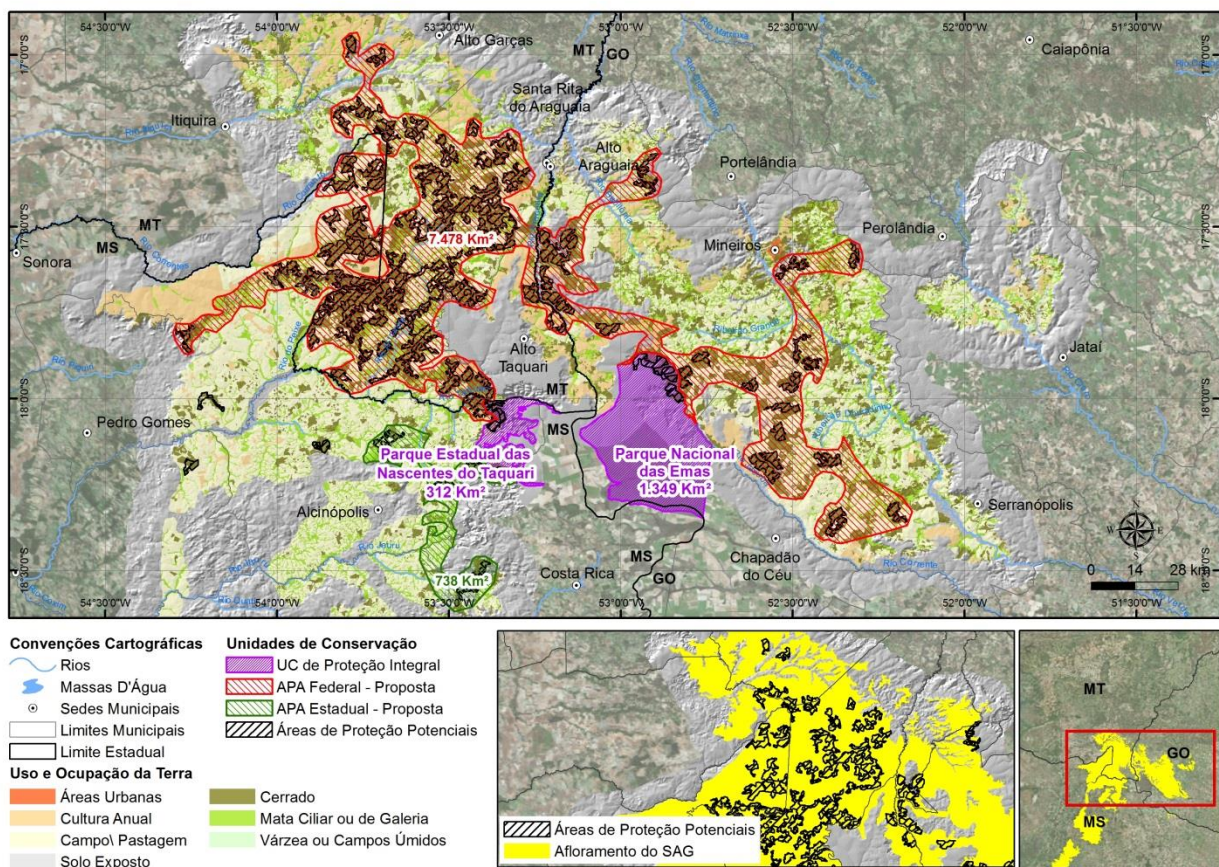


Figura 5.20 - Áreas de Proteção Potenciais do SAG nos Estados do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás e APA Estadual (MS) e Federal Proposta (MS, MT e GO)

## 5.5 PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO

A proteção dos recursos hídricos subterrâneos deve ser baseada em uma lógica, na qual o controle da ocupação da terra e das atividades potencialmente contaminantes deva ser feito a partir de um zoneamento do terreno e de perímetros de proteção de poços (PPP) (Carvalho & Hirata, 2012). De acordo com Iritani & Ezaki (2010), o perímetro de proteção de fontes de abastecimento de água subterrânea é uma área definida juridicamente, que restringe a ocupação por atividades potencialmente contaminantes no terreno que circunda a captação.

As principais etapas do processo de proteção de captações de água subterrânea para abastecimento público ou privado envolvem a avaliação da área de contribuição, levantamento de fontes de contaminação no interior desta área e avaliação da susceptibilidade da captação aos contaminantes (Kraemer *et al.*, 2007).

Os perímetros de proteção (Chave *et al.*, 2006) podem ser delineados segundo:

- ✓ Zona imediatamente adjacente ao poço de modo a prevenir o rápido ingresso de contaminantes ou danos à captação;
- ✓ Zona baseada no tempo necessário para que ocorra uma redução na presença de patógenos em níveis aceitáveis;
- ✓ Zona baseada no tempo necessário para que ocorra diluição ou atenuação efetiva por degradação de substâncias contaminantes até níveis aceitáveis;
- ✓ Zona que compreende parte da bacia de contribuição, onde o fluxo subterrâneo se dirige para o poço.

O EPA (*Environmental Protection Agency of USA*) estabeleceu um guia de orientação sobre critérios e métodos para delinear perímetros de proteção de poços (USEPA, 1993 e 1994). Os critérios incluem (1) distância, (2) rebaixamento, (3) tempo de residência, (4) condições de contorno e (5) capacidade de assimilação.

O critério distância compreende o espaço entre a captação e um ponto a partir do qual os riscos de contaminação sejam irrisórios; o critério rebaixamento compreende a extensão na qual o bombeamento reduz a superfície potenciométrica de um aquífero não confinando, em outras palavras, representa a zona de influência ou cone de depressão do poço; o critério tempo de trânsito representa o tempo máximo que um contaminante leva para atingir o poço; o critério condições de contorno delimita zonas de recarga ou outras feições hidrogeológicas que controlam o fluxo subterrâneo; o critério capacidade de assimilação compreende o grau de atenuação de contaminantes (redução da concentração) que pode ocorrer em subsuperfície.

Os métodos aplicáveis vão do mais simples aos mais complexos, incluindo mapeamento, raio calculado e modelagem hidrogeológica (Quadro 5.9). Aqui serão discutidos os métodos do Raio Fixo, Raio Fixo Calculado, de Wyssling (fluxo uniforme) e o Computacional Analítico WhAEM2000 (*Wellhead Analytic Element Model*).

**QUADRO 5.9 - CRITÉRIOS E MÉTODOS DE DELINEAÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO (USEPA, 1993)**

Critérios	Métodos					
	Raio fixo arbitrado	Raio fixo calculado	Fluxo uniforme	Mapeamento hidrogeológico	Modelagem hidrogeológica	Modelagem de transporte]
Distância	x	x				
Rebaixamento		x	x		x	x
Tempo de residência		x	x		x	x
Limites hidrogeológicos				x	x	x
Capacidade de assimilação						x

O Método do Raio Fixo (RF) consiste na primeira linha de defesa contra contaminantes, inclusive micróbios patogênicos. É definido de modo arbitrário e comumente utilizado quando há carência de dados para aplicação de métodos mais complexos. É normalmente utilizado para estabelecer o perímetro de proteção imediato de poços.

O Método do Raio Fixo Calculado (RFC) utiliza o critério de tempo de trânsito para estimar o perímetro de proteção de poços. O método é empregado assumindo-se as seguintes condições:

- ✓ Os contaminantes não são conservativos ou;
- ✓ Contaminantes conservativos podem ser detectados em tempo suficiente, de modo a permitir a remediação imediata ou a busca de novas fontes alternativas de captação de água potável.

O Método do Raio Fixo Calculado (RFC) é baseado na análise do balanço de água (Figura 5.21). Assumindo-se que não exista fluxo natural de água (superfície piezométrica inicial é horizontal) e que o fluxo em direção ao poço bombeado é radial, a equação que governa o balanço de água para um período de “t” dias é:

$$N\pi R^2 t + n_e \pi R^2 H = Qt \quad (\text{Equação 5.1})$$

Onde: N=recarga devido à precipitação atmosférica (m/d); R= raio de influência para um tempo “t” (m); H= espessura saturada do aquífero (m); t=tempo de residência (d); Q=vazão extraída pelo poço (m<sup>3</sup>/d); n<sub>e</sub>= porosidade efetiva das rochas do aquífero.

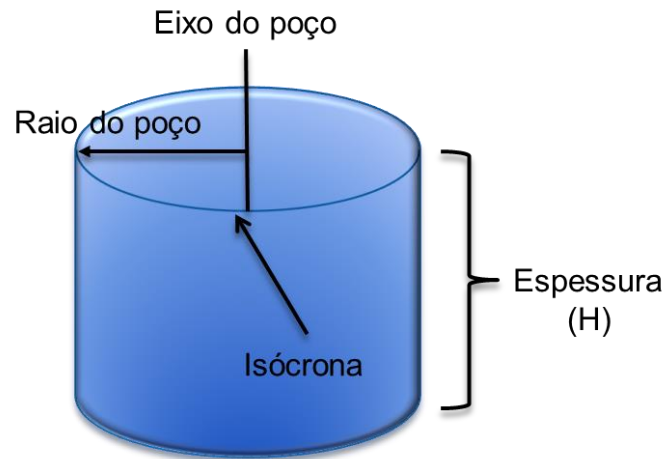


Figura 5.21 - Balanço de água para fluxo radial em direção ao poço, em domínio delimitado por isócrona de tempo de residência “t”.

O primeiro termo da equação representa o influxo de água devido à recarga, o segundo termo representa o volume de água do aquífero contido no cilindro de raio “R” a partir do centro do poço, e o último termo representa o volume de água removido por bombeamento no período “t”. Assim, o raio “R” pode ser expresso como:

$$R = \sqrt[2]{\frac{Qt}{N\pi t + n_e\pi H}} \quad (\text{Equação 5.2})$$

Quando “t” torna-se relativamente muito grande, o raio “R” representa a zona de contribuição total, de modo que:

$$R \cong \sqrt[2]{\frac{Q}{N\pi}} \quad (\text{Equação 5.3})$$

Esta equação é conhecida como o Método da Recarga (USEPA, 1993).

Quando o termo “Nπt” torna-se muito pequeno, a equação reduz-se a:

$$R \cong \sqrt[2]{\frac{Qt}{n_e\pi H}} \quad (\text{Equação 5.4})$$

Esta equação é conhecida como método volumétrico (USEPA, 1993).

O Método de Wyssling (Navarrete & García, 2003, *apud* Iritani & Ezaki, 2010) utiliza a equação de fluxo uniforme em regime permanente, ou seja, quando é admitido que a superfície potenciométrica é inclinada. Neste caso, a área circular de influência associada à configuração do fluxo radial em direção ao poço torna-se distorcida (Todd, 1959) como mostra a Figura 5.22.



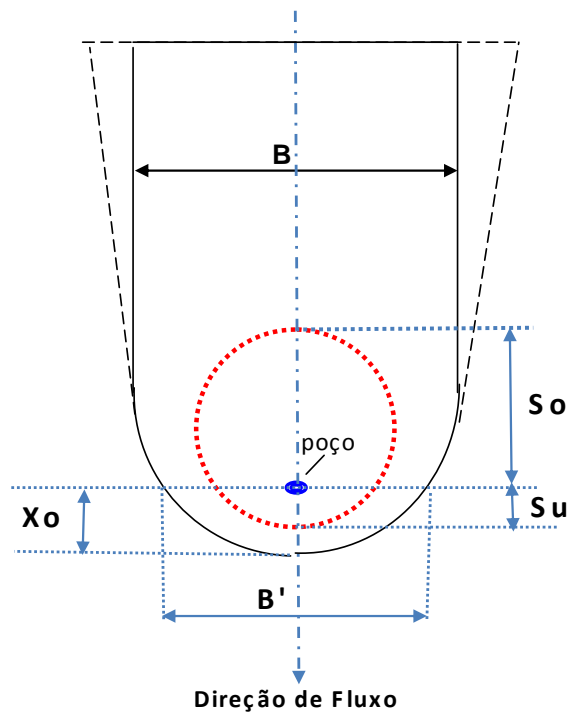


Figura 5.22 - Parâmetros de cálculo pelo Método de Wyssling (Iritani & Ezaki, 2010, modificado de Wyssling, 1979).

No Método de Wyssling são utilizadas duas equações para cálculo da distância do poço a montante ( $S_o$ ) e a jusante ( $S_u$ ), na direção do fluxo natural, conforme escritas a seguir:

$$B = \frac{Q}{Kbi} \quad (\text{Equação 5.5})$$

$$B' = B / 2 = \frac{Q}{Kbi} \quad (\text{Equação 5.6})$$

$$X_o = \frac{Q}{2\pi Kbi} \quad (\text{Equação 5.7})$$

$$S_o = \frac{+l + \sqrt{l(l + 8X_o)}}{2} \quad (\text{Equação 5.8})$$

$$S_u = \frac{-l + \sqrt{l(l + 8X_o)}}{2} \quad (\text{Equação 5.9})$$

A variável "L" das equações é dada por:

$$l = Ve \cdot t \quad (\text{Equação 5.10}) \quad \text{e} \quad Ve = \frac{Ki}{n_e} \quad (\text{Equação 5.11})$$

Onde:  $B$  = largura da zona de captura a jusante (m),  $B'$  = largura da zona de captura a montante (m),  $Q$  = vazão de exploração ( $m^3/d$ ),  $K$  = condutividade hidráulica (m/d),  $b$  = espessura do aquífero (m),  $i$  = gradiente hidráulico (m/m),  $X_o$  = distância do poço ao ponto neutro a jusante (m),  $S_o$  = distância correspondente ao tempo (t) no sentido do fluxo a montante da captação (m),  $S_u$  = distância correspondente ao tempo (t) no sentido do fluxo a jusante da captação (m),  $V_e$  = velocidade real de fluxo (m/d),  $t$  = tempo de residência (d) e  $n_e$  = porosidade efetiva.

O Método Computacional Analítico de Fluxo Subterrâneo, representado pelo programa WhAEM2000 (Wellhead Analytic Element Model), de domínio público, disponibilizado pela EPA (*Environmental Protection Agency of USA*) (Kraemer et al., 2007), é um pouco mais sofisticado. O WhAEM2000 é uma ferramenta de hidrogeologia baseada em técnica de modelagem de elementos analíticos, com utilização de interface gráfica de padrão Windows. O modo *Simple WHPA* contido no programa estima raios centrados ou descentralizados em torno do poço, ou desenha linhas de fluxo com base no tempo de trânsito requerido. Para utilizá-lo, é necessário carregar o programa pelo site do EPA (<http://www.epa.gov>) e seguir as instruções para instalação. Neste caso, a modelagem exige um pouco mais de conhecimento técnico.

De acordo com Carvalho & Hirata (2012), estudo comparativo entre os métodos de determinação de perímetros de proteção de poços aplicados nos diferentes aquíferos do Estado de São Paulo, como raio fixo calculado, modelo analítico com uso da equação de fluxo uniforme e modelo numérico de simulação de fluxo mostraram resultados diferentes. Os dois primeiros métodos definiram tamanhos de zonas de contribuição semelhantes, porém com formatos diferentes, e aproximadamente 200% maiores do que aqueles definidos com o método numérico para as mesmas condições hidrogeológicas. Segundo os referidos autores, a utilização do Método Analítico é viável e sua acurácia é superior ao Método do Raio Fixo Calculado.

Para determinação do perímetro de proteção sanitária de poços perfurados em áreas de afloramento do SAG recomenda-se delinear um raio fixo de 10 metros a partir do centro do poço, cercado e protegido por telas de arame. O ponto de captação deverá ser dotado de laje de proteção sanitária para evitar a penetração de poluentes. A laje deverá ser de concreto armado, fundida no local, e envolverá o tubo de revestimento sanitário; terá declividade do centro para as bordas, espessura mínima de 15 cm e área não inferior a 3 m<sup>2</sup>. Estas dimensões para o perímetro imediato de proteção vêm sendo exigidas para poços outorgados no Estado de São Paulo, com base na Instrução Técnica DPO nº 06, que define procedimentos para usos de recursos hídricos subterrâneos através de captações feitas em poços escavados (cacimbas e cisternas) e ponteiras, para qualquer finalidade de uso.

O perímetro de alerta é definido pelo tempo de trânsito que um contaminante advectivo leva para atingir o poço. Como pode ser observado no Quadro 5.10, os critérios para delineamento dos perímetros são bastante diferentes nos diversos países listados. Considerando a facilidade de uso em razão de pequena quantidade de parâmetros que devem ser conhecidos para estimativa do perímetro, o Método Volumétrico (RFC) é o mais interessante para ser aplicado no SAG aflorante e em outros aquíferos livres.

**QUADRO 5.10 - PERÍMETROS DE PROTEÇÃO UTILIZADOS EM DIFERENTES PAÍSES (NAVARRETE & GARCÍA, 2003, APUD IRITANI & EZAKI, 2010)**

<i>País</i>	<i>Perímetros de proteção</i>			
Alemanha	Zona I Raio de 20 m	Zona II Tempo de trânsito de 50 dias	Zona III A Distância de 2 km	Zona III B Zona de Captura
França	Perímetro Imediato 10 a 20 m	Perímetro Próximo 1 a 10 hectares ou 50 dias de tempo de trânsito	Perímetro Afastado 0,2 a 15 km ou critério técnico	-
Reino Unido	Zona I - Proteção interior 50 m ou 50 dias de tempo de trânsito	Zona II - Proteção exterior 25% da ZC ou 400 dias de tempo de trânsito	Zona III - Captação Total Zona de Captura	Zona Z de Proteção Especial Área fora da ZC, mas que pode transmitir contaminação ao poço
Holanda	Área de Captação 50 ou 60 dias de tempo de trânsito	Área de Proteção I 10 anos de tempo de trânsito	Área de Proteção II 25 anos de tempo de trânsito	Área de Recarga 50 a 100 anos de tempo de trânsito
Itália	Zona de Proteção Absoluta Mínimo de 10 m	Zona de Repeito Mínimo de 200 metros	Zona de Proteção Zona de Captura e da Bacia	-
Estado de São Paulo - Decreto nº 32.955/91	Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (PIPS) Raio da 10 m	Perímetro de Alerta (PA) 50 dias de tempo de trânsito	-	-

O Método Volumétrico (RFC) (Equação 5.4) necessita do conhecimento ou estimativa de quatro parâmetros básicos para delimitação do perímetro de proteção de poços: vazão do poço, tempo de trânsito do contaminante advectivo, porosidade efetiva e espessura saturada do aquífero.

Em termos litoestratigráficos, o SAG é composto pelas formações Santa Maria, Guará e Caturrita, de ocorrência restrita ao Rio Grande do Sul, e Pirambóia e Botucatu, de ocorrência generalizada pelos demais estados que abrangem esse aquífero. Essas rochas compõem unidades hidroestratigráficas bem definidas, todavia, ainda não devidamente caracterizadas em termos de espessuras, condutividades hidráulicas e porosidades efetivas.

Assim, para aplicação da formulação do RFC e delimitação do perímetro de proteção de poços de abastecimento, as características das unidades hidroestratigráficas devem ser estimadas com base em conhecimento local ou em parâmetros físicos e hidrodinâmicos regionais, discutidos na literatura (Quadro 5.11). As outras variáveis que influem diretamente na extensão do perímetro de proteção são a vazão e o tempo de trânsito para chegada de um contaminante no poço. Observa-se que Incrementos no período de bombeamento, na vazão e no tempo de trânsito aumentam o raio do perímetro, enquanto incrementos de porosidade efetiva e de espessura saturada diminuem o raio do perímetro de proteção.

**QUADRO 5.11 - PRINCIPAIS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DO SAG (OEA, 2009)**

Parâmetro		SAG - São Paulo (Fonte: SRACEK & HIRATA, 2002)	SAG - Bacia do Paraná (Fonte: ARAÚJO et al., 1999)		SAG - Uruguai (Fonte: OLEAGA & de los SANTOS, 2005)
			Fm. Botucatu	Fm. Pirambóia	
Espessura (m)	Máxima	550	4 – 484	25 – 770	–
	Média	268	138	139	
Porosidade		10 – 15%	17 – 30%	14 – 24%	–
Condutividade Hidráulica média (m/dia)		12,96	8,7	1,9	–
Trasmisividade (m <sup>2</sup> /dia)		39 – 1035 Média 336	2,4 – 552	–	67 - 198
Coeficiente de Armazenamento		4 x 10 <sup>-5</sup> – 2 x 10 <sup>-4</sup>	–	–	7,3 x 10 <sup>-5</sup> – 7,4 x 10 <sup>-4</sup>

Para estimativa de perímetros de proteção de poços perfurados nas diversas unidades hidroestratigráficas componentes do SAG, considerou-se um tempo de trânsito equivalente a 365 dias como suficiente para a tomada de decisões em caso de contaminação do aquífero. Assim, a equação volumétrica terá como variáveis, em qualquer ponto do terreno, a vazão do poço, a espessura saturada e a porosidade efetiva do aquífero, de modo que:

$$R = \sqrt{\frac{Qt}{\eta_e \pi H}} = \sqrt{\frac{Q^* 365}{\eta_e \pi H}} \quad (\text{Equação 5.12})$$

Onde: Q= vazão do poço (m<sup>3</sup>/d); H= espessura saturada (m);  $\eta_e$ = porosidade efetiva e t= 365 dias.

Exemplos de perímetros de proteção de poços, calculados pelo método do RFC para as diversas unidades hidroestratigráficas componentes do SAG, são apresentados no Quadro 5.12 e Figura 5.23, a título de ilustração. Recomenda-se fortemente aos gestores a aplicação da formulação com emprego de parâmetros obtidos no local, com vistas à definição de perímetros mais adequados às aquelas condições.

