

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

RESUMO EXECUTIVO



© 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;

A265e	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
--------------	--

CDU 556.33

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**

RESUMO EXECUTIVO

ENGEORPS 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 Hausman (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 Andreazza	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;

A265e Agência Nacional de Águas (Brasil).
Estudo de vulnerabilidade natural à contaminação e estratégias de proteção do sistema Aquífero Guarani nas áreas de afloramento: Resumo Executivo / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2016.

109p.

1. Recursos Hídricos – Contaminação 2. Aquífero Guarani 3. Águas Subterrâneas - Gestão I. Título

CDU 556.33

APRESENTAÇÃO

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.

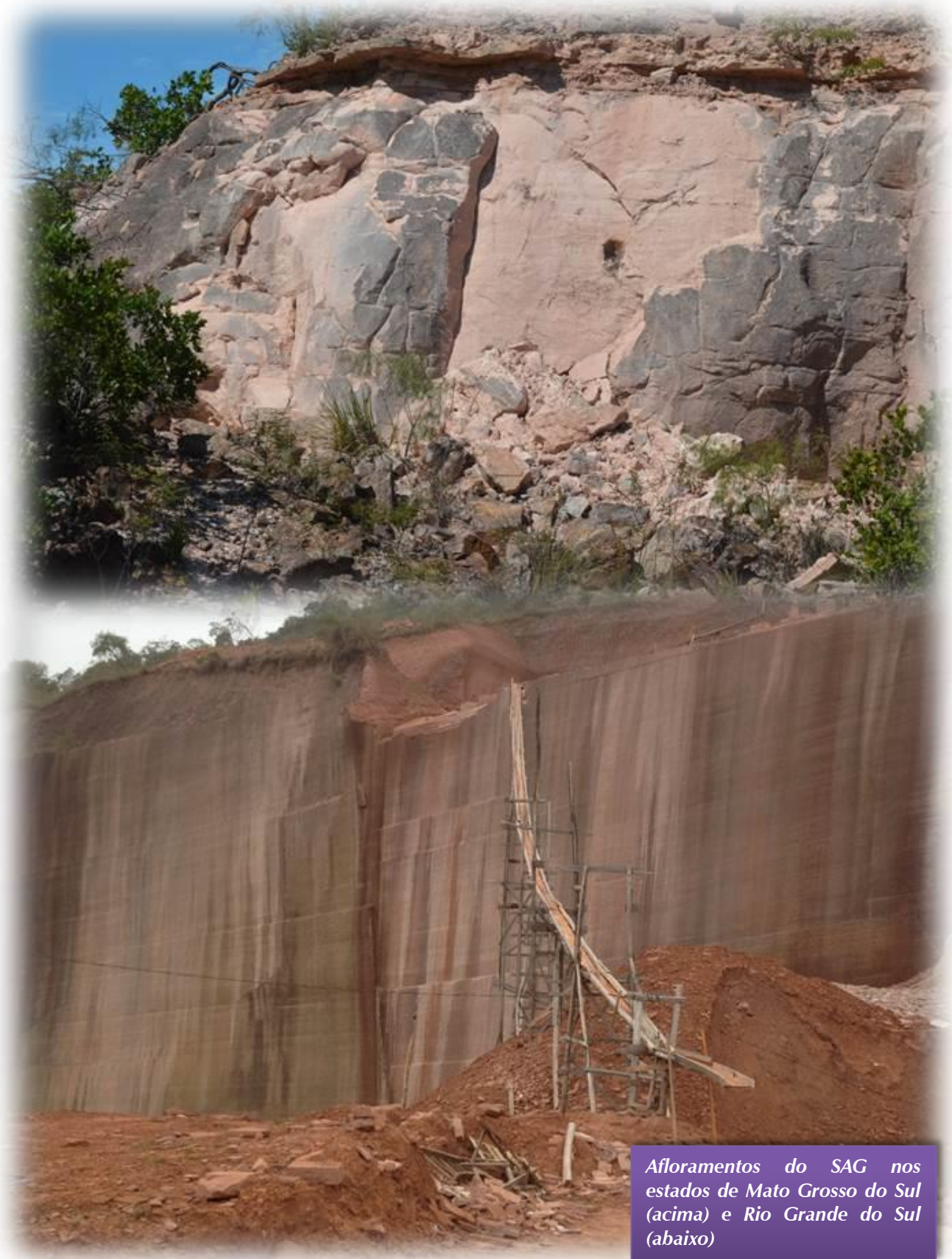
Como um dos órgãos responsáveis pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Águas (ANA) põe em prática, desde 2007, a Agenda Nacional de Águas Subterrâneas com o objetivo de fortalecer a gestão integrada de águas subterrâneas e superficiais no país e, sobretudo, 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.

O Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (PSAG), realizado por um consórcio de empresas e instituições governamentais do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai, no período de 2003 a 2009, com recursos do Fundo para o Meio Ambiente Mundial (GEF) e contrapartidas dos países beneficiários, propiciou o aprofundamento e consolidação do conhecimento sobre este aquífero, tendo em vista o desenvolvimento de mecanismos compartilhados de gestão das águas subterrâneas e a cooperação entre os países.

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), 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 Sistema Aquífero Guarani nas Áreas de Afloramento”.

O estudo, iniciado em maio de 2012 e com duração inicialmente de 24 meses, com aditivo de prazo de 6 meses, foi realizado pela ENGECORPS ENGENHARIA S.A no âmbito do Contrato nº 010/ANA/2012, celebrado com a ANA. 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, 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.

Os resultados e conclusões dos estudos são apresentados a seguir.



ÍNDICE

	PÁG.
APRESENTAÇÃO.....	2
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG	7
2.1 MAPEAMENTO GEOLÓGICO	7
2.2 CADASTRO DE POÇOS	14
2.3 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	17
2.4 CADASTRO DE FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO	22
2.5 HIDROQUÍMICA DO SAG.....	30
2.6 INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA EM SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)	36
2.7 MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO.....	39
2.8 MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL DO SAG À CONTAMINAÇÃO.....	45
2.9 MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE FONTES PONTUAIS DE CONTAMINAÇÃO.....	58
2.10 MAPA DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO POR FONTES DIFUSAS.....	70
3. ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG	82
3.1 DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÕES.....	82
3.2 GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, MEIO AMBIENTE E USO DA TERRA NO TERRITÓRIO DE ABRANGÊNCIA DO SAG	82
3.3 ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE.....	85
3.4 PROPOSIÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO	88
3.5 PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO.....	96
3.6 PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG.....	99
4. CONCLUSÕES	102
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
ANEXO I – MAPA HIDROGEOLÓGICO ESTADUAIS E DAS ÁREAS PILOTO.....	108



1. INTRODUÇÃO

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 de Vulnerabilidade Natural à Contaminação e Estratégias de Proteção do Sistema Aquífero Guarani nas Áreas de Afloramento” envolveu sete estados da federação e 202 municípios (Figura 1.1), desconsiderando o estado de São Paulo, no qual já foi realizado um estudo similar, cujos resultados foram incorporados ao estudo atual. Para o estado de São Paulo foram realizados novo mapeamento de uso e ocupação da terra, segundo os mesmos critérios estabelecidos para os demais estados da federação, e o mapeamento de perigo de contaminação por fontes difusas, associadas às atividades agrícolas.

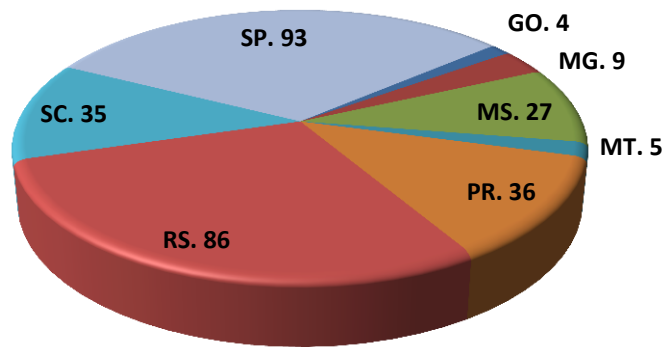


Figura 1.1 - Número de municípios seccionados por áreas de afloramento do SAG nos estados.

As principais atividades desenvolvidas neste projeto estão listadas no Quadro 1.1.

QUADRO 1.1 – ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO PROJETO

ATIVIDADES	
Mapeamento geológico	Mapeamento da vulnerabilidade natural
Cadastro de poços	Classificação de fontes pontuais de contaminação
Mapeamento de uso e ocupação da terra	Mapeamento do perigo de contaminação por fontes difusas
Cadastro de fontes potenciais de contaminação pontuais e difusas	Definição de áreas de restrição e controle
Análises químicas de amostras de água	Proposição de áreas de proteção
Geofísica em São Gabriel do Oeste (MS)	Definição de perímetros de proteção de poços de abastecimento público
Mapeamento hidrogeológico	Proposição de diretrizes de proteção das águas subterrâneas do SAG

2. ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG

2.1 MAPEAMENTO GEOLÓGICO

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é constituído por um conjunto de rochas sedimentares continentais formadas entre 245 e 145 milhões de anos (mesozoicas), estando limitado na base por uma descontinuidade regional permotriássica, ou seja, ocorrida há 250 milhões de anos, e no topo pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral (ocorrido entre 145 e 130 milhões de anos atrás).

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 km² no Brasil, 228.000 km² na Argentina, 88.000 km² no Paraguai e 36.000 km² no Uruguai. No Brasil (Figura 2.1) o SAG distribui-se pelos estados do Rio Grande do Sul (155.000km²), Santa Catarina (44.000 km²), Paraná (120.000 km²), São Paulo (143.000 km²), Minas Gerais (38.500 km²), Mato Grosso do Sul (190.000 km²), Mato Grosso (7.200 km²) e Goiás (40.000 km²), onde se encontra coberto por rochas vulcânicas e depósitos sedimentares mais jovens em mais de 90% de sua área de ocorrência.

O mapeamento geológico das áreas de afloramento do SAG foi realizado na escala 1:250.000, de modo a atualizar os dados produzidos pelo Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento do Sistema Aquífero Guarani – PSAG (OEAb, 2009), e na escala 1:50.000 nos pilotos de São Gabriel do Oeste (MS) e São Sebastião do Caí (RS), com o intuito de ampliar o conhecimento hidrogeológico dessas áreas (Figura 2.1). Os resultados mostraram que as áreas efetivas do SAG aflorante são, na realidade, menores do que aquelas cartografadas no Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento do Sistema Aquífero – PSAG (OEAb, 2009), conforme mostrado no Quadro 2.1.

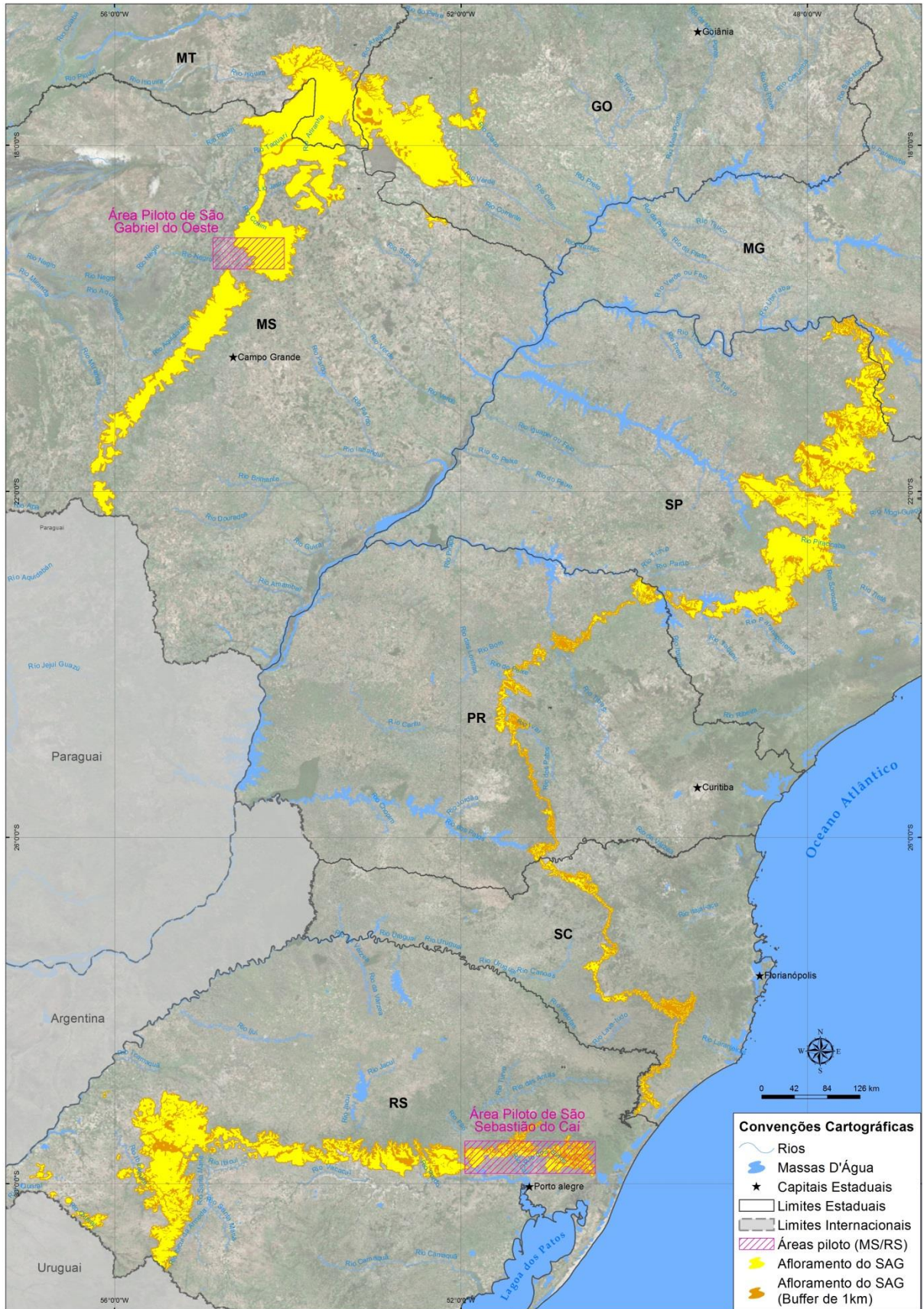


Figura 2.1 – Distribuição do SAG nos estados do Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC), Paraná (PR), São Paulo (SP), Minas Gerais (MG), Mato Grosso do Sul (MS), Mato Grosso (MT) e Goiás (GO).

QUADRO 2.1 – COMPARAÇÃO DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG MAPEADAS NO PROJETO PSAG E NO PROJETO ANA/ENGEORPS E PERCENTUAL DE REDUÇÃO

Estados	UF	Áreas (km ²)		Redução
		PSAG	ANA/ENGEORPS	
Rio Grande do Sul	RS	23.754,0	14.177,7	40,3%
Santa Catarina	SC	2.532,0	1.279,4	49,5%
Paraná	PR	2.804,0	1.518,6	45,8%
Minas Gerais	MG	1.608,0	576,5	64,1%
Mato Grosso do Sul	MS	23.483,0	18.881,6	19,6%
Mato Grosso	MT	6.783,0	6.494,3	4,3%
Goiás	GO	10.220,0	8.698,1	14,9%
TOTAL	-	71.184,0	51.626,2	27,5%

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 novo mapeamento, não se pode constatar se houve ou não redução de área.

Os levantamentos geológicos realizados no âmbito deste projeto constataram uma distribuição espacial das unidades litoestratigráficas do SAG distinta daquelas assinaladas em mapeamentos anteriores, incluindo o do próprio PSAG (OEAb, 2009). 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 subjacentes 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 (OEAb, 2009) 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 2.2 foi elaborado segundo modelo fornecido pela ANA.

IDADES	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		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 2.2 – Coluna litoestratigráfica adotada para o SAG.

No Rio Grande do Sul foram reconhecidas e mapeadas as formações Botucatu, Guará, Caturrita e Santa Maria, integrantes do SAG. Segundo as concepções de Soares *et al.* (2008), as formações Pirambóia e Guará são a mesma unidade genética (tem a mesma origem), com idade entre o Neotriássico e Mesojurássico (entre 245 e 185 milhões), 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. Nos demais estados, as unidades litoestratigráficas do SAG são representadas somente pelas formações Botucatu e Pirambóia.

A Formação Botucatu é composta de arenitos finos, quartzosos, bem selecionados, marrons a avermelhados, com estratificações cruzadas de grande porte, com truncamentos de camadas, depositados em ambiente desértico por processos eólicos (Figura 2.3).



Figura 2.3 – Formação Botucatu (MS)

A Formação Guará é representada por arenitos brancos e marrons, finos, maciços e com estratificação plano-paralela e cruzada, intercalados por lentes de arenitos médios, depositados em ambiente flúvio-eólico (Figura 2.4).



Figura 2.4 – Formação Guará (RS)

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, com intercalações pelíticas (Figura 2.5) depositados em ambiente flúvio-eólico.



Figura 2.5 – Formação Pirambóia (SC)

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 2.6).



Figura 2.6 – Formação Caturrita (RS)

A Formação Santa Maria, de idade triássica média a superior, compreende camadas de siltitos argilosos, compactos, maciços, vermelhos a esverdeados, algo micáceos, depositados em ambiente lacustre, sobrepostas por arenitos de granulometria média a grossa, rosados a avermelhados, quartzo-feldspáticos, com estratificação cruzada e intercalações de arenitos conglomeráticos na base, depositados em ambiente fluvial (Figura 2.7).



Figura 2.7 - Formação Santa Maria (RS)

2.2 CADASTRO DE POÇOS

Foram levantados 2.692 poços previamente cadastrados em órgãos e empresas estatais e privadas de saneamento e cadastrados 314 novos poços em campo (Figuras 2.8 a 2.10) com o objetivo de selecionar pontos de coleta para compor uma rede de amostragem de caracterização hidroquímica e para obtenção de informações necessárias à elaboração dos mapas de vulnerabilidade.

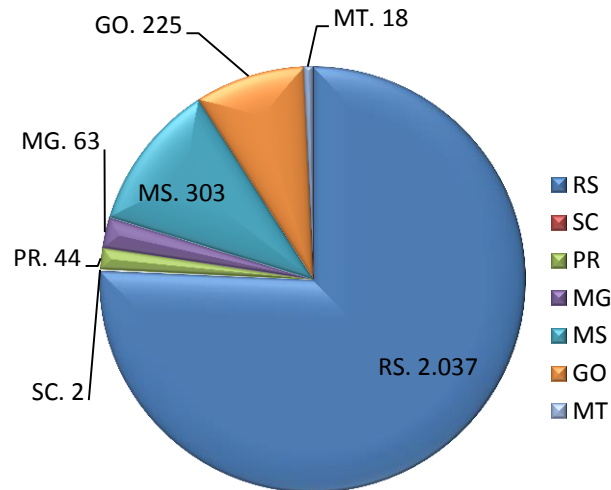


Figura 2.8 – Número e localização de poços levantados previamente em cadastrados estaduais

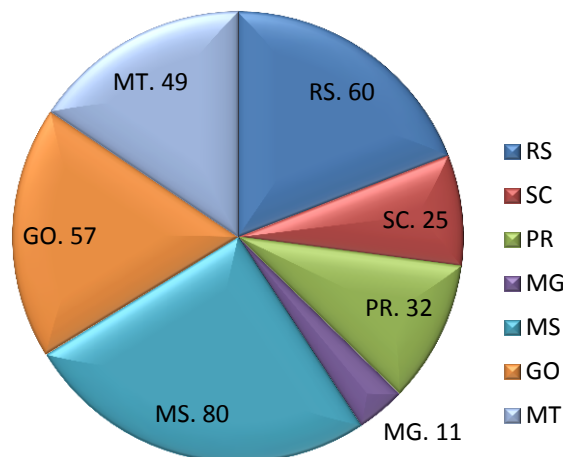


Figura 2.9 – Número e localização de poços novos cadastrados em campo

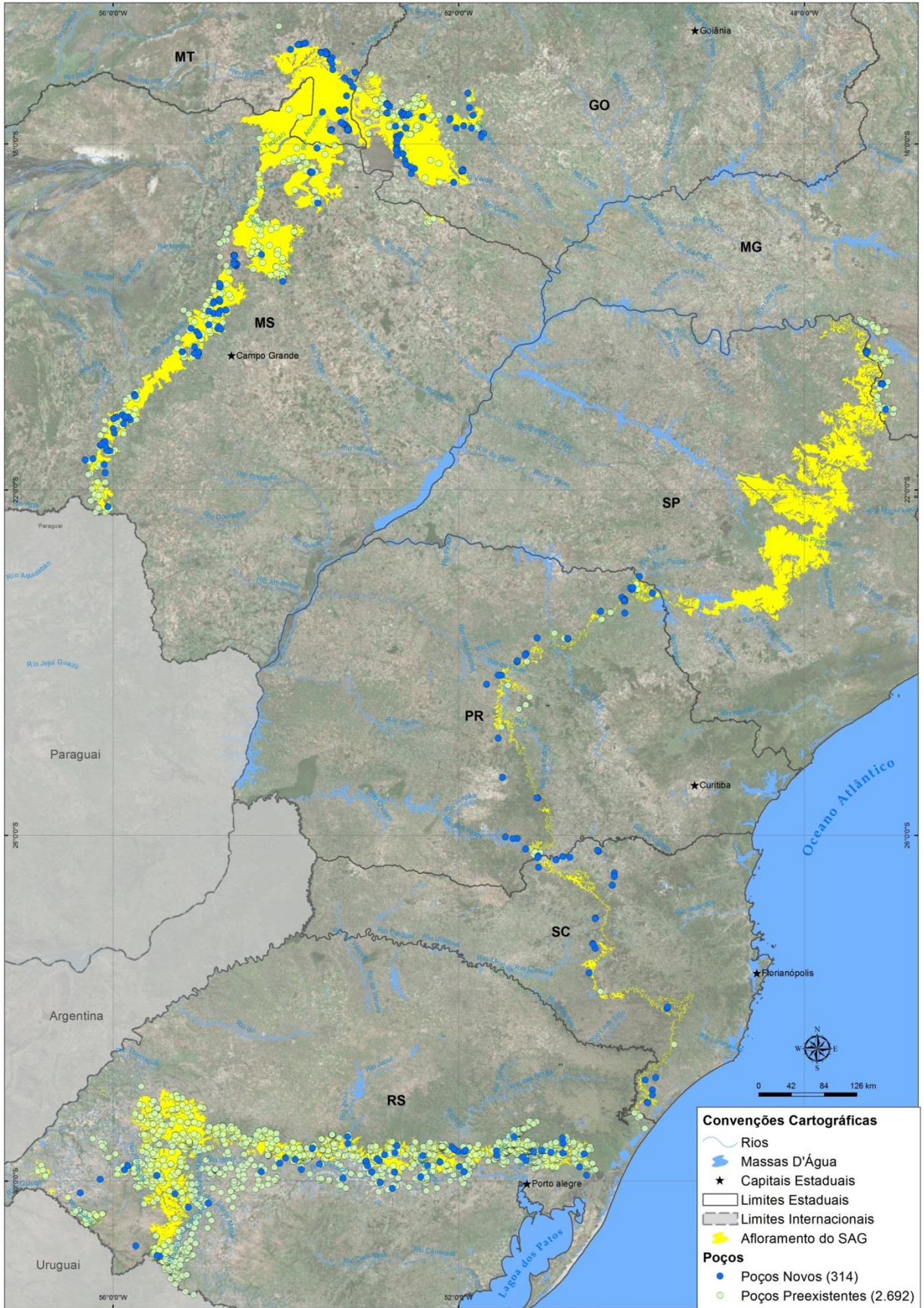


Figura 2.10 – Número e localização de poços novos cadastrados em campo

Dentre os 2.692 poços previamente cadastrados, foram validados 409 em campo, inseridos nas áreas de afloramento do SAG nos sete estados estudados (Figura 2.11). A validação compreendeu a verificação *in loco* para conferência do posicionamento geográfico e existência de condições necessárias para amostragem e medição de níveis de água.

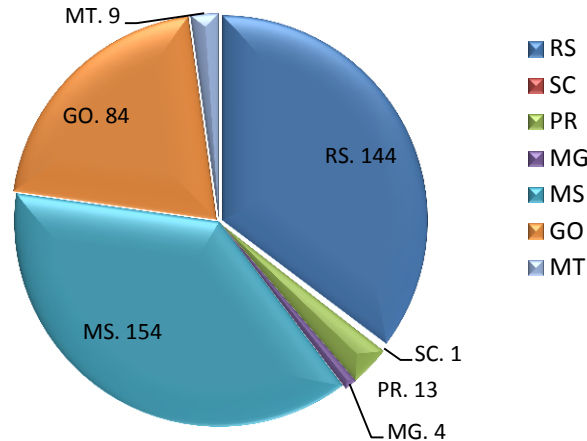


Figura 2.11 – Número de poços validados por estado inseridos na área de afloramento do SAG.

Após o mapeamento geológico constatou-se que dos 314 poços novos cadastrados no projeto, 172 encontravam-se inseridos na área de afloramento do SAG (Figura 2.12).

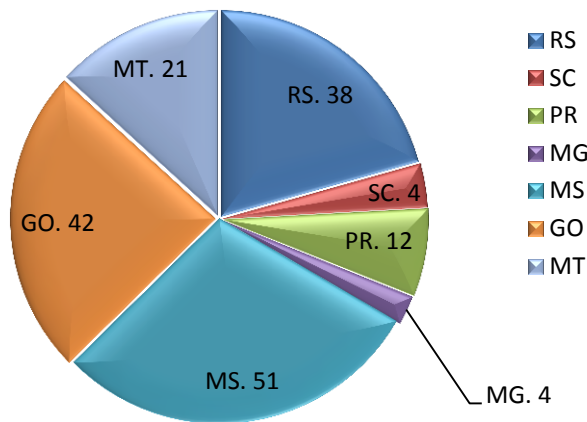


Figura 2.12 – Distribuição por estado dos poços novos cadastrados e inseridos na área de afloramento do SAG

Em termos gerais, verifica-se que a qualidade das informações contidas nos cadastros de poços, tanto nos existentes quanto nos levantados em campo, é precária e incompleta. Faltam informações estratigráficas, construtivas, hidrodinâmicas, hidroquímicas, etc., que dificultam análises mais consistentes. 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 2.13).



Figura 2.13 - Exemplos de poços cadastrados em campo

2.3 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

O uso e ocupação da terra são reflexos de atividades antropogênicas 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.

O mapeamento de uso e ocupação da terra nas áreas de afloramento do SAG foi elaborado com base na classificação de imagens de satélite Landsat-TM5 e Landsat-OLI8. Para a interpretação das imagens, foram utilizados elementos básicos de reconhecimento como cor, tonalidade, forma, padrão, densidade, textura e tamanho, estabelecendo classes de uso compatíveis com a escala de trabalho adotada. Para subsidiar a interpretação das imagens, foram obtidos em campo pontos de controle georreferenciados para todos os padrões de uso predefinidos.

O cenário de ocupação apontou o uso antrópico como predominante, destacando-se as porções destinadas às pastagens e à agricultura (Figura 2.14) que ocupam 39,2% e 27,7%, respectivamente, das áreas de afloramento do SAG (Quadro 2.2). Mostrou, também, que 27,8% da área corresponde à cobertura vegetal natural remanescente.



Figura 2.14 – Plantação de soja no Rio Grande do Sul.

QUADRO 2.2 – CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

<i>Classe</i>	<i>Total</i>	<i>%</i>
Urbano	499,4	0,7%
Culturas Anuais	7.994,7	11,9%
Culturas Anuais - Arroz	684,7	1,0%
Culturas Anuais - Soja	1.681,6	2,5%
Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	7.073,9	10,5%
Culturas Perenes	1.212,8	1,8%
Pastagens	26.386,4	39,2%
Solo Exposto	17,5	0,0%
Silvicultura	2.670,3	4,0%
Mata	2.555,3	3,8%
Mata Ciliar ou de Galeria	7.162,1	10,6%
Campos Úmidos ou de Várzea	668,0	1,0%
Cerrado	8.335,0	12,4%
Rios	132,7	0,2%
Lagos	267,1	0,4%
Mineração	4,2	0,0%
Total	67.345,7	100,0%

As Figuras 2.15 e 2.16 mostram dois exemplos de mapas de Uso e Ocupação da Terra elaborados neste projeto, referente as áreas piloto determinadas para o estudo, São Sebastião do Caí e São Gabriel do Oeste.