**QUADRO 5.12 - EXEMPLOS DE CÁLCULOS DO PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DE POÇOS (PPP) PARA DIVERSAS CONDIÇÕES**

Exemplos de cálculos de perímetros de proteção de poços					
Unidades hidroestratigráficas	$\eta_e$ (%)	t(d)	H (m)	Q (m <sup>3</sup> /d)	Perímetro - R (m)
Botucatu	0,20	365	100	2000	107,8
Pirambóia	0,15	365	200	2000	88,0
Guará	0,15	365	100	2000	124,5
Caturrita	0,12	365	60	1000	127,1
Santa Maria	0,12	180	100	1000	69,1

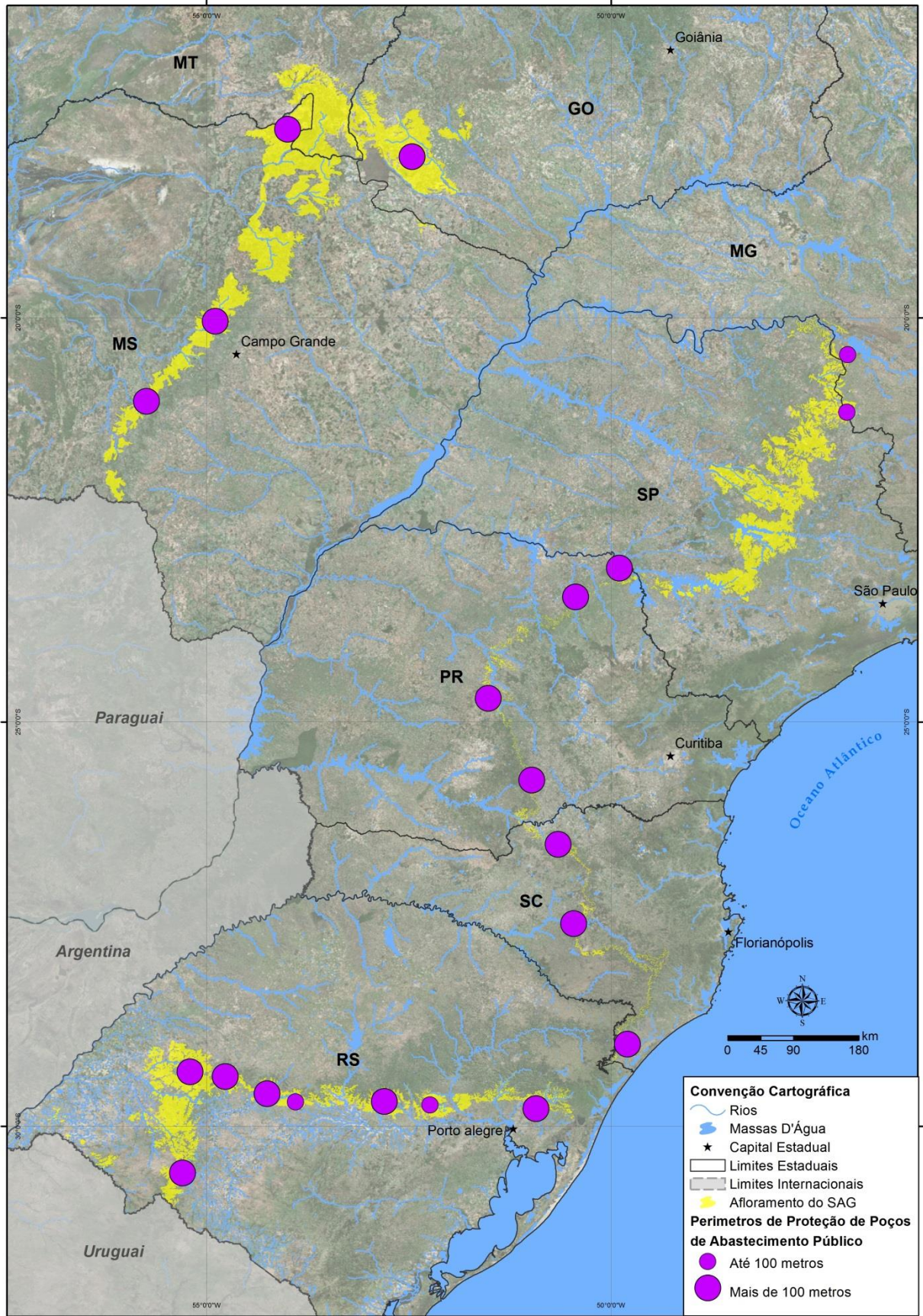


Figura 5.23 – Representação de perímetros de proteção de poços de abastecimento público perfurados nas unidades hidroestratigráficas do SAG.

---

## **5.6 DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE NORMAS PARA PROTEÇÃO DO SAG**

---

O presente item tem por objetivo indicar, inicialmente, as bases legais e conceituais no que se refere às normas vigentes sobre as águas subterrâneas. Com vistas a dar fundamento ao estudo, serão abordadas as Políticas de Recursos Hídricos – Nacional e dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, para que se possa verificar as normas vigentes no que toca às águas subterrâneas, incluindo as resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH e outras normas estaduais aplicáveis.

Em sequência, será apresentada uma proposta de diretrizes para formulação de normas estaduais, visando à proteção das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani (SAG), que não se limitarão aos recursos hídricos, mas irão abranger também o licenciamento ambiental, as Unidades de Conservação e as normas municipais de uso e ocupação do solo.

O presente estudo parte da premissa de que não se verificam áreas de incidência do Aquífero Guarani com fluxo compartilhado entre os Estados acima mencionados.

As vertentes a serem consideradas neste estudo são a quantidade e a qualidade das águas do SAG, que devem ter um regime de uso e proteção, como forma de garantir sua perenidade.

Cabe salientar que os recursos hídricos (águas superficiais e subterrâneas) constituem um dos recursos ambientais, conforme disposto no art. 3º inciso V, da Lei nº 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. A sua importância, como bem essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social enseja a elaboração de uma legislação específica sobre o tema, adequada às suas características, e suficiente para fundamentar uma gestão compatível com sua proteção.

### **5.6.1 Embasamento Legal e Conceitual**

#### **5.6.1.1 Domínio das Águas Subterrâneas**

O critério constitucional de determinação da dominialidade das águas subterrâneas não acompanhou aquele adotado para as águas superficiais. De acordo com a Constituição de 1988, pertencem à União os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio<sup>5</sup>. São também de domínio da União os lagos, rios e quaisquer correntes que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais.

Para as águas subterrâneas, o critério adotado foi o domínio estadual. Segundo a Constituição, aos Estados pertencem as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas as decorrentes de obras da União<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> CF/88, art. 20, III.

<sup>6</sup> CF/88, art. 26, 1.

### 5.6.1.2 *Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997)*

A Lei nº 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional e o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, cristalizou os princípios de gestão de recursos hídricos consagrados em conferências internacionais e na discussão no âmbito da sociedade civil, da comunidade científica e dos Poderes Públicos. No presente estudo, serão explicitados os pontos fundamentais da Política Nacional de Recursos Hídricos para embasar a discussão sobre as águas subterrâneas. Cabe ressaltar que os aquíferos não acompanham, necessariamente, os limites territoriais das bacias hidrográficas.

A Lei nº 9.433/1997 retoma o preceito constitucional que confere à água a natureza de bem de domínio público<sup>7</sup> e, conseqüentemente, adstrito ao regime jurídico de direito público. No presente caso, os Estados possuem a responsabilidade de organizar a utilização desse bem e protegê-lo da superexploração e da contaminação.

O fato de a água ser um bem adstrito ao regime de direito público, o que se aplica às águas do SAC, implica conseqüências jurídicas quanto ao seu uso, como: a necessidade de autorização do Poder Público para as derivações, consubstanciada na outorga do direito de uso de recursos hídricos, observadas as condições estabelecidas na legislação ambiental e nos processos de licenciamento ambiental; e a sujeição dos usuários à fiscalização e à aplicação de penalidades, quando infringirem as normas relativas ao uso e à proteção da água.

A água é fundamentalmente um bem essencial à vida. A Política Nacional determina que, em situações de escassez, a prioridade é o consumo humano e a dessedentação de animais.<sup>8</sup> Isso significa que, em tempos normais, a gestão das águas deve proporcionar o uso múltiplo, considerando-se, sempre, que o recurso é limitado<sup>9</sup>. Cabe à administrativa declarar uma situação de escassez, na motivação do ato relativo ao art. 1º, III, da Lei nº 9.433/1997, no respectivo processo. Esse conceito é aberto sob o prisma legal, configurando esse ato como uma manifestação do poder discricionário da Administração.

### ***Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007)***

No Brasil, a Lei nº 11.445/2007 estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico, consolidando, após longo período de discussões, uma política pública para esse setor. O abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana e a drenagem e manejo de águas pluviais são serviços abrangidos pela Lei nº 11.445/2007.

É dever do Poder Público garantir o abastecimento de água potável e uma coleta de esgotos eficiente à população. Para isso, o marco regulatório do saneamento básico estabeleceu princípios, a obrigatoriedade do planejamento e da regulação, o âmbito da atuação do titular, a sua sustentabilidade econômico-financeira, além de dispor sobre o controle social da prestação.

<sup>7</sup> Lei nº 9.433/1997, art. 1º, I.

<sup>8</sup> Lei nº 9.433/1997, art. 1º, III.

<sup>9</sup> Lei nº 9.433/1997, art. 1º, II.

Apesar de a Lei nº 11.445/2007 não mencionar expressamente as águas subterrâneas em seu texto, seu art. 45 trata indiretamente da gestão desse recurso, restringindo seu acesso a usuários que já estejam abastecidos por fontes públicas, ao estabelecer que ressalvadas as disposições em contrário das normas do titular, da entidade de regulação e de meio ambiente, toda edificação permanente urbana será conectada às redes públicas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário disponíveis e sujeita ao pagamento das tarifas e de outros preços públicos decorrentes da conexão e do uso desses serviços, sendo que a instalação hidráulica predial ligada à rede pública de abastecimento de água não poderá ser também alimentada por outras fontes. É importante salientar que essa não é uma inovação trazida pela Lei de Saneamento, uma vez que os códigos sanitários estaduais estabelecem condição semelhante.

### ***Normas sobre águas subterrâneas***

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) estabeleceu uma série de resoluções que dispõem sobre águas subterrâneas, no intuito de suprir lacunas para a gestão desse recurso, bem como para a gestão integrada dos recursos hídricos em geral.

#### ***a) Resolução CNRH nº 9/2000***

A resolução CNRH nº 9/2000 instituiu a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas, de acordo com os critérios estabelecidos no Regimento Interno do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, sendo de sua competência:

- ✓ discutir e propor a inserção da gestão de águas subterrâneas na Política Nacional de Gestão de Recursos Hídricos;
- ✓ compatibilizar as legislações relativas a exploração e a utilização destes recursos;
- ✓ propor mecanismos institucionais de integração da gestão das águas superficiais e subterrâneas;
- ✓ analisar, estudar e emitir pareceres sobre assuntos afins;
- ✓ propor mecanismos de proteção e gerenciamento das águas subterrâneas;
- ✓ propor ações mitigadoras e compensatórias;
- ✓ analisar e propor ações visando minimizar ou solucionar os eventuais conflitos; e
- ✓ as competências constantes do Regimento Interno do CNRH e outras que vierem a ser delegadas pelo seu Plenário.

#### ***b) Resolução CNRH nº 13/2000***

Considerando que o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos busca o suporte ao funcionamento do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH à aplicação dos demais instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, e a outros mecanismos de gestão integrada de recursos hídricos, a Resolução CNRH nº 13/2000



estabelece diretrizes para a implementação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.

Nesse sentido, cabe à Agência Nacional de Águas (ANA) coordenar os órgãos e entidades federais cujas atribuições ou competências estejam relacionadas com a gestão de recursos hídricos, mediante acordos e convênios, visando promover a gestão integrada das águas e em especial a produção, consolidação, organização e disponibilização à sociedade das informações e ações referentes, entre outros, aos sistemas de avaliação e outorga dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, em todo território nacional.

**c) Resolução CNRH nº 15/2001**

Para integrar a gestão das águas subterrâneas às águas superficiais, a Resolução CNRH nº 15/2001 determina que, na aplicação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, devem ser consideradas, sem dissociação, as águas superficiais, subterrâneas e meteóricas incorporando-se medidas que assegurem a promoção da gestão integrada, de acordo com as seguintes diretrizes:

- ✓ os Planos de Recursos Hídricos deverão conter, no mínimo, os dados e informações necessárias ao gerenciamento integrado das águas, cabendo mencionar que a Resolução CNRH nº 145/2012, que estabelece diretrizes para a elaboração de Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas, determina que o diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos deverá incluir, no mínimo, entre outros aspectos, a “avaliação quantitativa e qualitativa das águas superficiais e subterrâneas”<sup>10</sup>;
- ✓ o enquadramento dos corpos de água subterrânea em classes dar-se-á segundo as características hidrogeológicas dos aquíferos e os seus respectivos usos preponderantes, a serem especificamente definidos;
- ✓ nas outorgas de direito de uso de águas subterrâneas deverão ser considerados critérios que assegurem a gestão integrada das águas, visando evitar o comprometimento qualitativo e quantitativo dos aquíferos e dos corpos de água superficiais a eles interligados;
- ✓ a cobrança pelo uso dos recursos hídricos subterrâneos deverá obedecer a critérios estabelecidos em legislação específica;
- ✓ Sistemas de Informações de Recursos Hídricos no âmbito federal, estadual e do Distrito Federal deverão conter, organizar e disponibilizar os dados e informações necessários ao gerenciamento integrado das águas.

Como se pode verificar, trata-se de aplicar os instrumentos da PNRH às águas subterrâneas, tendo em vista o fato de que a sua gestão integrada deve considerar, sempre, as águas superficiais e subterrâneas.

---

<sup>10</sup> Resolução CNRH nº 145/2012, art. 11, IV.

**d) Resolução CNRH nº 22/2002**

A Resolução CNRH nº 22/2002 estabelece normas a serem observadas, no caso em tela, pelos Estados, na elaboração dos Planos de Recursos Hídricos, que devem considerar os usos múltiplos das águas subterrâneas, as peculiaridades de função do aquífero e os aspectos de qualidade e quantidade para a promoção do desenvolvimento social e ambientalmente sustentável.

Segundo essa norma, as informações e os dados básicos necessários à gestão sistêmica, integrada e participativa dos recursos hídricos são fornecidos pelos Planos de Recursos Hídricos, instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País.

O objetivo da Resolução CNRH nº 22/2002 consiste, basicamente, em introduzir as águas subterrâneas nos planos de recursos hídricos. Trata-se de um detalhamento da Resolução CNRH nº 15/2001, no que se refere a esses instrumentos das políticas de águas.

Nessa linha, a norma determina que os Planos de Recursos Hídricos devem promover a caracterização dos aquíferos e definir suas interrelações com os demais corpos hídricos superficiais e subterrâneos e com o meio ambiente, visando à gestão sistêmica, integrada e participativa das águas. E, no caso de aquíferos subjacentes a grupos de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas, os Comitês deverão estabelecer os critérios de elaboração, sistematização e aprovação dos respectivos Planos de Recursos Hídricos, de forma articulada.

No que se refere às águas subterrâneas, os Planos de Recursos Hídricos devem incluir, no mínimo, por aquífero:

- ✓ a caracterização espacial;
- ✓ o cômputo das águas subterrâneas no balanço hídrico;
- ✓ a estimativa das recargas e descargas, tanto naturais quanto artificiais;
- ✓ a estimativa das reservas permanentes exploráveis dos aquíferos;
- ✓ a caracterização física, química e biológica das águas dos aquíferos;
- ✓ as devidas medidas de uso e proteção dos aquíferos.

Os Planos de Recursos Hídricos devem ainda contemplar o monitoramento da quantidade e qualidade das águas subterrâneas, com os resultados devidamente apresentados em mapa e a definição mínima: da rede de monitoramento dos níveis d'água dos aquíferos e sua qualidade; densidade dos pontos de monitoramento; e frequência de monitoramento dos parâmetros.

Os Planos devem diagnosticar as ações potencialmente impactantes nas águas subterrâneas, bem como as ações de proteção e mitigação a serem empreendidas, incluindo-se as medidas emergenciais a serem adotadas em casos de contaminação e poluição acidental. Para tanto, os planos devem conter:

- ✓ descrição e previsão da estimativa de pressões socioeconômicas e ambientais sobre as disponibilidades;
- ✓ estimativa das fontes pontuais e difusas de poluição;
- ✓ avaliação das características e usos do solo; e
- ✓ análise de outros impactos da atividade humana relacionadas às águas subterrâneas.

No que se refere às medidas de prevenção, proteção, conservação e recuperação dos aquíferos, com vistas a garantir os múltiplos usos e a manutenção de suas funções ambientais, os Planos de Recursos Hídricos preveem as seguintes atividades:

- ✓ elaboração de um resumo das medidas, programas e prazos de realização para o alcance dos objetivos propostos;
- ✓ criação de áreas de uso restritivo como medida de alcance dos objetivos propostos.

**e) Resolução CNRH nº 76/2007**

Tendo em vista que as Resoluções CNRH nº 15/2001, 16/2001, 22/2002 e 24/2002, que estabelecem, respectivamente, diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas, critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos e diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Plano de Recursos Hídricos, a Resolução CNRH nº 76/2007 estabelece diretrizes gerais para a integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários.

**f) Resolução CNRH nº 91/2008**

A Resolução CNRH nº 91/2008 dispõe sobre procedimentos gerais para enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.

O enquadramento dos corpos de água se dá por meio do estabelecimento de classes de qualidade conforme o disposto nas Resoluções CONAMA nº 357/2005 e 396/2008, tendo como referência básica a bacia hidrográfica como unidade de gestão e os usos preponderantes mais restritivos.

A elaboração da proposta de enquadramento deve considerar, de forma integrada e associada, as águas superficiais e subterrâneas, com vistas a alcançar a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade compatíveis com os usos preponderantes identificados.

Essa norma vem preencher uma lacuna no que se refere às tratativas voltadas ao enquadramento das águas subterrâneas, estabelecendo um conteúdo específico para os planos de bacias hidrográficas, inclusive no que se refere à efetividade das decisões:

- ✓ diagnóstico;
- ✓ prognóstico;
- ✓ propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento; e

✓ programa para efetivação.

**g) Resolução CNRH nº 92/2008**

A Resolução CNRH nº 92/2008 estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro, visando identificar, prevenir e reverter processos de superexploração, poluição e contaminação, considerando especialmente as áreas de uso restritivo previstas na Resolução CNRH nº 22/2002, acima comentada.

A citada norma estabelece que os planos de recursos hídricos devem delimitar as áreas de recarga de aquíferos e definir suas zonas de proteção<sup>11</sup>, sendo que, para as zonas de proteção deverão ser propostas diretrizes específicas de uso e ocupação do solo<sup>12</sup>. Nesse cenário, é importante destacar que a competência para ordenamento do uso e ocupação do solo é dos municípios<sup>13</sup>, cabendo a eles considerar tais diretrizes fixadas nos planos.

Nesse cenário, é necessária a articulação institucional entre os órgãos e entidades gestoras estaduais, tanto de meio ambiente como de recursos hídricos, com os municípios, de preferência no âmbito dos comitês de bacia hidrográfica, para que se chegue a um acordo passível de ser cumprido, com vistas a uma efetiva proteção das águas subterrâneas.

Já no caso da inexistência de planos de recursos hídricos, o órgão gestor de recursos hídricos poderá propor a delimitação e definição das áreas de recarga de aquíferos e suas zonas de proteção com aprovação dos respectivos Comitês de Bacias, onde houver, e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos<sup>14</sup>.

As áreas de restrição e controle de uso de águas subterrâneas poderão ser instituídas pelo órgão ou entidade gestora de recursos hídricos competente, em articulação com os órgãos de meio ambiente, com aprovação dos Comitês de Bacias, onde houver, e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, desde que tecnicamente justificadas<sup>15</sup>, com ênfase na proteção, conservação e recuperação de:

I - mananciais para o abastecimento humano e dessedentação de animais;

II - ecossistemas, ameaçados pela superexploração, poluição ou contaminação das águas subterrâneas;

III - áreas vulneráveis à contaminação da água subterrânea;

IV - áreas com solos ou água subterrânea contaminados; e

V - áreas sujeitas a ou com identificada superexploração.

<sup>11</sup> Resolução CNRH nº 92/2008, art. 3º.

<sup>12</sup> Resolução CNRH nº 92/2008, art. 3º, §1º.

<sup>13</sup> CF/88, art. 30, VIII.

<sup>14</sup> Resolução CNRH nº 92/2008, art. 3º, §2º.

<sup>15</sup> Resolução CNRH nº 92/2008, art. 4º.

Além disso, a citada norma estabelece que, para as áreas de recarga de aquíferos deverão ser indicadas as medidas de restrição e controle, com vistas a disciplinar o uso do solo e da água subterrânea<sup>16</sup>. Aqui, mais uma vez, é necessária a articulação institucional entre os órgãos e entidades gestoras estaduais, tanto de meio ambiente como de recursos hídricos, com os municípios.

#### **h) Resolução CNRH nº 99/2009**

A Resolução CNRH nº 99/2009, entre outros, aprova o detalhamento operativo do Programa VIII - *Programa Nacional de Águas Subterrâneas*, considerando os trabalhos de acompanhamento e análise do mesmo, realizados pela Câmara Técnica de Águas Subterrâneas - CTAS e pela Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos – CTPNRH.

#### **i) Resolução CNRH nº 107/2010**

A Resolução CNRH nº 107/2010 estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.

É competência da ANA planejar e coordenar a Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas, que deverá ser implantada, operada e mantida pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), em articulação com os órgãos e entidades gestores de recursos hídricos dos Estados e do Distrito Federal. Nesse sentido, as informações geradas serão incorporadas ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH.

A referida resolução também estabelece que a Rede Nacional de Monitoramento de Águas Subterrâneas será objeto das seguintes campanhas de obtenção de dados:

- ✓ campanha inicial de coleta de água, repetida a cada cinco anos, que analisará os parâmetros selecionados, conforme previsto na Resolução CONAMA nº 396, de 2008, em função da hidrogeoquímica natural da água, do uso e ocupação do solo e dos usos preponderantes da água subterrânea;
- ✓ campanha semestral abrangendo, pelo menos, os parâmetros: pH, cloretos, nitritos, nitratos, dureza total, alcalinidade total, ferro total, sólidos totais dissolvidos, e coliformes termotolerantes; e
- ✓ campanha de medição contínua *in loco*, preferencialmente de forma automática, para determinação do nível estático (NE), temperatura e condutividade elétrica.

---

<sup>16</sup> Resolução CNRH nº 92/2008, art. 4º, parágrafo único.

**j) Resolução CNRH nº 126/2011**

Na continuidade da regulamentação das normas sobre águas subterrâneas, e tendo em vista a necessidade da atuação integrada dos órgãos componentes do SINGREH na execução da Política Nacional de Recursos Hídricos, em conformidade com as respectivas competências, a Resolução CNRH nº 126/2011 estabelece as diretrizes para o cadastro de usuários de recursos hídricos e para a integração das bases de dados referentes aos usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Releva destacar a importância do cadastro de usuários de recursos hídricos. Embora não conste da lista de instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, o cadastro de usuários é uma ferramenta poderosa para nortear todo o planejamento das bacias hidrográficas e da utilização das águas subterrâneas. A Agência Nacional de Águas – ANA, por meio da Resolução ANA nº 317/2003, instituiu o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH, para registro obrigatório de pessoas físicas e jurídicas de direito público ou privado usuárias de recursos hídricos.