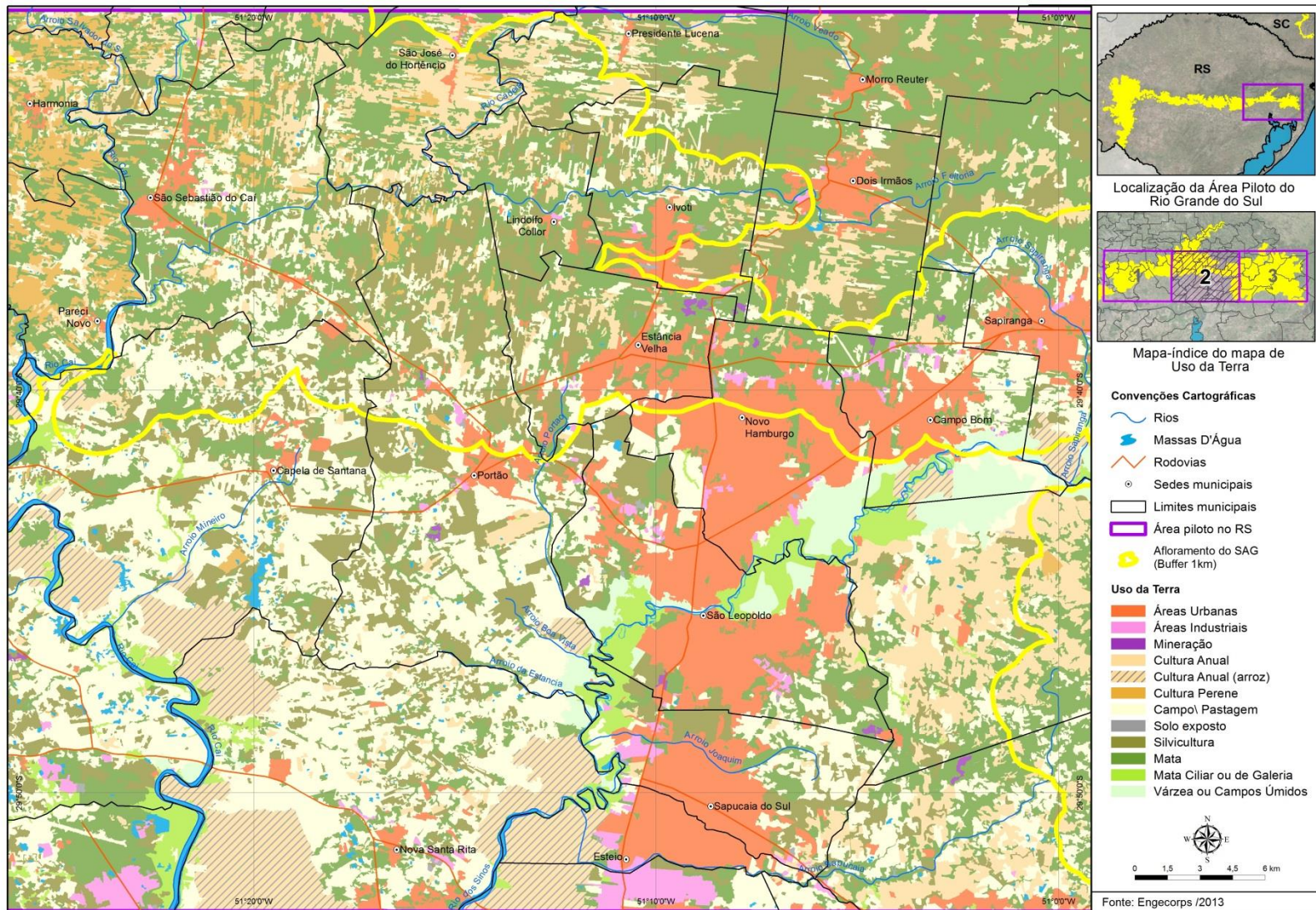


Figura 2.15 – Mapas de uso e ocupação da terra da área piloto do Rio Grande do Sul

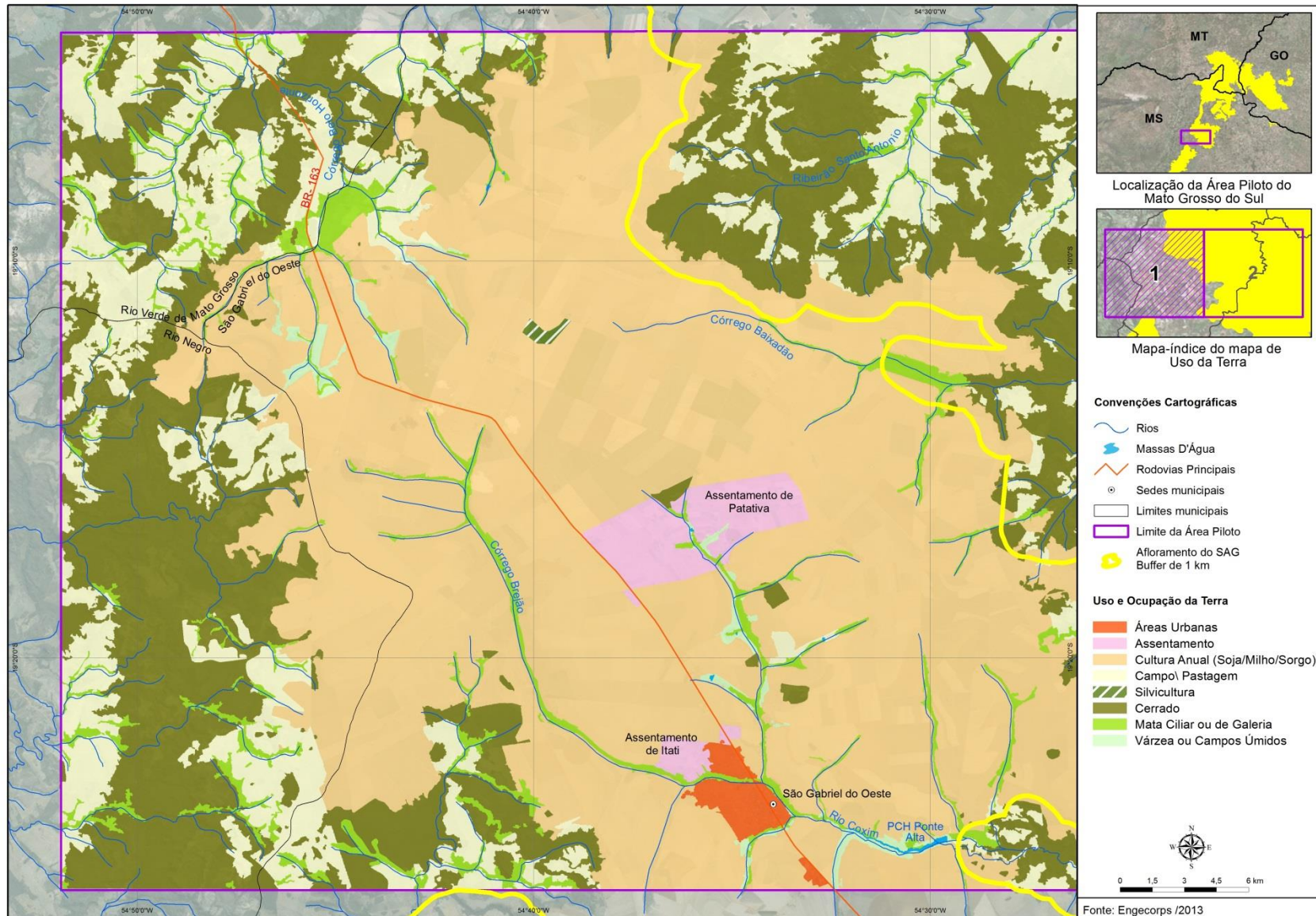


Figura 2.16 – Mapas de uso e ocupação da terra da área piloto do Mato Grosso do Sul

2.4 CADASTRO DE FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO

Atividades humanas associadas a tipos específicos de contaminantes podem representar ameaça às águas subterrâneas, dependendo do maior ou menor grau de vulnerabilidade do aquífero. Assim, a classificação e o cadastro sistemáticos de fontes potenciais de contaminação são fundamentais para a proteção e preservação da qualidade das águas subterrâneas. As atividades potencialmente poluentes são classificadas em **pontuais** e **difusas**, segundo sua distribuição espacial.

As fontes potenciais pontuais de contaminação estão associadas a empreendimentos industriais e comerciais, geralmente instalados em áreas urbanas dos municípios. 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).

Foram consultados diversos órgãos, estaduais e federais, para o levantamento cadastral de fontes potenciais pontuais de contaminação nos estados abrangidos pelo projeto (Figura 2.17).

Levantamento cadastral de fontes potenciais pontuais de contaminação :

- Rio Grande do Sul: FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler e SEMA – Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul.
- Santa Catarina: FATMA – Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina e SDS – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável.
- Paraná: IAP – Instituto Ambiental do Paraná e SEMA – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná.
- Mato Grosso do Sul: SEMAC – Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul e IMASUL – Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul.
- Minas Gerais: FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente e IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas.
- Mato Grosso: SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Mato Grosso e FEMA – Fundação Estadual do Meio Ambiente do Governo do Estado de Mato Grosso.
- Goiás: SEMARH – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Goiás.
- **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.

Figura 2.17 – Órgãos consultados para o levantamento de cadastral de fontes potenciais de contaminação (destaque para o cadastro do IBAMA).

De todos os cadastros consultados, o Cadastro Técnico Federal (CTF) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) é o mais completo e abrangente para análise de fontes potenciais pontuais de contaminação nas áreas de afloramento do SAG. Este cadastro possui representatividade adequada em todos os estados e enquadra as atividades potencialmente poluidoras em 20 classes categorias principais. Essas categorias foram

classificadas qualitativamente quanto a carga contaminante potencial segundo o método POSH (*Pollutant Origin Surcharge Hydraulically*), como mostrado no Quadro 2.3.

De acordo com o CTF, 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. 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 2.18).

QUADRO 2.3 – CLASSIFICAÇÃO DE CARGAS POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO POR CATEGORIA DE ATIVIDADE, SEGUNDO O MÉTODO POSH

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

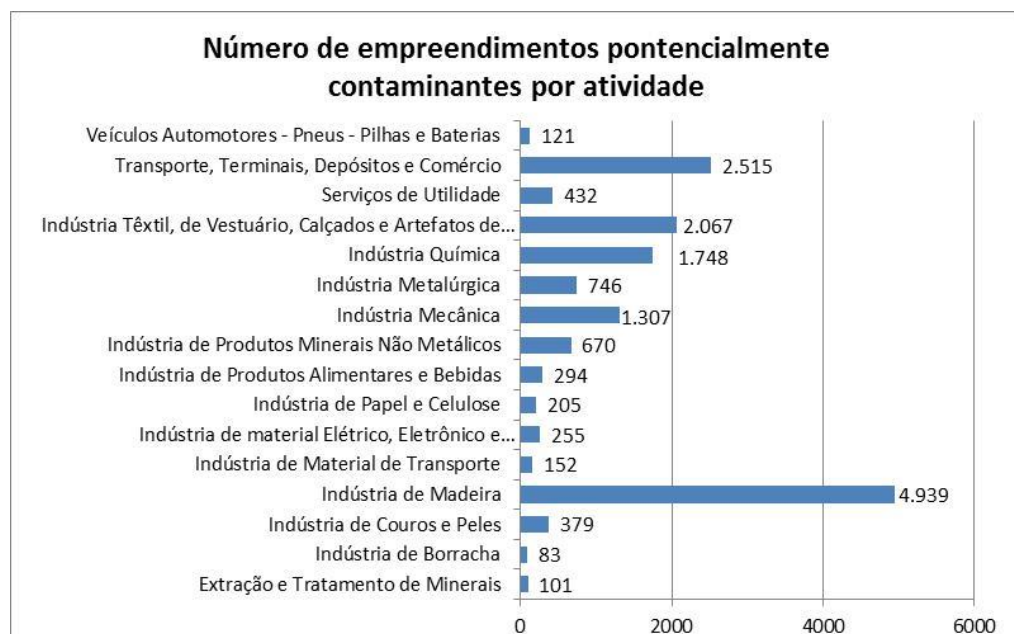


Figura 2.18 – Número de empreendimentos potencialmente contaminantes por categoria de atividade econômica

Os empreendimentos existentes nas áreas de afloramento do SAG foram classificados em três classes conforme a carga contaminante potencial, segundo o método POSH, variando entre reduzido, moderado e elevado (Figura 2.19). Os empreendimentos com risco moderado representam 50% do total, enquanto os de risco reduzido e elevado representam, respectivamente, 27% e 23% do total.

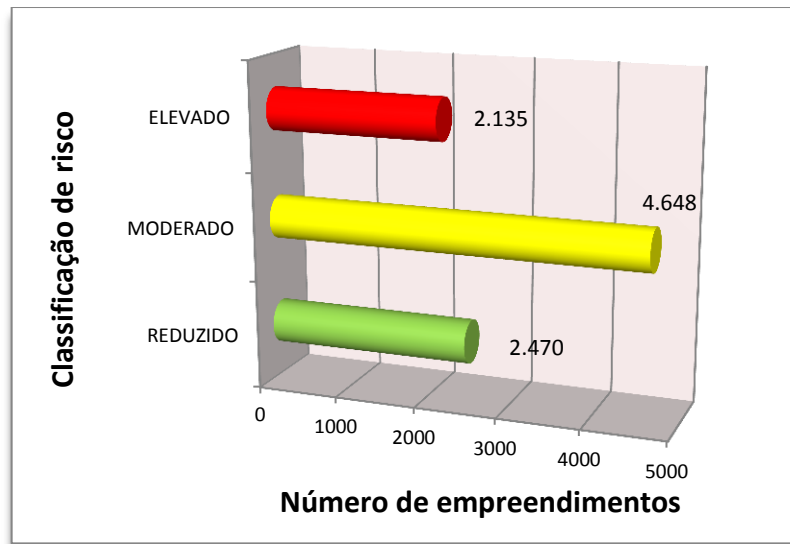


Figura 2.19 - Classificação de risco de empreendimentos localizados em áreas de afloramento do SAG

A distribuição de empreendimentos, por município, com base na classificação pelo método de POSH, do potencial poluente de atividades cadastradas no IBAMA é mostrada na Figura 2.20.

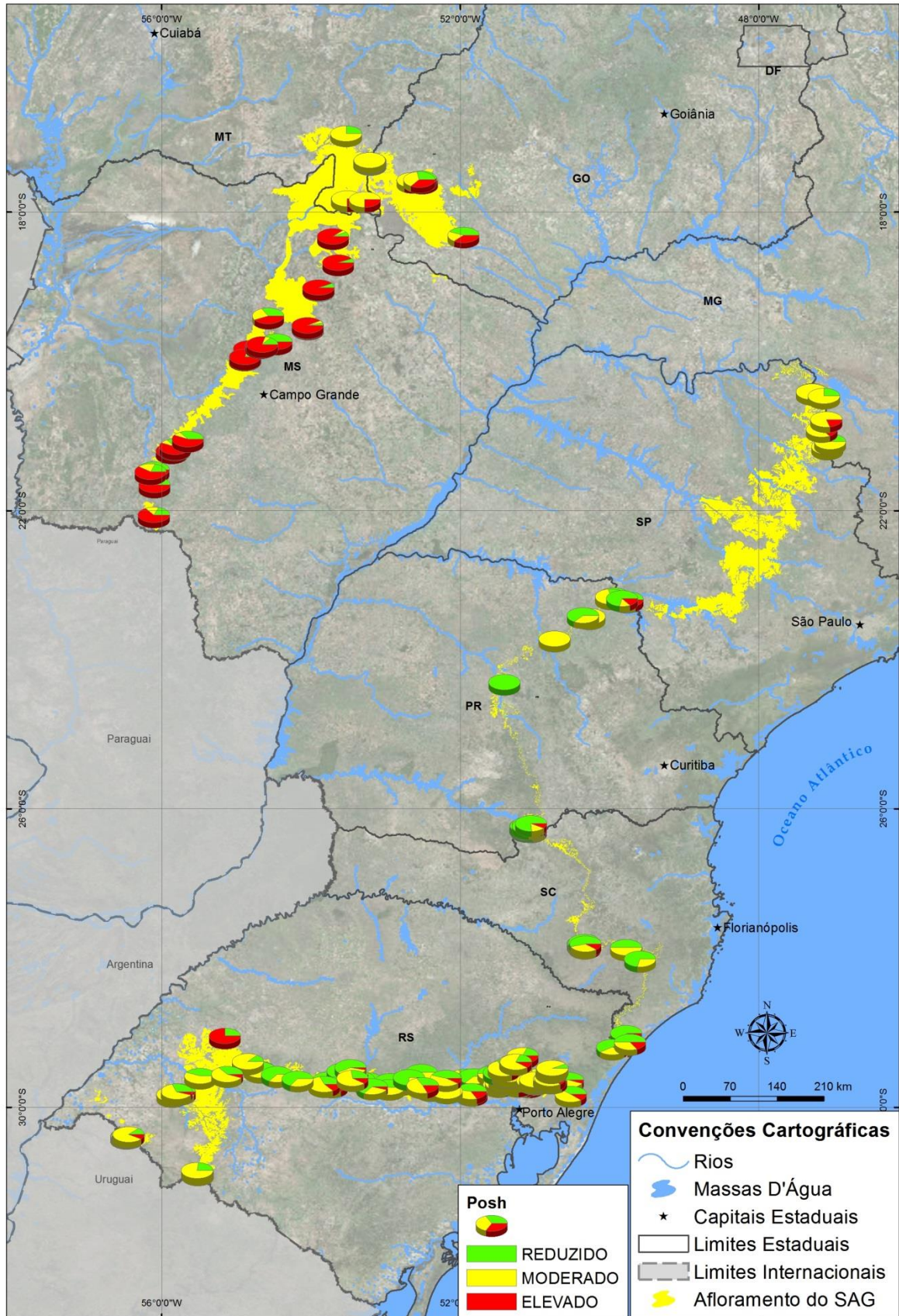


Figura 2.20 - Distribuição de empreendimentos, por município, com base na classificação POSH do potencial poluente de atividades cadastradas no IBAMA

Fontes potenciais difusas de contaminação das águas subterrâneas são as condições de saneamento básico (rede de esgoto), nas áreas urbanas, e as atividades agrícolas, nas regiões rurais.

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 principais causas de vazamentos devem-se às redes de esgotamento deterioradas. As condições de saneamento referentes ao esgotamento sanitário em áreas urbanas devem ser consideradas na avaliação do potencial de contaminação das águas subterrâneas, tendo por princípio que existe possibilidade de contaminação mesmo em presença de rede de esgotamento sanitário. Problema semelhante pode ocorrer nas áreas rurais, porém, tendendo a assumir dimensões reduzidas e caráter pontual em razão da dispersão de moradias.

Para a classificação de fontes difusas de saneamento *in situ* foi utilizado o método POSH (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 2.4).

QUADRO 2.4 – CLASSIFICAÇÃO POSH DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DO SANEAMENTO IN SITU

Fonte de Saneamento <i>in situ</i>	Reduzido
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

Nenhuma área urbana em região de afloramentos do SAG foi classificada como de elevado potencial para geração de carga contaminante no subsolo por esgotamento sanitário, conforme pode-se observar nos resultados obtidos da classificação do saneamento *in situ* por estado, conforme mostrado no Quadro 2.5, com base no Censo Demográfico (IBGE, 2010). 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%, apresenta potencial reduzido.

QUADRO 2.5 – SÍNTESE DOS DADOS DE CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DO SANEAMENTO IN SITU POR ESTADO

<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
GOIÁS	0	2	1	3
MATO GROSSO	0	1	0	1

Para a classificação de fontes difusas decorrentes das atividades agrícolas utilizou-se a classificação de Domínios Pedomorfoagrocimáticos, 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.

As principais atividades agrícolas mapeadas nas áreas de afloramento do SAG (cultura anual, cultura semiperene, cultura perene e campo/pastagem) foram classificadas quanto ao potencial de contaminação como mostrado no Quadro 2.6. Todavia, quase metade das classes de uso da terra mapeadas não possui ainda uma classificação com base no método proposto por Gomes (2008).

Nas áreas de afloramento do SAG, as culturas anuais e semiperenes representam os cultivos de maior risco de contaminação em função do elevado potencial de carga contaminante. Estas atividades agrícolas, principalmente as extensas monoculturas de soja (Mato Grosso e Goiás) e cana-de-açúcar (São Paulo), 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, sobretudo no estado do Rio Grande do Sul.

QUADRO 2.6 – CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL CONTAMINANTE EM FUNÇÃO DO USO DA TERRA (GOMES,2008)



Classificação de fontes difusas decorrentes das atividades agrícolas com base na classificação dos Domínios Pedomorfoagroclimáticos (Gomes, 2008).

Classe	Total	%	Potencial de contaminação
Mineração	4,2	0,0%	Sem Classificação
Solo Exposto	17,5	0,0%	Sem Classificação
Rios	132,7	0,2%	Sem Classificação
Lagos	267,1	0,4%	Sem Classificação
Urbano	499,4	0,7%	Reduzido
Culturas Perenes	1.212,8	1,8%	Moderado
Culturas Anuais - Arroz	684,7	1,0%	Elevado
Culturas Anuais - Soja	1.681,6	2,5%	Elevado
Silvicultura	2.670,3	4,0%	Moderado
Mata	2.555,3	3,8%	Sem Classificação
Mata Ciliar ou de Galeria	7.162,1	10,6%	Sem Classificação
Cerrado	8.335,0	12,4%	Sem Classificação
Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	7.073,9	10,5%	Elevado
Culturas Anuais	7.996,7	11,9%	Elevado
Pastagens	26.386,4	39,2%	Moderado
Campos Úmidos ou de Várzea	668,0	1,0%	Sem Classificação

As atividades agrícolas dedicadas às pastagens e às culturas perenes são classificadas como de potencial de contaminação moderado. As pastagens concentram-se nos estados do Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul, e as culturas perenes, com destaque para a laranja e o café, são cultivadas predominantemente no estado de São Paulo. A Figura 2.21 mostra a distribuição da classificação das áreas potenciais de contaminação por fontes difusas, nos estados estudados.

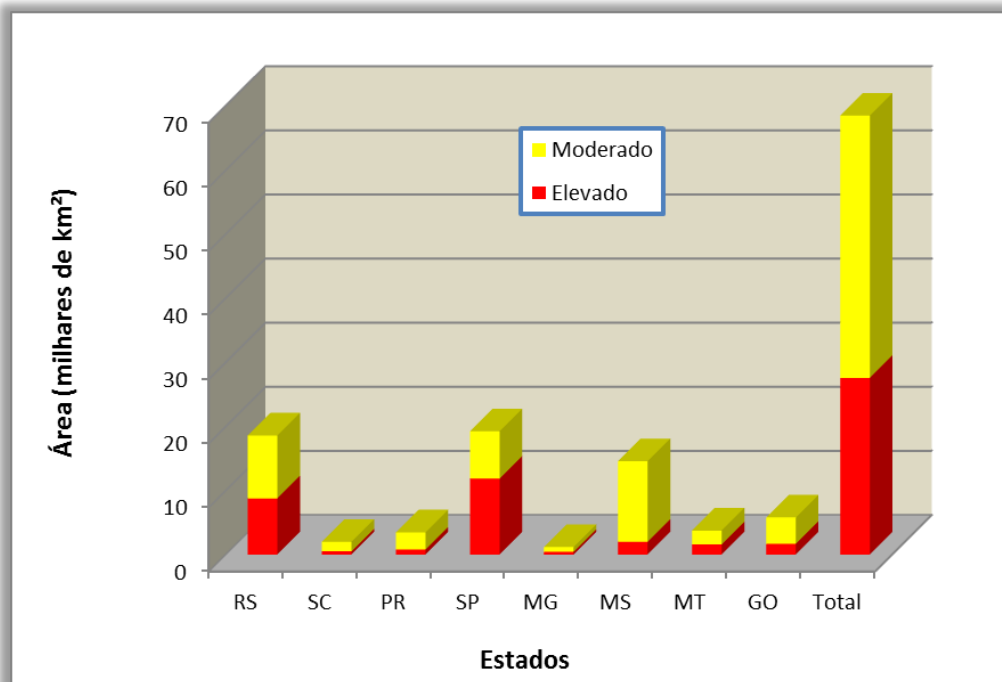


Figura 2.21 – Distribuição da classificação de áreas potenciais de contaminação por fontes difusas nos estados estudados

O Quadro 2.7 apresenta uma síntese dos dados de uso e ocupação da terra nos estados, classificados segundo o potencial de contaminação por fontes difusas (Gomes, 2008). O referido quadro mostra que, em decorrência dos tipos de uso da terra praticados em áreas de afloramento do SAG, mais de 60% delas apresentam potencial moderado para geração de carga contaminante no subsolo. Observa-se, também, que nenhuma área foi classificada como de potencial reduzido.

QUADRO 2.7 – SÍNTESE DA CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA POR ESTADO, EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG

Estado	Classe	Elevado	Moderado	Reduzido	Total (km ²)
		(área km ²)	(área km ²)	(área km ²)	
RIO GRANDE DO SUL	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
	TOTAL (RS)	5.486,3	6.482,4	-	11.968,7
SANTA CATARINA	Culturas Anuais	124,5	-	-	124,5
	Culturas Anuais - Arroz	6,3	-	-	6,3
	Pastagens	-	244,6	-	244,6
	Silvicultura	-	272,6	-	272,6
	TOTAL (SC)	130,8	517,2	-	648,0
PARANÁ	Culturas Anuais	280,8	-	-	280,8
	Pastagens	-	746,3	-	746,3
	Silvicultura	-	49,4	-	49,4
	TOTAL (PR)	281,0	797,9	-	1.076,5
SÃO PAULO	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
	TOTAL (SP)	7.746,1	5.437,9	-	13.184,0
MINAS GERAIS	Culturas Anuais	84,0	-	-	84,0
	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
	TOTAL (MG)	166,2	328,7	-	494,9
MATO GROSSO DO SUL	Culturas Anuais	1.681,7	-	-	1.681,7
	Culturas Anuais - Soja	27,7	-	-	27,7
	Pastagens	-	11.026,0	-	11.026,0
	TOTAL (MS)	1.709,4	11.026,0	-	12.735,4
MATO GROSSO	Culturas Anuais	502,0	-	-	502,0
	Culturas Anuais - Soja	541,8	-	-	541,8
	Pastagens	-	1.987,8	-	1.987,8
	TOTAL (MT)	1.043,8	1.987,8	-	3.031,6
GOIÁS	Culturas Anuais	763,1	-	-	763,1
	Culturas Anuais - Soja	108,4	-	-	108,4
	Pastagens	-	3.693,8	-	3.693,8
	TOTAL (GO)	871,5	3.693,8	-	4.565,3

2.5 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 compreendeu 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. As coletas foram feitas em duas campanhas, a primeira realizada nos meses de julho a setembro de 2013 (203 pontos) e a segunda nos meses de janeiro a março de 2014 (205 pontos). Foram analisados parâmetros hidroquímicos, hidrocarbonetos, fenóis, agroquímicos, metais pesados, isótopos de oxigênio e hidrogênio e bacteriológicos (Quadro 2.8). As análises hidroquímicas foram repetidas nas duas campanhas, e as demais foram realizadas apenas na segunda campanha (Figuras 2.22e 2.23). O Quadro 2.9 lista os tipos de análise e parâmetros quantificados no estudo.