Nos termos da Resolução CNRH nº 126/2011, o cadastro de usuários de recursos hídricos tem como objetivo o conhecimento da demanda pelo uso da água, bem como oferecer suporte à implementação dos instrumentos das políticas de recursos hídricos e a fiscalização dos usos e interferências nos recursos Hídricos.<sup>17</sup>

No que se refere aos conceitos fixados na norma: o cadastro de usuários de recursos hídricos é o conjunto de dados e informações sobre usuários, usos e interferências nos recursos hídricos. Usos e interferências nos recursos hídricos são aqueles decorrentes de quaisquer atividades, empreendimentos ou intervenções que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade de um corpo de água; e usuário é toda pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, fazendo uso ou interferência nos recursos hídricos, passíveis ou não de outorga, nos termos do art. 12, da Lei nº 9.433/1997, e das normas estaduais vigentes.

Uma regra importante nos recursos hídricos para fins do presente estudo é a que determina, para o órgão gestor ou a autoridade outorgante de cada Unidade da Federação: a adesão ao CNARH, hipótese em que a ANA disponibilizará o acesso ao Sistema, por meio de aplicativo que permita sincronizar as bases de dados do CNARH e das Unidades da Federação; ou a instituição de sistema próprio para armazenamento e integração dos dados de usuários de recursos hídricos,<sup>18</sup> caso em que a integração das bases de dados de usuários de recursos hídricos em rios de domínio da União com os de domínio das Unidades da Federação, dar-se-á por intercâmbio de dados mínimos<sup>19</sup> para suporte à implementação dos instrumentos das Políticas de Recursos Hídricos e a fiscalização dos usos e interferências nos recursos hídricos.

<sup>17</sup> Resolução CNRH nº 126/2011, art. 2º.

<sup>18</sup> Resolução CNRH nº 126/2011, art. 4º.

<sup>19</sup> Os dados mínimos a serem integrados são os constantes do Anexo da Resolução CNRH nº 126/2011.

**k) Resolução CONAMA nº 396/2008**

Essa resolução dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para enquadramento das águas subterrâneas, considerando que os aquíferos se apresentam em diferentes contextos hidrogeológicos e podem ultrapassar os limites de bacias hidrográficas, e que as águas subterrâneas possuem características físicas, químicas e biológicas intrínsecas, sendo necessário que suas classes de qualidades sejam pautadas nessas especificidades. Além disso, a referida resolução considera a necessidade de integração das Políticas Nacionais de Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos, bem como de uso e ocupação do solo, a fim de garantir as funções social, econômica e ambiental das águas subterrâneas.

Nesse sentido, estabelece que os órgãos ambientais em conjunto com os órgãos gestores dos recursos hídricos deverão implementar áreas de proteção de aquíferos e perímetros de proteção de poços de abastecimento, objetivando a proteção da qualidade da água subterrânea. Além disso, deverão ser implantadas áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas quando necessário para proteção dos aquíferos, da saúde humana e dos ecossistemas. Para tanto, os órgãos de gestão de recursos hídricos e de meio ambiente deverão articular-se para definição das restrições e das medidas de controle do uso das águas subterrâneas.

Um ponto a ser ressaltado é o fato de que a Resolução CONAMA nº 396/2008 determina que as restrições e exigências da classe de enquadramento das águas subterrâneas deverão ser observadas no licenciamento ambiental, no zoneamento ecológico-econômico e na implementação dos demais instrumentos de gestão ambiental.

Em relação à disposição de efluentes e de resíduos sólidos, tal resolução determina que estes não poderão conferir às águas subterrâneas características em desacordo com seu enquadramento.

**l) Resolução CONAMA nº 420/2009**

A Resolução CONAMA nº 420/2009, alterada pela Resolução CONAMA nº 460/2013, dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

É inegável que certas atividades acarretam a contaminação do solo, o que impacta diretamente nos corpos hídricos superficiais e subterrâneos, sendo, portanto, de fundamental importância a adoção de critérios para verificação das condições do solo, bem como normas orientadoras para gerir essas as áreas contaminadas.

A referida norma fundamenta a necessidade de prevenir a contaminação do subsolo e das águas subterrâneas no fato de que esses bens são públicos e constituem reservas estratégicas para o abastecimento público e o desenvolvimento ambientalmente sustentável.

Segundo a resolução, é umas das funções do solo a proteção das águas superficiais e subterrâneas, devendo essa proteção ser realizada de maneira preventiva, a fim de garantir a manutenção da funcionalidade das águas ou, de maneira corretiva, visando restaurar sua qualidade ou recuperá-la de forma compatível com os usos previstos.

Sendo assim, determina em seu art. 14 que, com vistas à prevenção e controle da qualidade do solo, os empreendimentos que desenvolvem atividades com potencial de contaminação dos solos e águas subterrâneas deverão, a critério do órgão ambiental competente:

- ✓ implantar programa de monitoramento de qualidade do solo e das águas subterrâneas na área do empreendimento e, quando necessário, na sua área de influência direta e nas águas superficiais; e
- ✓ apresentar relatório técnico conclusivo sobre a qualidade do solo e das águas subterrâneas, a cada solicitação de renovação de licença e previamente ao encerramento das atividades.

#### 5.6.1.3 Normas Estaduais sobre Águas Subterrâneas

Os itens seguintes foram elaborados a partir da compilação da legislação vigente, disponível nos sites dos órgãos estaduais oficiais, bem como por meio de consultas telefônicas aos mesmos.

##### **a) Legislação do Estado do Rio Grande do Sul (RS)**

No Estado do Rio Grande do Sul vigora a Lei nº 10.350/1994<sup>20</sup>, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos, estabelecendo, que os recursos hídricos são considerados na unidade do ciclo hidrológico, compreendendo as fases aérea, superficial e subterrânea, e tendo a bacia hidrográfica como unidade básica de intervenção.

A referida Política Estadual mostra preocupação com a proteção das águas subterrâneas, definindo, inclusive, como seu objetivo, promover a harmonização entre os múltiplos e competitivos usos dos recursos hídricos e sua limitada e aleatória disponibilidade temporal e espacial, de modo a, entre outros, impedir a degradação e promover a melhoria de qualidade e o aumento da capacidade de suprimento dos corpos de água, superficiais e subterrâneos, a fim de que as atividades humanas se processem em um contexto de desenvolvimento socioeconômico que assegure a disponibilidade dos recursos hídricos aos seus usuários atuais e às gerações futuras, em padrões quantitativa e qualitativamente adequados<sup>21</sup>.

A Lei nº 10.350/1994 institui instrumentos para a proteção das águas, determinando nos arts. 35 e 36 as infrações e penalidades a que estão sujeitos os usos em desconformidade com a proteção das águas subterrâneas. Qualquer empreendimento ou atividade que faça uso das águas superficiais ou subterrâneas, de modo a alterar suas condições quantitativas, qualitativas, ou ambas, dependerá de outorga, observado o Plano Estadual de Recursos Hídricos e os planos

<sup>20</sup> Alterada pelas Leis nº 11.560/2000 e 11.685/2001.

<sup>21</sup> Lei nº 10.350/1994, 2º, III.



de Bacia Hidrográfica<sup>22</sup>, no entanto, ficam dispensados da outorga os usos de caráter individual para satisfação das necessidades básicas da vida<sup>23</sup>.

O Estado do Rio Grande do Sul editou o Decreto nº 37.033/1996 para regulamentar especificamente a outorga do direito de uso da água, prevista nos artigos 29, 30 e 31 da Lei nº 10.350/1994, detalhando seu procedimento, inclusive em relação às águas subterrâneas.

Coube ao Decreto nº 42.047/2002 regulamentar as disposições da Política Estadual de Recursos Hídricos, no que se refere ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos, estabelecendo que a interações com as águas superficiais, observadas no ciclo hidrológico, sempre serão consideradas na administração do aproveitamento das águas subterrâneas<sup>24</sup>, o que configura a interconexão entre elas. As águas subterrâneas deverão ser objeto de programas permanentes de pesquisa, conservação e proteção, visando ao seu melhor aproveitamento<sup>25</sup>, devendo seu gerenciamento englobar: a avaliação dos recursos hídricos subterrâneos e o planejamento do seu aproveitamento racional; e a aplicação de medidas relativas à proteção e conservação dos recursos hídricos subterrâneos<sup>26</sup>.

A implantação de projetos de quaisquer naturezas que utilizem água subterrânea, ou ponham em risco sua qualidade natural ou quantidade, é sujeita à aprovação (outorga) dos órgãos e das entidades competentes, devendo ser precedida de estudos hidrogeológicos que permitam avaliar o potencial disponível e o correto dimensionamento do sistema de abastecimento e o tratamento de efluentes<sup>27</sup>.

As obras destinadas à captação de águas subterrâneas, mesmo aquelas executadas com o objetivo de atender a estudos, projetos e pesquisas, dependem de autorização prévia para sua execução e devem ser cadastradas no órgão competente. As captações subterrâneas devem fazer parte do Cadastro Geral dos Usuários de Água do Estado<sup>28</sup>.

Os usos das águas subterrâneas estaduais são passíveis de outorga, estando dispensadas as captações insignificantes de águas subterrâneas, com vazão média mensal de até dois metros cúbicos por dia ou com a finalidade de uso de caráter individual e para a satisfação das necessidades básicas da vida, ficando, porém sujeitas ao cadastramento e à fiscalização dos órgãos responsáveis<sup>29</sup>.

No Estado do Rio Grande do Sul, é vedada qualquer ação, omissão ou atividade que intencionalmente, ou não, possa causar poluição às águas subterrâneas<sup>30</sup> e todos os projetos de implantação ou ampliação de empreendimentos que apresentem riscos de poluição dessas águas deverão conter estudos detalhados de caracterização hidrogeológica e de vulnerabilidade

<sup>22</sup> Lei nº 10.350/1994, 29.

<sup>23</sup> Lei nº 10.350/1994, 31.

<sup>24</sup> Decreto nº 42.047/2002, art. 3º, parágrafo único.

<sup>25</sup> Decreto nº 42.047/2002, art. 2º.

<sup>26</sup> Decreto nº 42.047/2002, art. 3º, I e II.

<sup>27</sup> Decreto nº 42.047/2002, art. 13.

<sup>28</sup> Decreto nº 42.047/2002, art. 16, 17, 20 e 21.

<sup>29</sup> Decreto nº 42.047/2002, art. 18 e 19.

<sup>30</sup> Decreto nº 42.047/2002, art. 25.

dos sistemas aquíferos, bem como projeto de medidas de proteção, controle e monitoramento. Os resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, provenientes de qualquer atividade, só poderão ser armazenados ou lançados de forma a não poluírem as águas subterrâneas, obedecendo aos padrões de emissão de poluentes estabelecidos em legislação ambiental específica<sup>31</sup>.

As áreas de proteção dos aquíferos serão estabelecidas a partir de estudos hidrogeológicos e ambientais, sendo classificadas em: Áreas de Proteção Máxima; e Áreas de Proteção de Poços e Outras Captações<sup>32</sup>. Nas áreas de proteção de poços e outras captações subterrâneas, será instituído um Perímetro Imediato de Proteção Sanitária que abrange um raio mínimo de 10m a partir do ponto de captação, o qual deverá ser cercado e protegido, devendo seu interior estar resguardado da entrada ou da infiltração de poluentes<sup>33</sup>.

Além do Perímetro Imediato de Proteção Sanitária será estabelecido, com base em estudos hidrogeológicos, um perímetro de alerta contra poluição, o qual deverá ser coincidente com a Zona de Contribuição do poço, sendo que neste perímetro não poderá ser implantada qualquer atividade potencialmente poluidora<sup>34</sup>.

O não cumprimento das disposições legais relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado do Rio Grande do Sul, sujeitará o infrator às penalidades previstas na Política Estadual de Recursos Hídricos<sup>35</sup>. Sem prejuízo dessas penalidades, os poços abandonados, temporária ou definitivamente, e as perfurações realizadas para outros fins que não a extração de água, bem como os poços em operação que estejam causando poluição ou representem riscos, deverão, a critério do DRH ou FEPAM, ser adequadamente tamponados e lacrados por seus responsáveis de modo a evitar a poluição dos aquíferos ou acidentes.

O Decreto Estadual n.º 23.430/1974 aprova regulamento que dispõe sobre a promoção, proteção e recuperação da saúde pública e determina, em seu art. 83, que não será permitida, em qualquer circunstância, a conexão do sistema de abastecimento de água potável com outro destinado a abastecimento para outra finalidade. O art. 87 determina que somente pela rede pública de abastecimento de água potável, quando houver, far-se-á o suprimento da edificação, não sendo permitida, em qualquer circunstância, conexão das instalações domiciliares ligadas à rede pública com tubulação que contenha água proveniente de outras fontes de abastecimento. Além disso, o art. 96 estabelece que nas zonas servidas por rede de abastecimento de água potável, os poços serão tolerados exclusivamente para suprimento com fins industriais ou para uso em floricultura ou agricultura, devendo satisfazer às seguintes condições: serem convenientemente fechados, com tampa, no mínimo, a 0,40 m da superfície do solo; e serem dotados de bomba. Os poços não utilizados devem ser aterrados até o nível do terreno.

---

<sup>31</sup> Decreto nº 42.047/2002, art. 26.

<sup>32</sup> Decreto nº 42.047/2002, art. 28.

<sup>33</sup> Decreto nº 42.047/2002, art. 30.

<sup>34</sup> Decreto nº 42.047/2002, art. 31.

<sup>35</sup> Decreto nº 42.047/2002, art. 3.

No Estado do Rio Grande do Sul, a Resolução CERH nº 60/2009 dispõe sobre a outorga de captação de águas subterrâneas e autorização para perfuração de poços em áreas abastecidas por rede pública e dá outras providências, indicando, inclusive, que deverão ser observados os usos permitidos nos termos do art. 96 do Decreto Estadual nº 23.430/1974, quais sejam os fins industriais ou para uso em floricultura ou agricultura<sup>36</sup>. Excepcionalmente poderão ainda ser permitidos os usos para lavanderias destinadas ao uso da coletividade, desde que o abastecimento público seja insuficiente<sup>37</sup>. Além disso, a referida resolução define outros fins específicos aos quais poderão ser outorgadas as captações.

Sobre os mecanismos de proteção às águas subterrâneas, cabe destacar o art.10 da Resolução CERH nº 60/2009, alterado pela Resolução nº 71/2010, que determina que a outorga para captação de água subterrânea através de poços em empreendimentos onde exista a rede pública de abastecimento e que não necessitem de licenciamento ambiental, fica condicionada à comprovação do encaminhamento dos efluentes gerados à rede coletora pública, se houver, ou à apresentação de informações quanto ao destino final dos efluentes.

No Estado do Rio Grande do Sul a Resolução CERH nº 91/2011 aprova os critérios para a dispensa da outorga de direito de uso dos recursos hídricos, enquanto não estabelecidos pelo Plano de uma determinada Bacia Hidrográfica. Além disso, o Estado adota regras da ABNT para construção de poço tubular para captação de água subterrânea (NBR 12.244/2006) e para projeto de poço tubular para captação de água subterrânea. Por fim, em relação às águas subterrâneas, o Estado aplica o Edital nº 02/2003, para o cadastramento, junto ao DRH, de empresas que atuam na área de hidrogeologia e construção de poços tubulares.

A partir da análise da legislação, entende-se que as normas do Rio Grande do Sul, no que concerne às águas subterrâneas, estão voltadas à sua proteção, seja exigindo estudos para garantir que atividades não venham a causar poluição nem a superexploração, seja pela previsão de penalidades aos infratores, seja ainda pela adoção do conceito da gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

### ***b) Legislação do Estado de Santa Catarina (SC)***

A Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina, instituída pela Lei nº 9.748/1994, deixa clara a preocupação com as águas subterrâneas, estabelecendo, o gerenciamento sem dissociação entre as fases meteóricas, subterrâneas e superficiais do ciclo hidrológico.

As diretrizes da política incluem a utilização racional dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, assegurando o uso prioritário para abastecimento das populações e o desenvolvimento de programas permanentes de conservação e proteção das águas subterrâneas contra a poluição e super exploração.<sup>38</sup>

<sup>36</sup> Resolução CERH nº 60/2009, art. 1º.

<sup>37</sup> Resolução CERH nº 60/2009, art. 2º, parágrafo único.

<sup>38</sup> Lei nº 9.748/1994, art. 3º, I e VIII.

A lei em questão estabelece instrumentos para a proteção das águas subterrâneas, ao determinar que a implantação de qualquer empreendimento ou atividade que altere as condições quantitativas ou qualitativas das águas superficiais ou subterrâneas depende de autorização da Secretaria de Estado responsável pela Política Estadual de Recursos Hídricos, por meio da Fundação do Meio Ambiente-FATMA, ou sucedâneo, na qualidade de entidade gestora dos recursos hídricos. Além disso, a lei estabelece como infração administrativa iniciar a implantação ou implantar empreendimento, bem como exercer atividade relacionada com a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, que implique alterações no regime, quantidade ou qualidade das águas, sem essa autorização do órgão gestor dos recursos hídricos.

A Política Estadual de Recursos Hídricos de SC não trata da preservação das águas subterrâneas quando trata do Plano Estadual de Recursos Hídricos. Tampouco os dispositivos relativos aos planos de bacias hidrográficas tratam da matéria.

No que se refere ao cadastramento de usuários, a lei em tela determina que todos os usos de recursos hídricos devem ser obrigatoriamente cadastrados. E que o não atendimento ao cadastramento também constitui infração, o que demonstra a preocupação com a informação sobre os recursos hídricos.

O Decreto nº 4.778/2006 regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio do Estado e estabelece, no art. 7º, parágrafo único, que esse instrumento de gestão poderá abranger o uso múltiplo e/ou integrado de recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, ficando o outorgado responsável pela observância concomitante de todas as condicionantes aos usos a ele outorgados. Cabe destacar que, segundo o art. 6º, parágrafo único, a análise dos pleitos de outorga deverá considerar a interdependência das águas superficiais e subterrâneas e as interações observadas no ciclo hidrológico, visando a gestão integrada dos recursos hídricos.

Além disso, segundo o art. 8º do citado decreto, a extração de água subterrânea destinada exclusivamente ao consumo familiar e de pequenos núcleos populacionais dispersos no meio rural independe de outorga pelo poder público, depois de aprovados os critérios pelos Comitês de Bacias Hidrográficas, conforme definido em regulamento. Essa disposição, todavia, não desobriga esses pequenos usuários do cadastramento, já que não há menção a qualquer dispensa no dispositivo.

O decreto em tela estabelece regras para as outorgas para as extrações de depósitos naturais subterrâneos, determinando que os atos de outorga serão objeto de complementação no que se refere aos itens a seguir, mediante informações da declaração de confirmação de dados, fornecida pelo requerente e preparada imediatamente após a conclusão das obras e antes do início efetivo da operação de poços profundos, com base nos dados do relatório conclusivo do poço:

- ✓ vazões máximas obtidas nos ensaios de bombeamento;
- ✓ perfil litológico e construtivo;

- ✓ condições de exploração recomendadas;
- ✓ resultados de análises físico-químicas e bacteriológicas da água, para os parâmetros preconizados pelo Ministério da Saúde e realizados em laboratórios credenciados pelo órgão outorgante.

Nota-se a importância das informações sobre os aquíferos, que devem ser reunidas nos Sistema de Informações, como forma de melhorar o conhecimento e prevenir esses corpos hídricos subterrâneos da superexploração e degradação.

Segundo o art. 38, a entidade estadual competente poderá efetuar o monitoramento, qualitativo e quantitativo, para o acompanhamento e a avaliação dos usos de recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, do domínio do Estado de Santa Catarina ou do domínio da União cuja gestão a ele tenha sido delegada.

No campo das infrações, determina o citado decreto, no art. 46, que constitui infração administrativa iniciar a implantação ou implantar empreendimento, bem como exercer atividade relacionada com a utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos que implique alterações no regime quantidade ou qualidade das águas, sem autorização do órgão outorgante.

Sobre as outorgas, o art. 12 do decreto determina que o volume de água subterrânea a ser subtraída de um poço dependerá do planejamento do uso das águas subterrâneas, observando-se a sua reserva explotável e a disponibilidade real, segundo os critérios estabelecidos pelo Plano de Bacia Hidrográfica, quando existente, ou pelos critérios estabelecidos pelo órgão outorgante. Esse dispositivo explicita, mais uma vez, a necessidade de conhecimento dos aquíferos, para estabelecer um planejamento prévio a qualquer subtração, o que garante a proteção das águas no que se refere à superexploração.

Além disso, nas outorgas de direito de uso de águas subterrâneas deverão ser considerados critérios que assegurem a gestão integrada das águas, visando evitar o comprometimento qualitativo e quantitativo das águas subterrâneas e os seus respectivos usos preponderantes, a serem especificamente definidos.

Nessa linha, constitui obrigação do outorgado, entre outras, nos termos do art. 36, operar e manter os dispositivos de extração de águas subterrâneas, de modo a preservar as características físicas e químicas das águas, evitando-se procedimentos que ameacem as condições naturais dos aquíferos. Essa regra está voltada à proteção da qualidade dos aquíferos.

A Resolução CERH nº 003/2012, que aprova os critérios de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, define as captações subterrâneas como qualquer obra ou instalação com a finalidade de extrair água subterrânea, seja no aquífero livre ou aquífero confinado e define vazão insignificante ou inexpressiva para captações subterrâneas como de até 5 m<sup>3</sup>/dia por usuário, e que não cause interferência em outras captações localizadas no mesmo aquífero.

A Lei nº 14.675/2009 institui o Código Estadual do Meio Ambiente no Estado de Santa Catarina. O texto legal é bastante abrangente no que se refere às águas subterrâneas,

estabelecendo um capítulo específico para elas. O art. 28, no inciso XXXV, define *lagoas de áreas úmidas* aquelas inseridas em zonas de transição terrestre-aquáticas, periódicas ou permanentemente inundadas por reflexo lateral de rios, lagos e lagunas e/ou pela precipitação direta ou pela água subterrânea, resultado em ambiente físico químico particular que leva a biota a responder com adaptações morfológicas, anatômicas, fisiológicas, fenológicas e/ou etológicas e a produzir estruturas de comunidades características para estes sistemas. Segundo o inciso XLVI, *poço surgente* ou *jorrante*, é aquele em que o nível da água subterrânea encontra-se acima da superfície do terreno.

Segundo a lei em tela, para a proteção das águas superficiais e subterrâneas devem ser observadas as seguintes diretrizes:

- ✓ a proteção dos recursos hídricos das ações que possam comprometer seu uso sustentável;
- ✓ a obtenção de melhoria gradativa e irreversível da qualidade dos recursos hídricos hoje degradados;
- ✓ a preservação e conservação dos ecossistemas aquáticos e dos recursos ambientais conexos aos recursos hídricos;
- ✓ a articulação continuada destinada a compartilhar informações e compatibilizar procedimentos de análise e decisão, entre os órgãos ambientais, órgãos gestores dos recursos hídricos e os comitês de bacia hidrográfica;
- ✓ a compatibilização da ação humana, em qualquer de suas manifestações, com a dinâmica do ciclo hidrológico no Estado; e
- ✓ a garantia de que a água possa ser controlada e utilizada, em padrões de qualidade e quantidade satisfatórios, por seus usuários atuais e pelas gerações futuras, em todo território estadual.

Além de estabelecer uma proteção bastante objetiva para as águas, cabe ressaltar a articulação para o compartilhamento das informações. Esse tema é crucial para a efetividade das leis, e no caso das águas subterrâneas, cujo conhecimento ainda não é completo, é de fundamental importância.

Em seu art. 235, a lei determina ao Poder Público Estadual que mantenha programas permanentes de proteção das águas subterrâneas, visando ao seu aproveitamento sustentável e à adoção de medidas preventivas em todas as situações de risco à sua qualidade. Para tanto, os órgãos e entidades ambientais competentes devem utilizar técnicas eficazes e atualizadas para o cumprimento das disposições previstas no caput, mantendo os programas organizados e disponíveis aos interessados. Os programas permanentes de proteção das águas subterrâneas devem, onde houver planos de bacia hidrográfica, constituir subprogramas destes, considerando o ciclo hidrológico na sua integralidade. Esse dispositivo é de fundamental importância, na medida em que reafirma a indissociação das águas superficiais e subterrâneas.

Ainda com vistas à proteção dos aquíferos, mas no âmbito do licenciamento ambiental, a sua vulnerabilidade deve ser prioritariamente considerada na escolha da melhor alternativa de localização de atividade/empreendimento de qualquer natureza.

No que se refere ao cadastramento de usuários, obrigação vigente para quaisquer usos, o Código do Meio Ambiente estabelece que qualquer pessoa que perfurar poço profundo no território estadual deve fazer seu cadastramento no órgão competente, mantendo completas e atualizadas as respectivas informações. Releva notar, também aqui, a importância do levantamento das informações sobre os aquíferos.

A lei determina ainda que as áreas de proteção de poços utilizados para abastecimento público devem ser delimitadas e averbadas em cartório nas áreas urbanas e de alta concentração industrial.

A lei estabelece, no art. 228, que os poços e demais perfurações de terreno que atinjam os aquíferos ou o lençol freático devem ser equipados com dispositivos de segurança contra vandalismo, poluição acidental ou voluntária e desperdícios e que os poços desativados devem ser adequadamente tamponados, de acordo com as técnicas vigentes, pelos responsáveis, ou na impossibilidade da identificação destes, pelos proprietários dos terrenos onde estiverem localizados.

O art. 234 estabelece que, nos processos de licenciamento ambiental, sempre que utilizadas, devem ser indicadas as fontes de água subterrânea. No que se refere ao licenciamento ambiental de loteamentos, projetos de irrigação, colonização, distritos industriais e outros empreendimentos que impliquem utilização de águas subterrâneas ou impermeabilização de significativas porções de terreno, o art. 229 determina que seja preservado o ciclo hidrológico original, a ser observado no processo de licenciamento, sendo expressamente proibido qualquer atividade ou empreendimento que promova o processo de salinização de aquífero. Para as atividades que possam causar alteração na cunha salina, devem ser previstas medidas mitigadoras visando manter o seu regime, sendo obrigatória a adoção de medidas preventivas de longo prazo contra esse fenômeno, a expensas dos empreendedores.

Nos termos do art. 230, caberá ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH, mediante resolução, definir os aquíferos em condições críticas. A indicação de aquíferos que tenham perfil para serem definidos como em condições críticas deve ser feita pelo Órgão Estadual de Meio Ambiente, pelas concessionárias de serviços de saneamento e demais instituições que possuam informações sobre a situação dos aquíferos. Nesses casos, caberá à FATMA, com posterior homologação do CONSEMA, estabelecer restrições ambientais visando, no mínimo, não acentuar o comprometimento da disponibilidade hídrica em quantidade ou qualidade, cabendo ao órgão gestor dos recursos hídricos estabelecer medidas de recuperação.

A lei determina, ainda, no art. 232, a possibilidade de exigência de estudo de aquífero no licenciamento ambiental de atividades consumidoras de águas subterrâneas que provoquem interferências significativas na sua qualidade e quantidade. A definição da respectiva

metodologia e o conteúdo dos estudos de aquífero competem à FATMA, juntamente com o Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH.

No que se refere à proteção contra a poluição e degradação dos aquíferos, o art. 236 estabelece que nas ocupações em área de ocorrência de aquífero poroso deve ser exigido o tratamento do esgoto, de forma que não comprometa a sua qualidade e as medidas de preservação do nível da água do aquífero, sem prejuízo da incidência das normas dos sistemas de recursos hídricos. A lei define como medidas de preservação do nível do aquífero, aquelas de captação e armazenamento ou infiltração da água da chuva, com volume relacionado com a água consumida ou com a área da superfície impermeabilizada, a recirculação de águas, a utilização de técnicas tendentes à diminuição da impermeabilização, sempre que for tecnicamente viável.

É obrigatória a recuperação das áreas de preservação permanente – APP - impactadas em decorrência das intervenções para instalação de poço, ressalvado o uso necessário de área para fins de instalação do equipamento, adução de água e sua manutenção. E proibida a disposição de poluentes e resíduos de qualquer natureza em poços e perfurações ativas ou abandonadas, mesmo secas.

Da análise efetuada, em relação às normas de gestão de recursos hídricos, verifica-se que o aparato legal do Estado de Santa Catarina traz todas as bases fundamentais para a proteção das águas subterrâneas, em que se incluem o SAG, estabelecendo regras protetivas dos usos que ponham em risco a preservação do aquífero. O tratamento legal da proteção das águas subterrâneas foi garantido na lei sobre a política estadual de água e no decreto que dispõe sobre as outorgas de direito de uso de águas, além do Código Estadual do Meio do Ambiente.

Fica claro, pois, que a legislação estadual cuidou da matéria, condicionando as outorgas e o licenciamento ambiental a medidas de proteção dos aquíferos.

### ***c) Legislação do Estado do Paraná (PR)***

A Política Estadual de Recursos Hídricos do Paraná, instituída pela Lei nº 12.726/1999, segue a mesma linha da Lei nº 9.433/97, estabelecendo, com mínimas alterações, os mesmos princípios, objetivos, diretrizes, e instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Há, na lei, um capítulo específico para tratar das águas subterrâneas, definidas como águas que corram naturalmente no subsolo, de forma suscetível de extração e utilização pelo homem<sup>39</sup>. A Lei nº 12.726/1999 é expressa ao determinar que se apliquem aos depósitos de águas subterrâneas os fundamentos, objetivos, diretrizes gerais de ação, os instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos<sup>40</sup>, a interconexão entre águas subterrâneas e superficiais, bem como as interações observadas no ciclo hidrológico<sup>41</sup>.

<sup>39</sup> Lei nº 12.726/1999, art. 26, § 1º.

<sup>40</sup> Lei nº 12.726/1999, art. 26.

<sup>41</sup> Lei nº 12.726/1999, art. 26, § 2º.



Em razão de sua importância estratégica, as águas subterrâneas devem estar sujeitas a programa permanente de preservação visando possibilitar seu melhor aproveitamento, o que implica, em outras palavras, o uso racional, a implementação de medidas que evitem sua contaminação e promovam seu equilíbrio, em relação aos demais recursos naturais, em termos físicos, químicos e biológicos<sup>42</sup>.

A lei estabelece ainda que a implantação de distritos industriais e de grandes projetos de irrigação, colonização ou de outros projetos que dependam da utilização de águas subterrâneas ou que sobre elas possam causar impacto relevante, deverá ser procedida de estudos hidrogeológicos para: avaliação do potencial de suas reservas hídricas; e para o correto dimensionamento das vazões a serem extraídas. Em ambos os casos, a prévia aprovação dos órgãos competentes é obrigatória<sup>43</sup>.

O Poder Público deve, sempre que necessário, instituir áreas de proteção aos locais de extração de águas subterrâneas, com a finalidade de possibilitar sua preservação, conservação ou aproveitamento racional. A exploração de águas subterrâneas sem observância das disposições estabelecidas pelo programa permanente de preservação, acima referido, estará sujeita às infrações e penalidades definidas na Lei nº 12.726/1999.

No Estado de Paraná, o Decreto nº 9.957/2014, que revogou o Decreto nº 4.646/2001, é a norma que regulamenta as outorgas de direito de uso de recursos hídricos. No que se refere às águas subterrâneas, estão sujeitos à outorga, independentemente da natureza pública ou privada: a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; e outros usos e ações e execução de obras ou serviços necessários à implantação de qualquer intervenção ou empreendimento, inclusive as intervenções visando o controle de erosão e a proteção sanitária, que demandem a utilização de recursos Hídricos, ou que impliquem em alteração, mesmo que temporária, do regime, da quantidade ou da qualidade da água, superficial ou subterrânea, ou, ainda, que modifiquem o leito e margens dos corpos de água<sup>44</sup>.

O processamento dos requerimentos de outorga visando à extração de água de aquífero subterrâneo compreende obrigatoriamente duas etapas distintas, denominadas como anuência para perfuração de poço e outorga de direito de uso, que poderão ser incorporadas em um único processo administrativo<sup>45</sup>. São obrigações do outorgado operar e manter os dispositivos de extração de águas subterrâneas, de modo a preservar as características físicas e químicas das águas, evitando-se procedimentos que ameacem as condições naturais dos aquíferos<sup>46</sup>.

---

<sup>42</sup> Lei nº 12.726/1999, art. 27.

<sup>43</sup> Lei nº 12.726/1999, art. 28.

<sup>44</sup> Decreto nº 9.957/2014, art. 6º, II e VI.

<sup>45</sup> Decreto nº 9.957/2014, art. 12.

<sup>46</sup> Decreto nº 9.957/2014, art. 26, VI.

O Estado do Paraná deverá efetuar o monitoramento, qualitativo e quantitativo, para o acompanhamento e a avaliação dos usos de recursos Hídricos, superficiais e subterrâneos, de seu domínio ou de domínio da União cuja gestão tenha sido delegada ao Estado em questão<sup>47</sup>.

A partir do exposto, o entendimento é que, no que se refere à legislação acerca da gestão e proteção das águas subterrâneas, o Estado do Paraná estabeleceu um conjunto de normas consistentes, que prevê interconexão entre as águas superficiais e as subterrâneas, e a proteção dos aquíferos quando da implantação de empreendimentos.

#### **d) Legislação do Estado de Minas Gerais (MG)**

A Política Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais, instituída pela Lei nº 13.199/1999, trata da proteção das águas subterrâneas, reconhecendo a unidade do ciclo hidrológico em suas três fases (superficial, subterrânea e meteórica), sem, no entanto, estabelecer a indissociação em sua gestão.

Dentre as diretrizes da política, o Estado deverá assegurar recursos financeiros e institucionais necessários, especialmente para: programas permanentes de proteção, melhoria e recuperação das disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas; programas permanentes de proteção das águas superficiais e subterrâneas contra poluição; e ações que garantam o uso múltiplo racional dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, das nascentes e ressurgências e das áreas úmidas adjacentes e sua proteção contra a superexploração e contra atos que possam comprometer a perenidade das águas – Lei nº 13.199/1999 art. 4º, I, II e III.

Além disso, o Estado deverá articular-se com a União, com outros Estados e com municípios com vistas ao aproveitamento, ao controle e ao monitoramento dos recursos hídricos em seu território, sendo consideradas, para tanto, a proteção e o controle das áreas de recarga, descarga e captação dos recursos hídricos subterrâneos – Lei nº 13.199/1999, art. 8º, § 1º, IV.

A Política Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais traz instrumentos para a proteção das águas subterrâneas, sujeitando à outorga a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo<sup>48</sup>, e estabelecendo as infrações e penalidades aplicáveis às águas subterrâneas.

A Lei nº 13.199/1999 trata do Plano Estadual de Recursos Hídricos, e Planos Diretores de Bacias Hidrográficas, sem, no entanto, mencionar a proteção às águas subterrâneas.

O Estado de Minas Gerais possui legislação específica para tratar das águas subterrâneas. A Lei nº 13.771/2000, que dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado de Minas Gerais, considera subterrâneas as águas existentes

<sup>47</sup> Decreto nº 9.957/2014, art. 35.

<sup>48</sup> Lei nº 13.199/1999, art. 18, II

no solo e no subsolo<sup>49</sup>, e reconhece a interconexão existente entre as águas subterrâneas e as superficiais<sup>50</sup>.

A referida lei veda qualquer ação, omissão ou atividade que cause ou possa causar poluição das águas subterrâneas, conceituando poluição qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas subterrâneas que possa ocasionar prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar da população e comprometer o seu uso para fins de abastecimento humano e outros<sup>51</sup>.

Nos termos da citada norma, os projetos de implantação ou ampliação de atividades de alto risco ambiental, tais como polos petroquímicos, carboquímicos, cloroquímicos e radiológicos, ou qualquer outra fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas que tragam periculosidade e risco para a saúde do público em geral conterão caracterização detalhada da hidrogeologia local, incluindo avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos potencialmente afetados, assim como proposta para as medidas de proteção e controle a serem adotadas.<sup>52</sup>

Já a implantação ou ampliação de empreendimentos consumidores de elevados volumes de águas subterrâneas, classificados ambientalmente como empreendimentos de grande porte e de potencial poluidor, será precedida de estudo hidrogeológico para avaliação das disponibilidades hídricas e do não-comprometimento do aquífero a ser explorado, sem prejuízo da apreciação do Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM-MG.<sup>53</sup> Nesse caso, além do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e dos Comitês de Bacia Hidrográfica, o COPAM-MG, órgão colegiado da Secretaria de Meio Ambiente, pode deliberar sobre os empreendimentos acima descritos.

As áreas com depósitos de resíduos construídos no solo e com efluentes perigosos serão dotadas de sistema de monitoramento das águas subterrâneas, a cargo do responsável pelo empreendimento, executado conforme plano, aprovado pelo COPAM-MG,<sup>54</sup> que conterá:

- ✓ a localização e os detalhes construtivos do poço de monitoramento;
- ✓ a forma de coleta de amostras, a frequência de amostragem, os parâmetros a serem analisados e os métodos analíticos adotados;
- ✓ a espessura da zona saturada e a direção de escoamento do aquífero freático, assim como a identificação das eventuais interconexões com outras unidades aquíferas.

Quando, tanto no interesse da conservação, proteção ou manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas quanto no interesse dos serviços públicos de abastecimento de água, ou também por motivos geológicos, geotécnicos ou ecológicos, se fizer necessário restringir a captação e o uso dessas águas, o órgão outorgante do direito de uso poderá, com base em

<sup>49</sup> Lei nº 13.771/2000, art. 1º, §1º

<sup>50</sup> Lei nº 13.771/2000, art. 2º.

<sup>51</sup> Lei nº 13.771/2000, art. 6º.

<sup>52</sup> Lei nº 13.771/00, art. 7º.

<sup>53</sup> Lei nº 13.771/00, art. 8º.

<sup>54</sup> Lei nº 13.771/00, art. 9º.

estudos hidrogeológicos, instituir áreas de proteção e controle, restringir as vazões captadas por poços, estabelecer as distâncias mínimas entre poços e tomar outras medidas que o caso requeira<sup>55</sup>. O cadastro no IGAM é obrigatório para os proprietários de captações de águas subterrâneas do Estado de Minas Gerais, em operação ou paralisadas<sup>56</sup>.

Nos termos do art. 13 da citada lei, as áreas de proteção dos aquíferos subterrâneos classificam-se em: Área de Proteção Máxima, compreendendo, no todo ou em parte, zonas de recarga, descarga e transporte de aquíferos altamente vulneráveis à poluição e que se constituam em depósitos de águas essenciais para abastecimento público ou para suprir atividades consideradas prioritárias pelos Comitês de Bacia ou, na sua ausência, pelo CERH-MG; Área de Restrição e Controle, caracterizada pela necessidade de disciplinamento das extrações, controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras; e Área de Proteção de Poços e Outras Captações, abrangendo a distância mínima entre poços e outras captações e o respectivo perímetro de proteção.

No que se refere ao cadastro de usuários, instrumento básico para a formação de um Sistema de Informações consistente e a fundamentação das decisões administrativas sobre qualidade e quantidade das águas subterrâneas, a lei em tela exige tal cadastramento para as captações de águas subterrâneas.

Da análise efetuada em relação às normas de gestão de recursos hídricos, verifica-se que o aparato legal do Estado de Minas Gerais traz as bases fundamentais para a proteção das águas subterrâneas, em que se inclui o SAC, inclusive com uma lei específica sobre a matéria. No que se refere à implantação de atividades de alto risco ambiental, deve ser realizada uma avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos potencialmente afetados, assim como proposta para as medidas de proteção e controle a serem adotadas.

#### **e) Legislação do Estado do Mato Grosso do Sul (MS)**

A Lei nº 2.406/2002<sup>57</sup>, seguindo basicamente os mesmos princípios e diretrizes estabelecidas na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), instituiu a Política Estadual e o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Estado de Mato Grosso do Sul. A integração da gestão das bacias hidrográficas com todos os processos do ciclo hidrológico, envolvendo as águas superficiais e subterrâneas em seus aspectos de qualidade e quantidade, constitui uma das diretrizes dessa política, nos termos do art. 4º, II.

A lei em tela trata dos programas de gestão de águas subterrâneas, compreendendo a pesquisa, o planejamento e o monitoramento, aspectos que compõem o leque de ações previstas no Plano Estadual dos Recursos Hídricos, cujo objetivo é fundamentar e orientar a implementação da Política Estadual dos recursos hídricos.

---

<sup>55</sup> Lei nº 13.771/00, art. 12.

<sup>56</sup> Lei nº 13.771/00, art. 21.

<sup>57</sup> A constitucionalidade dos arts. 20 §1º, 23 § 1º a 3º e 24, da Lei Estadual nº 2.406/2002 está sendo discutida no STF, por meio da ADI 5025/2013.

A extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo está sujeita à outorga pela entidade competente e perfurar poços para extração de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização constitui infração das normas de utilização dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, nos termos do art. 48. O tamponamento dos poços de extração de águas subterrâneas constitui uma das penalidades previstas no art. 50.

O cadastramento de usuários de recursos hídricos superficiais e subterrâneos no âmbito do Estado de Mato Grosso do Sul é objeto do Decreto Estadual nº 13.397/2012, regulamentado pela Resolução do Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul (IMASUL) nº 05/2012, que estabelece os procedimentos para o cadastramento de usuários de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

No que se refere aos poços tubulares, a Resolução da Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia (SEMAC) nº 08/2009, alterada pelas Resoluções SEMAC nº 17/2009, 06/2012 e 01/2014, dispõe sobre o licenciamento ambiental de poços tubulares profundos para captação de água, assim considerados aqueles oriundos de obras de hidrogeologia de acesso a um ou mais aquíferos, para captação de água subterrânea executadas com sonda perfuratriz.

A citada resolução dispensa da autorização as demais formas de captação de água subterrânea, a exemplo de poços de grandes diâmetros escavados manualmente, da captação de água subterrânea através de poço tubular com profundidade inferior a 50 m e diâmetro inferior a 4 polegadas e dos poços de monitoramento.

Essa dispensa, entretanto, não exime o proprietário do poço e o técnico responsável pela implantação do sistema de captação, da responsabilidade por danos ambientais decorrentes das intervenções realizadas com vistas à captação de água e nem de outras obrigações legais decorrentes da atividade de captação, a exemplo da vedação de interligação de poços à instalação hidráulica predial que esteja ligada à rede pública de abastecimento de água que trata o art. 45 da Lei nº 11.445/2007.

A Lei Estadual nº 3.183/2006 dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado e dá outras providências, conceituando águas subterrâneas como as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo, susceptíveis de extração e utilização pelo homem<sup>58</sup>.

Assim como a Política Estadual de Recursos Hídricos, a Lei nº 3.183/2006 considera, para sua aplicação, a interconexão hidráulica existente entre as águas subterrâneas e as superficiais, condicionada à evolução temporal do ciclo hidrológico.<sup>59</sup>

---

<sup>58</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 1º, § 1º.

<sup>59</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 2º.

Nos termos de seu art. 6º, é considerada poluição qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas subterrâneas que possa ocasionar prejuízos à saúde, à segurança e ao bem-estar da população e comprometer o seu uso para fins de abastecimento humano e outros.

A Lei nº 3.183/2006 é bastante abrangente ao tratar sobre a proteção das águas subterrâneas. Em relação ao licenciamento ambiental, estabelece a norma que os projetos de implantação ou ampliação de empreendimentos de alto risco ambiental, tais como pólos petroquímicos, carboquímicos, cloroquímicos e radiológicos, ou qualquer outra fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas que tragam periculosidade e risco para a saúde do público em geral, deverão conter caracterização detalhada da hidrogeologia local, incluindo avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos potencialmente afetados, assim como proposta para as medidas de proteção e controle a serem adotadas<sup>60</sup>

Já em relação à outorga, a referida lei estabelece que a implantação ou ampliação de empreendimentos consumidores de elevados volumes de águas subterrâneas, classificados ambientalmente como empreendimentos de grande porte e/ou de potencial poluidor, depende da apresentação, para avaliação da Secretaria de Meio Ambiente, Planejamento e Ciência e Tecnologia (SEMACE), estudos hidrogeológicos das disponibilidades hídricas e do não-comprometimento do aquífero a ser explorado<sup>61</sup>.

Além disso, em relação às áreas com depósitos de resíduos construídos no solo e com efluentes perigosos estabelece a lei que as mesmas serão dotadas de sistema de monitoramento das águas subterrâneas, a cargo do responsável pelo empreendimento, executado conforme plano aprovado pela SEMACE<sup>62</sup>.

Se mesmo com esses procedimentos ainda for comprovada alteração dos parâmetros naturais da qualidade da água subterrânea, o responsável pelo empreendimento é obrigado a executar os trabalhos necessários para sua recuperação, ficando sujeito às sanções cabíveis<sup>63</sup>.

Ainda sobre a proteção dos aquíferos, a lei em questão estabelece que quando houver interesse da conservação, proteção ou manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas, ou ainda quando houver interesse dos serviços públicos de abastecimento de água ou também por motivos geológicos, geotécnicos ou ecológicos poderão ser instituídas áreas de proteção e controle. A principal função dessas áreas é restringir a captação e o uso dessas águas, estabelecer as distâncias mínimas entre poços entre outros<sup>64</sup>.

Nesse sentido, são estabelecidas duas categorias de áreas de proteção:

---

<sup>60</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 7º.

<sup>61</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 8º.

<sup>62</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 9º.

<sup>63</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 11º.

<sup>64</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 12.