QUADRO 2.8 – 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
Total		203	0	0	0	0	0
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	2	3
	GO	34	6	5	6	1	1
Total		205	60	46	60	35	40

QUADRO 2.9 – TIPOS DE ANÁLISES E PARÂMETROS QUANTIFICADOS

Parâmetros de análise	
Tipo	Parâmetros
Hidroquímicas	Temperatura, condutividade elétrica, pH, Eh, cor, turbidez, dureza, STD
	Sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro e manganês
	Cloreto, sulfato, fluoreto, carbonato e bicarbonato
	Amônia, nitrito e nitrato
Derivados de petróleo	Btex, fenóis
Metais pesados	Bário, Níquel, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Arsênio, Estrôncio e Zinco
Isótopos	Oxigênio (¹⁸ O), Deutério (² H), Trítio (³ H) e Estrôncio (⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr)
Agroquímicos	Grupo 1 (Glifosato), Grupo 2 (2,4-D; Atrazina), Grupo 3 (Metamidofós; Carbendazim), Grupo 4 (Acefato) e Grupo 5 (Cipermetrina)
Bacteriológicas	Coliformes fecais e totais

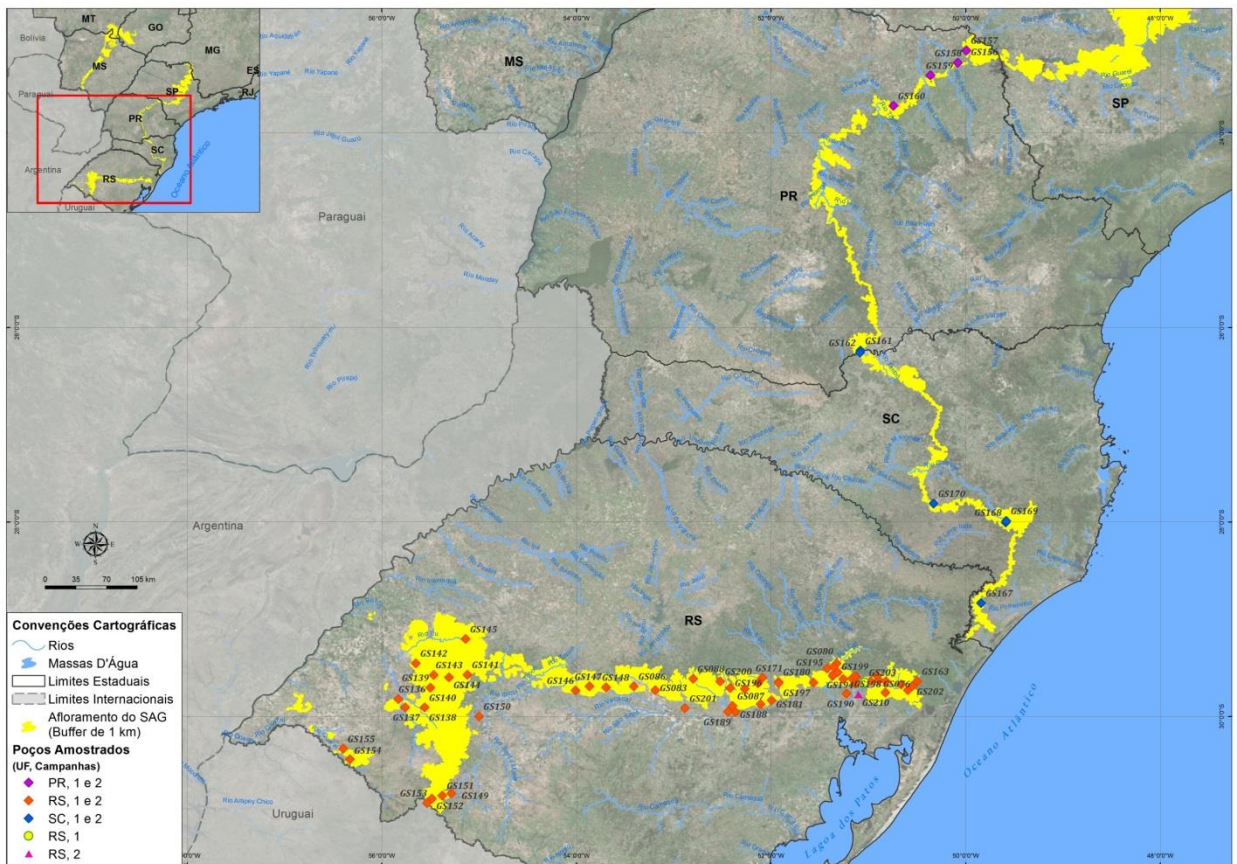
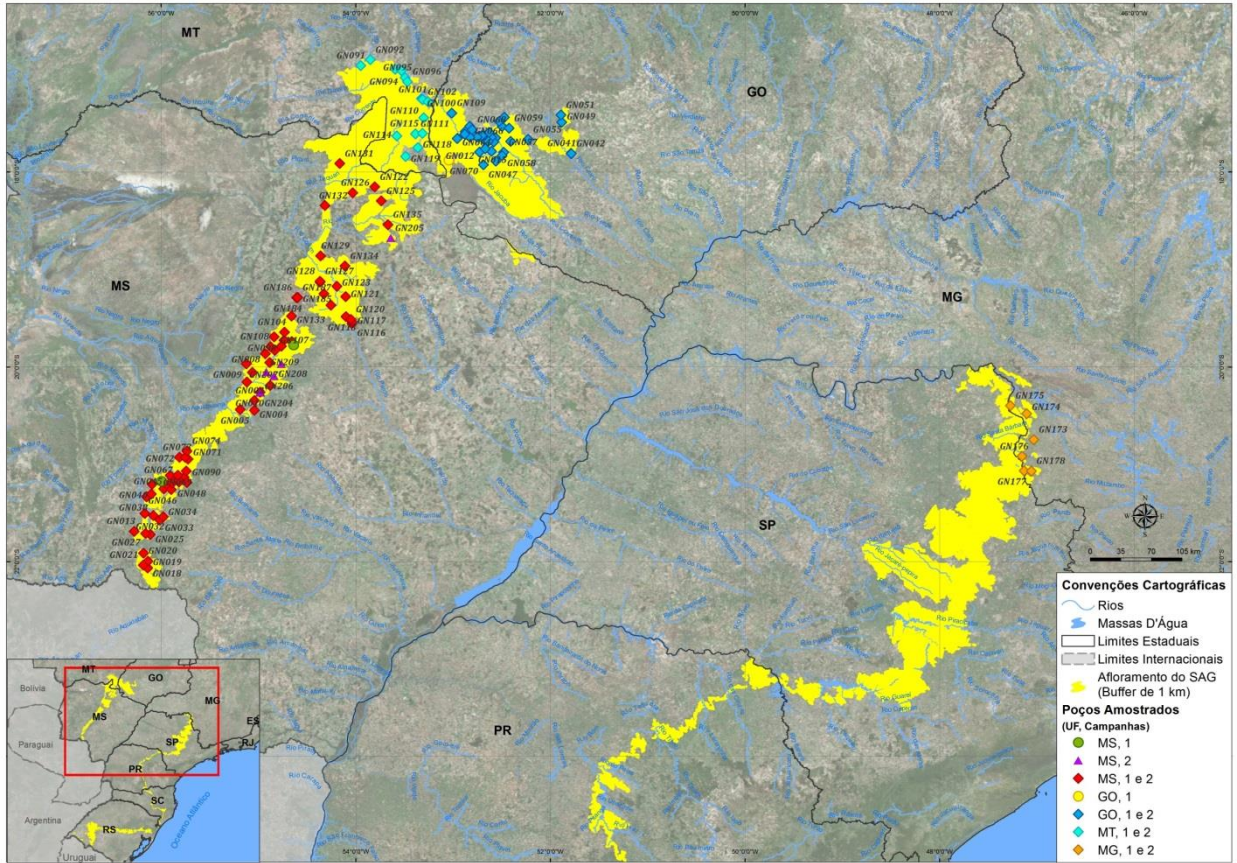


Figura 2.22 – Mapa de localização dos pontos de coleta de amostras para análises hidroquímicas

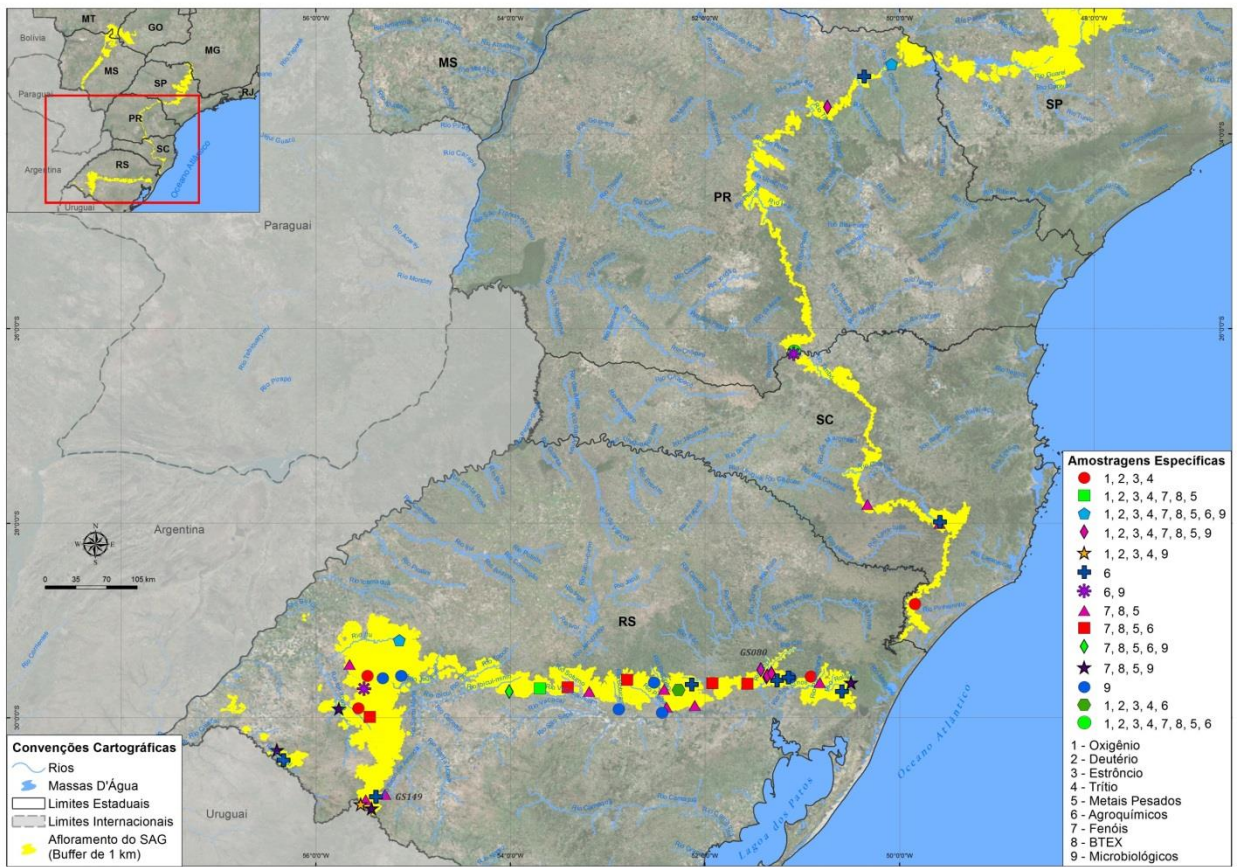
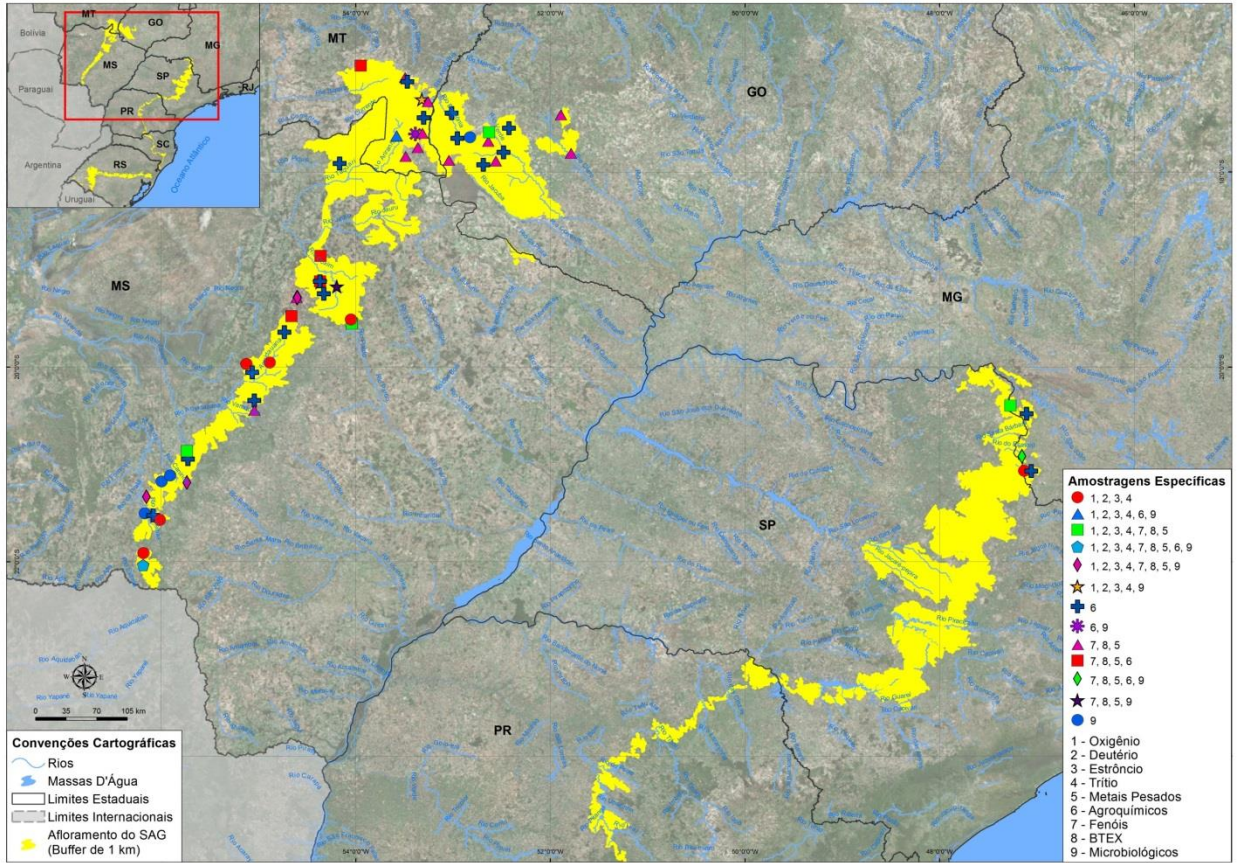


Figura 2.23 – Mapa de localização dos pontos de coleta de amostras para análises específicas

As águas subterrâneas das áreas de afloramento do SAG nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais (região norte), Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (região sul) foram classificadas, predominantemente, como bicarbonatadas cálcicas. Águas bicarbonatadas sódicas ocorrem subordinadamente, mas de modo mais expressivo na região norte. Águas sulfatadas cálcicas e cloretadas sódicas ocorrem em menores proporções, porém são mais expressivas no compartimento sul do SAG (Quadro 2.10). No geral, as águas do compartimento norte são relativamente menos salinas ($\approx 27 \mu\text{S}/\text{cm}$) do que no compartimento sul ($\approx 220 \mu\text{S}/\text{cm}$).

QUADRO 2.10 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS TIPOS HIDROQUÍMICOS DO SAG, POR ESTADO, NAS DUAS CAMPANHAS DE AMOSTRAGEM

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	20,0	10,0	3,3
	SC	66,6	16,7	0,0	16,7
	PR	80,0	0,0	0,0	20,0
	MG	66,6	16,7	0,0	16,7
	MS	61,3	38,7	0,0	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	71,0	19,0	6,7	3,3
	SC	50,0	33,0	0,0	17,0
	PR	60,0	0,0	20,0	20,0
	MG	66,6	16,7	0,0	16,7
	MS	62,0	36,7	0,0	1,3
	MT	50,0	31,2	18,8	0,0
	GO	50,0	44,0	3,0	3,0

Na região norte 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.

Na região 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 da região norte. 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.

Um resumo de dados estatísticos dos principais parâmetros analisados nas regiões norte e sul é apresentado no Quadro 2.11.

QUADRO 2.11 – DADOS ESTATÍSTICOS DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE AMOSTRAS DE ÁGUA DO SAG DAS REGIÕES NORTE E SUL, NAS DUAS CAMPANHAS DE AMOSTRAGEM

Parâmetro	Unidade	Compartimento Noroeste						Parâmetro	Unidade	Compartimento Sul					
		Campanha 1			Campanha 2					Campanha 1			Campanha 2		
		Máximo	Mínimo	Mediana	Máximo	Mínimo	Mediana			Máximo	Mínimo	Mediana	Máximo	Mínimo	Mediana
Temp	°C	25	25	25	25	25	25	Temp	°C	25	25	25	25	25	25
pH		8,64	4,01	6	8,94	4,1	6	pH		9,03	5,43	7	9,2	4,7	7
CE	µS / cm	844	1,57	26	806	2,75	28	CE	µS / cm	1940	17	200	1791	20,3	222
HCO ³⁻	mg/L	395	0	10	393	0	10	HCO ³⁻	mg/L	388	1,51	93	420	0	97
CO ³⁻		17	0	0	25,4	0	0	CO ³⁻		26,5	0	0	35,7	0	0
F		0,36	0	0	1,76	0	0	F		2,81	0	0	2,79	0,015	0
Cl		60,6	0	0	52,8	0	0	Cl		226	0,36	5	202	0,56	5
NO ²⁻		0,46	0	0	0,37	0	0	NO ²⁻		0,81	0	0	0,67	0	0
NO ³⁻		113	0	0	124	0	0	NO ³⁻		83,2	0	3	60,2	0	3
SO ⁴⁻		181	0	0	132	0	0	SO ⁴⁻		444	0	2	395	0,072	2
Na		90,7	0,033	1	100	0,06	1	Na		448	0	13	448	0,64	14
K		10	0	2	9,95	0	3	K		6,87	0	1	6,78	0	1
Ca		91,4	0	1	74,3	0,024	1	Ca		97,9	0,62	13	96,1	0,56	14
Fe		1,47	0	0	0,88	0	0	Fe		0,5	0	0	0,8	0	0
Mg		24,6	0,007	1	20,4	0,006	1	Mg		24,6	0,026	3	28,5	0,025	3
Mn		1,62	0	0	2,94	0	0	Mn		0,64	0	0	0,79	0	0
NH ³		6,284	0	0	9,489	0	0	NH ³		4,146	0	0	3,959	0	0
SiO ₂	66,085	2,566	21	57,103	1,968	17	SiO ₂	76,779	8,02	34	72,715	6,715	33		

Dentre os 210 poços amostrados, em 28 deles foram constatados teores de flúor, sulfato, nitrato, sódio, alumínio, ferro e manganês acima do máximo permitido pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Teores de nitrato elevados, acompanhados de cloreto, podem estar relacionados à contaminação antrópica (Quadro 2.12).

QUADRO 2.12 – AMOSTRAS COM ELEMENTOS COM TEORES ACIMA DO VALOR MÁXIMO PERMITIDO PELA PORTARIA Nº 2.914/2011 DO MS

Amostras com elemento com teores (mg/L) acima do Valor Máximo Permitido (Portaria nº 2.914/MS)											
	Nº Unesp	Estado	Município	F ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	Al ⁺³	Fe ⁺²	Mn ⁺²	
P r i m e i r a	GN035	CO	Mineiros	< 0,010	< 0,020	0	0,34	0,36	0	0,001	
	GN047	CO	Mineiros	< 0,010	0,044	0	0,045	< 0,005	1,47	0,064	
	GN050	MS	Nioaque	0,21	1,61	102	32,8	< 0,005	< 0,005	< 0,001	
	GN052	MS	Nioaque	0,02	0,084	0	1,43	< 0,005	< 0,005	0,11	
	GS086	RS	Restinga Seca	1,8	109	< 0,040	197	< 0,005	0,02	0,001	
	GN100	MT	Alto Araguaia	0,087	0,27	113	10,7	4,03	0,03	1,62	
	GN111	MT	Alto Araguaia	0,011	0,047	9,23	0,22	0,18	0,01	0,13	
	GN114	MT	Alto Araguaia	0,013	0,22	47,3	1,74	0,15	0,01	0,25	
	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	83,2	4,08	0,13	0,02	0,1	
C a m p a n h a	GS146	RS	Santa Maria	0,05	0,29	58,1	6,86	0,007	< 0,005	0,054	
	GS148	RS	Santa Maria	2,01	444	< 0,040	448	< 0,005	< 0,005	< 0,001	
	GS153	RS	Santana do Livramento	0,059	18,2	51,2	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	0,50	0,64	
	GS172	RS	Venâncio Aires	2,81	52,3	< 0,040	138	< 0,005	< 0,005	< 0,001	
	GS180	RS	Bom Retiro do Sul	2,81	49,7	< 0,040	97,9	< 0,005	< 0,005	< 0,001	
	GS197	RS	Venâncio Aires	2,31	104	< 0,040	141	< 0,005	< 0,005	< 0,001	
	GN206	CO	Mineiros	1,76	4,32	0	11	0	0	0	
	GN050	MS	Nioaque	0,23	1,79	45,6	38,3	0	0	0,004	
S e g u n d a	GN052	MS	Nioaque	0,036	0	15,7	4,01	0	0,01	0,17	
	GS086	RS	Restinga Seca	2,03	128	0	225	0	0,02	0	
	GN100	MT	Alto Araguaia	0,08	0	124	6,23	4,05	0,04	2,94	
	GN101	MT	Alto Araguaia	0	0	0,5	0,16	0	0,07	0,16	
	GN111	MT	Alto Araguaia	0	0	8,8	0,2	0,16	0,00	0,13	
	GN114	MT	Alto Araguaia	0	0,19	32,7	1,12	0,056	0,02	0,15	
	GS146	RS	Santa Maria	0,043	0,26	60,2	7,54	0	0,01	0,064	
	GS148	RS	Santa Maria	1,94	395	0	448	0	0,01	0,006	
	GS153	RS	Santana do Livramento	0,053	18,2	52,3	17,2	0	0,12	0,004	
	GS169	SC	Urubici	0,23	4,87	0	38,7	0	0,80	0,79	
C a m p a n h a	GS172	RS	Venâncio Aires	2,79	52,9	0	159	0	0,01	0	
	GS180	RS	Bom Retiro do Sul	2,64	50,1	0	107	0	0,01	0	
	GS197	RS	Venâncio Aires	2,22	93	0	153	0	0,01	0	
	GN206	MS	Terenos	0,011	0	0	0,91	0	0,88	0,057	
	Valor Máximo Permitido Portaria nº 2.914/11 do MS				1,5	250	44	200	0,2	0,30	0,1

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

Análises microbiológicas (Figura 2.24) apresentaram resultados positivos para coliformes totais em metade dos poços amostrados e para coliformes fecais em apenas 3 amostras. Os poços amostrados localizam-se, em sua maioria, na zona rural e sua contaminação está relacionada à falta de proteção sanitária adequada.



Figura 2.24 – Amostragem microbiológica em poço no Mato Grosso do Sul

Análises de agroquímicos apresentaram resultados 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.

As análises de isótopos estáveis de oxigênio (^{18}O) e de hidrogênio (Deutério) confirmaram a origem meteórica das águas do SAG aflorante. A proporção relativamente maior de isótopos pesados nas águas da região sul sugere condições climáticas mais secas, comparativamente com a região norte.

As análises de isótopos estáveis de estrôncio mostraram que as águas do SAG apresentam grande variação na concentração de estrôncio 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.

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.

2.6 INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA EM SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)

A investigação geofísica de superfície realizada na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS) utilizou as técnicas de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e de Imageamento Elétrico 2D (IE2D) com objetivo de melhorar o entendimento do modelo hidrogeológico da área, em especial a influência da cobertura cenozoica e da vulnerabilidade do SAG.

Os resultados geofísicos mostraram a existência de camada de elevada resistividade na base da maioria das sondagens elétricas verticais. A interpretação dos resultados demonstrou que a configuração desta superfície se mostrava inconsistente com o arcabouço estrutural delineado nos levantamentos geológicos. Adicionalmente, esta camada resistiva aparece seccionando diferentes unidades estratigráficas, em diferentes níveis, levando a concluir que sejam corpos de diabásio intercalados nos sedimentos, situação extremamente comum observada em poços de petróleo na Bacia Geológica do Paraná.

Os resultados geofísicos não permitiram distinguir a superfície basal do SAG, constituída normalmente pela Formação Estrada Nova. A Formação Estrada Nova foi identificada e mapeada em apenas alguns afloramentos na região ocidental da chapada de São Gabriel do Oeste, não sendo observada nos limites das escarpas, a leste, que delimitam a cobertura cenozoica sobrejacente às unidades geológicas mais antigas. Tampouco, nenhum poço localizado na área piloto registrou a ocorrência da Formação Estrada Nova, em subsuperfície. Esta situação sugere que essa unidade mergulha levemente, a partir do bordo oeste do chapadão, em direção ao eixo da bacia, assim como as demais unidades paleozoicas e mesozoicas que ocorrem na área, corroborando o padrão de mergulho regional das unidades estratigráficas da Bacia Geológica do Paraná (Figura 2.25).

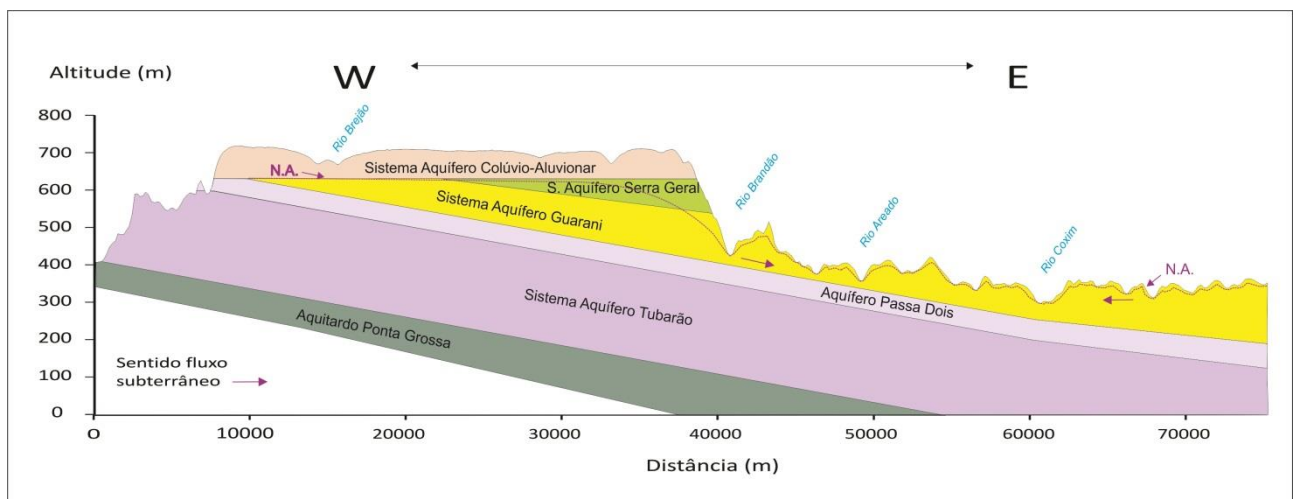


Figura 2.25 – Seção hidrogeológica esquemática W-E mostrando uma das hipóteses para explicar o arcabouço estrutural da área do piloto de São Gabriel do Oeste

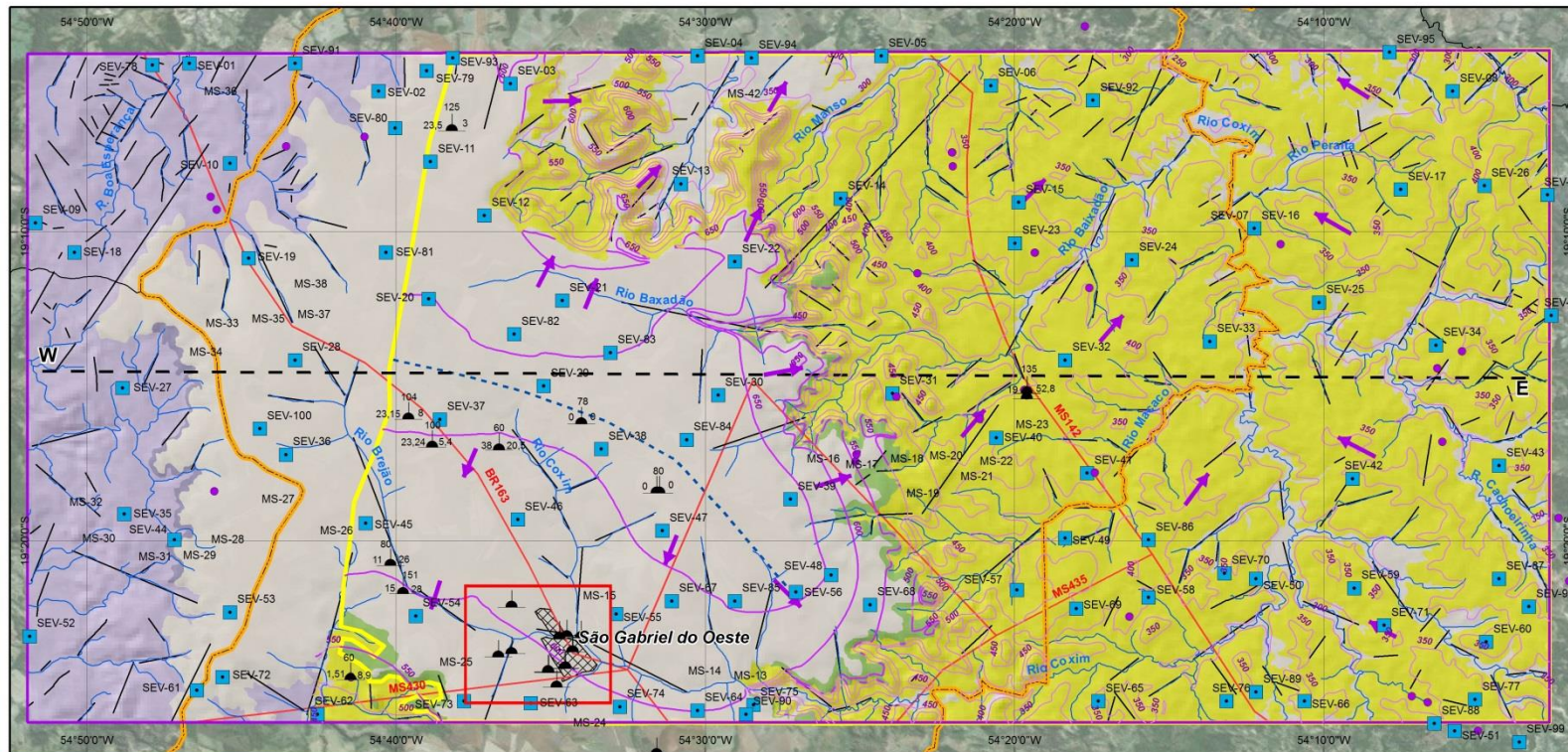
Os resultados dos estudos sugerem que a cobertura cenozoica da chapada de São Gabriel do Oeste estende-se em discordância angular e erosiva (desconformidade) sobre rochas mais antigas, cuja idade aumenta progressivamente no sentido de leste para oeste. Assim é que, no bordo leste, os sedimentos cenozoicos assentam-se sobre os basaltos da Formação Serra Geral

e, na medida em que se avança para oeste, estes sedimentos recobrem sucessivamente as formações Botucatu, Pirambóia, Estrada Nova e Aquidauana (Figura 2.25).

As rochas basálticas que capeiam a Formação Botucatu, reunidas na Formação Serra Geral, afloram em estreita faixa margeando o bordo leste da chapada de São Gabriel. Sob a cobertura cenozoica, essas rochas têm sua espessura diminuída gradativamente, até a completa ausência, em direção ao limite oeste da chapada (Figura 2.25). Sua espessura na área piloto não ultrapassa 50 metros, mas em direção às porções meridionais mostra tendência de espessamento. Dados de poços profundos sugerem que a Formação Serra Geral interdigita-se com sedimentos do topo da Formação Botucatu, fazendo com que possam coexistir, lado a lado, poços que atravessaram e poços que não atravessaram rochas basálticas.

Os limites ocidentais do SAG encontram-se ocultos sob a cobertura cenozoica. À luz dos dados geológicos e geofísicos obtidos durante as pesquisas realizadas na área piloto, esses limites não puderam ser claramente definidos e, portanto, representam apenas uma aproximação dessa fronteira, baseada no arcabouço estrutural da área e no conhecimento implícito da geologia da Bacia do Paraná. A espessura do SAG também não pode ser determinada com base nos dados geofísicos e de poços.