- ✓ Área de Proteção Máxima: compreendendo, no todo ou em parte, zonas de recarga de aquífero altamente vulnerável à poluição e que se constituem em depósitos de águas essenciais para abastecimento público ou para suprir atividades consideradas prioritárias pelos Comitês de Bacia ou, na sua ausência, pela SEMAC. Nessas áreas não são permitidas as atividades de implantação de indústrias de alto risco ambiental, as atividades agrícolas que utilizem produtos tóxicos de grande mobilidade no solo e que possam colocar em risco as águas subterrâneas, e o parcelamento do solo em unidades inferiores a 2.500 m<sup>2</sup><sup>65</sup>.
- ✓ Área de Restrição e Controle: caracterizada pela necessidade de disciplinamento das extrações, controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras.<sup>66</sup>

A lei estabelece que nos casos de escassez de água subterrânea nas áreas de proteção máxima, a SEMAC poderá proibir novas captações, restringir e regular as captações já existentes, controlar as fontes de poluição e restringir novas atividades potencialmente poluidoras. Deve-se ter em mente que no caso de restrição, serão atendidas prioritariamente as captações destinadas ao abastecimento público de água<sup>67</sup>. Por último, a lei ainda menciona que nas áreas de proteção de poços e de outras captações, serão instituídos perímetros de proteção sanitária e de alerta contra a poluição<sup>68</sup>.

No Estado do Mato Grosso do Sul cabe à SEMA fiscalizar o cumprimento das disposições previstas nesta Lei nº, seu regulamento e normas decorrentes<sup>69</sup>.

A Lei nº 3.183/2006 institui ainda instrumentos para a proteção das águas, determinando nos arts. 26 a 28 as infrações e sanções a que estão sujeitos os usos em desconformidade com a proteção das águas subterrâneas.

Diante do acima exposto, verifica-se que a legislação sobre recursos hídricos do Estado de Mato Grosso do Sul trata de forma bastante abrangente sobre as águas subterrâneas, estabelecendo mecanismos de proteção das mesmas, bem como fornecendo uma base legislativa bastante completa para que essa proteção seja efetivada.

Na legislação ambiental estadual consultada não foram encontradas referências diretas ou específicas relacionadas à proteção e conservação das águas subterrâneas. Entretanto, o arcabouço legal de recursos hídricos supre parte desta lacuna, por meio da Lei nº 3.183/2006, que estabelece normas para projetos de implantação ou ampliação de empreendimentos de alto risco ambiental.

---

<sup>65</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 14

<sup>66</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 13.

<sup>67</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 15.

<sup>68</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 16.

<sup>69</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 25.

### **f) Legislação do Estado do Mato Grosso (MT)**

A Lei Estadual nº 6.945/1997 dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos e define, em seu art. 2º, que a água exerce três tipos de função, destacando-se no presente relatório a função natural, relativa à manutenção do fluxo e da integridade das acumulações de águas subterrâneas.<sup>70</sup>

O gerenciamento dos recursos hídricos no Estado deve levar em conta todos os processos do ciclo hidrológico, particularmente a integração das águas superficiais e subterrâneas, em seus aspectos quantitativos e qualitativos.

Os estudos de balanço hídrico, desenvolvimento tecnológico e sistematização de informações relacionadas com os recursos hídricos, com vistas a orientar os usuários e a sociedade no que concerne ao manejo adequado e conservacionista das bacias hidrográficas e das acumulações subterrâneas e os programas de gestão de águas subterrâneas, compreendendo a pesquisa, o planejamento e o monitoramento devem considerados no Plano Estadual de Recursos Hídricos, conforme o disposto no art. 7º.

Chama a atenção para uma das atribuições dos Comitês de Bacia Hidrográfica fixadas na lei, relativa à articulação com os comitês de bacias próximas para solução de problemas relativos a águas subterrâneas de formações hidrogeológicas comuns a essas bacias. Trata-se de um avanço normativo, pois explicita a necessidade de troca de informações de compartilhamento das decisões sobre as águas subterrâneas, considerando que a sua incidência não corresponde, necessariamente, aos limites territoriais das bacias hidrográficas.

A Lei nº 9.612/2011 dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado, assim consideradas as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo, suscetíveis de extração e utilização pelo homem.

Na linha da integração no gerenciamento, a lei estabelece que, nas normas dela decorrentes, será considerada a interconexão hidráulica existente entre as águas subterrâneas, as superficiais e águas meteóricas condicionadas à evolução temporal do ciclo hidrológico.

Nos termos do art. 3º, o gerenciamento das águas subterrâneas compreende: sua avaliação quantitativa e qualitativa e o planejamento de seu aproveitamento racional; a outorga e a fiscalização dos direitos de uso dessas águas; e a adoção de medidas relativas à sua conservação, preservação e recuperação.

Nessa linha, constituem ações a serem desenvolvidas pela SEMA: a instituição e a manutenção de cadastro de poços e outras captações; a proposição e a implantação de programas permanentes de conservação e proteção dos aquíferos, visando ao seu uso sustentado; e a implantação de sistemas de outorga e de consulta permanente, de forma a otimizar o atendimento aos usuários de produtos e serviços.

---

<sup>70</sup> As demais funções consideradas pela lei são a social e a econômica.



Nos termos do art. 6º, a conservação e a proteção das águas subterrâneas implicam o seu uso racional, a aplicação de medidas de controle da poluição e a manutenção de seu equilíbrio físico-químico e biológico em relação aos demais recursos naturais.

A lei em tela ainda determina, em seu art. 8º, que os projetos de implantação ou ampliação de empreendimentos de alto risco ambiental, tais como polos petroquímicos, carboquímicos, cloroquímicos e radiológicos, ou qualquer outra fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas que tragam periculosidade e risco para a saúde do público em geral, deverão conter caracterização detalhada da hidrogeologia local, incluindo avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos potencialmente afetados, assim como proposta para as medidas de proteção e controle a serem adotadas, exigindo-se, nesses casos, Estudos de Impactos Ambientais – EIA, quando do processo de licenciamento de tais atividades. Nota-se que essa regra é completa no que diz respeito à garantia do desenvolvimento sustentável, e que poderia ser adotada pelos demais Estados, exceto por Minas Gerais, que já a adota.

Já para a autorização de perfuração de poços tubulares em empreendimentos consumidores de elevados volumes de águas subterrâneas, classificados ambientalmente como empreendimentos de grande porte e/ou de potencial poluidor, deverão ser obrigatoriamente apresentados, para avaliação da Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA, os respectivos estudos hidrogeológicos específicos do não comprometimento do aquífero a ser explorado.

A lei ainda prevê a implantação de sistemas de monitoramento das águas subterrâneas a cargo do responsável pelo empreendimento e executado conforme projeto aprovado pela SEMA, como forma de prevenir a poluição dos recursos hídricos subterrâneos nas áreas de influência de depósitos de combustíveis, aterros sanitários, cemitérios, assim como empreendimentos que geram efluentes perigosos.

O poder público poderá estabelecer áreas de restrição e controle de uso de águas subterrâneas, com ênfase na proteção, conservação e recuperação de: mananciais para o abastecimento humano e dessedentação de animais; ecossistemas, ameaçados pela superexploração, poluição ou contaminação das águas subterrâneas; áreas vulneráveis à contaminação da água subterrânea; áreas com solos ou água subterrânea contaminadas; e áreas sujeitas a ou com identificada superexploração.

As áreas de proteção dos aquíferos subterrâneos classificam-se em: Área de Proteção Máxima, compreendendo, no todo ou em parte, zonas de recarga de aquífero altamente vulnerável à poluição e que se constituem em depósitos de águas essenciais para abastecimento público ou para suprir atividades consideradas prioritárias pelos Comitês de Bacia ou, na sua ausência, pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CEHIDRO-MT; e Área de Restrição e Controle, caracterizada pela necessidade de disciplinamento das extrações, controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras.

O uso de águas subterrâneas depende de outorga, prevendo-se a possibilidade de dispensa para: a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio

rural; e captações consideradas insignificantes do ponto de vista de volume, a critério do órgão competente. Todavia, é necessário o cadastramento de tais usos, conforme o Cadastro Estadual de Uso Insignificante de Água Subterrânea.

A lei ainda prevê as infrações e penalidades aplicáveis aos infratores, no que se refere às águas subterrâneas.

A Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CEHIDRO) nº 61 estabelece os critérios técnicos para análises dos pedidos de autorização de perfuração de poços tubulares para captação de águas subterrâneas com a finalidade de uso em áreas irrigadas a partir de 30 hectares no domínio do Estado de Mato Grosso. A Resolução CEHIDRO nº 62/2013 estabelece critérios técnicos a serem aplicados nas análises dos pedidos de outorga de direito de uso de águas subterrâneas com a finalidade de uso em área irrigadas a partir de 30 hectares no domínio do Estado de Mato Grosso. A outorga de direito de uso de água subterrânea para irrigação em áreas inferiores a 30 hectares é regida pela Resolução CEHIDRO nº 44/ 2011, com alterações.

Observa-se que a legislação do Estado de Mato Grosso contém um tratamento abrangente sobre águas subterrâneas, havendo uma lei específica sobre essa categoria.

#### ***g) Legislação do Estado de Goiás (GO)***

A Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Goiás, instituída pela Lei nº 13.123/1997, deixa clara a preocupação com as águas subterrâneas, estabelecendo, inclusive, o gerenciamento sem dissociação entre as fases meteóricas, subterrâneas e superficiais do ciclo hidrológico.

As diretrizes da política incluem a utilização racional dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, assegurando o uso prioritário para abastecimento das populações e o desenvolvimento de programas permanentes de conservação e proteção das águas subterrâneas contra a poluição e superexploração.

A lei em questão estabelece instrumentos para a proteção das águas subterrâneas ao determinar que a implantação de qualquer empreendimento que demande a utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, ou a execução de obras ou serviços que alterem seu regime, qualidade ou quantidade, dependerá de outorga. Deve-se ter em vista que, nesses casos, as águas somente poderão ser derivadas após cadastramento dos usuários, inclusive nos casos de dispensa de outorga previstos na Resolução CERH nº 09/2005. Além disso são estabelecidas as infrações e penalidades aos usos das águas subterrâneas incompatíveis com sua proteção.

A Política Estadual de Recursos Hídricos de Goiás enfatiza a preservação das águas subterrâneas no Plano Estadual de Recursos Hídricos, que deverá garantir, dentre outros, sua utilização racional. Os planos de bacias hidrográficas deverão conter, dentre outros, metas de curto e longo prazos para se atingir índices progressivos de recuperação e conservação dos recursos

hídricos das bacias hidrográficas, traduzidos em mapeamento hidrogeológico e planos de utilização prioritária das águas subterrâneas;

No Estado de Goiás, a Lei nº 13.583/2000, dispõe sobre a conservação e a proteção ambiental específica dos depósitos de água subterrânea, assim consideradas as águas que ocorram, natural ou artificialmente, no subsolo, de forma suscetível de extração e utilização pelo homem,<sup>71</sup> devendo ser levadas em conta: a interconexão entre as águas subterrâneas e superficiais; e as interações observadas no ciclo hidrológico na regulamentação da citada lei.<sup>72</sup>

Na linha de estabelecer uma proteção mais efetiva para as águas subterrâneas, a lei de Goiás estabelece que, quando necessário à conservação ou manutenção do equilíbrio natural das mesmas, no interesse dos serviços públicos de abastecimento de água ou por motivos geológicos ou ambientais, o Poder Executivo poderá instituir áreas de proteção, restringir as vazões captadas por poços, estabelecer distâncias mínimas entre eles e outras medidas que o caso requerer.<sup>73</sup>

A lei prevê também um programa permanente de conservação e proteção ambiental das águas subterrâneas, visando ao seu melhor aproveitamento<sup>74</sup>, o que implica o uso racional, a aplicação de medidas de controle contra a sua poluição e a manutenção do seu equilíbrio físico, químico e biológico, em relação aos demais recursos naturais. Cabem aos órgãos estaduais competentes a fiscalização da pesquisa e do aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos e bem como a adoção das medidas contra a contaminação dos aquíferos.

O conceito previsto na lei para a poluição de águas subterrâneas, consiste em qualquer alteração das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, de forma que possa ocasionar prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar da população, bem como comprometer o seu uso para fins agropecuários, industriais, comerciais, recreativos e causar danos à fauna e à flora.<sup>75</sup>

Dessa forma, resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, provenientes de atividades agropecuárias, minerárias, industriais, comerciais, ou de qualquer outra natureza, só poderão ser armazenados ou lançados de forma a não poluírem as águas subterrâneas, obedecidos os padrões de emissão de poluentes previstos na legislação ambiental específica. Ou seja, é permitido o lançamento de efluentes, desde que nos padrões legalmente fixados, cabendo enfatizar que a descarga de poluentes que possa degradar a qualidade das águas subterrâneas será punida na forma prevista nesta lei e em normas e regulamentos dela decorrentes, sem prejuízo das sanções penais cabíveis.

Para prevenir a poluição dos recursos hídricos subterrâneos nas áreas de influência de depósitos de combustíveis, aterros sanitários e cemitérios, nelas deverão ser implantados poços

---

<sup>71</sup> Lei nº 13.583/00, art. 1º.

<sup>72</sup> Lei nº 13.583/00, art. 2º.

<sup>73</sup> Lei nº 13.583/00, art. 3º.

<sup>74</sup> Lei nº 13.583/00, art. 4º.

<sup>75</sup> Lei nº 13.583/00, art. 5º.

de monitoramento da qualidade da água. O órgão estadual gestor somente concederá os respectivos licenciamentos ambientais, para a construção e o funcionamento, se forem atendidas as seguintes exigências:<sup>76</sup>

- ✓ levantamento geológico, em escala adequada, que contenha: descrição da geologia local; determinação da direção e do sentido do fluxo de escoamento das águas subterrâneas do local; localização dos poços de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, no mínimo, de três;
- ✓ perfuração e implantação dos poços de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, como condição para o funcionamento;
- ✓ relatório final, com a descrição do perfil geológico dos poços de monitoramento, bem como dos seus elementos constitutivos, tais como: revestimento interno; filtro; pré-filtro; proteção sanitária; tampão; sistema de operação; selo; identificação dos poços; preparação dos poços para o monitoramento; sistemática do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, observada a legislação aplicável, bem como o intervalo de tempo em que será realizada a amostragem de controle e apresentado relatório à Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH.

Da análise efetuada, em relação às normas de gestão de recursos hídricos, verifica-se que o aparato legal do Estado de Goiás traz as bases fundamentais para a proteção das águas subterrâneas, em que se inclui o SAG, dos usos que ponham em risco a sua preservação.

No que se refere ao licenciamento ambiental, instrumento da política de meio ambiente, a legislação é clara ao condicionar a concessão das licenças à observância de regras de proteção.

#### ***h) Legislação do Estado de São Paulo (SP)***

A Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, instituída pela Lei Estadual nº 7.663/1991, trata em diversos dispositivos das águas subterrâneas, estabelecendo, inclusive, a indissociação entre as fases meteóricas, subterrâneas e superficiais do ciclo hidrológico.<sup>77</sup> A referida lei, ao contrário da maioria das políticas estaduais, não repete os fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997, por ter sido anterior à lei federal. Todavia, já procedeu a adaptações para adequar-se à norma geral.

Entre as diretrizes da Política em questão, destaca-se a utilização racional dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, assegurado o uso prioritário para o abastecimento das populações, a maximização dos benefícios econômicos e sociais resultantes do aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos, a proteção das águas contra ações que possam comprometer o seu uso atual e futuro e o desenvolvimento de programas permanentes de conservação e proteção das águas

---

<sup>76</sup> Lei nº 13.583/00, art. 6º.

<sup>77</sup> Lei nº 7.663/1991, art. 3º, I.

subterrâneas contra poluição e superexploração. As penalidades estabelecidas na Lei Estadual nº 7.663/1991 englobam as águas subterrâneas<sup>78</sup>.

A lei dispõe no art. 9º que a implantação de qualquer empreendimento que demande a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, a execução de obras ou serviços que alterem seu regime, qualidade ou quantidade, dependerá de prévia manifestação, autorização ou licença dos órgãos e entidades competentes. Nos termos do art. 10, a derivação de água de seu curso ou depósito, superficial ou subterrâneo, para fins de utilização no abastecimento urbano, industrial, agrícola, entre outros, depende de cadastramento e outorga do direito de uso.

O Decreto nº 41.258/1996 regulamenta a Lei nº 7.663/1991 no que diz respeito à outorga de direito de uso de recursos hídricos, inclusive em relação às águas subterrâneas, estabelecendo que outorga é o ato pelo qual o Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE defere: a implantação de qualquer empreendimento que possa demandar a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos; a execução de obras ou serviços que possa alterar o regime, a quantidade e a qualidade desses mesmos recursos; a execução de obras para extração de águas subterrâneas; a derivação de água do seu curso ou depósito, superficial ou subterrâneo; e o lançamento de efluentes nos corpos d'água.

A Lei nº 6.134/1988, regulamentada pelo Decreto nº 32.955/1991, dispõe especificamente sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, determinando que esses recursos deverão ter programa permanente de preservação e conservação, visando ao seu melhor aproveitamento. Nessa linha, dispõe a citada lei que a preservação e a conservação das águas subterrâneas implicam o uso racional, a aplicação de medidas contra a sua poluição e a manutenção do seu equilíbrio físico, químico e biológico em relação aos demais recursos naturais. Daí os órgãos e entidades estaduais competentes manterem serviços indispensáveis à avaliação dos recursos hídricos do subsolo, fiscalizarem sua exploração e adotarem medidas contra a contaminação dos aquíferos e a deterioração das águas subterrâneas.

A norma em tela ainda define como poluição qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas subterrâneas, que possam ocasionar prejuízo à saúde, à segurança e ao bem estar das populações, comprometer o seu uso para fins agropecuários, industriais, comerciais e recreativos e causar danos à fauna e flora naturais.

No que tange aos resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, provenientes de atividades industriais, entre outras, só poderão ser conduzidos ou lançados de forma a não poluírem as águas subterrâneas. A descarga de poluentes, tais como águas ou refulgos industriais, que possam degradar a qualidade da água subterrânea, e o descumprimento das demais determinações da lei e regulamentos decorrentes sujeitarão o infrator às penalidades previstas na legislação ambiental, sem prejuízo das sanções penais cabíveis.

---

<sup>78</sup> Lei nº 7.663/1991, art. 11.

A lei prevê ainda a possibilidade de os órgãos de controle ambiental e de recursos hídricos delimitarem áreas destinadas ao controle quando for necessário restringir a captação e o uso das águas subterrâneas, no interesse da preservação, conservação e manutenção do seu equilíbrio natural, dos serviços públicos de abastecimento de água, ou por motivos geotécnicos ou ecológicos.

Os poços jorrantes deverão ser dotados de dispositivos adequados para evitar desperdícios, ficando passíveis de sanção os seus responsáveis que não tomarem providências nesse sentido. Os poços abandonados e as perfurações realizadas para outros fins, que não a extração de água, deverão ser adequadamente tamponados, de forma a evitar acidentes, contaminação ou poluição dos aquíferos.

Os órgãos estaduais de controle ambiental e de recursos hídricos devem cadastrar os usuários de águas subterrâneas, mediante a apresentação das informações técnicas necessárias pelo usuário e da fiscalização do uso das águas.

A Portaria nº DAEE nº 717/1996 disciplina o uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do Estado de São Paulo, determinando que a implantação de empreendimento, que demande a utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, dependerá de manifestação prévia do DAEE, por meio de uma autorização. Nessa linha, os seguintes usos dependerão de outorga do direito de uso: a derivação de água de seu curso ou depósito, superficial ou subterrâneo, para utilização no abastecimento urbano, industrial, agrícola e qualquer outra finalidade; e os lançamentos de efluentes nos corpos d'água.

Nos termos da citada resolução, em seu art. 4º, a execução de obra, destinada à extração de águas subterrâneas, dependerá de manifestação prévia do DAEE, por meio de uma licença de execução, cabendo ao outorgado preservar as características físicas e químicas das águas subterrâneas, abstendo-se de alterações que possam prejudicar as condições naturais dos aquíferos ou a gestão das águas.

Além disso, o Anexo da Resolução nº 717/1996 estabelece as condições mínimas a serem observadas para a implantação de empreendimento; obra e serviço que interfira com os recursos hídricos superficiais; a execução de obra para extração de água subterrânea ou o uso de recursos hídricos, de qualquer natureza, em cursos d'água sob a jurisdição, a qualquer título, pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE.

A Portaria DAEE nº 2292/06, reti-ratificada em 03/08/2012, aprova a norma que disciplina os usos que independem de outorga de recursos hídricos superficiais e subterrâneos no Estado de São Paulo.

A Portaria DAEE nº 1800/2013, aprova os procedimentos para o cadastramento de usuários rurais de recursos hídricos superficiais e subterrâneos de domínio do Estado de São Paulo, por meio do sistema eletrônico do *Ato Declaratório para Cadastro de Usos de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos para Usuários Rurais*.

Um ponto a destacar consiste na disposição do Decreto nº 8.468/1976, em seu art. 17, que permite que efluentes de qualquer natureza sejam lançados nas águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas, situadas no território do Estado, desde que não sejam considerados poluentes, assim considerados toda e qualquer forma de matéria ou energia lançada ou liberada nas águas, no ar ou no solo: com intensidade, em quantidade e de concentração, em desacordo com os padrões de emissão estabelecidos neste regulamento e normas dele decorrentes; com características e condições de lançamento ou liberação, em desacordo com os padrões de condicionamento e projeto estabelecidos nas mesmas prescrições; por fontes de poluição com características de localização e utilização em desacordo com os referidos padrões de condicionamento e projeto; com intensidade, em quantidade e de concentração ou com características que, direta ou indiretamente, tornem ou possam tornar ultrapassáveis os padrões de qualidade do meio-ambiente estabelecidos no regulamento e normas dele decorrentes; que, independentemente de estarem enquadrados nos incisos anteriores, tornem ou possam tornar as águas, o ar ou o solo impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde, inconvenientes ao bem-estar público; danosos aos materiais, à fauna e à flora; prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade, bem como às atividades normais da comunidade.

Já no que se refere à proteção das águas subterrâneas, o mesmo decreto, em seu art. 52, estabelece que o solo somente poderá ser utilizado para destino final de resíduos de qualquer natureza, desde que sua disposição seja feita de forma adequada, estabelecida em projetos específicos de transporte e destino final, ficando vedada a simples descarga ou depósito, seja em propriedade pública ou particular. E quando a disposição final exigir a execução de aterros sanitários, deverão ser tomadas medidas adequadas para proteção das águas superficiais e subterrâneas, obedecendo-se normas a serem expedidas pela CETESB.

As chamadas Leis de Proteção aos Mananciais do Estado de São Paulo (nº 898/1975 e 1.172/1976) foram concebidas com o intuito de impedir que uma ocupação desordenada ou sem controle pudesse comprometer a qualidade ambiental do entorno - áreas de drenagem de vários os corpos hídricos relacionados no art. 2º da Lei nº 898/1975.