Para a porção localizada sob a cobertura cenozoica e basáltica, o aquífero assume um caráter semiconfinado ou confinado drenante clássico. Neste caso, o caráter semiconfinante é evidenciado pela existência de um substrato impermeável, representado pela formação Estrada Nova ou corpos intrusivos de diabásio, e de uma capa superior com baixa permeabilidade, não totalmente confinante, representada pelos arenitos argilosos, argilitos, lamitos das formações pós-SAG (Figura 2.25). Os dados de níveis estáticos de poços perfurados na chapada, que captam água do SAG, mostram profundidades situadas acima do topo do aquífero. Por outro lado, níveis estáticos de poços rasos perfurados em sedimentos cenozoicos indicam cargas hidráulicas ligeiramente superiores às registradas no SAG, levando a concluir que ocorre fluxo descendente do aquífero cenozoico através de camadas de baixa permeabilidade. A drenança realimenta o SAG e condiciona a potenciométrica, que apresenta carga hidráulica maior na zona de semiconfinamento do que na zona livre do aquífero (Figura 2.26).



Detalhe nas proximidades de São Gabriel do Oeste

Convenções cartográficas

- Rios
- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sede - São Gabriel do Oeste
- Limites Municipais
- Município de São Gabriel do Oeste
- Área-piloto no MS
- Limite inferido do SAG

Geofísica

- SEVs executadas
- Poços Preexistentes Validados
- Poços Siagas
- Seção hidrogeológica
- Divisor subterrâneo
- Direção de fluxo subterrâneo
- Lineamentos

Carga Hidráulica

- Carga Hidráulica
- Potenciometria semiconfinado

Hidrogeologia

- Sistema Aquífero Colúvio-Aluvionar
- Sistema Aquífero Serra Geral
- Sistema Aquífero Guarani
- Aquífero Passa Dois
- Sistema Aquífero Aquidauana



0 2,4 4,8 7,2 km
Escala Numérica = 1:240.000

Figura 2.26 – Mapa hidrogeológico do SAG aflorante na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS)

2.7 MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO

O mapa hidrogeológico do SAG aflorante foi elaborado com base no mapeamento geológico na escala 1:250.000, realizado no âmbito deste projeto, das áreas de afloramento distribuídas nos sete estados integrantes do projeto (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás), e na escala 1:50.000 nas áreas piloto de São Gabriel do Oeste (MS) e São Sebastião do Caí (RS). Para o estado de São Paulo não foi prevista a execução de mapeamento nas áreas de afloramento do SAG, uma vez que este estado já dispunha de estudo similar- o Diagnóstico Ambiental para Subsídio ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da área de Afloramento do SAG (SMA, 2010), desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas e coordenado pela Secretaria de Meio Ambiente deste estado.

O mapa hidrogeológico representa um conjunto de informações que compreende caracterização do sistema aquífero, suas variações e respectivas distribuições geográficas, parâmetros hidráulicos e de qualidade das águas, informações sobre poços, vazões exploráveis, potenciometria e definição de áreas de recarga e de descarga.

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. 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 (Quadro 2.13). 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.

QUADRO 2.13 – CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS DO SAG

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

O mapa hidrogeológico elaborado neste projeto mostra a distribuição espacial dessas unidades hidroestratigráficas reconhecidas nos diversos compartimentos do SAG e a distribuição da potenciometria (carga hidráulica) em sua área de afloramentos.

A potenciometria do SAG 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). Correlações altimetria versus cota do NA (nível de água) ou carga hidráulica mostraram bons ajustes matemáticos e permitiram obter uma equação linear onde a variável dependente é a carga hidráulica (Figura 2.27). Aplicada aos dados de altimetria do Modelo Digital de Terreno, tem-se como resultado o mapa de distribuição de carga hidráulica.

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.

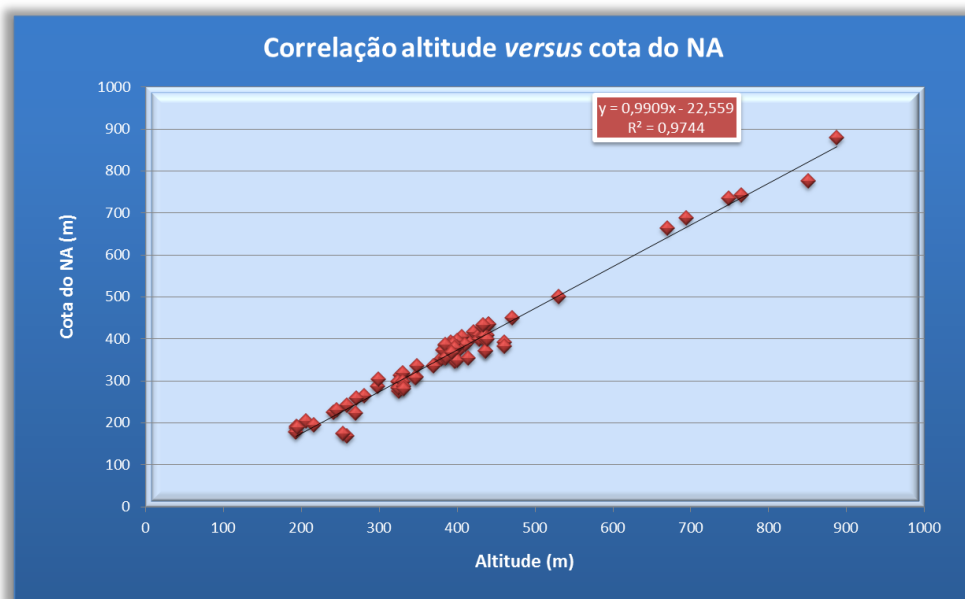


Figura 2.27 – Exemplo de correlação altitude versus cota do NA

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. Muitos estudos mostram que, em regiões úmidas, a superfície livre dos aquíferos (lençol freático) normalmente apresenta a mesma forma da superfície topográfica, 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 em 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.

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.

Seções hidrogeológicas de referência com indicação das direções de fluxo subterrâneo são apresentadas a seguir (Figuras 2.28 a 2.35) e os mapas hidrogeológicos do SAG aflorante de cada estado e das áreas piloto são apresentados no Anexo I.

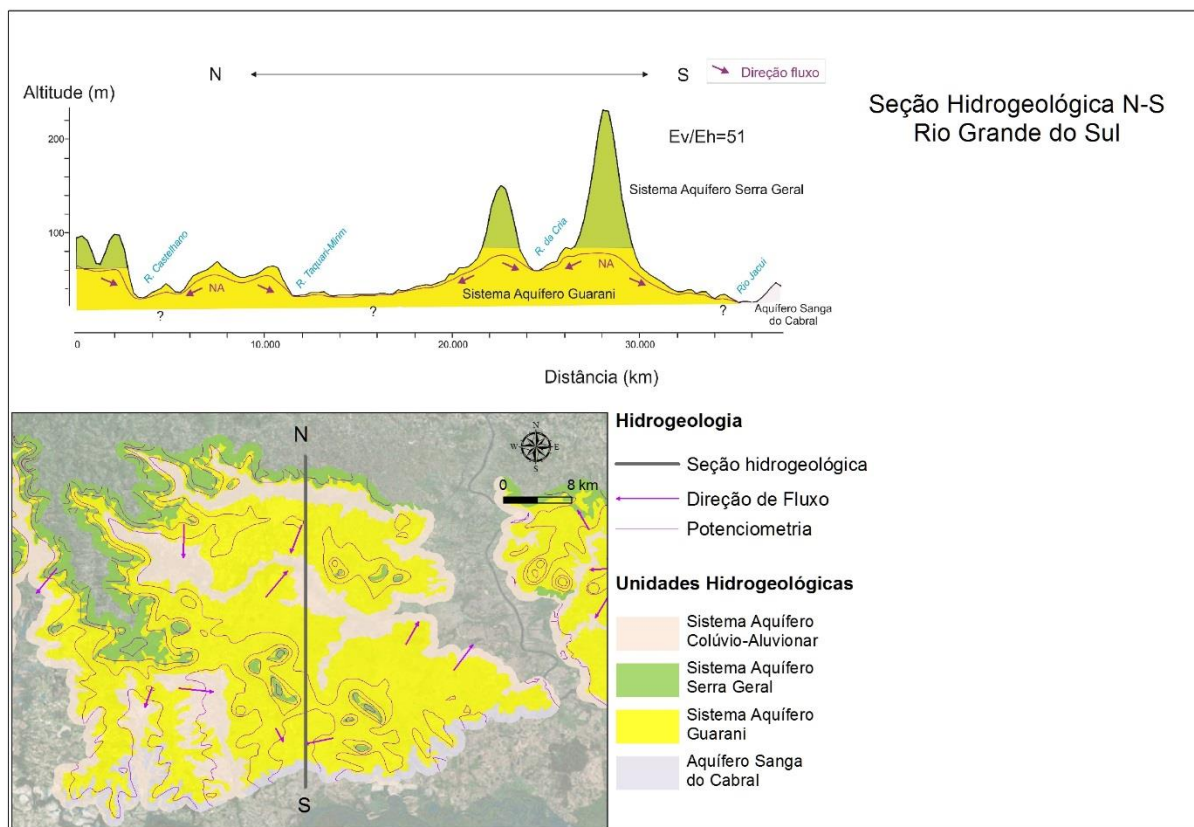


Figura 2.28 – Seção hidrogeológica N-S no Rio Grande do Sul

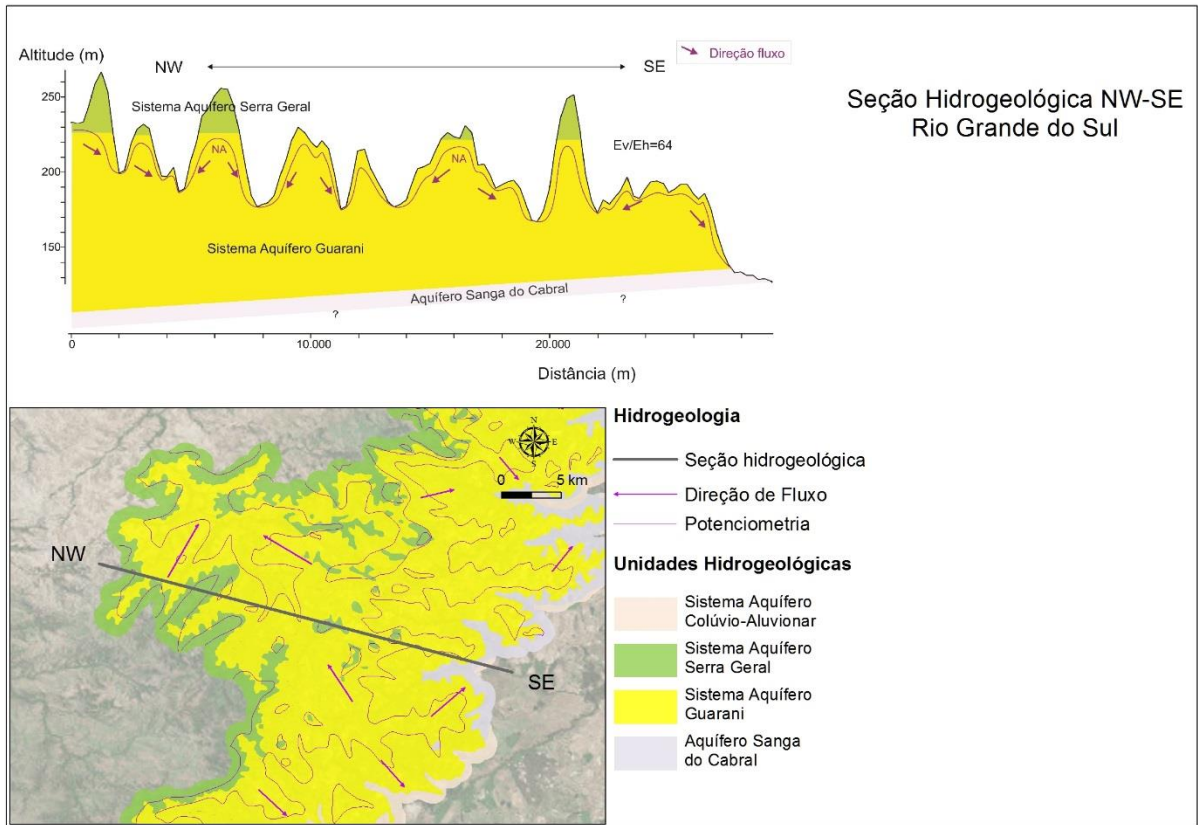


Figura 2.29 – Seção hidrogeológica NW-SE no Rio Grande do Sul

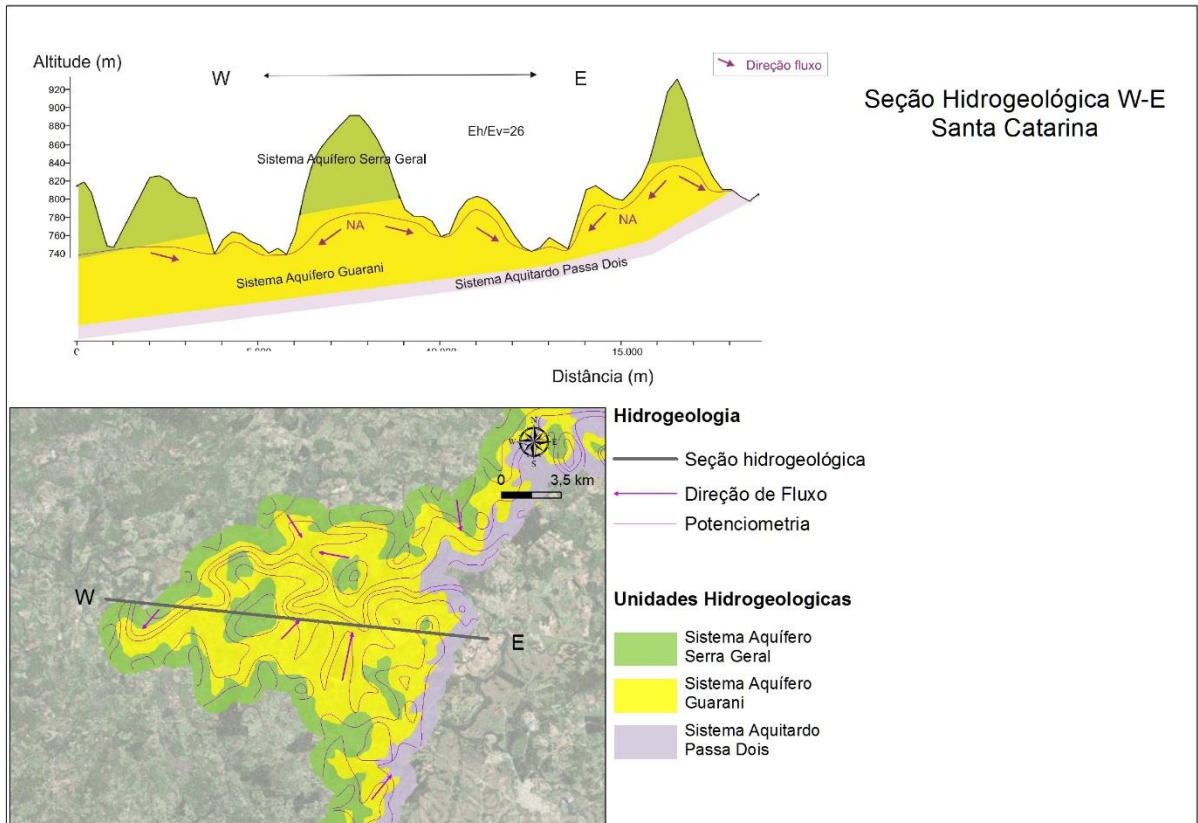


Figura 2.30 – Seção hidrogeológica W-E em Santa Catarina

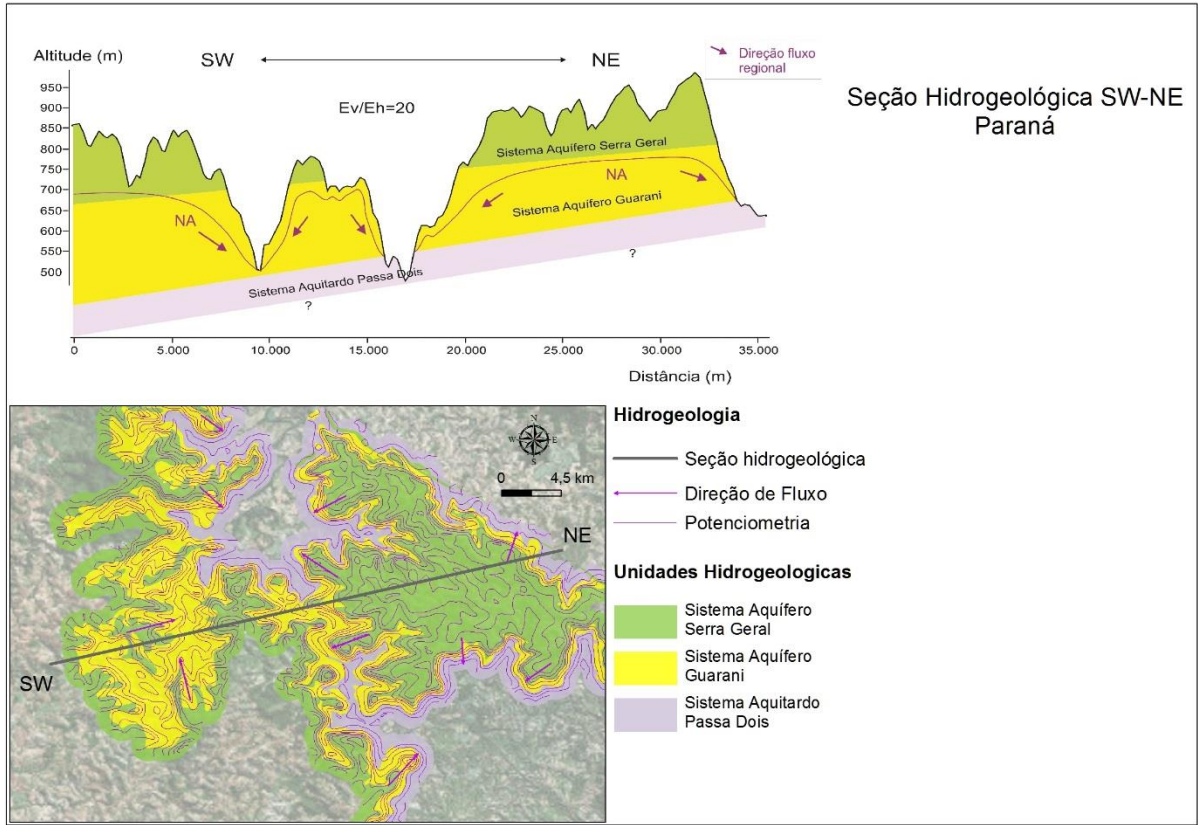


Figura 2.31 – Seção hidrogeológica SW-NE no Paraná

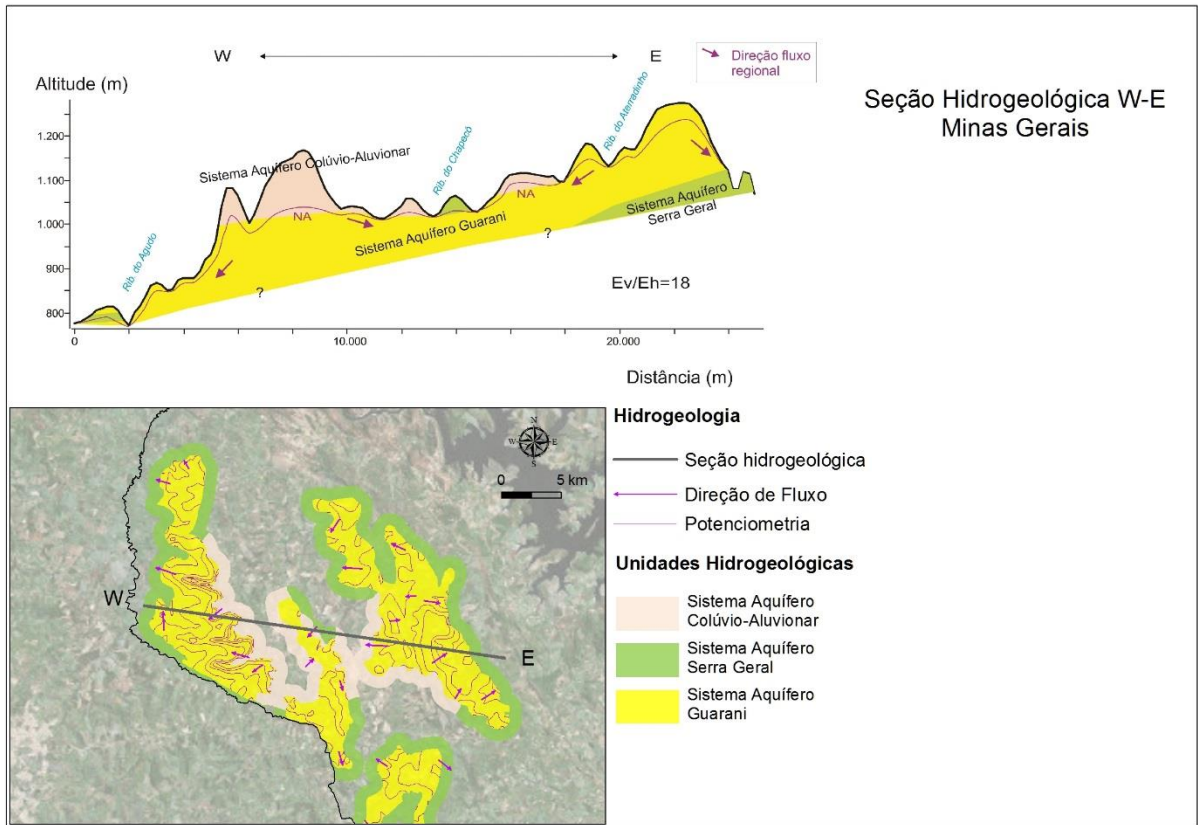


Figura 2.32 – Seção hidrogeológica W-E em Minas Gerais

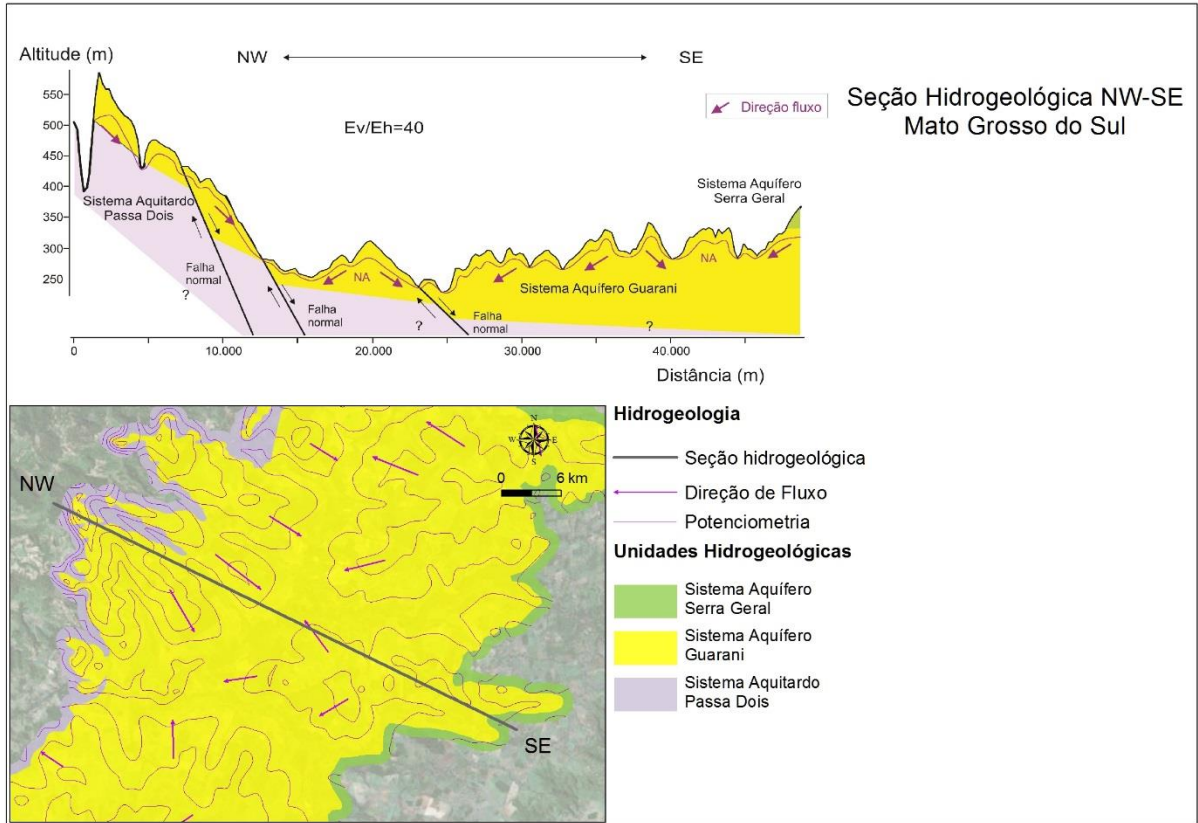


Figura 2.33 – Seção hidrogeológica NW-SE no Mato Grosso do Sul

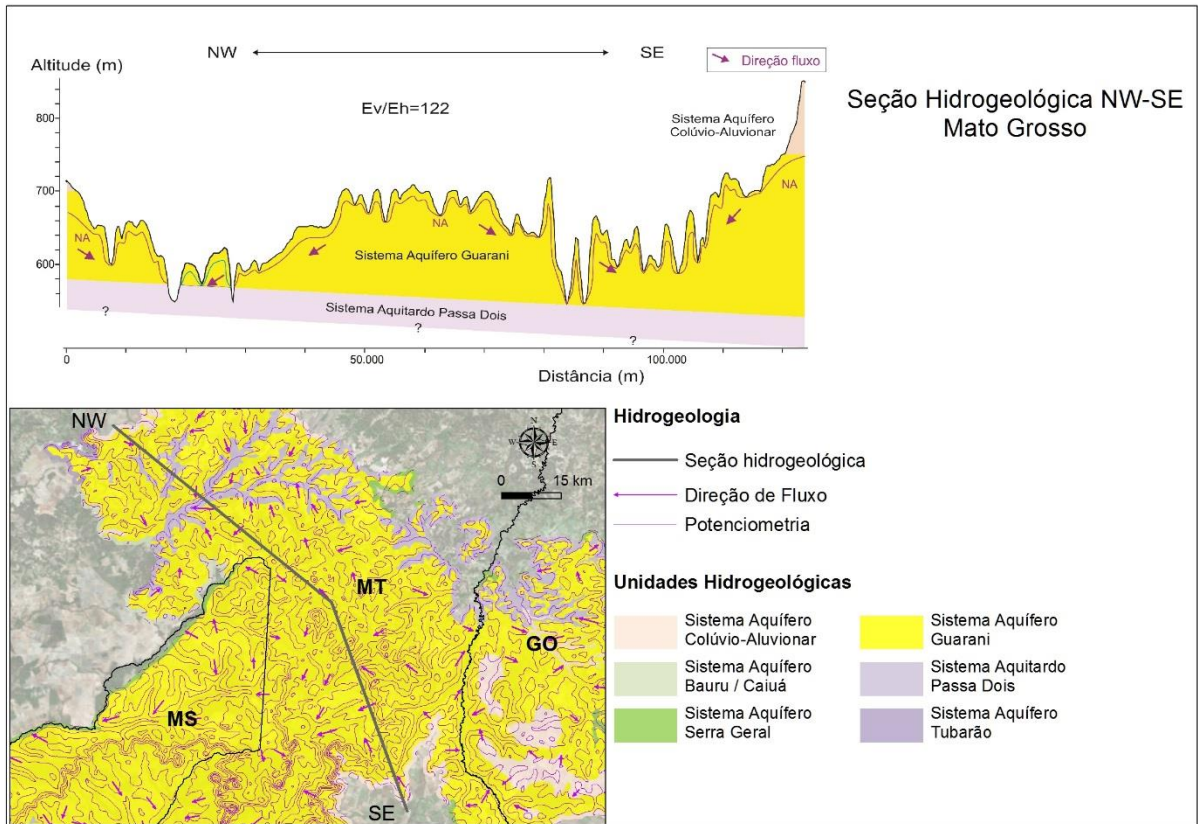


Figura 2.34 – Seção hidrogeológica NW-SE no Mato Grosso

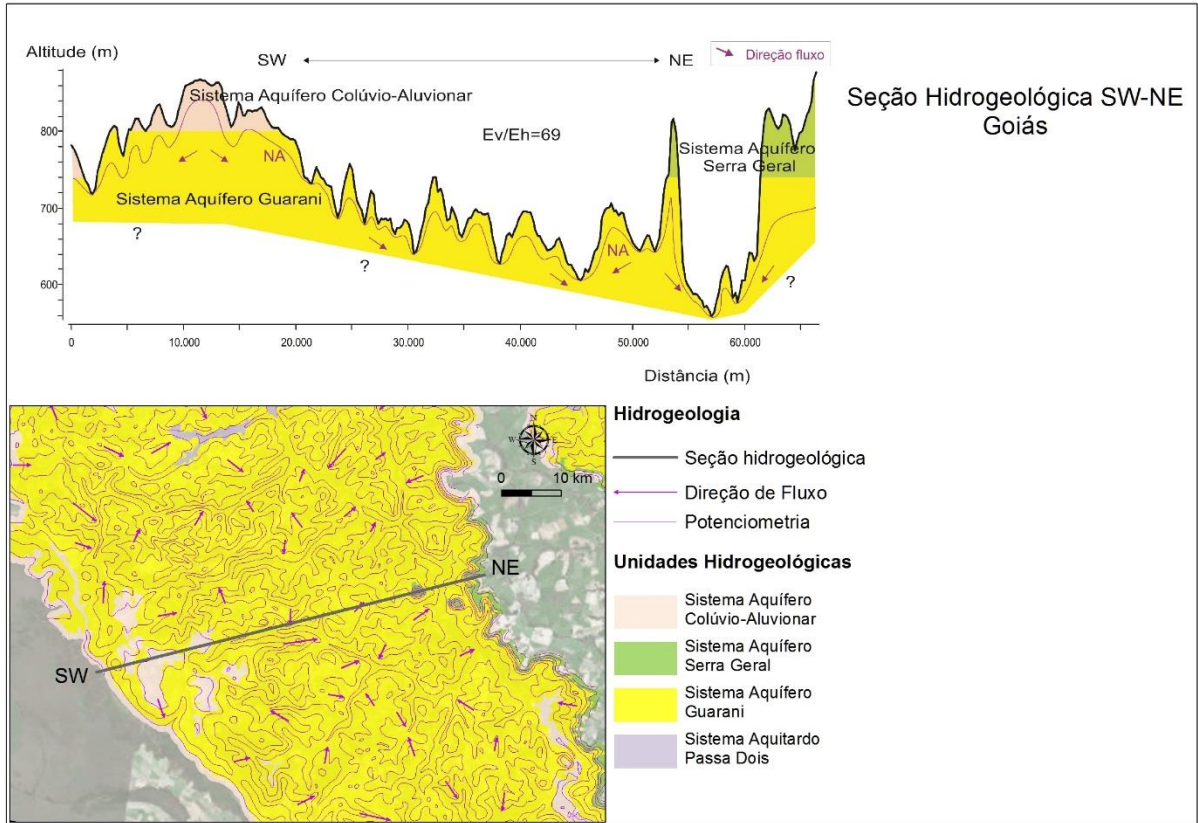


Figura 2.35 – Seção hidrogeológica SW-NE em Goiás

2.8 MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL DO SAG À CONTAMINAÇÃO

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). 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.

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 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*).

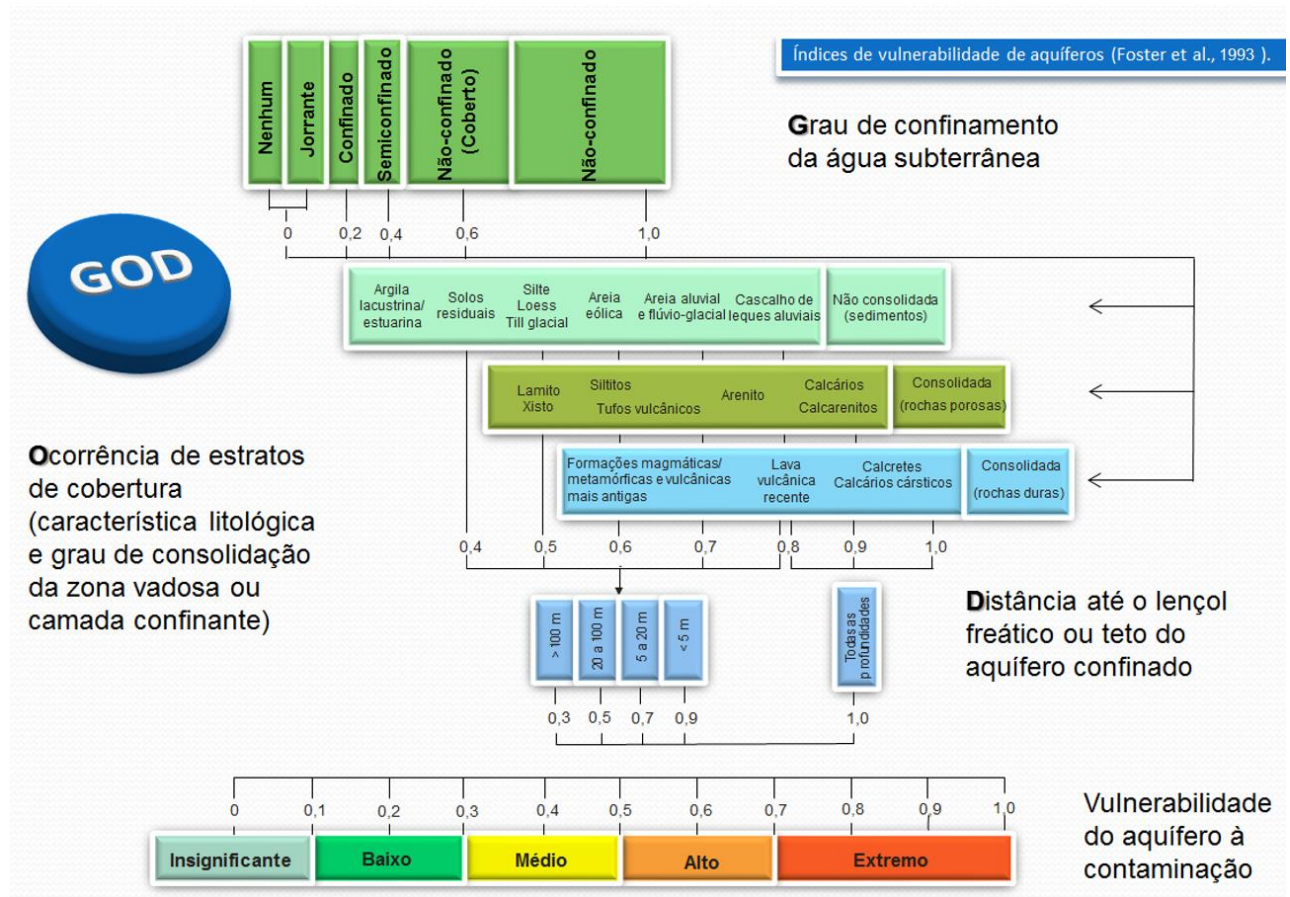


Figura 2.36 – Índices de vulnerabilidade de aquíferos (Foster et al., 1993)

O parâmetro modo de ocorrência da água subterrânea ou condição do aquífero foi assumido com o índice 0,9 para a condição de não-confinado, mesmo quando existia uma cobertura delgada de sedimentos terciários/quaternários arenosos, inconsolidados.

O parâmetro substrato litológico, representado pelas características das diferentes unidades litoestratigráficas componentes do SAG, foi estimado de acordo com os valores apresentados no Quadro 2.14, baseados em estudo publicado pelo IG (1997).

QUADRO 2.14 – ÍNDICES DO SUBSTRATO LITOLÓGICO PARA ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE PELO MÉTODO GOD

Índice do substrato litológico para estimativa da vulnerabilidade pelo método GOD		
Unidades	Características litológicas	Índice
Deposito Cenozóicos	Depósitos sedimentares com idade cenozoica	0,9
Botucatu	Depósitos de sistema eólico exibindo arenitos finos a médios, com estratificações cruzadas de grande porte.	0,8
Guará	Depósitos de sistema eólico úmido representados por arenitos finos com estratificação cruzada tangencial e plano-paralela.	0,7
Pirambóia	Depósitos de sistema eólico úmido associado a depósitos fluviais compostos de arenitos com estratificação cruzada a plano-paralela e intercalações de pelitos.	0,7
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.	0,3

O parâmetro profundidade de ocorrência do nível de água do aquífero, para o qual o método GOD estabelece quatro classes básicas (Figura 2.37), foi estimado a partir dos mapas potenciométrico e de Modelo Digital de Terreno.

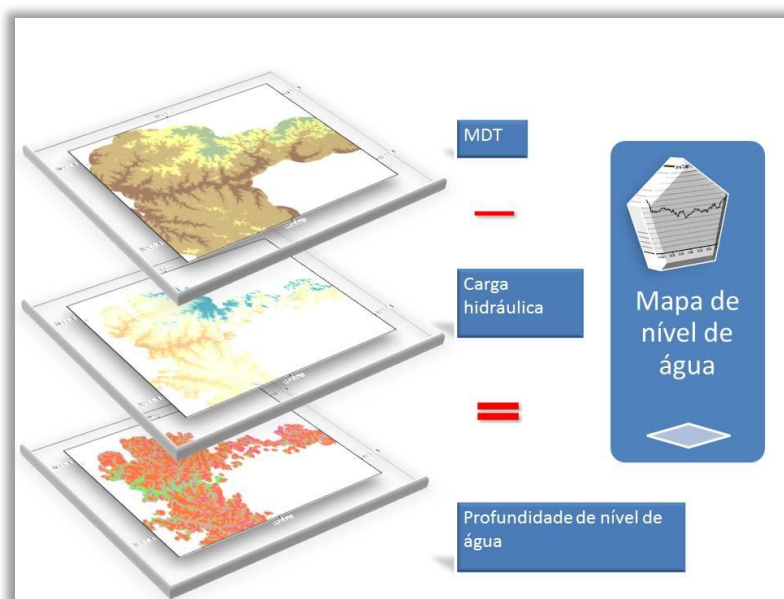


Figura 2.37 – Representação do método de determinação da profundidade do nível de água do SAG

A análise pelo método GOD determina que o índice de vulnerabilidade final seja dado pelo produto simples da avaliação dos três parâmetros envolvidos. Os resultados são agrupados em cinco classes principais de vulnerabilidade, variando entre insignificante, baixa, média, alta e extrema.

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. 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 de modo a minimizar os riscos de contaminação das águas subterrâneas.

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.

A classe de vulnerabilidade média, seguida da classe de vulnerabilidade alta, predomina em todos os estados abrangidos neste estudo (Quadro 2.15). Nos estados integrantes do compartimento sul do SAG (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná), a classe de vulnerabilidade média distribui-se por 50% da área, enquanto a classe de vulnerabilidade alta abrange menos de 28%. Nos estados do compartimento norte (Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás), a classe de vulnerabilidade média atinge 58%, enquanto a classe de vulnerabilidade alta distribui-se por 29% da área de afloramentos do SAG.

A classe de vulnerabilidade insignificante não foi identificada em nenhum dos estados e a classe de vulnerabilidade extrema destacou-se nos estados integrantes do SAG norte (Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás), distribuindo-se por 14% da área, enquanto nos estados integrantes do SAG sul, a classe de vulnerabilidade alta se destaca apenas no estado do Rio Grande do Sul (8,5%), apresentando menor representatividade nos demais estados (Quadro 2.15).

Os mapas de vulnerabilidade dos estados e das áreas piloto são apresentados nas Figuras 2.38 a 2.46.

QUADRO 2.15 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE VULNERABILIDADE NATURAL DO SAG POR ESTADO

<i>Vulnerabilidade GOD</i>			
Estado	Classes	Área (km ²)	% do total
RS	Insignificante	0,0	0,0%
	Baixa	2.868,0	16,6%
	Média	8.015,0	46,3%
	Alta	4.957,0	28,6%
	Extrema	1.475,0	8,5%
SC	Insignificante	0,0	0,0%
	Baixa	20,0	1,3%
	Média	1.132,0	74,9%
	Alta	274,0	18,1%
	Extrema	86,0	5,7%
PR	Insignificante	0,0	0,0%
	Baixa	12,0	0,8%
	Média	1.011,0	68,6%
	Alta	420,0	28,5%
	Extrema	31,0	2,1%
MG	Insignificante	0,0	0,0%
	Baixa	0,0	0,0%
	Média	620,0	89,0%
	Alta	68,0	9,8%
	Extrema	8,0	1,2%
MS	Insignificante	0,0	0,0%
	Baixa	8,0	0,0%
	Média	10.446,0	55,4%
	Alta	5.739,0	30,4%
	Extrema	2.675,0	14,2%
MT	Insignificante	0,0	0,0%
	Baixa	14,0	0,2%
	Média	3.752,0	58,2%
	Alta	1.807,0	28,0%
	Extrema	871,0	13,6%
GO	Insignificante	0,0	0,0%
	Baixa	0,0	0,0%
	Média	6.083,0	61,8%
	Alta	2.556,0	26,0%
	Extrema	1.200,0	12,2%

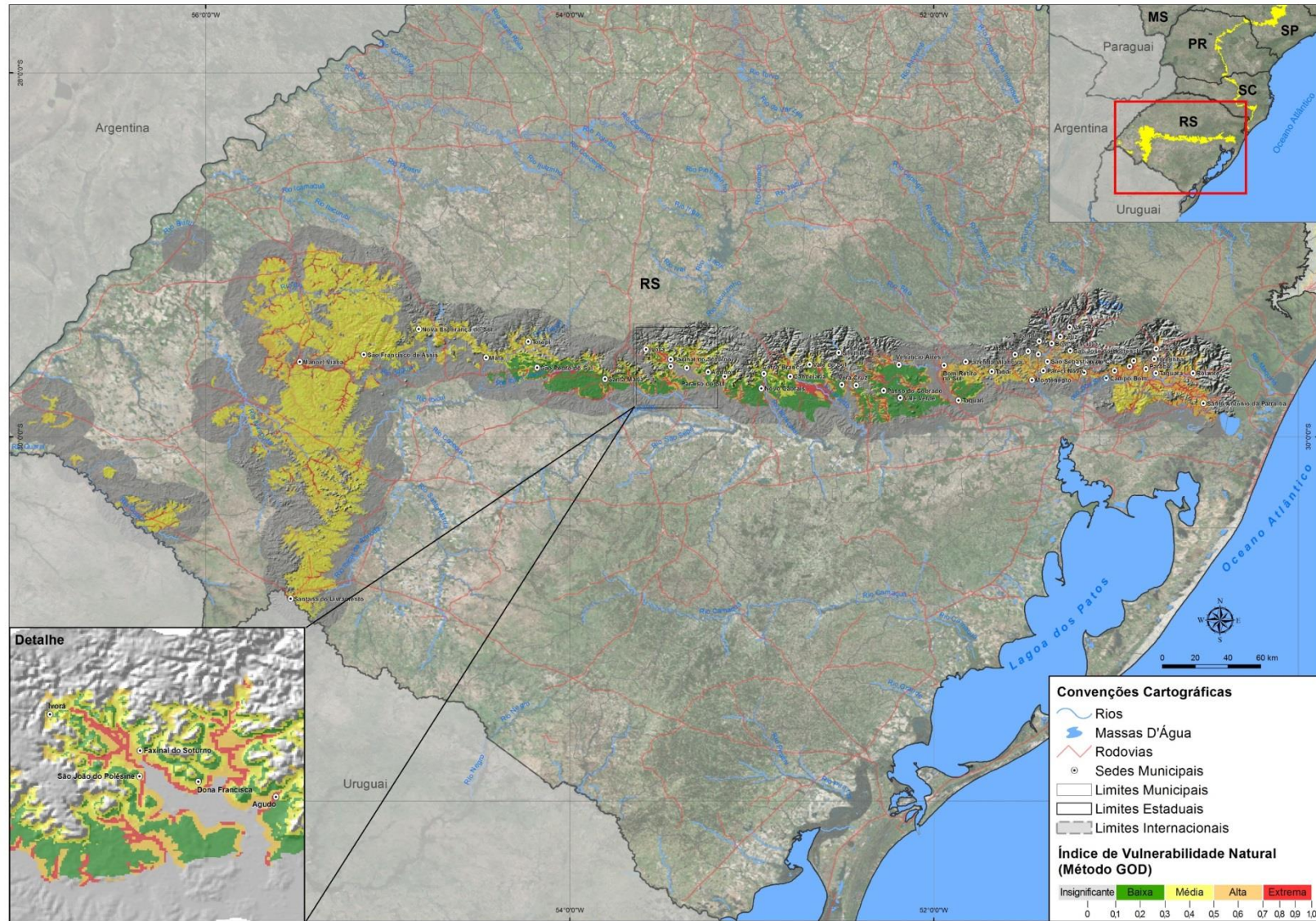


Figura 2.38 – Mapa de vulnerabilidade do SAG aflorante no estado do Rio Grande do Sul

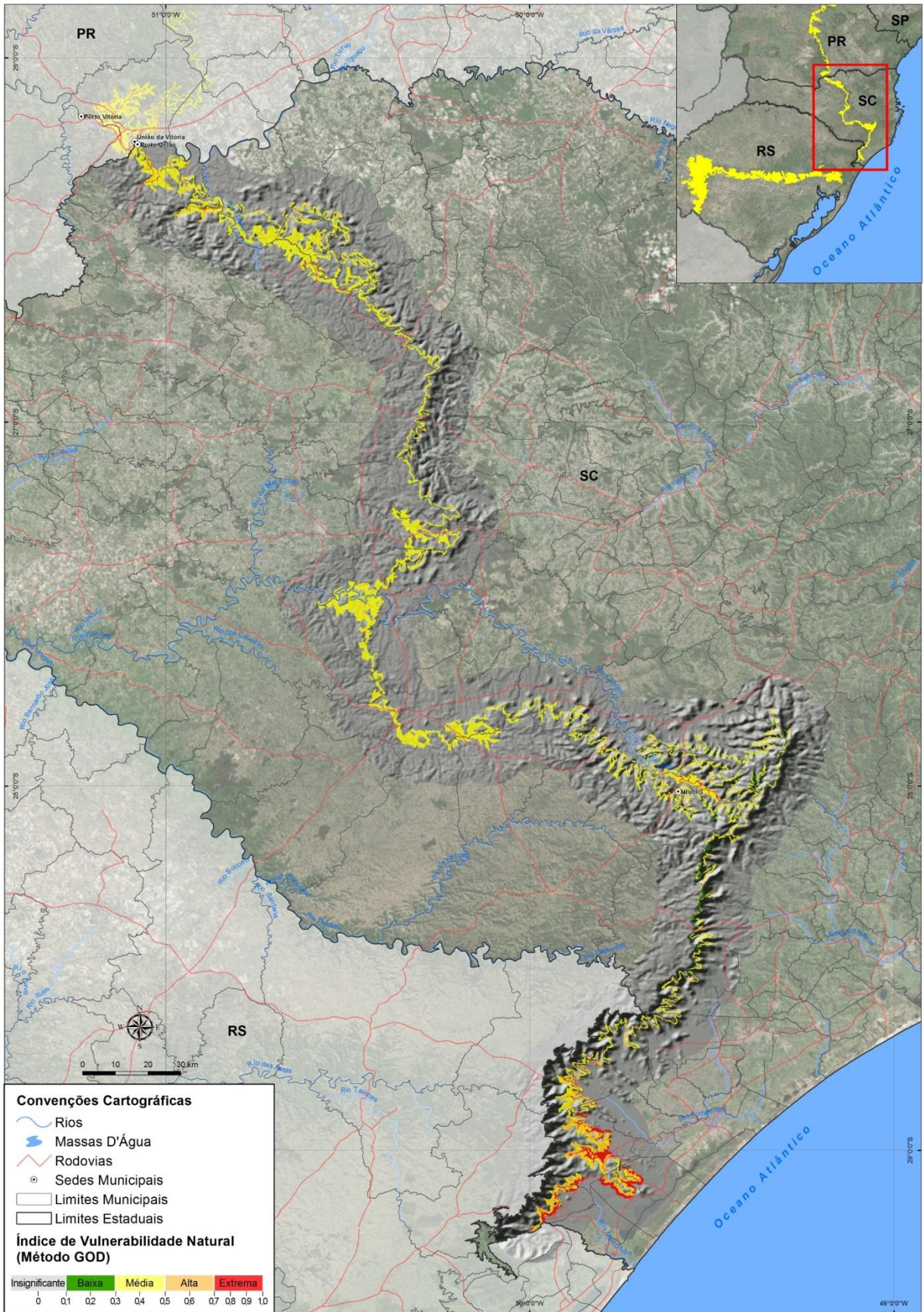


Figura 2.39 – Mapa de vulnerabilidade do SAG aflorante do estado de Santa Catarina

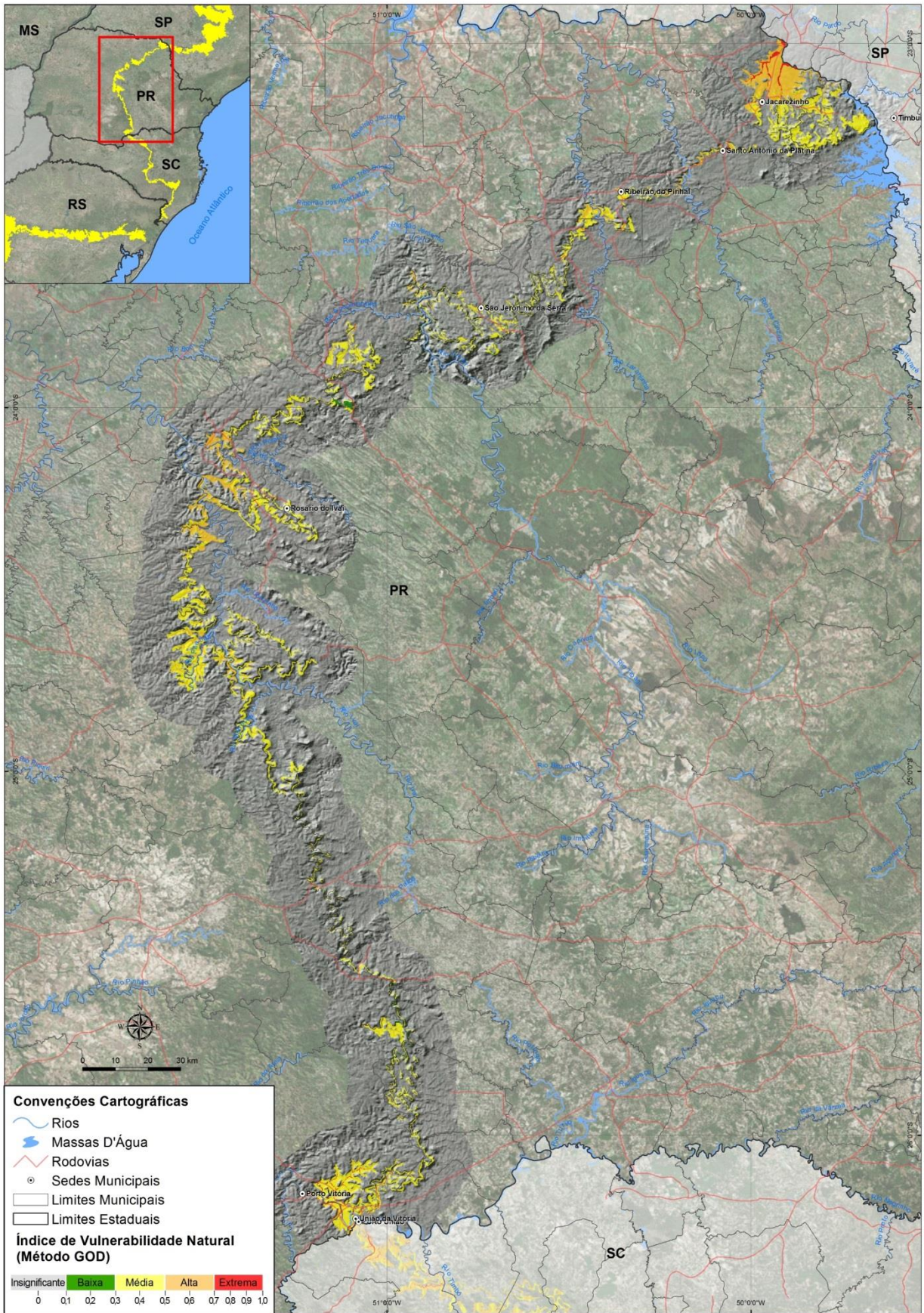


Figura 2.40 – Mapa de vulnerabilidade do SAG aflorante do estado do Paraná

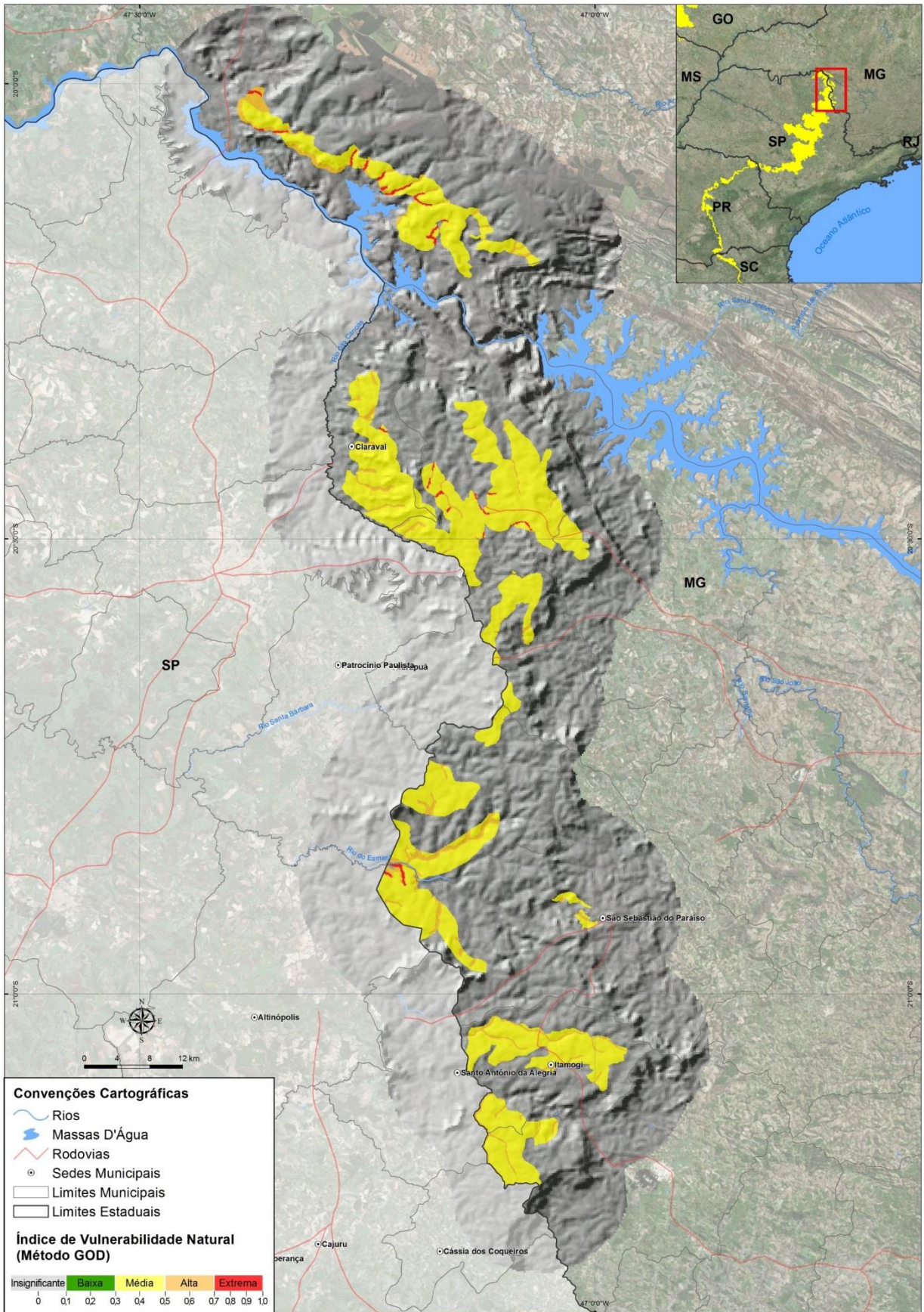


Figura 2.41 – Mapa de vulnerabilidade do SAG aflorante do estado de Minas Gerais

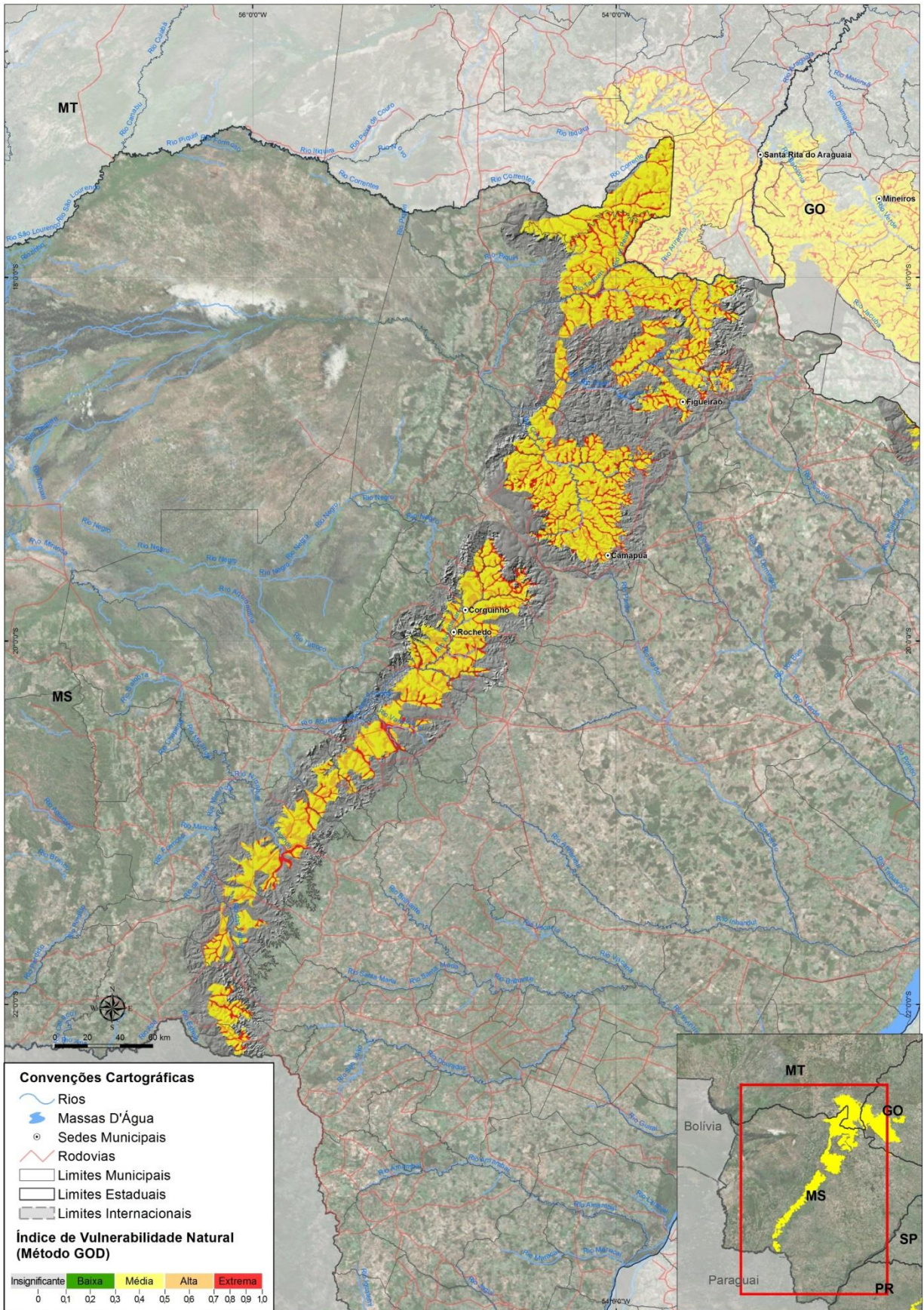


Figura 2.42 – Mapa de vulnerabilidade do SAG aflorante do estado de Mato Grosso do Sul