Nessa ordem de ideias, fixou-se uma série de licenciamentos a serem obtidos para qualquer tipo de uso do solo e promoveu-se o zoneamento das áreas protegidas, dividindo-as em diferentes categorias de maior ou menor restrição – 1ª categoria ou de maior restrição, 2ª categoria ou de menor restrição, essas últimas ainda classificadas em classe A, B e C - e estabelecendo-se tipos de uso, ocupação e densidades permitidas, além de penalidades aos infratores. No que se refere aos sistemas públicos de abastecimento de água e de esgotos, apenas as classes A e B podiam ser atendidas.<sup>79</sup>

Os efluentes dos sistemas públicos de esgotos sanitários deviam ser afastados das áreas de proteção<sup>80</sup> e previamente tratados, quando não houvesse sistemas de esgotos adequados na

---

<sup>79</sup> Lei nº 1.172/76, art. 22.

<sup>80</sup> Lei nº 1.172/76, art. 23.

bacia receptora. Nos casos em que o afastamento e o tratamento eram inviáveis, somente se permitia a disposição de efluentes de sistemas públicos de esgotos nas áreas de 2ª categoria, ainda assim recebendo um tipo de tratamento.

A intervenção do poder público nas áreas objeto da lei, por meio dos necessários licenciamentos e aprovações por vários órgãos e entidades competentes, assim como a imposição de multas e outras penalidades aos infratores, marcou a importância que se deu à proteção ambiental das áreas objeto da legislação, nessa época. Contudo, para que a lei cumprisse efetivamente as suas finalidades era necessária uma série de medidas voltadas à sua implementação.

No caso das normas editadas na década de 70, sobre os mananciais Billings e Guarapiranga, não só a fiscalização e imposição de penalidades aos infratores era necessária, como também e principalmente políticas de planejamento urbano e de habitação, compatíveis com a proteção prevista para os mananciais. E isso não ocorreu, ficando justamente a região dos mananciais como a alternativa mais viável para as invasões e a ocupação ilegal que, tomando proporções inimagináveis, hoje é considerada irreversível.

Em resposta a essa situação, a Lei nº 9.866/97 mudou definitivamente o paradigma anterior, estabelecendo novas diretrizes e normas para a recuperação e qualidade ambiental das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional para o abastecimento<sup>81</sup>.

De acordo com a citada lei, consideram-se mananciais de interesse regional as *águas interiores subterrâneas, superficiais, fluentes, emergentes ou em depósito, efetiva ou potencialmente utilizáveis para o abastecimento público*.<sup>82</sup>

As águas dos mananciais são prioritárias para o abastecimento público, em detrimento de qualquer outro interesse<sup>83</sup>. A lei em tela instituiu as Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais (APRM), definindo-as como *uma ou mais sub-bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional para abastecimento público*.<sup>75</sup>

A nova lei, de âmbito estadual, tem a natureza de norma geral estadual, com o intuito de fornecer os necessários subsídios a outras leis, regionais ou específicas. Nos termos do diploma legal, a gestão das APRM é vinculada ao Sistema Estadual de Recursos Hídricos<sup>84</sup>, instituído pela Lei nº 7.663/91, garantida a articulação com os Sistemas do Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional.

Refletindo a necessidade de se estabelecer parâmetros com o fim de preservar ou tentar preservar o que restou dos mananciais paulistas, a Lei Estadual nº 9.866/97 trata da proteção e recuperação de condições ambientais específicas com o intuito de garantir a produção de água necessária para o abastecimento e consumo das gerações atuais e futuras.

---

<sup>81</sup> Lei nº 9.866/1997, art. 1º.

<sup>82</sup> Lei nº 9.866/1997, art. 1º, parágrafo único.

<sup>83</sup> Lei nº 9.866/97, art. 2º, parágrafo único.

<sup>84</sup> Lei nº 9.866/97, art. 5º.



Embora a lei se aplique a todo o território do Estado de São Paulo, ela não define, *a priori*, as regiões a serem consideradas como *áreas de preservação e recuperação de mananciais* (APRM). Cabe aos comitês de bacia hidrográfica propor a criação de uma APRM, e encaminhar essa proposta para deliberação do CRH (Conselho Estadual de Recursos Hídricos), com participação do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA) e do Conselho de Desenvolvimento Regional (CDR), respectivamente).<sup>85</sup> Após esta etapa e a aprovação pelos órgãos mencionados, a proposta de projeto de lei é encaminhada ao Poder Executivo, para que remeta o Projeto de Lei à Assembleia Legislativa visando à criação da APRM, juntamente com outro Projeto de Lei específica que irá regulamentar as atividades na APRM.

A Lei nº 9.866/97, estabelece três tipos de áreas de intervenção na APRM<sup>86</sup>:

- ✓ Área de restrição à ocupação: área, além da definida pela Constituição do Estado e por lei como de preservação permanente, aquelas de interesse para a proteção dos mananciais e para a preservação, conservação e recuperação dos recursos naturais;
- ✓ Área de ocupação dirigida, são aquelas de interesse para a consolidação ou implantação de usos rurais e urbanos, desde que atendidos os requisitos que garantam a manutenção das condições ambientais necessárias à produção de água em quantidade e qualidade para o abastecimento das populações atuais e futuras;
- ✓ Áreas de recuperação ambiental, aquelas cujos usos e ocupações estejam comprometendo a fluidez, potabilidade, quantidade e qualidade dos mananciais de abastecimento público e que necessitem de intervenção de caráter corretivo.

A Lei nº 9.866/97 define ainda os seguintes instrumentos de planejamento e gestão para serem aplicados nas APRM com o intuito de facilitar a interação e intervenção nos fatores sociais, ambientais, políticos e econômicos da região que compõe a APRM:

- ✓ áreas de intervenção e respectivas diretrizes e normas ambientais e urbanísticas de interesse regional;
- ✓ normas para implantação de infraestrutura sanitária;
- ✓ mecanismos de compensação financeira aos municípios;
- ✓ Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental (PDPA que tem as diretrizes definidas no capítulo VI);
- ✓ controle das atividades potencialmente degradadoras do meio ambiente, capazes de afetar os mananciais;
- ✓ Sistema Gerencial de Informações;
- ✓ imposição de penalidades por infrações às disposições desta lei e das leis específicas de cada APRM.

---

<sup>85</sup> Lei nº 9.866/1997, art. 4º.

<sup>86</sup> Lei nº 9.866/1997, art. 12.

A APRM entre outras, estabelecerá ainda as atividades possíveis na área de preservação e recuperação de mananciais, inclusive aquelas referentes a saneamento e lançamento de efluentes, industriais ou não.

Por fim, são definidas as penalidades para os infratores que desrespeitarem a legislação. As penalidades variam de multas e interdições a embargos e até demolições de obras, incluindo perdas de benefícios fiscais e de obtenção de financiamentos em estabelecimentos estaduais de crédito.

A definição e delimitação das APRMs depende de proposta do Comitê de Bacia Hidrográfica e deliberação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH), ouvidos o Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA) e o Conselho de Desenvolvimento Regional (CDR).

O sistema de gestão instituído conta com órgão colegiado – Comitê de Bacia Hidrográfica<sup>87</sup> órgão técnico – Agência de Bacia<sup>88</sup> e órgãos e entidades da Administração Pública, responsáveis pelo licenciamento, fiscalização, monitoramento e implementação dos programas e ações setoriais.<sup>89</sup>

Entre outros pontos de destaque da Lei nº 9.866/97, indica-se a elaboração do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental – PDPA<sup>90</sup>, que, após apreciação pelo Comitê de Bacia Hidrográfica e aprovação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, integrará o Plano Estadual de Recursos Hídricos<sup>91</sup>. Ou seja, o PDPA deve vislumbrar a bacia em questão como ela estivesse sendo analisada com uma lupa, uma lente de aumento, que explicitaria, com muito mais foco e detalhamento, os tópicos que devem ser abordados em um plano de recursos hídricos, nos termos do art. 7º da Lei federal nº 9.433/97. A razão desse olhar mais acurado é a importância de um manancial, sobretudo quando se trata de águas subterrâneas.

Ressalte-se, na lei em tela, a necessidade de articulação entre os sistemas de recursos hídricos, meio ambiente e desenvolvimento regional.

Encontram-se em vigor as leis específicas das APRM Guarapiranga - Lei nº 12.233, de 16-1-2006 e Decreto nº 51.686, de 22-3-2007 e Billings - Lei nº 13.579, de 13-7-2009. Uma questão a destacar, todavia, é que esses dois exemplos referem-se a reservatórios que efetivamente recebem cargas poluidoras expressivas, daí o controle efetuado por modelos matemáticos que modelam a poluição pela presença de fósforo nas águas.

Cabe salientar que um desafio a ser vencido na adoção do sistema paulista de proteção dos mananciais é o fato de que o referido sistema é baseado na divisão das águas superficiais por bacias hidrográficas, divisão essa que não é seguida pelas águas subterrâneas. Dessa forma, a

---

<sup>87</sup> Lei nº 9.866/1997, art. 7º.

<sup>88</sup> Lei nº 9.866/97, art. 8º.

<sup>89</sup> Lei nº 9.866/97, art. 9º.

<sup>90</sup> Lei nº 9.866/97, art. 31.

<sup>91</sup> Lei nº 9.866/97, art. 31, § 2º.

construção desse modelo passaria pela articulação entre todos os comitês das bacias hidrográficas incidentes sobre o SAG.

Verifica-se que o Estado de São Paulo possui legislação compatível com a proteção das águas subterrâneas no que se refere às outorgas de direito de uso de recursos hídricos. Todavia, permite o lançamento de efluentes em aquíferos, desde que não causem poluição. De qualquer modo, há um arcabouço legal estruturado para a proteção das águas subterrâneas.

### **5.6.2 Diretrizes Propostas**

A partir do levantamento e análise da legislação em vigor acerca das águas subterrâneas, seja no campo das normas gerais (Lei nº 9.433/1997), seja no que se refere às leis e outras normas estaduais, o presente item tem por objetivo traçar diretrizes para a elaboração de normas específicas para os Estados e Municípios, com vistas a garantir a proteção do Sistema Aquífero Guarani.

As diretrizes ora propostas têm dois propósitos fundamentais. O primeiro refere-se à proteção efetiva do aquífero, questão relativa à segurança hídrica para as presentes e futuras gerações. As águas subterrâneas, recurso ainda relativamente desconhecido, possuem um enorme potencial para garantir o abastecimento hídrico em qualidade e em quantidades adequadas para o consumo humano. Portando esse recurso pode, e deve, ser utilizado. Mas essa utilização deve ser realizada de forma planejada e articulada entre os estados que compartilham o SAG, de forma a garantir sua sustentabilidade. Daí a importância de sua proteção, objeto das diretrizes ora propostas.

O outro propósito fundamental das diretrizes aqui apresentadas refere-se à necessidade de maior conhecimento das águas subterrâneas pelos Estados, ou seja, informações acerca de seu fluxo, fontes potenciais de contaminação e usuários desses recursos. Os estudos sobre águas subterrâneas são relativamente recentes e ainda são poucos os diagnósticos disponíveis para verificação do estado da arte da gestão do SAG em âmbito estadual. Além disso, é fundamental que as informações que já existem alimentem um único banco de dados, de fácil acesso para os gestores ambientais e de recursos hídricos, como forma de embasar suas políticas e fundamentar suas decisões.

Para tanto, as diretrizes não se limitam aos recursos hídricos, mas abrangem outros instrumentos de gestão ambiental relacionados com as águas, como o licenciamento ambiental, a criação e implementação de Unidades de Conservação (UC) e áreas de proteção de mananciais, o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE), os instrumentos econômicos como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), as normas municipais de uso e ocupação do solo etc., conforme será detalhado a seguir.

Outro ponto que deve ser ressaltado refere-se ao fato de que as diretrizes ora tratadas são direcionadas ao SAG, mas podem ser utilizadas para outros sistemas de águas subterrâneas do Estado, considerando a importância e inter-relação entre os diversos aquíferos sejam eles estaduais, interestaduais ou transfronteiriços.

**Conclusões preliminares:** a partir da análise jurídica efetuada, pode-se concluir que, de maneira geral, os Estados analisados possuem arcabouço legal estruturado de forma a preservar as águas subterrâneas. Entretanto, para a efetivação das normas que já existem, é fundamental uniformizar procedimentos administrativos e garantir a implementação das normas vigentes por meio da articulação entre os Estados. Por exemplo, estabelecer diretrizes e procedimentos comuns entre os Estados para a outorga de águas subterrâneas em aquíferos interestaduais e transfronteiriços, como é o caso do SAG. E um conjunto de diretrizes e procedimentos para o SAG aflorante e outro conjunto para o SAG confinado.

Por isso, quanto mais diálogo houver e quanto mais informações forem trocadas entre os Estados no sentido de fortalecer soluções integradas, mais efetiva será a proteção do aquífero. A referida articulação, no entanto, é um processo político complexo, que deverá ser construído ao longo do tempo. Por isso a elaboração de diretrizes destinadas a orientar os Estados nesse processo.

Dessa forma, as diretrizes aqui propostas vão no sentido de indicar aos Estados mecanismos para efetivação das normas já existentes. Algumas diretrizes tratam de questões que, em um primeiro momento, podem parecer óbvias. Entretanto, sem sua implementação organizada, planejada e sistemática, não se pode falar em efetiva proteção das águas subterrâneas.

Ao analisar as diretrizes a seguir, deve-se ter em mente que: há diretrizes destinadas a propor mecanismos novos, que atualmente não estão previstos nas normas estaduais que regulam a matéria; e diretrizes que tratam de mecanismos que, mesmo que tenham sido identificados na legislação estadual, não estão sendo implementados na prática.

A inclusão desses últimos nas diretrizes a seguir se deu como uma forma de, a partir das discussões nos workshops previstos, identificar junto aos gestores de cada Estado os gargalos que impedem a implementação das normas e buscar soluções viáveis para alterar esse cenário. Ou seja, fomentar o debate e, a partir das discussões, ter projetos prontos para, na medida em que o cenário político for favorável, implementá-los.

No que se refere às normas relativas ao uso e ocupação da terra, embora não haja aplicabilidade direta das leis municipais nos recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, é inegável o efeito deletério que certas atividades desenvolvidas nos municípios, sobretudo aquelas relacionadas com a má prestação dos serviços de saneamento básico, podem causar nos corpos hídricos, sobretudo os subterrâneos, em face da sua fragilidade. Daí a proposta de diretrizes de normas estaduais condicionando a concessão de benefícios e cooperação técnica aos municípios à observância das regras de proteção do SAG, conforme detalhado no texto a seguir.

As propostas de diretrizes para incorporação em normas legais estão agrupadas da seguinte forma:

- ✓ atribuições dos Estados;
- ✓ atribuições dos Estados e municípios; e

✓ atribuições dos municípios.

#### 5.6.2.1 *Atribuições dos Estados*

##### **a) Levantamento de informações**

Os processos de outorga de direito de uso de recursos hídricos, assim como os processos de licenciamento ambiental produzem estudos sobre os impactos específicos que as atividades ou empreendimentos a serem implantados causarão ao meio ambiente, inclusive em relação às águas subterrâneas. Tais estudos produzem informações que, frequentemente, são desconhecidas até pelos órgãos gestores de meio ambiente e de recursos hídricos.

O aprofundamento dos estudos acerca do Aquífero Guarani pode conferir base técnica às decisões administrativas relacionadas à aprovação de empreendimentos e atividades que causam impactos - positivos ou negativos - sobre as águas subterrâneas.

Por isso, é de fundamental importância que as informações obtidas nos processos administrativos de outorga e licenciamento sejam incorporadas ao Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, como forma de aprimorar o conhecimento sobre as águas subterrâneas e, conseqüentemente, assegurar a sua proteção.

Aliás, no âmbito dos instrumentos de gestão de recursos hídricos e meio ambiente, só pode ser benéfica a incorporação das informações relativas a cada instrumento a um sistema de informações.

As outorgas de direito de uso de recursos hídricos são instrumentos fundamentais para a proteção das águas superficiais e subterrâneas, na medida em que permitem o controle da quantidade e qualidade desse recurso pelos usuários.

Dentre os estudos que contribuem para detalhar o conhecimento sobre o aquífero, se inclui, por exemplo, a realização de perfilagem geofísica, principalmente para empreendimentos envolvendo a implantação de poços produtores de grande porte.

No que se refere às outorgas de direito de uso das águas subterrâneas, as respectivas normas devem estabelecer que os estudos efetuados no âmbito dos processos de solicitação de outorga sejam incorporados sistematicamente ao Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, como forma de gerar um aumento do seu conhecimento. Basicamente, os instrumentos de gestão se alimentam em relação às informações levantadas.

Cabe salientar que a efetividade da gestão do SAG passa pela compatibilização dos diversos sistemas de informação envolvidos, principalmente do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), o Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (SINIMA), o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental (CTF/AIDA) e de Atividades Potencialmente Poluidoras (CTF/APP), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), Sistemas Estaduais, Municipais etc.

Acerca do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras (CTF/APP) é importante destacar as recomendações feitas no item 5.2.5 no sentido de compatibilizá-lo aos cadastros estaduais, bem como da inclusão de informações como coordenadas geográficas e sobre a carga contaminante.

O plano de recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, por exemplo, contém os elementos que fornecerão diretrizes aos órgãos e entidades estaduais para conceder as outorgas naquela bacia, de acordo com as prioridades definidas pelo respectivo comitê. Cada solicitação de outorga fornece informações, no caso das águas subterrâneas, sobre os pontos específicos de captação. Essas informações devem ser transferidas sistematicamente ao Sistema de Informações, que oferecerá maior conhecimento para as atualizações do plano e aplicação dos demais instrumentos de gestão.

A fiscalização também consiste em um importante instrumento de controle, pois indica as desconformidades nos usos de recursos hídricos, e fornece subsídios para que se conheçam os reais volumes captados, dando ensejo à regularização dos usos ou punição aos infratores.

**Diretriz 1: inserir nos requerimentos necessários para solicitação de outorga e nos Termos de Referência para elaboração de estudos visando ao licenciamento ambiental a exigência de apresentação, pelo empreendedor, de estudos de perfilagem geofísica, no caso da implantação de grandes poços produtores.**

**Diretriz 2: inserir, nas normas estaduais, dispositivos estabelecendo que os dados levantados nos estudos específicos dos processos de outorga e de licenciamento ambiental alimentem o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, visando à consolidação das informações e à compatibilização das ações para proteção das águas subterrâneas.**

#### ***b) Uniformização de procedimentos administrativos***

A criação de um mecanismo uniformizado para o cadastramento dos usuários do SAG, de forma que se possa ter uma visão global dos usos que estão sendo realizados em toda sua área de abrangência, por todos os Estados interessados, é fundamental. Isso porque os aquíferos apresentam características hidrogeológicas que podem ultrapassar os limites das bacias hidrográficas e das fronteiras dos Estados. Ou seja, o impacto no aquífero em um Estado reflete em outra área do aquífero em outro Estado. Dessa maneira, para que se possa garantir a proteção do SAG, não basta que os Estados tenham conhecimentos acerca dos usos que ocorrem apenas em seu território. É relevante que haja procedimentos administrativos uniformes, para facilitar a compreensão e a pesquisa, necessários ao apoio das decisões dos órgãos e entidades de controle das águas e do meio ambiente.

**Diretriz: uniformizar procedimentos administrativos, como, por exemplo, o cadastramento de usuários do SAG, de forma que se possa ter uma visão global dos usos que estão sendo realizados em toda sua área de abrangência, por todos os Estados interessados.**

### **c) Usos das águas subterrâneas**

Considerando que a qualidade das águas subterrâneas é, em geral, superior à das águas superficiais, os usos a que elas se destinam devem ser os mais nobres, como por exemplo o abastecimento público. Embora a Lei nº 9.433/1997 estabeleça, como um dos fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, que a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas<sup>92</sup>, a situação das águas subterrâneas é específica, o que justifica uma discussão acerca do seu uso prioritário.

Essa questão, no que se refere às áreas de afloramento do SAG, deve ser introduzida nos planos de recursos hídricos das bacias hidrográficas, instrumentos que indicam as prioridades de outorga dos recursos hídricos, a serem aprovados pelos respectivos comitês de bacia hidrográfica.

**Diretriz: Considerar expressamente a necessidade de indicação das prioridades de uso de águas subterrâneas nos planos de bacia hidrográfica, aprovados pelos respectivos Comitês.**

### **d) Fiscalização**

Assim como mencionado, a questão da fiscalização não se refere à criação de uma norma, mas da implementação das leis em vigor. A causa mais comum para a falta de fiscalização consiste na falta de pessoal e de treinamento. Dessa forma, considerando que os Estados objeto do estudo já possuem normas relativas à fiscalização dos usos das águas, a proposta a fazer refere-se à criação de cargos de fiscais.

**Diretriz: aprovação de leis criando cargos de fiscais, seja na área de recursos hídricos, seja na área ambiental, com a realização de concursos públicos.**

### **e) Enquadramento**

O enquadramento dos recursos hídricos é o instrumento que marca a intersecção entre as políticas ambientais e de águas, na medida em que cuida da qualidade desse recurso ambiental, no que se refere aos seus usos.

Dessa forma, enquadrar as águas subterrâneas, nos termos da Resolução CONAMA nº 396/2008, confere maior clareza quanto aos usos possíveis e, conseqüentemente, maior proteção aos aquíferos. Além disso, é importante considerar que as águas subterrâneas possuem características próprias, e, portanto, suas classes de qualidade devem ser pautadas nessas especificidades.

**Diretriz: Enquadramento das águas subterrâneas de acordo com a Resolução CONAMA nº 396/2008.**

---

<sup>92</sup> Lei nº 9.433/97, art. 1º, IV.

**f) Sistema de gerenciamento de recursos hídricos**

A gestão eficiente deverá ser objeto de uma ação compartilhada entre o Estado, os municípios e a população usuária destes recursos. As leis estaduais já estabelecem a gestão participativa, no âmbito dos comitês de bacia hidrográfica e conselhos estaduais de recursos hídricos. Dessa forma, a diretriz não é para uma nova norma, mas para a implementação daquelas já em vigor, com vistas a otimizar a gestão dos recursos hídricos, sobretudo as águas subterrâneas, garantindo sua disponibilidade qualitativa e quantitativa.

Cabe salientar a necessidade de fortalecimento institucional dos órgãos e entidades estaduais com atribuições relacionadas à gestão e à proteção dos recursos hídricos, com a realização de seleção para a contratação de pessoal, e capacitação permanente, com vistas a garantir uma melhoria sistemática nos quadros técnicos.