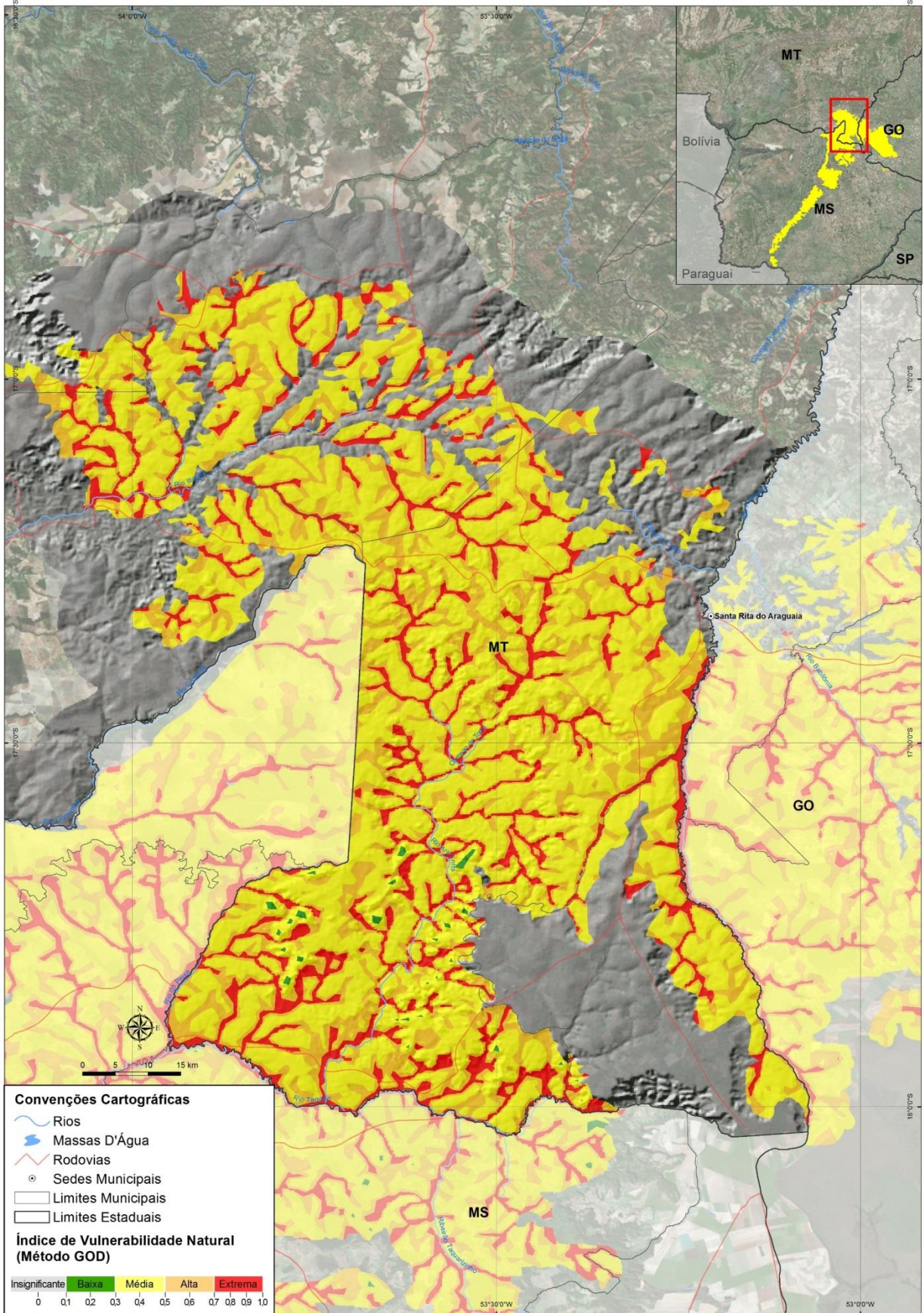


Figura 2.43 – Mapa de vulnerabilidade do SAG aflorante do estado de Mato Grosso

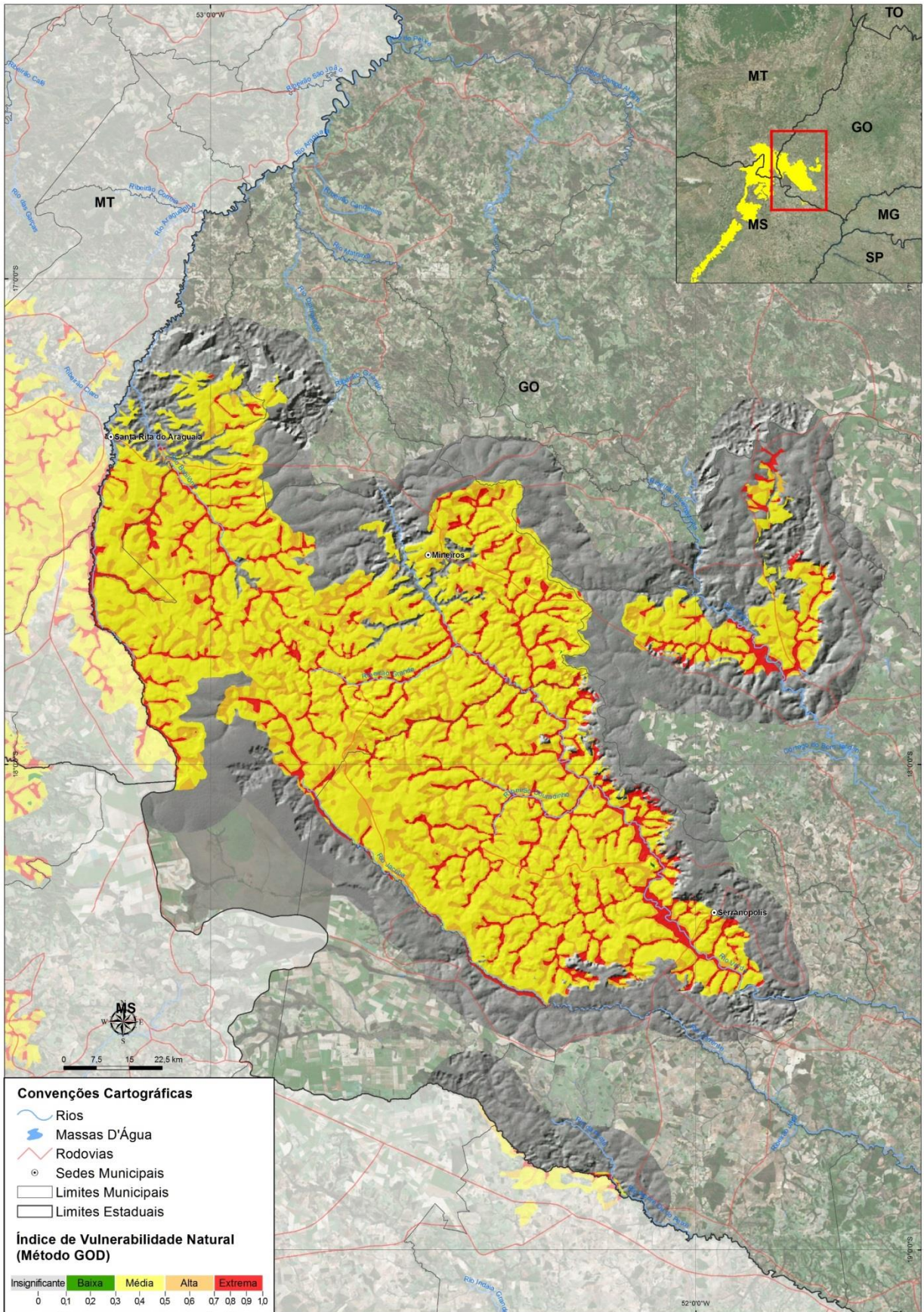
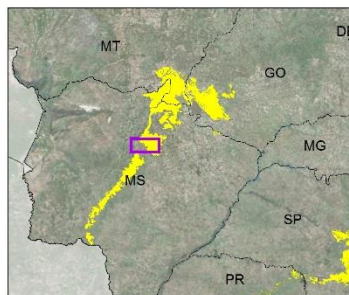
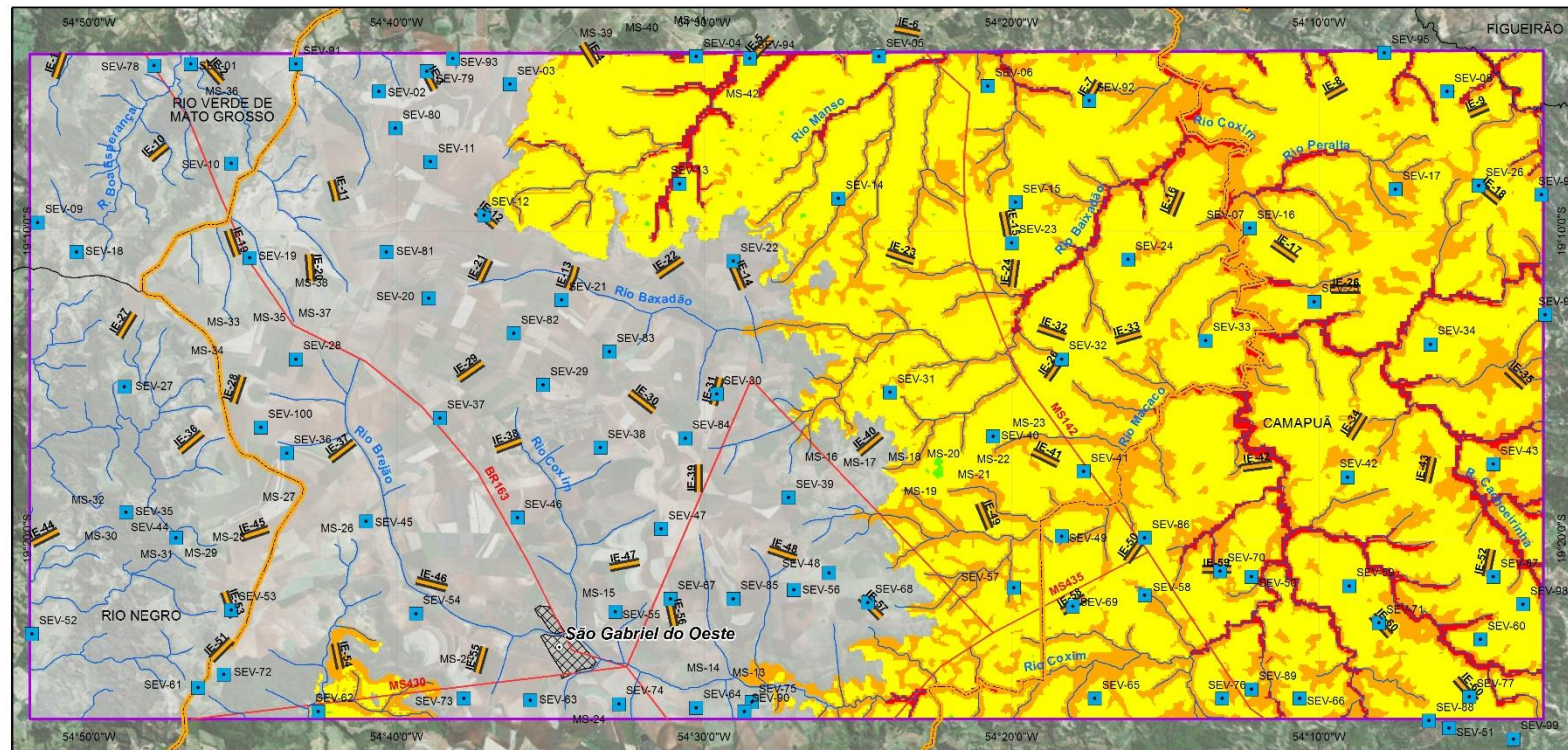


Figura 2.44 – Mapa de vulnerabilidade do SAG aflorante do estado de Goiás



Localização da área-piloto no estado de Mato Grosso do Sul

- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------------|-------|---------|------|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|
| <p>Convenções cartográficas</p> <ul style="list-style-type: none"> Rios Rodovias Sedes Municipais Sede - São Gabriel do Oeste Limites Municipais Município de São Gabriel do Oeste Área piloto no MS Outras unidades geológicas | <p>Geofísica</p> <ul style="list-style-type: none"> SEVs Imageamento elétrico <p>Índice de Vulnerabilidade Natural (Método GOD)</p> <table border="1"> <tr> <td>Insignificante</td> <td>Baixa</td> <td>Média</td> <td>Alta</td> <td>Extrema</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>01</td> <td>02</td> <td>03</td> <td>04</td> </tr> <tr> <td>05</td> <td>06</td> <td>07</td> <td>08</td> <td>09</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | Insignificante | Baixa | Média | Alta | Extrema | 0 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | | | | |
| Insignificante | Baixa | Média | Alta | Extrema | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 01 | 02 | 03 | 04 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

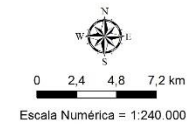
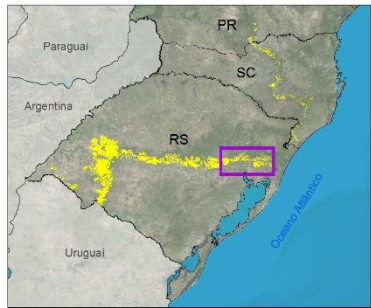
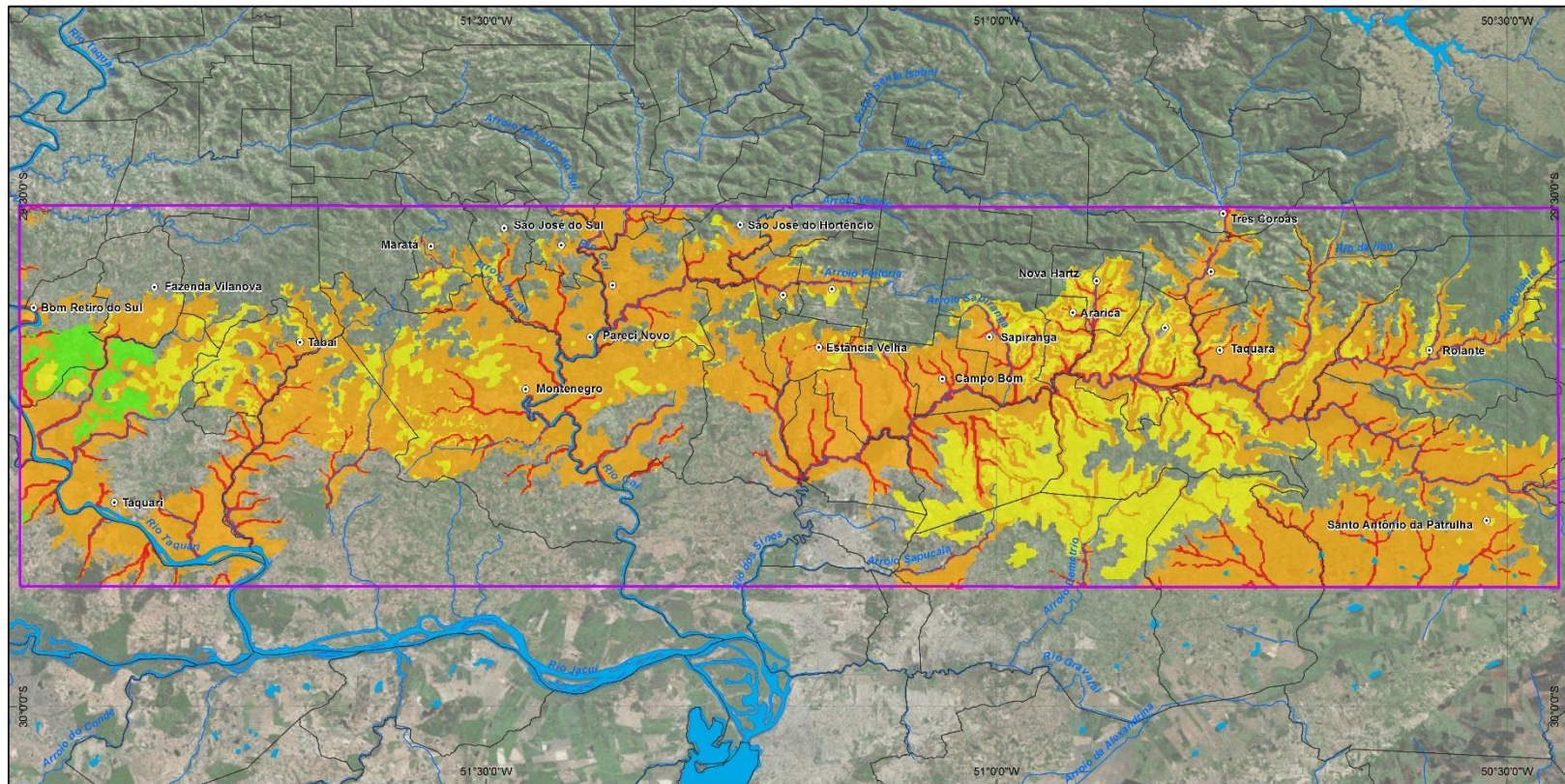


Figura 2.45 – Mapa de vulnerabilidade do SAG aflorante na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS)



Localização da área-piloto no estado do Rio Grande do Sul

Convenções cartográficas

- Rios
- Massas d'água
- Sedes Municipais
- Limites Municipais
- Área piloto no RS

Índice de Vulnerabilidade Natural (Método GOD)

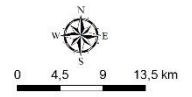
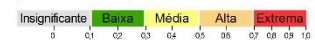


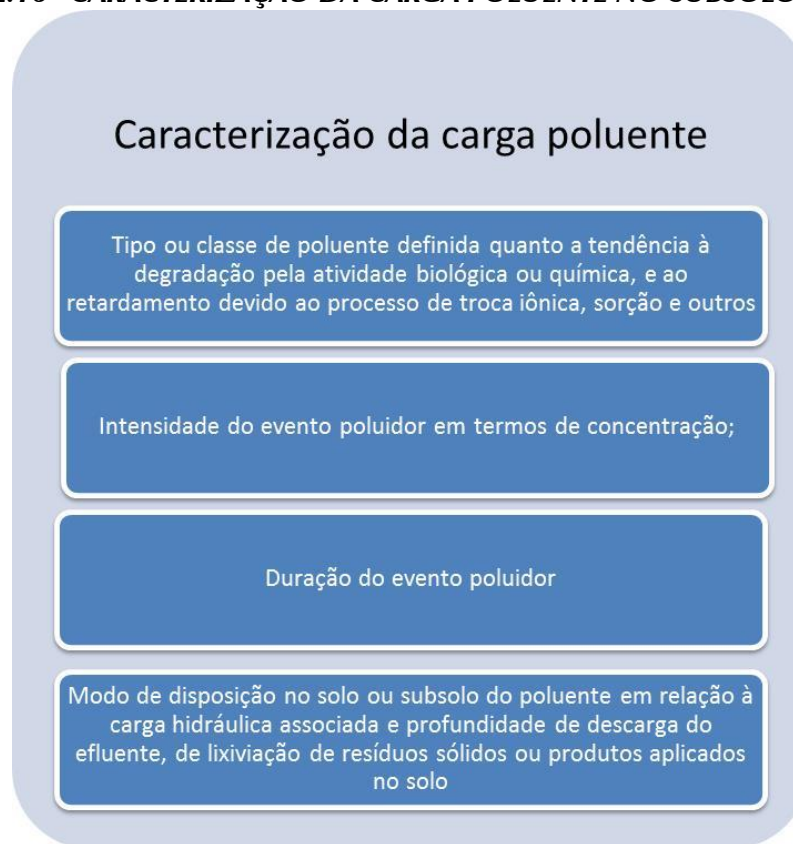
Figura 2.46 – Mapa de vulnerabilidade do SAG aflorante na área piloto de São Sebastião do Caí (RS)

2.9 MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE FONTES PONTUAIS DE CONTAMINAÇÃO

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 em razão de vários fatores, como mostrados no Quadro 2.16.

QUADRO 2.16– CARACTERIZAÇÃO DA CARGA POLUENTE NO SUBSOLO (SMA, 1997)



Neste estudo, foi utilizado o Cadastro Técnico Federal (CTF) de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais do IBAMA e a classificação de cargas potenciais segundo o método POSH – *Pollutant origin, Surcharge Hydraulically* (Quadro 2.3).

A classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas por fontes pontuais obedeceu aos mesmos critérios utilizados em SMA (2010), para o estado de São Paulo, ou seja, para cada município as atividades com cargas poluidoras potenciais, classificadas como elevadas, foram ponderadas pelo peso 1, as atividades com cargas moderadas foram ponderadas pelo peso 0,5 e as atividades com cargas reduzidas foram desprezadas. Os resultados foram somados e a classificação do potencial de contaminação dos municípios obedeceu aos intervalos de valores apresentados no Quadro 2.17.

QUADRO 2.17 - CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR FONTES PONTUAIS (SMA, 2010)

Classificação do potencial de contaminação de fontes pontuais		
Reduzido	Moderado	Elevado
Valor de 0 a 20	Valor de 20 a 100	Valor > 100

Como o cadastro de fontes pontuais do CTF não dispõe de coordenadas geográficas de referência, ou seja, a espacialização das fontes é desconhecida, o método utilizado para representação do potencial de contaminação, em mapa, considerou como unidade básica os polígonos resultantes da interseção entre as áreas de afloramento do SAG e as áreas dos municípios. Ressalta-se que esta concepção é apenas uma forma de representação do potencial de contaminação que está associado exclusivamente às áreas urbanizadas e distritos industriais dos municípios.

Os mapas de classificação de fontes pontuais de contaminação dos estados e das áreas piloto são apresentados nas Figuras 2.47 a 2.55.

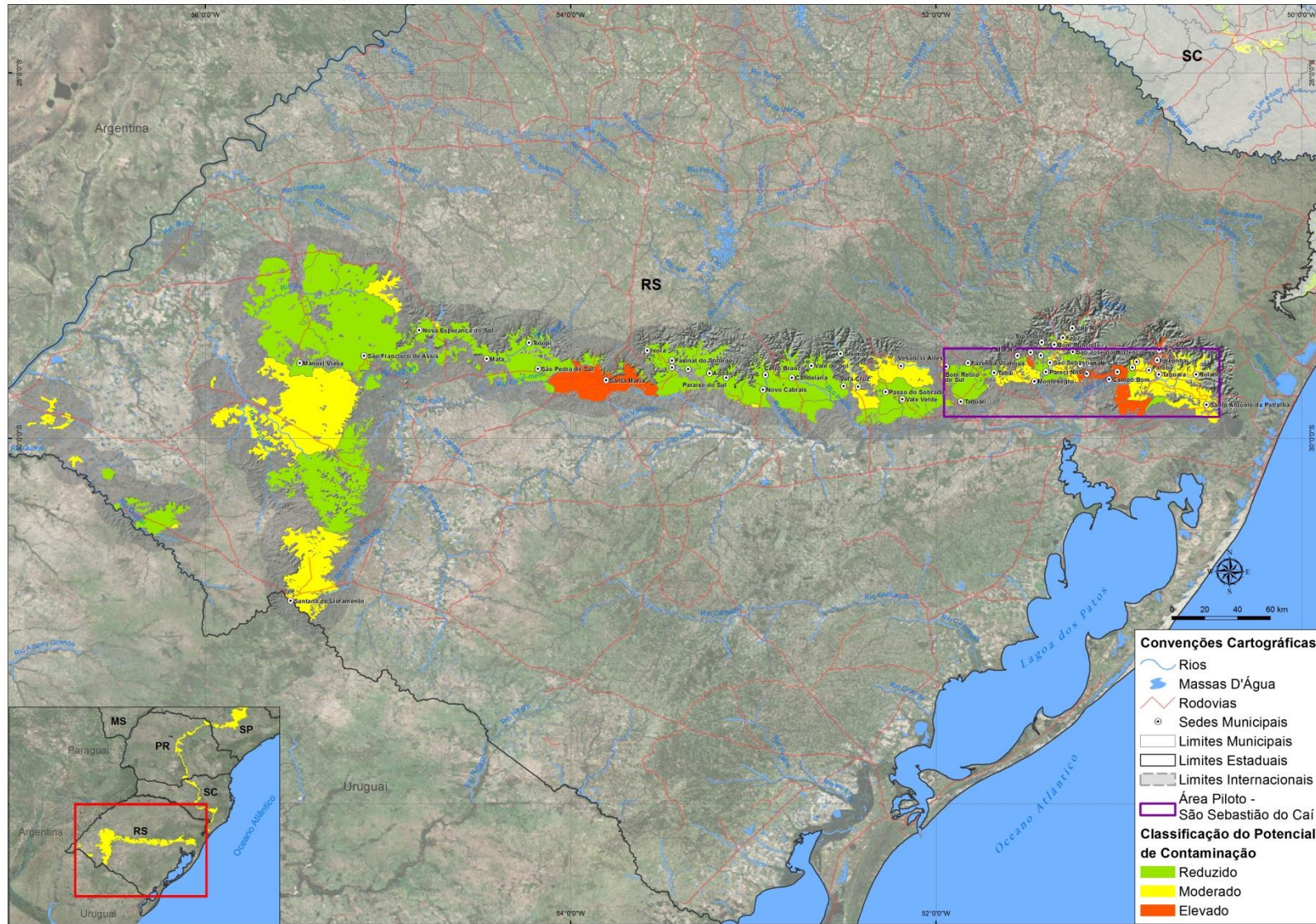


Figura 2.47 – Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG no Rio Grande do Sul, por fontes difusas

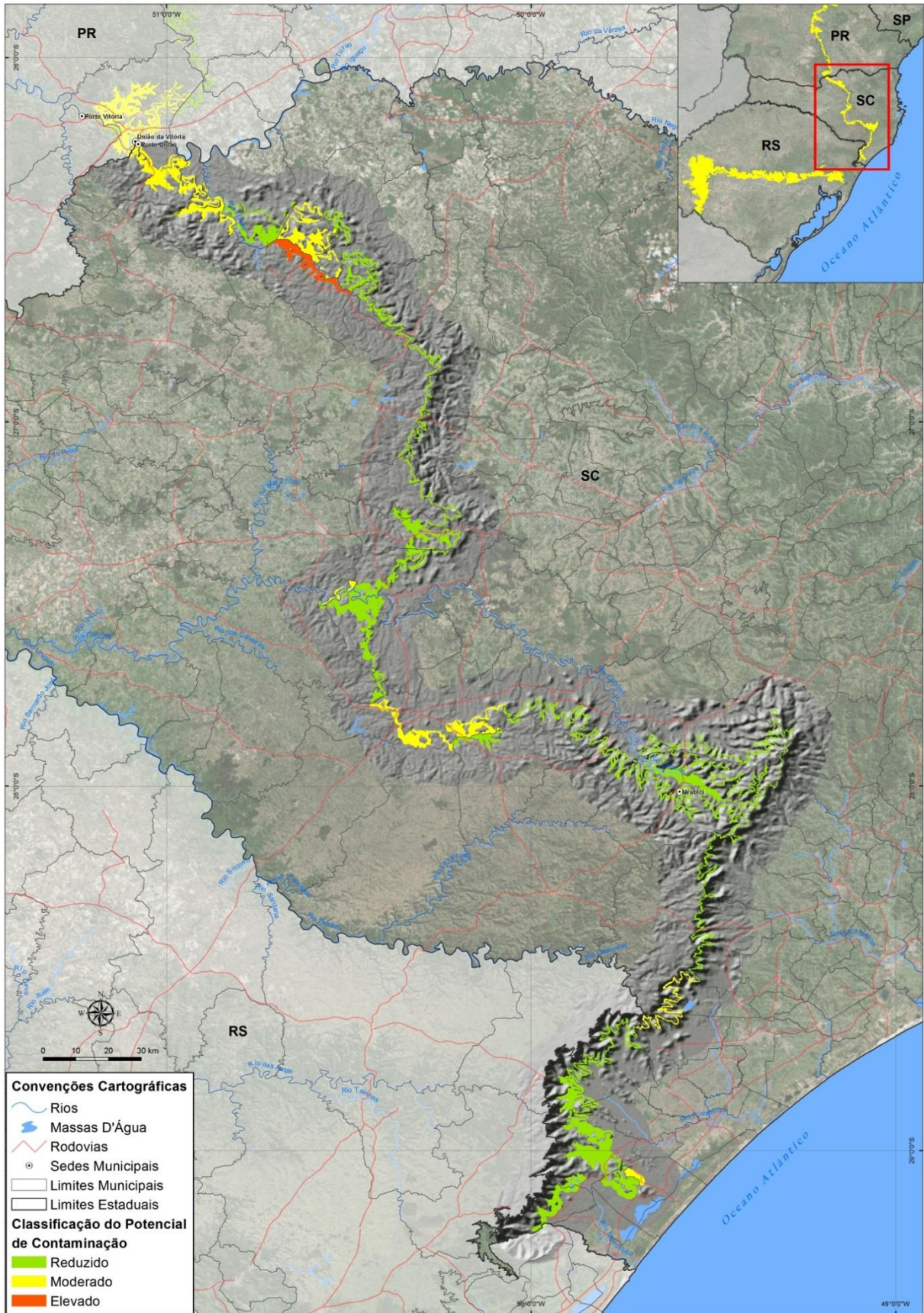


Figura 2.48 – Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG em Santa Catarina, por fontes difusas

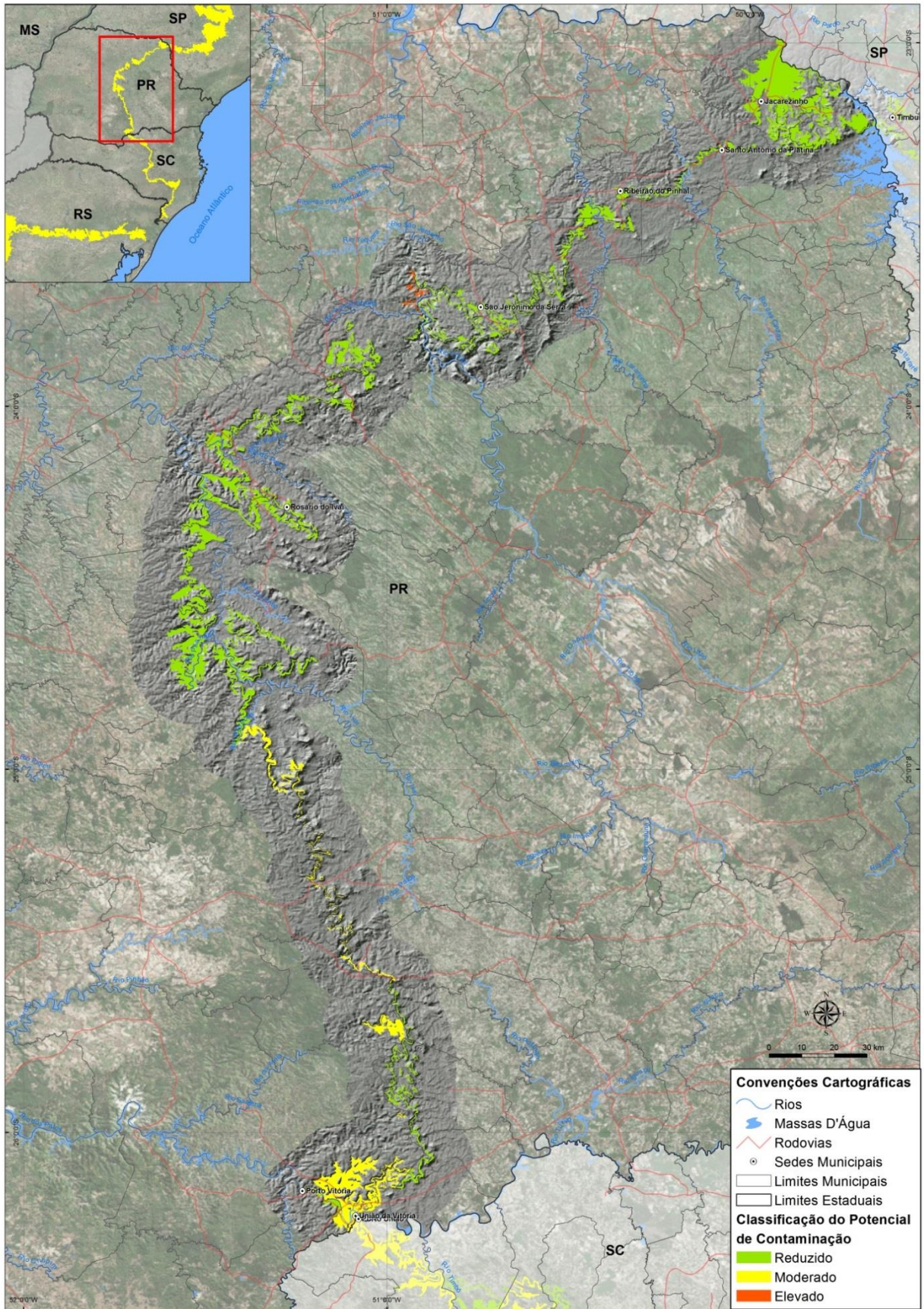


Figura 2.49 – Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG no Paraná, por fontes difusas

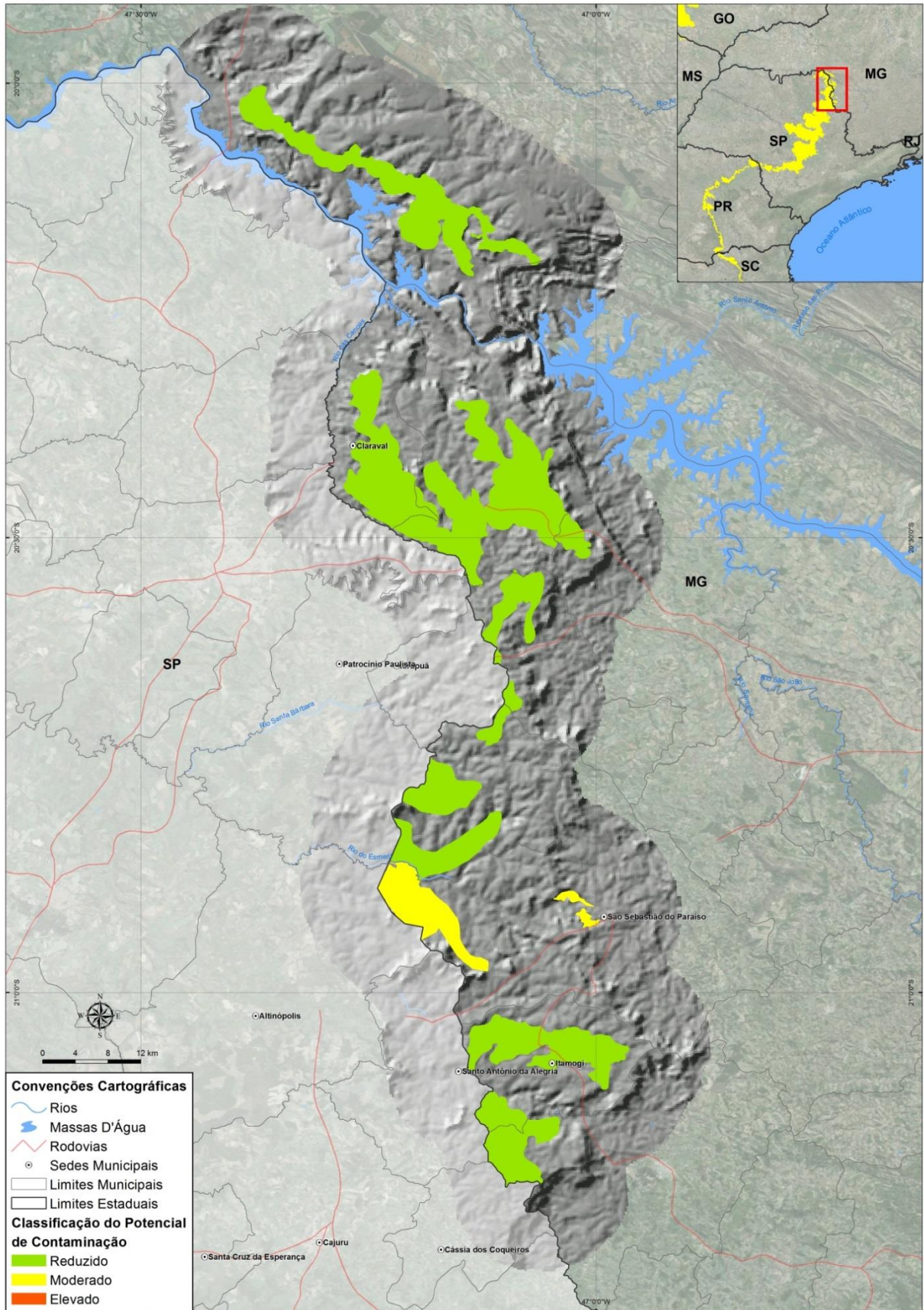


Figura 2.50 – Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG em Minas Gerais, por fontes difusas

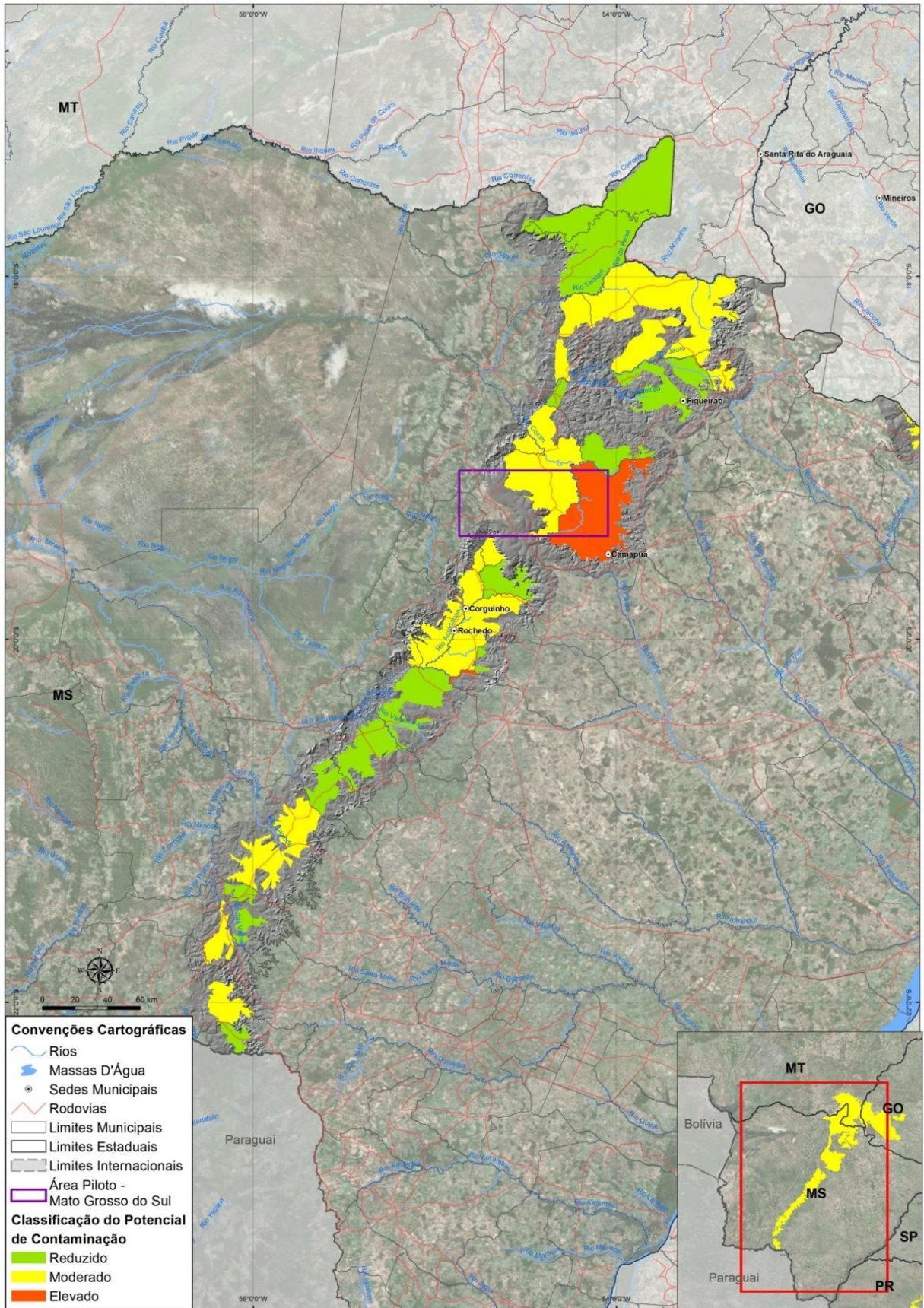


Figura 2.51 – Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG no Mato Grosso do Sul, por fontes difusas

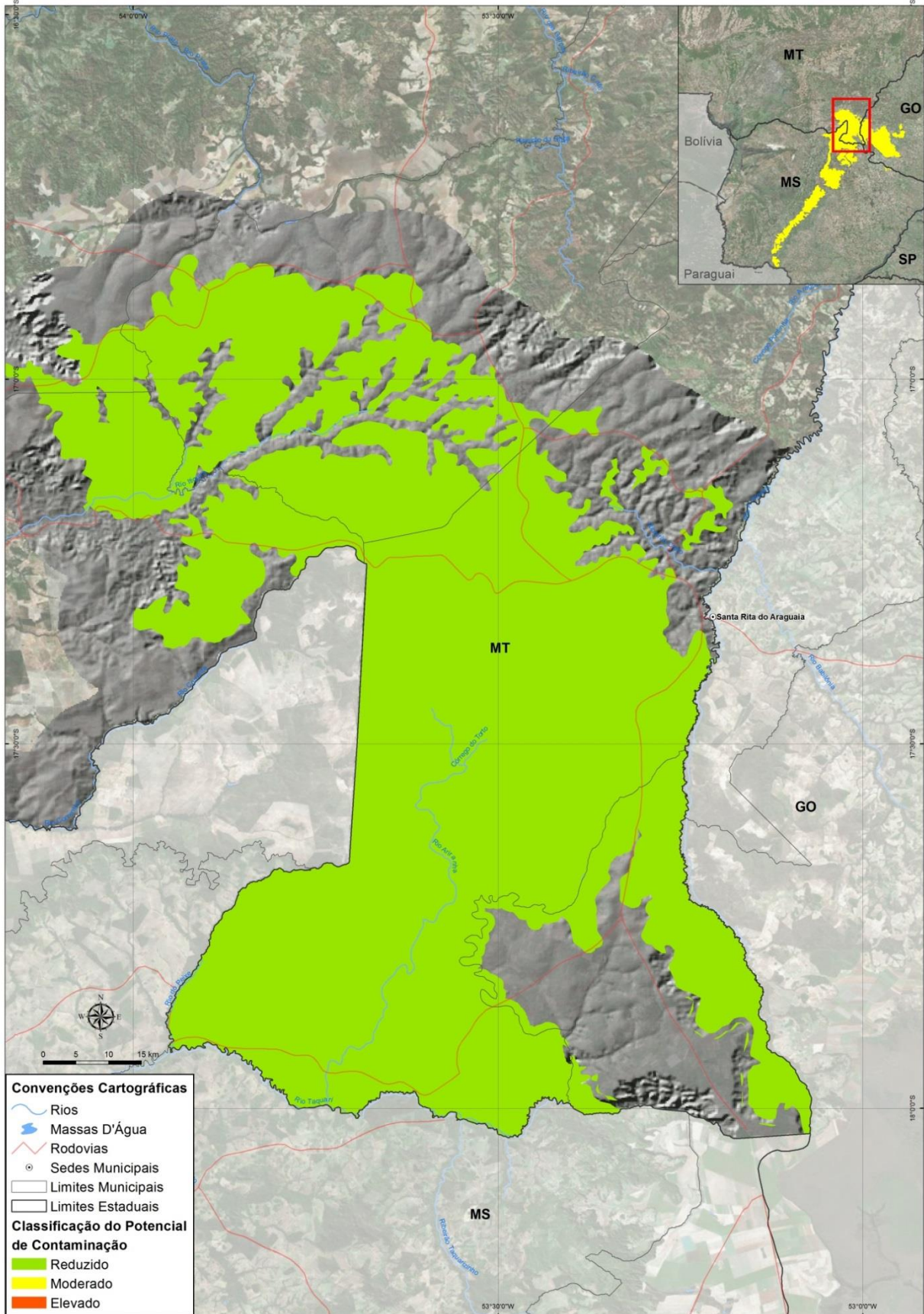


Figura 2.52 – Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG no Mato Grosso, por fontes difusas

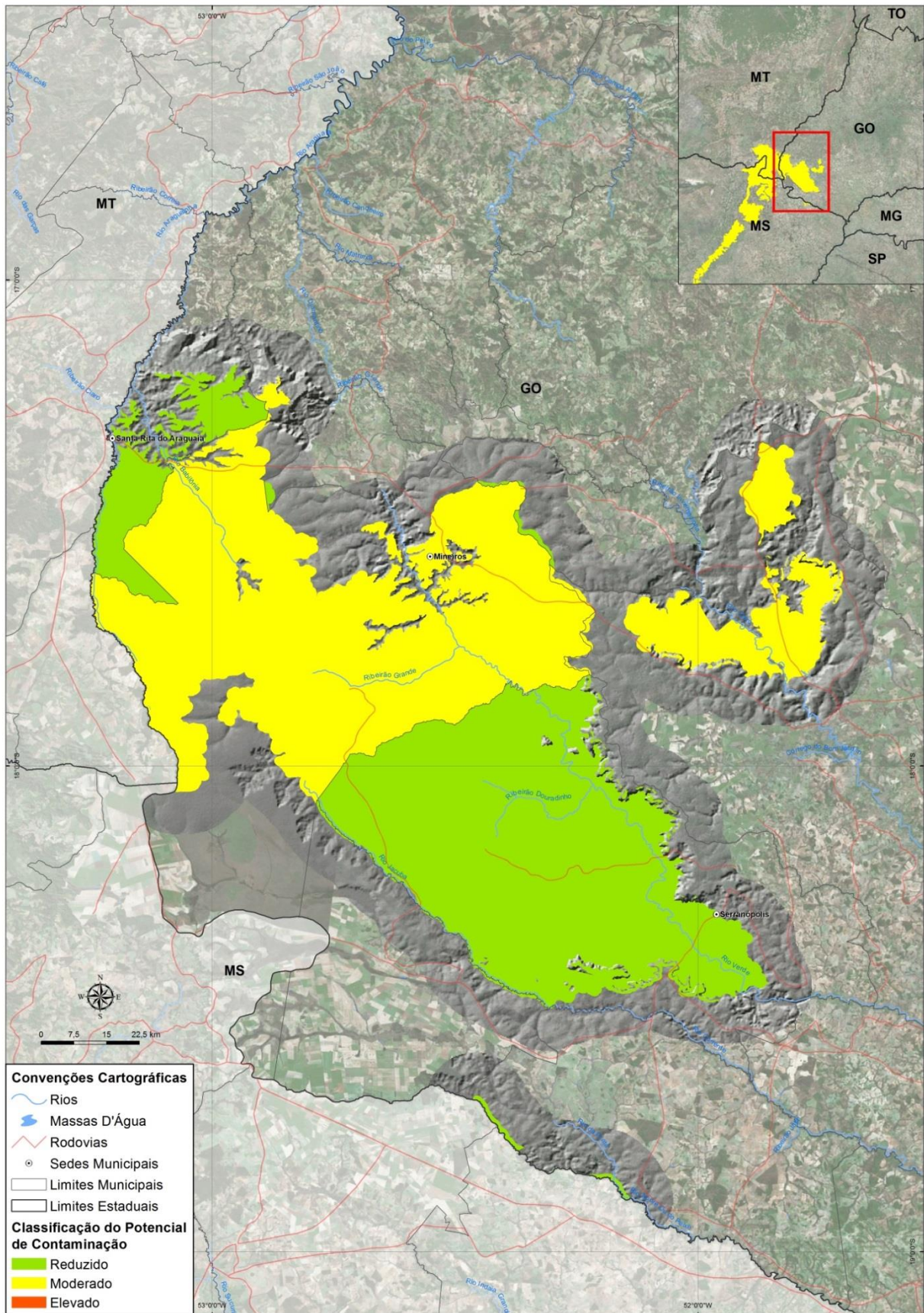


Figura 2.53 – Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG em Goiás, por fontes difusas

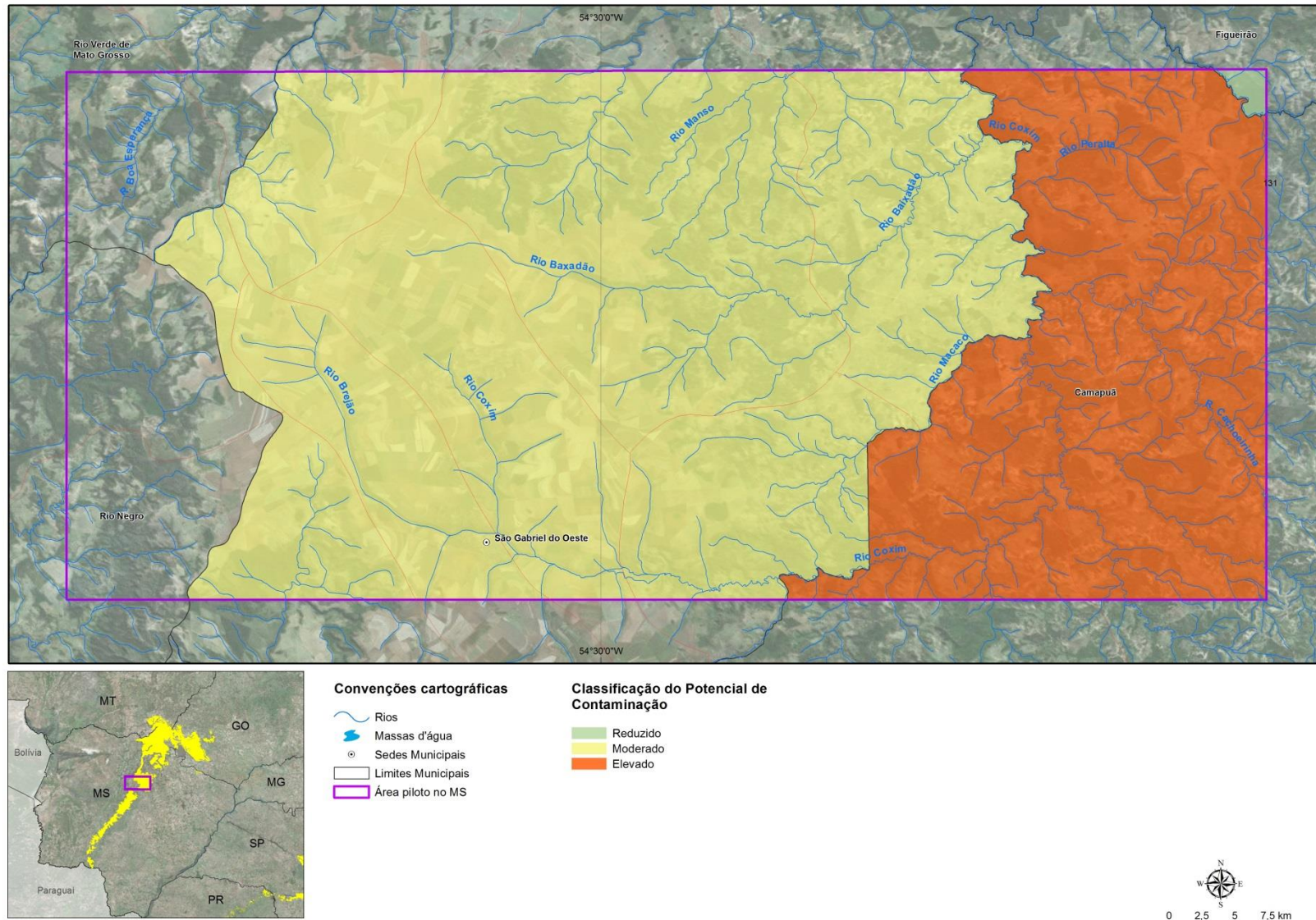


Figura 2.54– Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS) , por fontes difusas

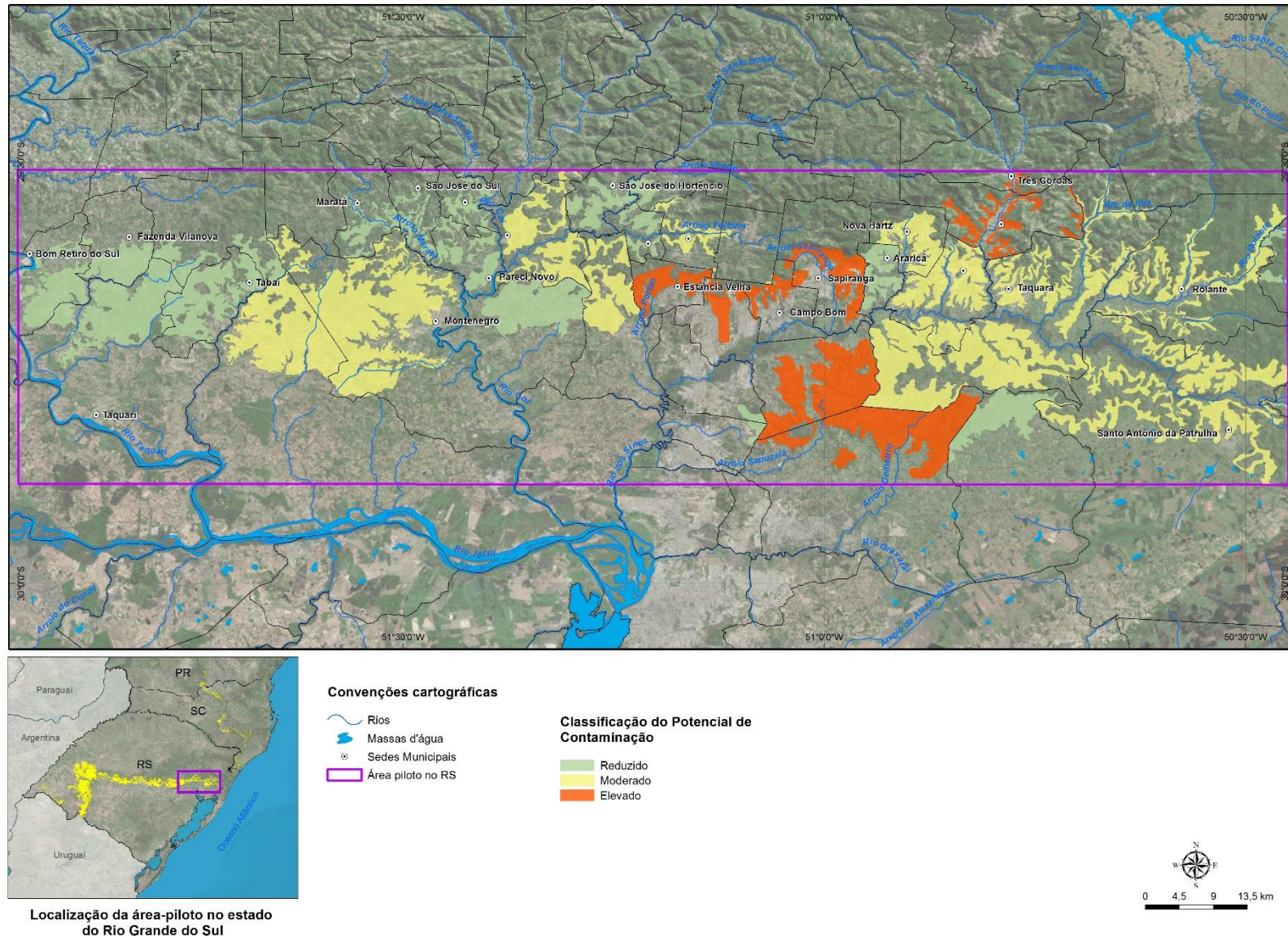


Figura 2.55 – Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG na área piloto de São Sebastião do Caí (RS) , por fontes difusas

A maioria dos municípios que cortam áreas de afloramento do SAG nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais e a totalidade dos municípios de Mato Grosso possuem reduzido potencial de contaminação por fontes pontuais, enquanto 50% deles no estado de Goiás e mais de 50% no estado de Mato Grosso do Sul mostram moderado potencial de contaminação, de acordo com os critérios de classificação adotados neste estudo. Quanto aos municípios classificados como de potencial de contaminação elevado, apenas o Rio Grande do Sul mostra número relevante, correspondente a 10% do total.

A distribuição da classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas por fontes pontuais, por município, é mostrada na Figura 2.56.