**Diretriz: implementar as políticas estaduais de recursos hídricos em vigor e, sobretudo, os seus instrumentos de gestão, especificamente para as águas subterrâneas e o funcionamento dos órgãos colegiados, de forma a garantir a continuidade da melhoria dos aspectos de qualidade e quantidade das águas.**

**Além disso, buscar o fortalecimento institucional dos quadros técnicos, por meio de seleção e capacitação permanente do pessoal alocado.**

**g) Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE)**

As discussões relativas à implantação de um ZEE para o SAG em nível estadual ou mesmo federal, objeto de proposta de estratégia no item 5.2.1.2, podem garantir uma visão geral do problema, podendo os Estados, de acordo com as articulações técnicas e institucionais realizadas, estabelecer suas próprias normas. O ZEE conteria todas as normas relativas: a áreas já contaminadas; à proteção de áreas de alta e extrema vulnerabilidade do aquífero, visando ao controle e disciplinamento de atividades com potencial poluidor, tais como empreendimentos agrícolas (que se utilizam de agrotóxicos e fertilizantes), indústrias de grande porte; à proteção de fontes de abastecimento; à indicação de alternativas ambientalmente melhores em relação às existentes; e o monitoramento.

**Diretriz: Elaborar Zoneamento Ecológico Econômico na zona de incidência do SAG, em articulação com os Planos Diretores dos Municípios, bem como outros planos.**

**h) Uniformização das regras para a outorga de direito de uso de recursos hídricos.**

Propõe-se que se estabeleçam procedimentos homogêneos, entre os Estados, para a concessão de outorga de direito de uso das águas subterrâneas do SAG. Essa uniformização poderia conferir maior clareza sobre as informações acerca de cada outorga concedida.



Nessa linha, propõe-se também a elaboração de uma Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) que poderia fixar as diretrizes e procedimentos comuns de análise dos pleitos para a outorga de águas do SAG pelos Estados (uma para o confinado e outra para o aflorante).

Outra possibilidade seria um Acordo de Cooperação entre a Agência Nacional de Águas (ANA) e cada Estado, pactuando procedimentos comuns, de forma a articular os Estados na gestão deste recurso. De qualquer modo, para garantir a efetividade desse mecanismo, seria necessário que todos os Estados pactuassem com a ANA os mesmos termos e condições.

**Diretriz: Estabelecer norma do CNRH ou Acordos de Cooperação entre a ANA e os Estados, visando à uniformização dos procedimentos relativos à concessão das outorgas de direito de uso das águas subterrâneas do SAG.**

#### 5.6.2.2 *Atribuições Federais, Estaduais e Municipais*

##### **a) *Implementação das Unidades de Conservação (UC) nas áreas de afloramento do SAG***

A Lei nº 9.985/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), prevê que os três entes federativos – União, Estados e Municípios – possuem competência para a criação de Unidades de Conservação, sendo que um dos seus objetivos é proteger e recuperar os recursos hídricos e edáficos.<sup>93</sup>

As Unidades de Conservação (UC) devem dispor de um Plano de Manejo<sup>94</sup>, assim entendido o documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais de uma unidade de conservação, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade<sup>95</sup>.

Há que considerar a importância dos Planos de Manejo na efetividade da proteção estabelecida em um território, quando da criação de uma Unidade de Conservação. Nas áreas de incidência do SAG, é necessário que tais Planos contendam regras específicas para as águas subterrâneas, com vistas a garantir que os objetivos de proteção sejam alcançados também para elas, o que deve constar do próprio zoneamento da UC.

A criação de novas Unidades de Conservação, como por exemplo, Área de Proteção Ambiental (APA), em regiões próximas ou lindeiras a outras Unidades de Conservação de Proteção Integral preexistentes, tal como proposto por este estudo no item 5.4.1, tem por finalidade garantir maior proteção às áreas de proteção do SAG. Na regulamentação, no plano de manejo e no zoneamento desses novos espaços propostos, devem ser consideradas as regras de proteção contidas no Plano de Manejo das Unidades de Proteção Integral, tanto no que se refere ao seu interior como à sua respectiva zona de amortecimento, quando existente.

<sup>93</sup> Lei nº 9.985/2000, art. 4º, VIII.

<sup>94</sup> Lei nº 9.985/2000, art. 27.

<sup>95</sup> Lei nº 9.985/2000, art. 2º, XVII.

A diretriz ora proposta é no sentido de que as normas instituidoras das Unidades de Conservação contenham dispositivo enfatizando a necessidade de se considerar a incidência das águas subterrâneas no Plano de Manejo, ainda que a finalidade da criação do espaço protegido não seja necessariamente essa.

A lei estabelece que o Plano de Manejo de uma Unidade de Conservação deve ser elaborado no prazo de cinco anos a partir da data de sua criação<sup>96</sup>. Há inúmeros casos em que esse prazo não é observado, o que prejudica que se atinjam os objetivos da proteção territorial.

Sem um Plano de Manejo, as ações atinentes a uma proteção mais efetiva das águas subterrâneas podem deixar de ocorrer, pois a lei dispõe que, até que seja elaborado o Plano de Manejo, todas as atividades e obras desenvolvidas nas Unidades de Conservação de Proteção Integral devem se limitar àquelas destinadas a garantir a integridade dos recursos que a unidade objetiva proteger. Em outras palavras, se a finalidade da criação da UC não for exatamente a proteção das águas subterrâneas, apenas quando for elaborado o Plano de Manejo é que terá início o conjunto de ações voltadas à proteção do SAG.

Releva notar que devem ser cumpridos à risca todos os procedimentos relativos à formulação desses Planos, de acordo com a sua categoria e o disposto na Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), como por exemplo a participação social, sob pena de anulação dos atos e prejuízo às finalidades de proteção dos recursos ambientais, e particularmente, das águas subterrâneas.

**Diretriz: As normas criadoras das Unidades de Conservação devem conter regras específicas para a proteção das águas subterrâneas. Para as UC que não possuem Plano de Manejo por motivo de atraso, a diretriz consiste na edição de decretos federais, estaduais ou municipais, de acordo com o ente federativo que as criou, determinando o início imediato do processo de elaboração dos Planos de Manejo para as Unidades de Conservação criadas há mais de cinco anos, e, portanto em atraso no cumprimento da lei.**

#### ***b) Proteção de Mananciais***

Considerando que as águas subterrâneas são mananciais estratégicos em função de sua qualidade, cabe propor mecanismos de uso e ocupação do solo, com vistas a essa proteção. O exemplo que se pode utilizar é o modelo da Lei nº 9.866/1997 do Estado de São Paulo, já detalhado no item sobre essa legislação estadual.

**Diretriz: Incluir na legislação normas específicas sobre a proteção de mananciais subterrâneos (ordenação do uso e ocupação do solo), com base na cooperação entre União, Estados e Municípios, quando couber, para orientar a ocupação das áreas de afloramento do SAG.**

---

<sup>96</sup> Lei nº 9.985/2000, art. 27, § 3º.

### **c) Licenciamento ambiental (1)**

O processo administrativo de licenciamento ambiental é regido pela Lei Complementar (LC) nº 140/2011, que alterou a regra de competência para o licenciamento fixada na Lei nº 6.938/81, tendo substituído a redação do art. 10 da seguinte forma: *a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental.*<sup>97</sup>

Ou seja, a LC nº 140/2011 retirou dos Estados a prioridade para o licenciamento ambiental, tarefa que passou a ser distribuída entre a União, os Estados, Distrito Federal e os municípios, ficando claro que esse procedimento pode ser realizado por um único ente federativo.

No presente caso, a questão refere-se ao licenciamento de atividades em áreas de incidência do SAG. Conforme já mencionado, tanto os Estados como os municípios podem assumir a competência do licenciamento nessas áreas. Nos termos do art. 9º, XIV, da referida lei, cabe aos municípios promover o licenciamento ambiental das atividades ou empreendimentos: que causem ou possam causar impacto ambiental de âmbito local, conforme tipologia definida pelos respectivos Conselhos Estaduais de Meio Ambiente, considerados os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade; ou localizados em Unidades de Conservação instituídas pelo município, exceto em Áreas de Proteção Ambiental (APAs).

De acordo com o disposto no art. 8º, XIV da LC nº 140/2011, cabe aos Estados promover o licenciamento ambiental de atividades ou empreendimentos utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, ressalvada competência da União e dos municípios. Entende-se, pois, que quem determina o interesse local do Município para assumir um licenciamento é o Conselho Estadual do Meio Ambiente, considerando os critérios de porte, potencial poluidor e a natureza da atividade.

Como exemplo, caberá aos Estados objeto deste estudo adotar regras que condicionam a emissão das licenças a providências específicas, relativas à proteção dos aquíferos.

Nessa linha, cabe citar duas regras: uma do Estado de Goiás, que exige, para o licenciamento de empreendimentos:

- ✓ levantamento geológico, em escala adequada, que contenha: descrição da geologia local; determinação da direção e do sentido do fluxo de escoamento das águas subterrâneas do local; localização dos poços de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, no mínimo, de três;

---

<sup>97</sup> Antes da referida alteração, o art. 10 da Lei nº 6.938/81 assim dispunha: A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento de órgão estadual competente, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, em caráter supletivo, sem prejuízo de outras licenças exigíveis. (Redação dada pela Lei nº 7.804/1989)

- ✓ perfuração e implantação dos poços de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, como condição para o funcionamento de empreendimentos com potencial poluidor (por exemplo, depósitos de combustíveis e cemitérios etc.); e
- ✓ relatório final, com a descrição do perfil geológico dos poços de monitoramento, bem como dos seus elementos constitutivos, tais como: revestimento interno; filtro; pré-filtro; proteção sanitária; tampão; sistema de operação; selo; identificação dos poços; preparação dos poços para o monitoramento; sistemática do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, observada a legislação aplicável, bem como o intervalo de tempo em que será realizada a amostragem de controle e apresentado relatório ao órgão ou entidade de gestão ambiental do Estado.

Outro exemplo consiste na legislação dos Estados do Mato Grosso (Lei nº 9.612/2011) e Mato Grosso do Sul (Lei nº 6.676/2006), em que os projetos de implantação ou ampliação de empreendimentos de alto risco ambiental, tais como polos petroquímicos, carboquímicos, cloroquímicos e radiológicos, ou qualquer outra fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas que tragam periculosidade e risco para a saúde do público em geral, deverão conter caracterização detalhada da hidrogeologia local, incluindo avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos potencialmente afetados, assim como proposta para as medidas de proteção e controle a serem adotadas, exigindo-se, nesses casos, Estudos de Impactos Ambientais – EIA, quando do processo de licenciamento de tais atividades. Nota-se que essa regra é completa no que diz respeito à garantia do desenvolvimento sustentável, e que poderia ser adotada pelos demais Estados.

**Diretriz: Sendo o Estado ou os Municípios os entes responsáveis pelo licenciamento de empreendimentos, aplicam-se as normas estaduais de meio ambiente e proteção das águas subterrâneas, que devem conter regras específicas para a concessão das licenças, condicionando-as aos necessários cuidados que devem ser tomados nessas áreas. Em se tratando de áreas de afloramento do SAG de alta ou extrema vulnerabilidade dever ser propostos critérios padronizados e normatizados que indiquem medidas preventivas para a proteção do SAG**

#### ***d) Licenciamento ambiental (2)***

Tendo em vista que a Lei do SNUC não define especificamente em quais Unidades de Conservação de Proteção Integral devem ser aplicados os recursos da compensação financeira fixados no art. 36, podem a União, os Estados e os Municípios, de acordo com a identidade do ente federativo que tiver instituído a UC, estabelecer o critério de localização e a consequente aplicação dos recursos nas UC de Proteção Integral com incidência em áreas de afloramento do SAG, com a justificativa de proteger as águas subterrâneas.

**Diretriz: Estabelecer norma federal (CONAMA), para ser replicada pelos Estados (CONSEMAS) determinando que os recursos correspondentes às compensações ambientais (Lei nº 9.985/2000, art. 36), exigíveis dos empreendimentos a serem instalados em áreas de afloramento do aquífero sejam aplicados na regularização das Unidades de Conservação de Proteção Integral localizadas nessas áreas.**

### **e) Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)**

Os mecanismos de comando – controle, fixados nas políticas ambientais, em que pese sua relevância, são insuficientes para assegurar a efetividade das normas. Nessa linha, surgem os instrumentos econômicos, cuja lógica é induzir comportamentos ambientalmente adequados, porém de forma voluntária. O PSA é um dos instrumentos econômicos previstos em políticas ambientais e de recursos hídricos que vem mostrando eficiência, tendo em vista que os benefícios obtidos extrapolam os limites territoriais das propriedades envolvidas nos projetos.

**Diretriz: Estabelecer mecanismos jurídicos de remuneração aos proprietários das áreas de incidência do SAG para que sejam adotadas práticas ambientalmente adequadas, com vistas à proteção das águas subterrâneas.**

#### *5.6.2.3 Atribuições dos Municípios*

##### **a) Uso e ocupação do solo**

Conforme determina a CF/88, cabe aos municípios promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso do solo, do parcelamento e da ocupação do solo urbano<sup>98</sup>. No exercício dessa atribuição, todavia, não se pode ignorar que o uso e a ocupação do solo são fatores determinantes da qualidade ou da degradação dos recursos naturais, em que se incluem os recursos hídricos e as águas subterrâneas de modo especial.

As normas municipais destinadas a estabelecer as regras de uso do solo, urbano e rural, desde o Plano Diretor, até as leis de zoneamento, devem considerar a importância da proteção das áreas de afloramento de aquíferos porosos, em especial do SAG. E todo o ordenamento do solo deve ser efetuado levando-se em conta essa preocupação. Dessa forma, é necessário que, no planejamento do uso e ocupação da terra, e mesmo na fiscalização de usos, os mapas de vulnerabilidade do SAG sejam utilizados como instrumentos para promover a proteção. Essa questão é relevante para os municípios, na medida em que as águas subterrâneas constituem manancial que pode ser utilizado para o abastecimento público.

No que se refere ao universo das normas jurídicas, há que considerar que os municípios, como entes federativos autônomos, não se submetem à legislação estadual que interfira no uso do solo municipal. Todavia, uma norma estadual pode indicar fontes de financiamento e cooperação técnica para a melhoria da qualidade ambiental, especialmente destinadas aos municípios que contiverem, em suas normas de uso e ocupação do solo, dispositivos relativos à proteção de aquíferos, inclusive a observância dos mapas de vulnerabilidade.

Um exemplo dessa sistemática, em relação à União e aos Estados, pode ser encontrado na Lei nº 12.305/2012, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Em seu art. 18, a citada lei estabelece que a elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos,

---

<sup>98</sup> CF/88, art. 30, VIII.

nos termos previstos por esta Lei, é condição para o Distrito Federal e os Municípios terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade.

A aplicação de instrumentos econômicos, como é o caso da isenção de IPTU para fomentar a permeabilização do solo nas áreas urbanas, é um mecanismo plausível para garantir a proteção e recarga das águas subterrâneas.

**Diretriz: Elaboração de norma estadual, condicionando o apoio aos municípios, seja pela cooperação técnica, seja para o acesso a linhas de financiamento estaduais, à adoção de normas municipais de proteção aos aquíferos, com base nos mapas de vulnerabilidade do SAG, no que se refere ao uso e ocupação do solo e efetiva implementação, de forma a assegurar a proteção das áreas de afloramento de aquíferos.**

#### ***b) Selo Verde***

Ainda no que se refere ao fato de que o Estado pode incentivar, através de fontes de financiamento e cooperação técnica, a melhoria da qualidade ambiental dos municípios, poder-se-ia adotar a atribuição de *selo verde* àqueles que adotarem, em suas normas, práticas relativas à proteção de aquíferos, inclusive a observância dos mapas de vulnerabilidade, promovendo assim uma imagem positiva, reforçando a necessidade de atendimento aos padrões de proteção às águas subterrâneas estabelecidos pelo Estado.

**Diretriz: Elaboração de norma estadual atribuindo selo verde aos municípios que adotarem, em suas normas municipais, medidas de proteção aos aquíferos.**

### **5.7 BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADO**

A utilização das técnicas SIG (Sistema de Informações Geográficas) para o gerenciamento de dados é especialmente adequada no trabalho de controle e avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea. Elas facilitam e dão eficiência às tarefas de armazenamento, atualização, manipulação e integração dos dados.

Além disso, permitem a apresentação flexível dos resultados, tanto para profissionais da área de meio ambiente como para os atores sociais, numa variedade de mídias interativas e impressas.

No item anterior, foi salientada a relevância de utilização dos Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos para subsidiar o processo de emissão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos subterrâneos a serem conduzidos pelos Estados em que incidem áreas de afloramento do SAG.

No desenvolvimento do presente projeto foram levantadas várias informações relativas ao SAG, com destaque aos poços e às fontes potenciais de contaminação, tendo sido criado um banco de dados georreferenciado que será inserido no Sistema de Informações do Sistema Aquífero

Guarani (SISAG) do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (PSAG) e no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

### **5.7.1 Poços**

Os poços estão modelados na classe SAGFT\_POCO e os elementos estão relacionados aos municípios (SAGFT\_MUNICIPIO). Além das informações modeladas, o banco de dados final contém as informações provenientes do SISAG existente.

### **5.7.2 Fontes Potenciais de Contaminação**

Todas as informações das fontes potenciais de contaminação estão relacionadas aos municípios (SAGFT\_MUNICIPIO). Algumas informações são passíveis de espacialização como as fontes pontuais ou podem ser associadas aos municípios como fontes difusas.

#### **5.7.2.1 Fontes Pontuais**

- ✓ Posto de Gasolina – SAGFT\_POSTO\_GASOLINA
- ✓ Cemitério – SAGFT\_CEMITERIO
- ✓ Fonte de Contaminação – SGAFT\_FONTE\_CONTAMINACAO
- ✓ Aterro – SAGFT\_ATERRO
- ✓ Coleta de Embalagem de Agrotóxico – SAGFT\_COLETA\_EMBALAGEM\_AGROTOXICO

#### **5.7.2.2 Fontes Difusas**

- ✓ Esgoto – SAGTB\_ESGOTO
- ✓ Uso de Agrotóxico – SAGTB\_AGROTOXICO
- ✓ Fonte Poluidora – SAGTB\_FONTE\_POLUIDORA
- ✓ Resíduo Sólido – SAGTB\_RESIDUO\_SOLIDO

#### **5.7.2.3 Fontes Potenciais**

- ✓ Fontes Potenciais de Contaminação – CONT\_Contaminação

### **5.7.3 Uso e Ocupação da Terra e Hidroquímica**

As informações de uso e ocupação da terra estão separadas por abrangência e escala de levantamento, dividindo-se em Sistema Aquífero do Guarani (CVUS\_SAG), com escala de 1:250.000, e as duas áreas piloto (CVUS\_AreasPiloto) cuja escala é de 1:50.000. As informações de hidroquímica, por sua vez, estão divididas em pontos de levantamentos hidroquímicos (PozoHidroquimico) e o conjunto de polígonos de Stiff (HDQM\_STIFF).

### 5.7.3.1 *Uso e Ocupação da Terra*

- ✓ Uso e Ocupação da Terra – CVUS\_SAG
- ✓ Uso e Ocupação da Terra – CVUS\_AreasPiloto

### 5.7.3.2 *Hidroquímica*

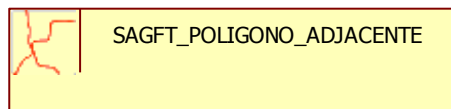
- ✓ Pontos de Levantamento Hidroquímico – PozoHidroquimico
- ✓ Polígonos de Stiff – HDQM\_STIFF\_CAMP1
- ✓ Polígonos de Stiff – HDQM\_STIFF\_CAMP2
- ✓ Polígonos de Stiff – HDQM\_STIFF\_CEMENOR100\_CAMP1
- ✓ Polígonos de Stiff – HDQM\_STIFF\_CEMENOR100\_CAMP2

### 5.7.4 **Modelo de Dados**

Para a modelagem do banco de dados geográfico foi utilizado o modelo OMT-G – *Object Modeling Technique for Geographic Applications*. No modelo, as classes são representadas através dos símbolos:

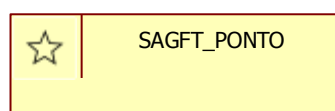
#### ✓ **Polígono Adjacente**

Representa um conjunto de subdivisões de todo o domínio espacial em regiões simples que não se sobrepõem e que cobrem completamente este domínio. No modelo a classe SAGFT\_MUNICIPIO é representada pelo símbolo:



#### ✓ **Ponto**

Representa objetos pontuais que possuem um único par de coordenadas (x,y). No modelo as classes SAGFT\_CEMITERIO, SAGFT\_POSTO\_GASOLINA, SAGFT\_FONTE\_CONTAMINACAO, SAGFT\_POCO, SAGFT\_ATERRO, SAGFT\_COLETA\_EMBALAGEM\_AGROTOXICO E SAGFT\_SEDE\_MUNICIPAL são representadas pelo símbolo:



No modelo OMT-G existem outros tipos de símbolos que não foram utilizados na modelagem destes temas, mas que serão utilizados no modelo completo do banco de dados.



As classes são grafadas em letras maiúsculas sem espaços, no singular e seguem a seguinte nomenclatura:

- ✓ SAGFT – classes com representação espacial
- ✓ SAGTB – classes alfanuméricas

As classes são compostas por atributos que devem ser em letras maiúsculas, sem espaços, sem caracteres especiais e no singular. De acordo com a nomenclatura apresentada no exemplo a seguir:

RS\_CD\_MUNICIPIO

Sendo:

- ✧ RS – sigla da classe SAGTB\_RESIDUO\_SOLIDO
- ✧ CD – código do município relacionado a tabela SAGFT\_MUNICIPIO pelo atributo MN\_SQ\_MUNICIPIO
- ✧ MUNICÍPIO – nome do atributo

No modelo foram utilizados os tipos de atributos apresentados no Quadro 5.13.

**QUADRO 5.13 – DESCRIÇÃO DOS ATRIBUTOS**

<i>Código do atributo</i>	<i>Descrição</i>	<i>Significado</i>
SQ	Sequencial	Campo sequencial ou de autoincremento
CD	Código	Código, tipo, classificação, categoria
NM	Nome	Nome
NR	Número	Numeração cardinal livre
TX	Texto	Texto livre, descrição
IN	Índice	Indicador de domínio restrito (S,N)

## 6. CONCLUSÕES

Os estudos realizados nas áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani permitiram avaliar a vulnerabilidade natural à contaminação e o perigo de contaminação associado às atividades antrópicas urbanas e rurais, de modo a estabelecer uma base técnica para o planejamento das ações e medidas de proteção e controle das águas subterrâneas do SAG, constituindo uma referência de apoio à decisão para os órgãos gestores estaduais.

O mapeamento geológico na escala na escala 1:250.000 identificou e mapeou rochas atribuídas às formações Botucatu (Jurássico/Cretáceo Inferior), Pirambóia/Guará (Triássico/Jurássico) e Santa Maria (Triássico), constituintes do SAG, e às formações Sanga do Cabral, Rio do Rasto e Estrada Nova (Triássico Inferior a Permiano Superior), unidades correspondentes ao substrato deste sistema aquífero, e Serra Geral (Cretáceo Inferior), unidade constituída por rochas vulcânicas intercaladas e sobrejacentes ao SAG, além de depósitos de planícies aluvionares e colúvio aluviais. Para a interpretação estratigráfica adotada neste mapa foram consideradas as novas propostas desenvolvidas nos últimos anos, em especial os critérios estratigráficos propostos por Soares *et al.* (2008) e Lebac (2008) para as unidades mesozoicas reconhecidas na Bacia do Paraná, particularmente no Rio Grande do Sul.

Os levantamentos geológicos realizados mostraram que as áreas efetivas do SAG aflorante são, na realidade, menores do que aquelas cartografadas no Projeto PSAG (OEAb, 2009). A distribuição atual das áreas de afloramento do SAG nos estados brasileiros ficou: 14.177,7 km<sup>2</sup> no Rio Grande do Sul (RS), 1.279,4 km<sup>2</sup> em Santa Catarina (SC), 1.518,6 km<sup>2</sup> no Paraná (PR), 576,5 km<sup>2</sup> em Minas Gerais (MG), 18.881,6 km<sup>2</sup> no Mato Grosso do Sul (MS), 6.494,3 km<sup>2</sup> no Mato Grosso (MT) e 8.698,1 km<sup>2</sup> em Goiás (GO). Nesta nova distribuição Minas Gerais, Santa Catarina e Paraná foram os estados que apresentaram maior redução percentual, respectivamente 64,1%, 49,5% e 45,8%. O Estado de Mato Grosso foi o que sofreu menor redução (4,3%). Como no Estado de São Paulo não foi feito mapeamento, não se pôde constatar se houve redução ou não de área.

Foram levantados 2.692 poços previamente cadastrados em órgãos e empresas estatais e privadas de saneamento, e cadastrados 307 poços tubulares novos em campo, com o objetivo de selecionar poços para compor uma rede de amostragem de caracterização hidroquímica e para obtenção de informações necessárias à elaboração dos mapas de vulnerabilidade dos estados. Dentre os 2.692 poços previamente cadastrados foram validados 475 em campo.

Nas diferentes regiões onde o SAG aflora, a diversificação de uso e de manejo têm sido significativa, apresentando desde áreas ainda preservadas de vegetação nativa, à porções com uso agrícola intensivo, pastagens e áreas degradadas. O cenário de ocupação apontou o uso antrópico como predominante, destacando-se as porções destinadas às pastagens e à agricultura, as quais ocupam 26.386,4 km<sup>2</sup> (39,2%) e 18.647,7 km<sup>2</sup> (27,7%), respectivamente. Remanescentes de cobertura vegetal natural ocupam 27,8% da vegetação natural.

Foram identificados 16.014 empreendimentos pontuais potencialmente contaminantes enquadrados principalmente nas classes de indústria de madeiras (4.939), transporte, terminais, depósitos e comércio (2.515) e indústria têxtil, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos (2.067), com base no cadastro do IBAMA. A distribuição de riscos potenciais por estado mostrou que o Rio Grande do Sul e Santa Catarina são as unidades federativas que reúnem o maior número de empreendimentos potencialmente contaminantes.

Foram pré-selecionados 217 poços distribuídos nos sete estados participantes do projeto, com vistas à coleta de água e elaboração de análises químicas. Destes, 210 foram avaliados para integrar a rede de monitoramento do SAG, cuja finalidade é monitorar a qualidade e níveis de água.

Os resultados das análises de água permitiram a caracterização hidroquímica e a elaboração de modelo de evolução geoquímica para as áreas de afloramento do SAG. As águas subterrâneas do SAG foram classificadas, predominantemente, como bicarbonatadas cálcicas. Águas bicarbonatadas sódicas ocorrem subordinadamente, mas de modo mais expressivo na região noroeste. Águas sulfatadas cálcicas e cloretadas sódicas ocorrem em menores proporções, porém são mais expressivas no compartimento sul do SAG. No geral, as águas do compartimento norte são relativamente menos salinas ( $\approx 27 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) do que no compartimento sul do SAG ( $\approx 220 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).

No compartimento sul do SAG, principalmente no Estado do Rio Grande do Sul, ocorrem águas mais salinizadas e ricas em cloreto e sulfato, que podem estar associadas a águas de unidades sotopostas ao SAG. Amostras selecionadas para análises de qualidade e potabilidade (metais pesados, agrotóxicos, BTEX e índice de fenóis), em sua maioria apresentaram valores inferiores ao máximo permitido pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Em alguns poços foram detectados teores de metais pesados e de nitratos acima do permitido pela Portaria nº 2.914/11. Análises microbiológicas apresentaram resultados positivos para coliformes totais em poços localizados, em sua maioria, na zona rural, sem adequada proteção sanitária.

As análises de isótopos estáveis de oxigênio ( $\text{O}^{18}$ ) e de hidrogênio (Deutério) confirmaram a origem meteórica das águas do SAG aflorante. A proporção relativamente maior de isótopos pesados nas águas do compartimento sul sugere condições climáticas mais secas comparativamente com o compartimento noroeste.

As análises de isótopos estáveis de estrôncio mostraram que as águas do SAG apresentam grande variação na concentração de Sr e estreita variação na assinatura isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , que é semelhante à das rochas das formações Botucatu e Serra Geral e das águas de chuva. Neste caso, não constitui uma ferramenta adequada para interpretações acerca das interações água-rocha.

A dinâmica do escoamento subterrâneo em áreas de afloramento pode reunir tanto zonas de fluxos locais, provenientes da recarga direta pelas precipitações atmosféricas e cuja descarga na forma de escoamento de base alimenta a rede hidrográfica instalada, como fluxos regionais

profundos, governados pelas características hidráulicas das rochas e pelo arcabouço geológico/estrutural. Nestes sistemas locais, as áreas de recarga localizam-se prioritariamente nas porções mais elevadas do terreno e as áreas de descarga nas porções adjacentes, topograficamente deprimidas.

O mapa de vulnerabilidade do SAG, elaborado com base no método GOD, mostrou domínio total da classe de vulnerabilidade média em todos os estados.

Em relação ao perigo potencial de contaminação por fontes pontuais os mapas mostraram que o estado do Mato Grosso do Sul apresentou potencial moderado, enquanto os demais apresentaram potencial reduzido, com exceção do estado de Goiás que apresentou potencial reduzido/moderado; Entretanto é importante destacar que essa classificação foi realizada considerando o número de empreendimentos para cada classe potencial em cada município, e desta forma o município fica classificado com o potencial predominante.

Para fontes difusas o resultado do cruzamento do potencial de carga contaminante associado ao uso da terra com os índices de vulnerabilidade determinados para as áreas aflorantes do SAG gerou uma classificação de perigo de contaminação. A classe de perigo de contaminação “alto” predominou para os estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso. A classe “moderado” predominou para os demais estados do estudo. As áreas não classificadas alcançaram, em média, 34,3% do total.

Observa-se que o caráter regional dos mapas permite sua utilização apenas como instrumento orientativo para a macrogestão, sendo recomendados estudos de detalhe para diagnóstico de áreas com indicadores críticos de contaminação e proposição de medidas de remediação específicas. As avaliações de perigo de contaminação da água subterrânea apresentam um considerável grau de incerteza científica em razão do subjetivismo metodológico empregado e do desconhecimento do comportamento hidráulico dos diferentes estratos geológicos empilhados sucessivamente.

Considerando a distribuição e número de poços amostrados para análise e os resultados dos indicadores hidroquímicos, não há argumentos para a proposição de áreas com necessidade de medidas de controle mais restritivas nas faixas de afloramentos do SAG. Independentemente do estabelecimento de áreas de proteção, aquíferos aflorantes devem ser sistematicamente monitorados quanto à preservação da qualidade de suas águas para os diversos usos, principalmente abastecimento público. Nesse sentido, legislações e diretrizes específicas devem ser aplicadas pelos órgãos ambientais para controle das práticas agrícolas, do uso da terra, e da instalação de empreendimentos industriais em zonas urbanas.

O mapeamento do uso da terra distinguiu áreas naturais com cobertura de matas, matas galeria e várzeas pouco impactadas pela atividade antrópica, situadas em zonas de vulnerabilidade média e com dimensões superiores a 10 km<sup>2</sup>, de interesse para indicação como áreas de proteção de aquíferos. O estudo apontou 6 áreas no Rio Grande do Sul, 13 em Santa Catarina, 5 no Paraná, 3 em Minas Gerais, 35 no Mato Grosso do Sul, 26 no Mato Grosso e 27 em

Goiás. Algumas dessas áreas encontram-se parcialmente inseridas ou contíguas às unidades de conservação.

Para definição de perímetros de proteção de poços de abastecimento público, mais adequados às condições reais, recomenda-se a aplicação da formulação do RFC (raio fixo calculado) com base em parâmetros hidráulicos obtidos localmente. Para condições gerais, foram estimados perímetros de cerca de 107 metros para a unidade Botucatu, de 88 metros para a unidade Pirambóia, de 125 metros para a unidade Guará, de 127 metros para a unidade Caturrita e de 69 metros para a unidade Santa Maria.

A partir deste estudo e dos mapas de vulnerabilidade e perigo de contaminação elaborados será possível implementar as estratégias propostas que incluem, em síntese, ações e procedimentos específicos para orientar o planejamento regional e local nos territórios dos Estados em que incide o SAG, visando disciplinar o uso e a ocupação do solo nas áreas de afloramento do aquífero, direcionar aspectos da conservação ambiental, além de recomendar ações para o fortalecimento da gestão participativa e normas de proteção do SAG.

Finalmente, o presente estudo disponibilizará um banco de dados georreferenciado que será incorporado ao Sistema de Informações do Sistema Aquífero Guarani (SISAG) do PSAG, no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que constitui um dos instrumentos de gestão de recursos hídricos previstos na legislação federal, que por sua vez instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL – ANP. Cadastro de Poços de Combustíveis. Disponível em <http://www.anp.gov.br/?id=1086>.
- ALLER, L; ENNET, T.; LEHER, J. H.; PETTY, R. J & HACKETT, G. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological setting. EPA, Oklahoma, EPA/600/2-87-035, 622 p.
- ARAUJO, L. M.; FRANÇA, A. B. & POTER, P. E. 1995. Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai; Mapas Hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Mapas, Curitiba: UFPR-Petrobras. 4 mapas, colorido. Escala 1:5.000.000. Texto Explicativo, 16p.
- BARBOSA, M.C.; CARVALHO, A.M.C.; IKEMATSU, P.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; CAVANI, A.C.M. 2011. Avaliação do perigo de contaminação do sistema aquífero Guarani em sua área de afloramento do Estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas. *Águas Subterrâneas*, v. 25, n.1. p.1-14.
- CAMPOS, H. C. N. S. 2000. Modelación Conceptual y Matemática del Aquífero Guarani, Cono Sur. *Acta Geológica Leopoldinense*, São Leopoldo, v. 23, nº 4, p. 3-50. (Mapas).
- CARVALHO, A. M. & HIRATA, R. 2012. Avaliação de métodos para a proteção dos poços de abastecimento público do Estado de São Paulo. *Geol. USP, Sér. cient.*, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 5-70.
- CERDEIRA, A.L; PESSOA, M.C.P.Y.; GOMES, M.A.F.; BOLONHEZI, D.; SOUZA, M.D.; FARJANI NETO, C. 2007. Proposta de Boas Práticas Agrícolas para as Áreas de Afloramento do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto – SP. Jaguariúna, SP. EMBRAPA..
- CASTRO, S.S.; BORGES, R.O.; SILVA, R.A.A.; BARBALHO, M.G.S. Estudo da expansão da cana de açúcar no estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais. In: II FORUM DE C&T NO CERRADO. Impactos econômicos, sociais e ambientais no cultivo da cana de açúcar no território goiano. Goiânia, 2007. v. único. p. 09-17.
- CHAVE, P; HOWARD G; SCHIJVEN, J; APPLEYARD, S; FLADERER, F & SCHIMON, W. 2006. Groundwater protection zones. World Health Organization. Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources. Edited by O. Schmoll, G. Howard, J. Chilton and I. Chorus. ISBN: 1843390795. Published by IWA Publishing, London, UK.
- CIVITA, M. 1994. Le carte del la vulnerabilita de gliacquiferia llinquinamento: teoria & prática. Pitagora Editore Bologna, Itália.

- CLARK I. D. & FRITZ P. (eds.). 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. New York, Lewis Publishers, 328 p.
- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. 2007. Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológico do Brasil. CD room. 2007.
- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. 2007. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000. <http://www.cprm.gov.br>.
- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Escala 1:500.000. 2ª edição.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. 1997. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Coord. Feitosa, F. A. C. & Manoel Filho, J. Fortaleza. CPRM-LABHID-UFPE. 412 p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. 2001. Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo do período de 1998 a 2000. São Paulo. 96 P.
- CRAIG, H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. Science 133: 1702.
- CUSTÓDIO, E & LLAMAS, M. R. 1996. Hidrologia subterrânea. 2ª ed. Barcelona: Ediciones Omega, 2v, 2350 p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAEE. 1974. Estudo de Águas Subterrâneas. Região Administrativa 6 – Ribeirão Preto. São Paulo: DAEE. Volume 2. (Texto).
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAEE. 1976. Estudos de Água Subterrânea – Regiões Administrativas 7, 8, 9 (Bauru, São José do Rio Preto, Araçatuba). São Paulo: DAEE, 1976. Volume 2, 286 p. (Texto).
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAEE. 1979. Estudos de Água Subterrânea – Regiões Administrativas 10, 11 (Presidente Prudente e Marília). São Paulo: DAEE, 1979. Volume 2, 220 p. (Texto).
- EPPNA. 1998. Informação Cartográfica dos Planos de Bacia. Sistematização das Figuras e Cartas a imprimir em papel. Equipa de Projecto do Plano Nacional da Água. Portugal.
- FETTER, C.W. 2001. Applied Hydrogeology. 4th edition, New Jersey, Prentice Hall, 691p.
- FODOR, R.V., CORWIN, C., SIAL, A.N. 1985. Crustal signatures in Serra Geral flood-basalt province, southern Brazil: O- and Sr-isotope evidence. Geology. (13):763-765.

- FOSTER, S. S. D. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE: VULNERABILITY OF SOIL AND GROUNDWATER TO POLLUTANTS. Noordwijk, Países Baixos.
- FOSTER, S. S. D. & HIRATA, R. 1993. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes. (Tradução de Ricardo Hirata, Sueli Yoshinaga, Seiju Hassuda e Mara Akie Iritani). Boletim do Instituto Geológico, n. 10, 92 p.
- FOSTER, S., HIRATA, R., GOMES, D., D'ELIA, M., PARIS, M. 2006. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Banco Mundial, Washington. 104 p.
- FRANCÉS, A.; PERALTA, E.; FERNANDES, C.; RIBEIRO, L. 2001. Development and application in the Alentejo region of a method to assess the vulnerability of groundwater to diffuse agriculture pollution: the susceptibility index. Lisboa, Geosystem Center IST, Third International Conference on Future Groundwater Resources at Risk.
- GASTMANS, D.; VEROSLAVSKY, G.; CHANG, H. C.; CAETANO-CHANG, M. R. & PRESSINOTTI, M. M. N. 2012. Modelo hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero Guaraní (SAG): una herramienta para la gestión. Boletín Geológico y Minero, 123 (3): 249-265.
- GAT J.R. 1980. The Isotopes of Hydrogen and Oxygen in Precipitation, in Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Vol. 1 (eds. P. Fritz & JCh Fontes), Elsevier, Amsterdam. p. 21-47.
- GIARDIN, A. & FACCINI, U. F. 2004. Complexidade hidroestratigráfica e estrutural do Sistema Aquífero Guarani na região central do Rio Grande do Sul: abordagem metodológica aplicada ao exemplo da área de Santa Maria - RS, Brasil. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, n. 18, p. 39-54.
- GILBOA, Y.; MERO, F. & MARIANO, I. B. 1976. The Botucatu Aquifer of South América: Model of an Untaped Continental Aquifer. Journal of Hydrology, v. 29, p. 165 – 179.
- GILG, H.A., MORTEANI, G., KOSTITSYN, Y., PREINFALK, C., GATTER, I., STRIEDER, A.J. 2003. Genesis of amethyst geodes in basaltic rocks of the Serra Geral Formation (Ametista do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil): a fluid inclusion, REE, oxygen, carbon, and Sr isotope study on basalt, quartz, and calcite. Mineralium Deposita. (38):1009-1025.
- GOMES, M.A.F.(Ed.). 2008. Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental. Brasília: EMBRAPA. 417 p.



- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Cadastro Técnico Federal de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. 2013. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura de 2012. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. 2013. Produção Agrícola Municipal. 2011. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. 2012. Produção Agrícola Municipal. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. 2011. Atlas de Saneamento. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. 2010. Censo Demográfico. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. 2007. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/mapas-municipais>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. 2004. Mapa de Biomas do Brasil, Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- INSTITUTO GEOLÓGICO – IG. 1997. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo: IG/ Cetesb/ DAEE. 2 v. mapas. (Série Documentos).
- INSTITUTO NACIONAL DE PROCESSAMENTO DE EMBALAGENS VAZIAS – INPEV. Localização das Unidades de Recebimento. Disponível em <http://www.inpev.org.br/logistica-reversa/destinacao-das-embalagens/localizacao-das-unidades>.
- IRITANI, M. A. & EZAKI, S. 2010. Roteiro orientativo para delimitação de área de proteção de poço. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Instituto Geológico. Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos. São Paulo. n.2, 50 p.
- KRAEMER, S. R; HAITJEMA, H. M. & KELSON, V. A. 2007. Working with WhAEM2000. Capture Zone Delineation for a City Wellfield in a Valley Fill Glacial Outwash Aquifer Supporting Wellhead Protection. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC 20460.
- KULFS, C. 1980. Rating the hazard potential on waste disposal facilities. En: Nat. Conf. on Management of Uncontrolled Hazardous Waste Sites. Proc. Silver Spring. Hazardous Material Control Research Institute. 30-41 pp.

- LABORATÓRIO DE ESTUDO DE BACIAS – LABAC. 2008. Informe Final de Hidrogeologia Regional do SAG. In: Gastmans, D.& Chang, H. K. (Coord.). Informe Técnico do Consórcio Guarani. Rio Claro, 54 p. e 8 mapas.
- LEGRAND, H. E. 1964. System for Evaluation of Contamination Potential of some Waste Disposal Sites, Journal of the American Water Works Association, Vol. 56, no. 7, p. 959-974.
- MACHADO, J. L. F. 2005. Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul. 2005, 238 p. Tese (Doutorado em Geologia). – Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). São Leopoldo (RS).
- MARTINS, V. 2008. Aplicação de isótopos de Pb, Sr, H e O como traçadores da recarga e da contaminação de aquíferos metropolitanos: um exemplo da Bacia do Alto Tietê. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. 220p.
- MILANI ET AL. 1993. Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná - Parana Basin Stratigraphic Chart, page 1.
- MILANI, E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Tese de Doutorado, 2 volumes.
- NAVARRETE, C. M. & GARCÍA, A. G. 2003. Perímetros de protección para captaciones de água subterrânea destinada al consumo humano. Metodología y aplicación al território. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas. Madrid: IGME.
- ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS - OEA -2009a. Programa Estratégico de Ação. Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. CD. Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai.
- ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS – 2009b – Avanços no Conhecimento do Sistema Aquífero Guarani. Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. CD. Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai. 9 Tomos. 32 volumes.
- OLIVEIRA, L. A. 2009. O Sistema Aquífero Guarani no Estado de Goiás: distribuição, caracterização hidrodinâmica, hidroquímica, composição isotópica e CFCs. Tese de Doutorado. Instituto de Geociência. Universidade de Brasília. 189 p.
- PARKHURST, D.L. AND APPELO, C.A.J., 1999, User's guide to PHREEQC (version 2)--A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259, 312 p.

- REBOUÇAS, A. C. 1976. Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná – Análise de Pré-Viabilidade. 143p. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- REBOUÇAS, A. C. 1994. Sistema Aquífero Botucatu no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8, Recife. Anais...Recife, p.500 - 509.
- REBOUÇAS, A. C. & AMORE, L. 2002. O Sistema Aquífero Guarani. Revista Brasileira de Águas Subterrâneas. v. 16, p. 135 – 143.
- SANO, E. E, SAMBRÓS, L.A, OLIVEIRA, G. C., BRITES, R.S. 2007. Padrões de Cobertura de Solos do Estado de Goiás in FERREIRA Jr, LA (organizadora), A Encruzilhada Socioambiental – Biodiversidade, Economia e Sustentabilidade no Cerrado. Goiânia - GO. UFG.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO – SMA. 2010. Diagnóstico ambiental para subsídio ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Relatório técnico 117.017-205 SMA/CPLA. São Paulo. 384p.
- SOARES P. C. 1975. Divisão estratigráfica do Mesozoico no Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências, 5: 229-251.
- 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 Sequências e Implicações na Configuração Espacial do Aquífero Guarani. Revista Pesquisas em Geociências, 35 (2): 115-133.
- SOARES, P. C.; SINELLI, O.; PENALVA, F.; WERNICK, E.; SOUZA, A. & CASTRO, P. R. M. 1973. Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27. Aracaju. Anais... Aracaju: SBG. v. 1, p. 209-236.
- STEMPVOORT V.D.; EWERT L.; WASSENAAR L. 1992. Aquifer vulnerability index: a GIS-compatible method for groundwater vulnerability mapping. – Canadian Water Resources Journal 18:25–37.
- TODD, D. 1959. Hidrologia de águas subterrâneas. Editora Edgard Blücher Ltda.Tradução: USAID.
- USEPA. 1993. Guidelines for delineation of wellhead protection areas. Technical Report EPA/440/5- 93-001, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Groundwater Protection, Washington, DC.
- USEPA. 1994. Handbook: ground water and wellhead protection. Technical Report EPA/625/R-94- 001, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Cincinnati, OH.

- ZALAN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; ASTOLFI, M .A. M.; VIEIRA, I. S., APPI, V. T. & ZANOTTO, O. 1987. Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, Curitiba, Atas....Curitiba: SBG, v. 1, p. 441-477.
- ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M .A .M; VIEIRA, I. S. & APPI, V. T. 1990. Bacia do Paraná. In: Origem e evolução de Bacias Sedimentares. Petrobras, Rio de Janeiro, p. 135-164.

# ***ANEXO I – MAPA HIDROGEOLÓGICO DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG***

---

---

Anexo I – Mapa Hidrogeológico Regional do SAG



SECRETARIA DO  
AMBIENTE E  
DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL



Secretaria do  
Desenvolvimento  
Econômico Sustentável



SEMA  
SECRETARIA DE  
ESTADO DE  
MEIO AMBIENTE



SECIMA  
SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO  
AMBIENTE, RECURSOS HÍDRICOS,  
INFRAESTRUTURA, CIDADES E  
ASSUNTOS METROPOLITANOS



MINISTÉRIO DO  
MEIO AMBIENTE