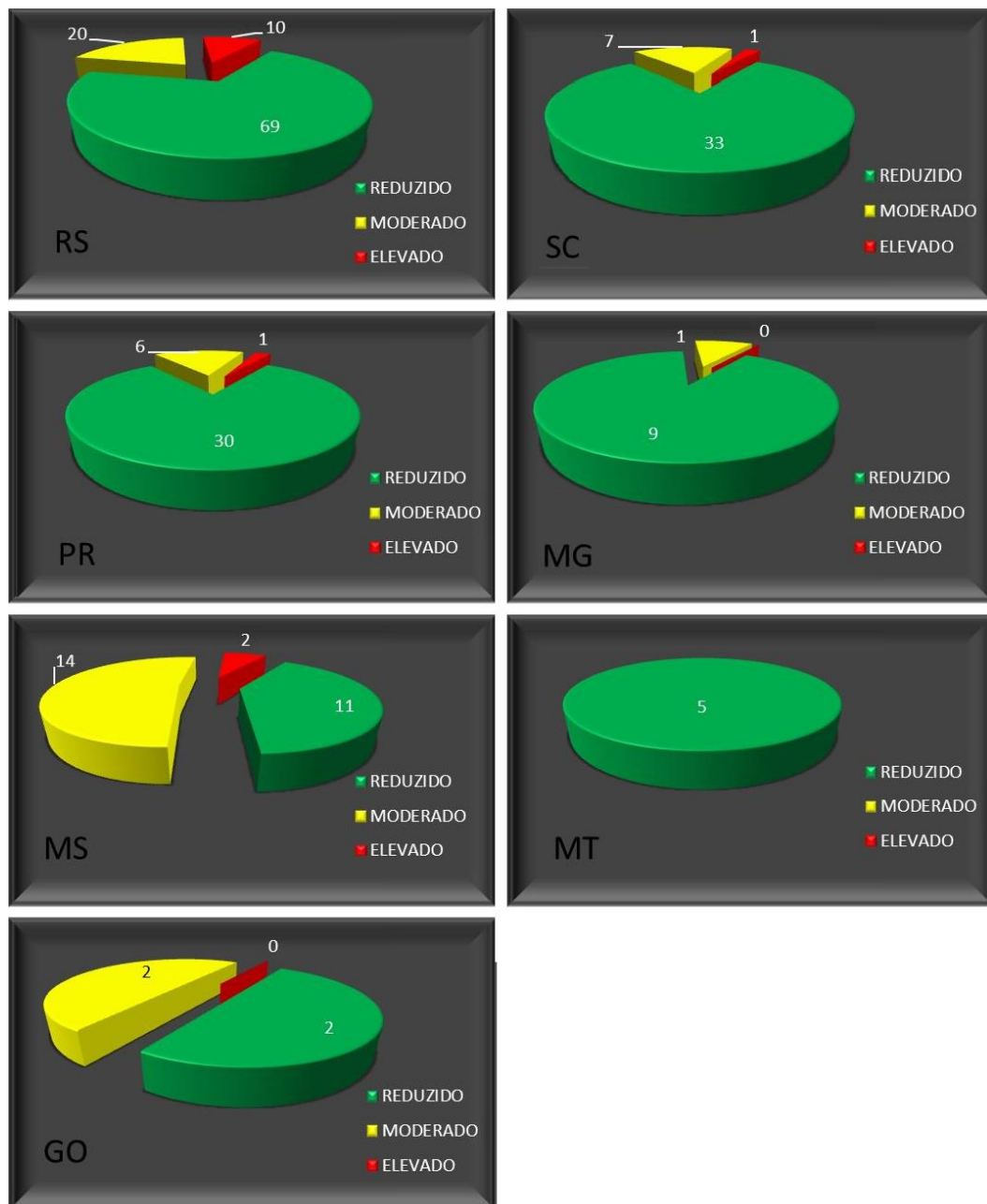


Figura 2.56 – Distribuição da classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas, por fontes pontuais, por município

2.10 MAPA DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO POR FONTES DIFUSAS

As diferentes formas de uso e ocupação da terra determinarão quais os principais tipos de contaminantes 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 os 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.

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 (Quadro 2.18), 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 o grau de vulnerabilidade do terreno e o potencial de contaminação das atividades diminuem, por consequência também diminui o perigo (SMA, 2010). Esta avaliação é feita por meio de sobreposição do mapa de classes de uso e ocupação da terra com o mapa de vulnerabilidade (Figura 2.57).

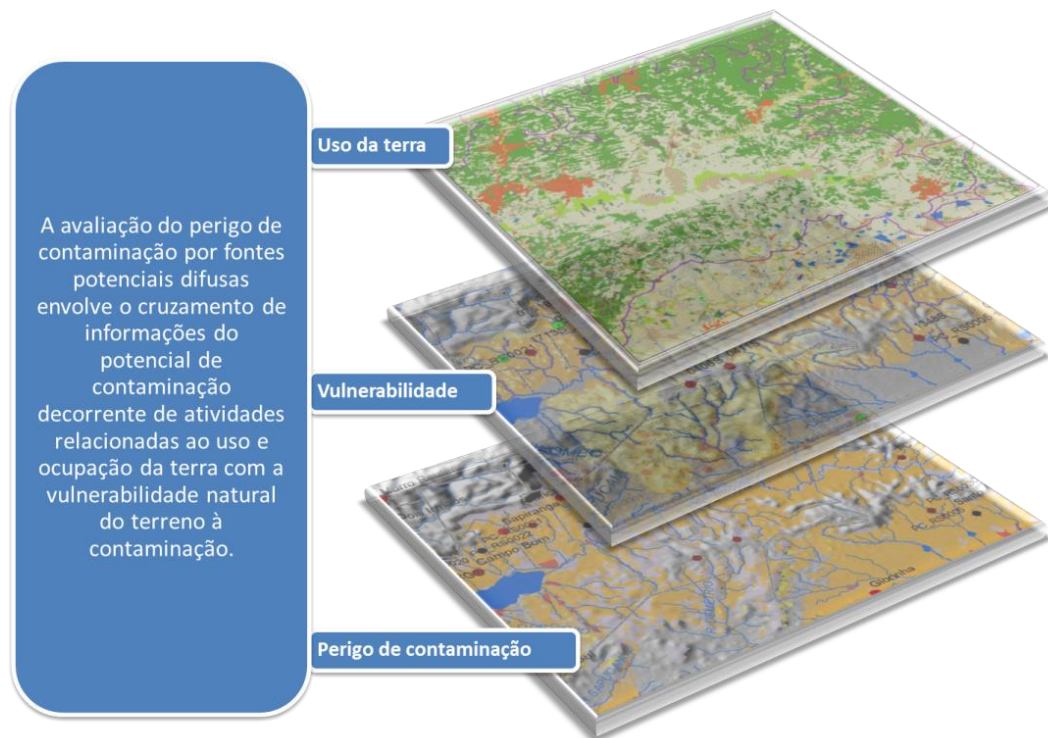


Figura 2.57 – Metodologia para avaliação do perigo de contaminação

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 2.18. 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 em SMA (2010).

QUADRO 2.18 – CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO POR FONTES DIFUSAS AGRÍCOLAS. MODIFICADO DE SMA (2010)

<i>Perigo de contaminação</i>			
<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

Os mapas de classificação de perigo de contaminação por fontes difusas dos estados e das áreas piloto são apresentados nas Figuras 2.58 a 2.66.

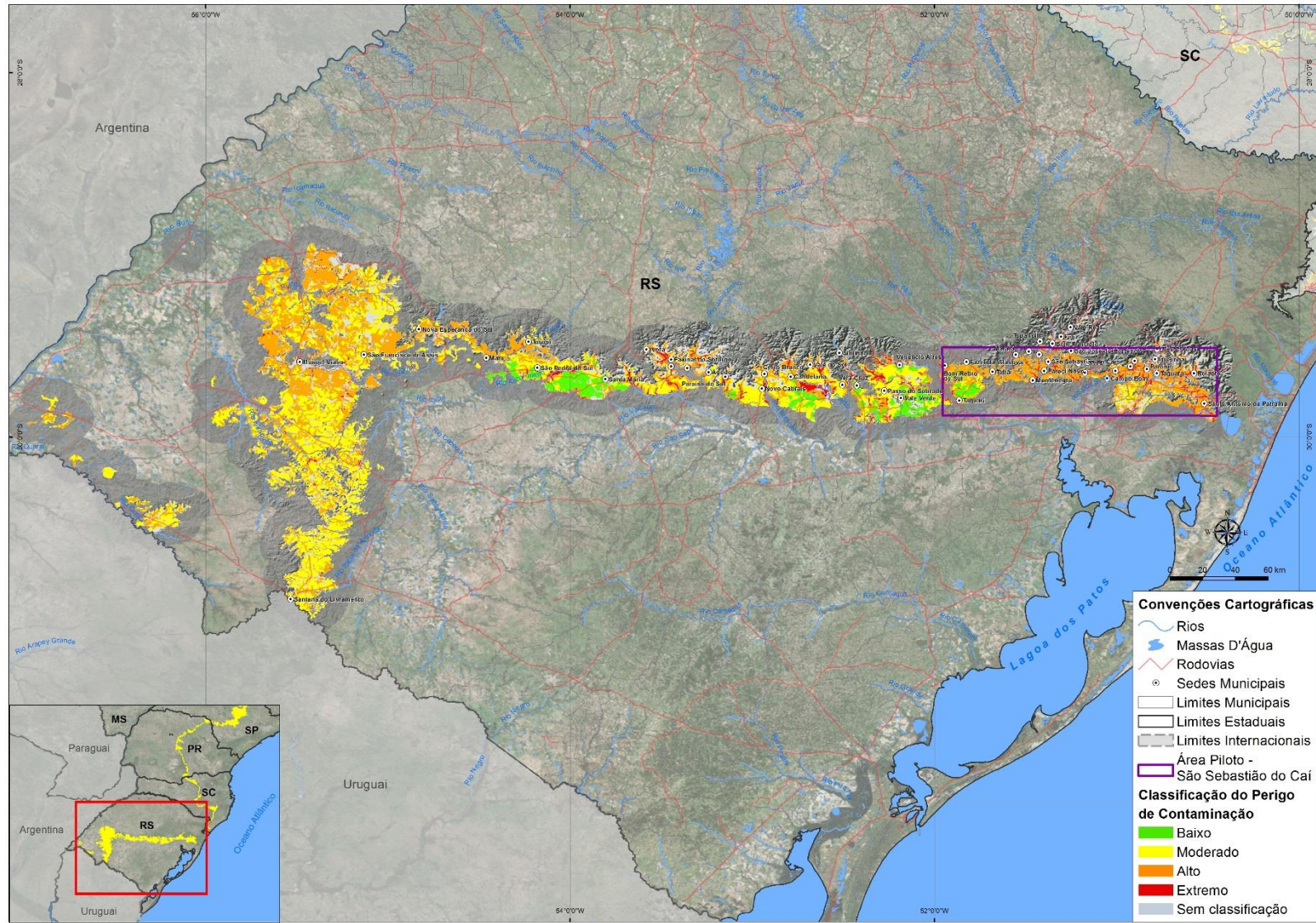


Figura 2.58 – Mapa de perigo de contaminação do SAG por fontes difusas do Rio Grande do Sul

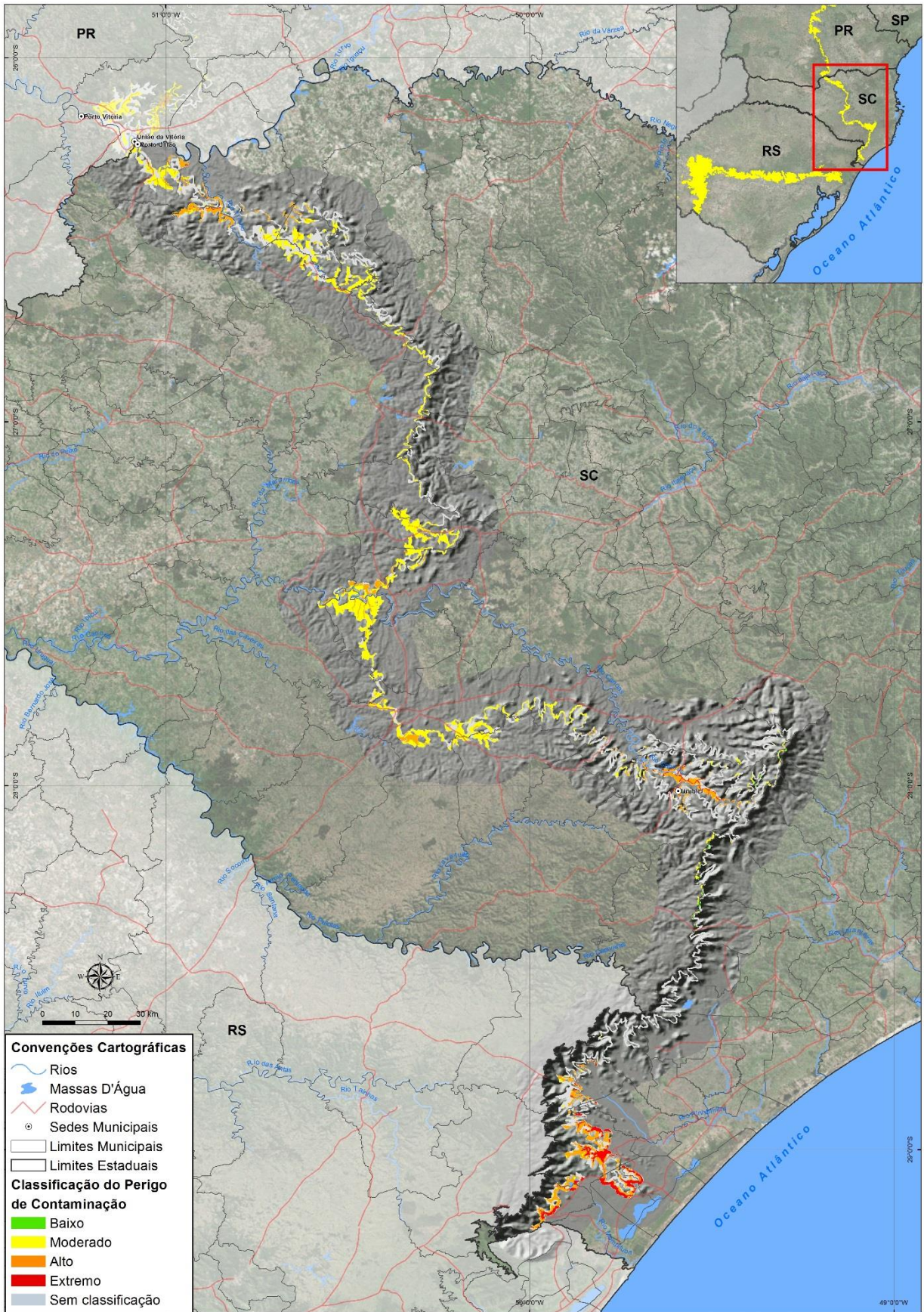


Figura 2.59 – Mapa de perigo de contaminação do SAG por fontes difusas de Santa Catarina

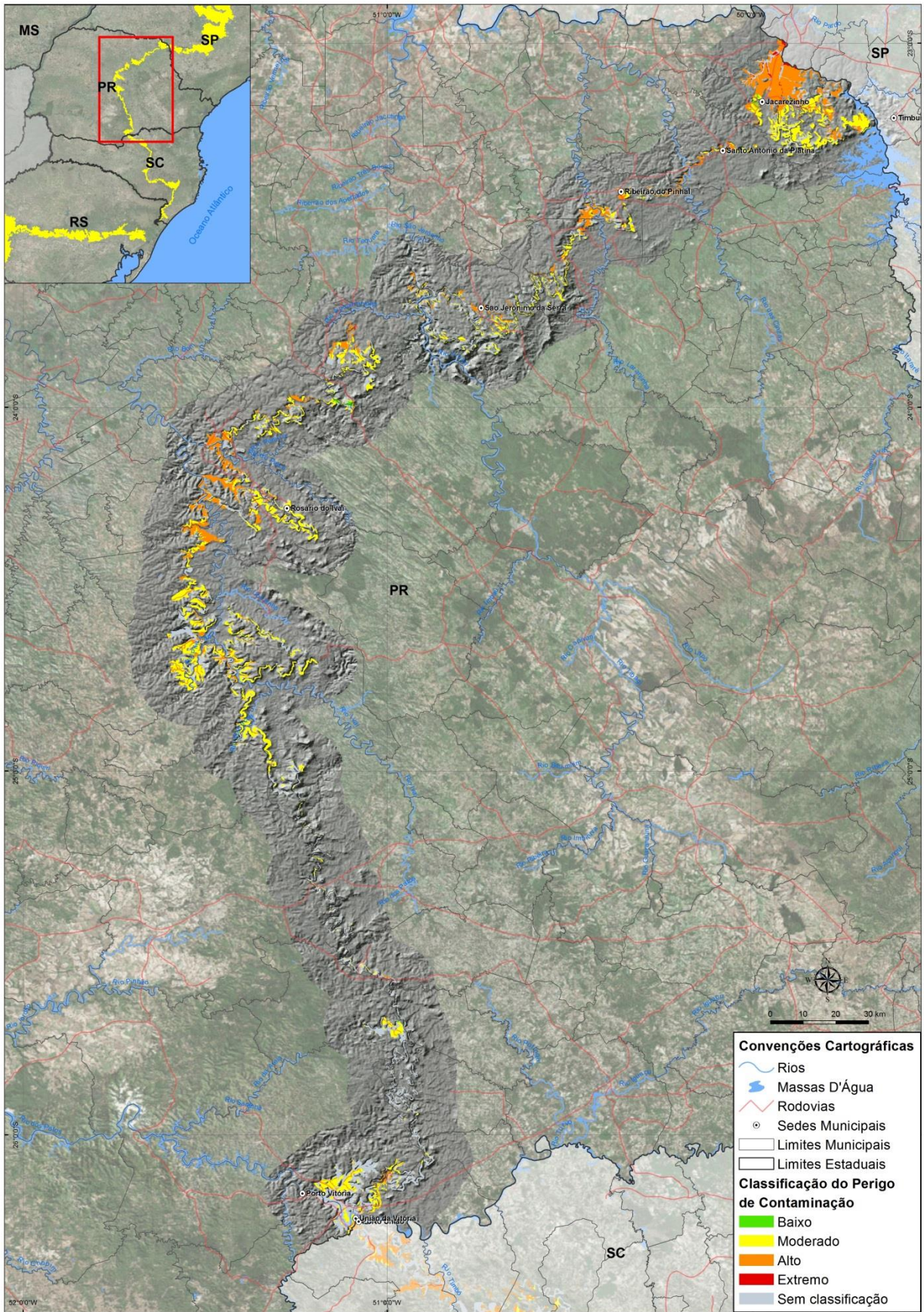


Figura 2.60 – Mapa de perigo de contaminação do SAG por fontes difusas do Paraná

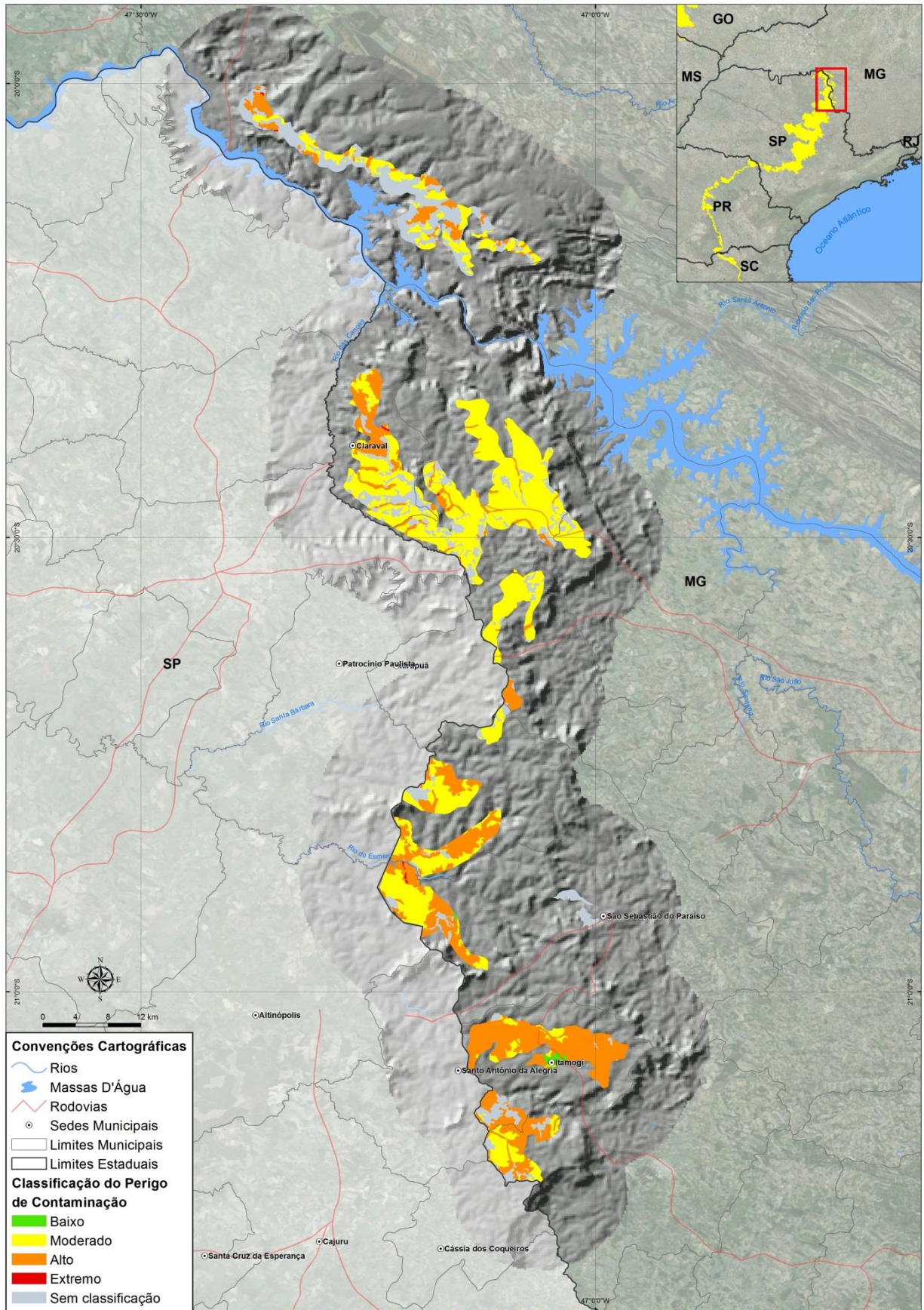


Figura 2.61 – Mapa de perigo de contaminação do SAG por fontes difusas de Minas Gerais

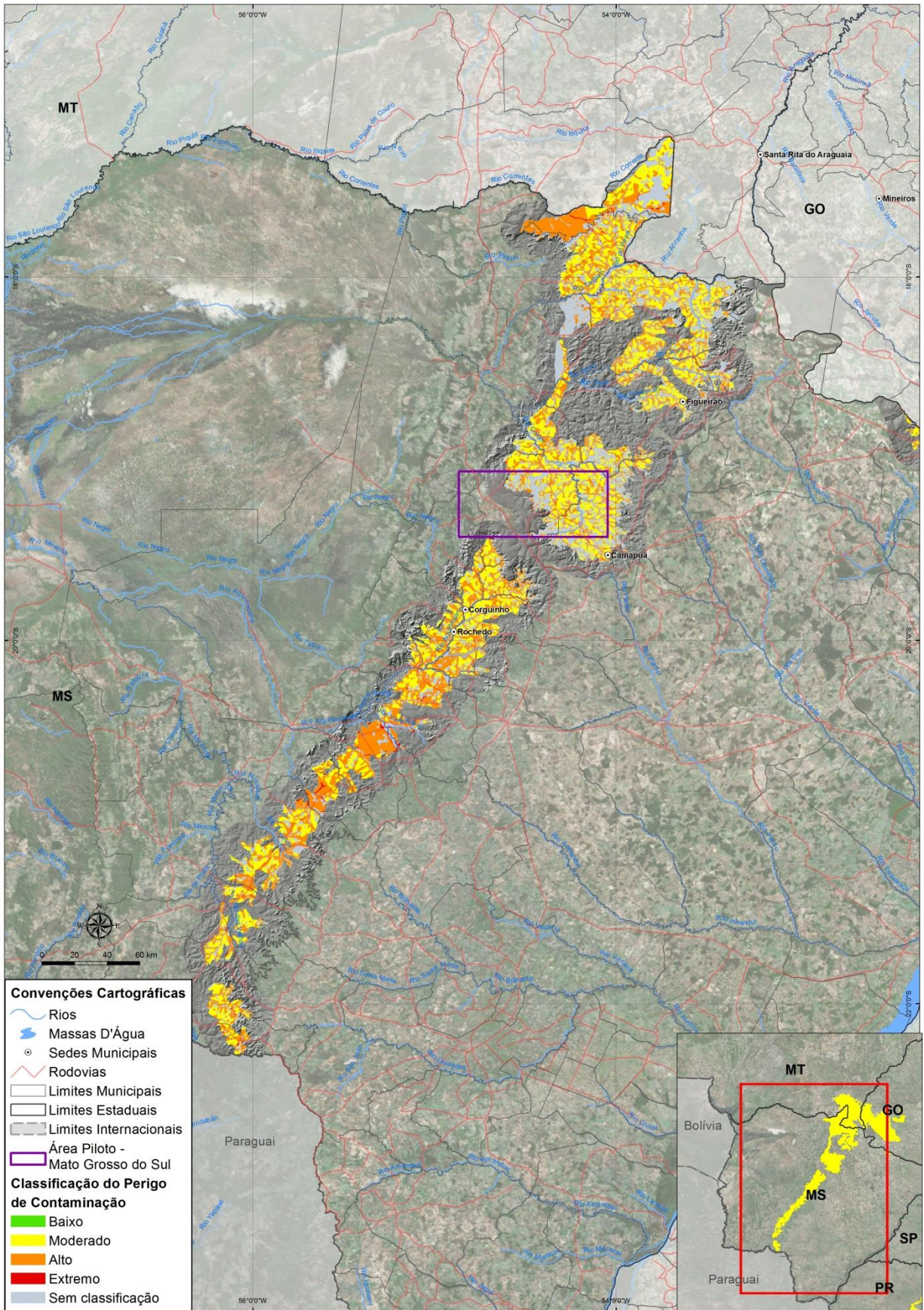


Figura 2.62 – Mapa de perigo de contaminação do SAG por fontes difusas de Mato Grosso do Sul

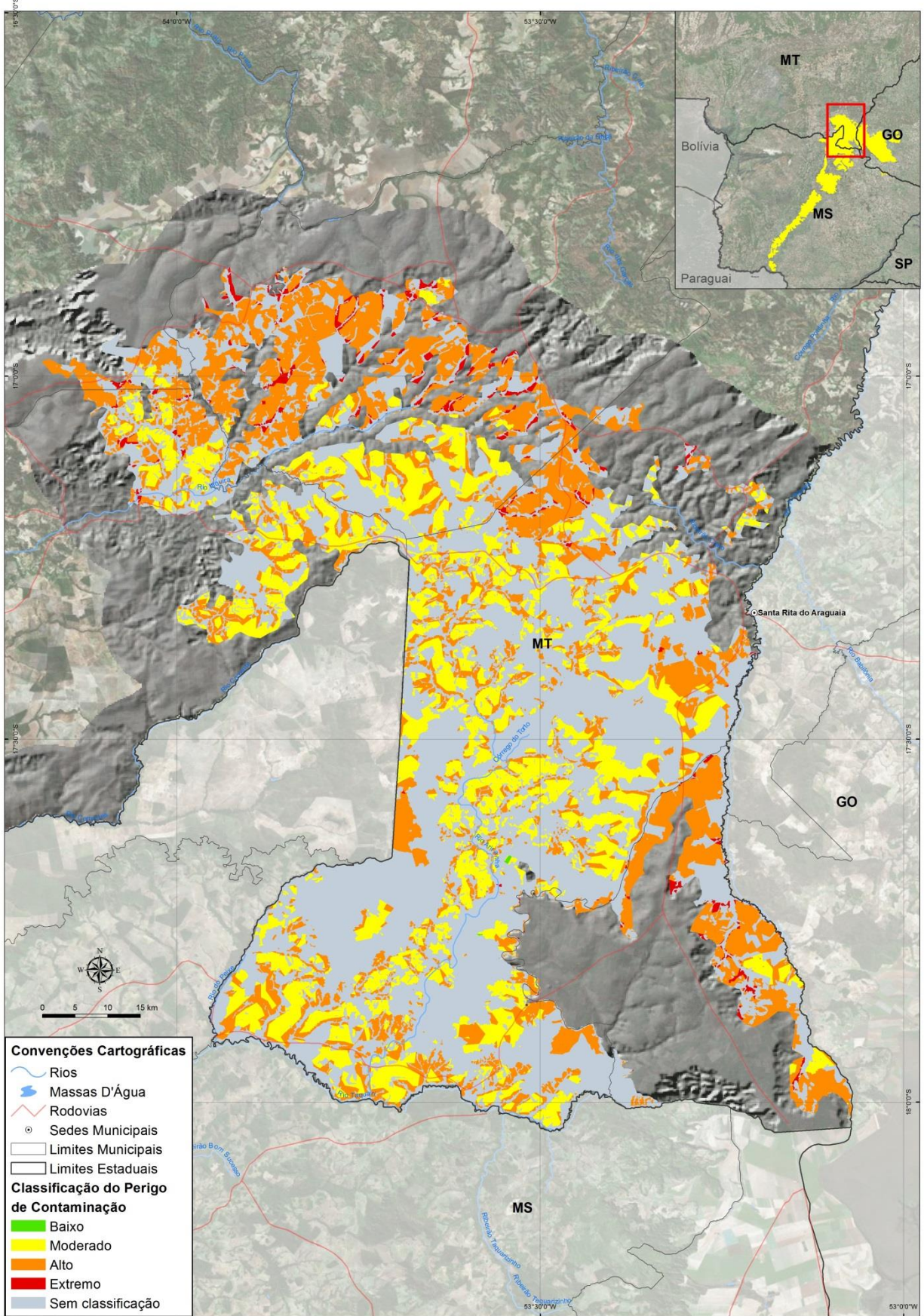


Figura 2.63 – Mapa de perigo de contaminação do SAG por fontes difusas de Mato Grosso

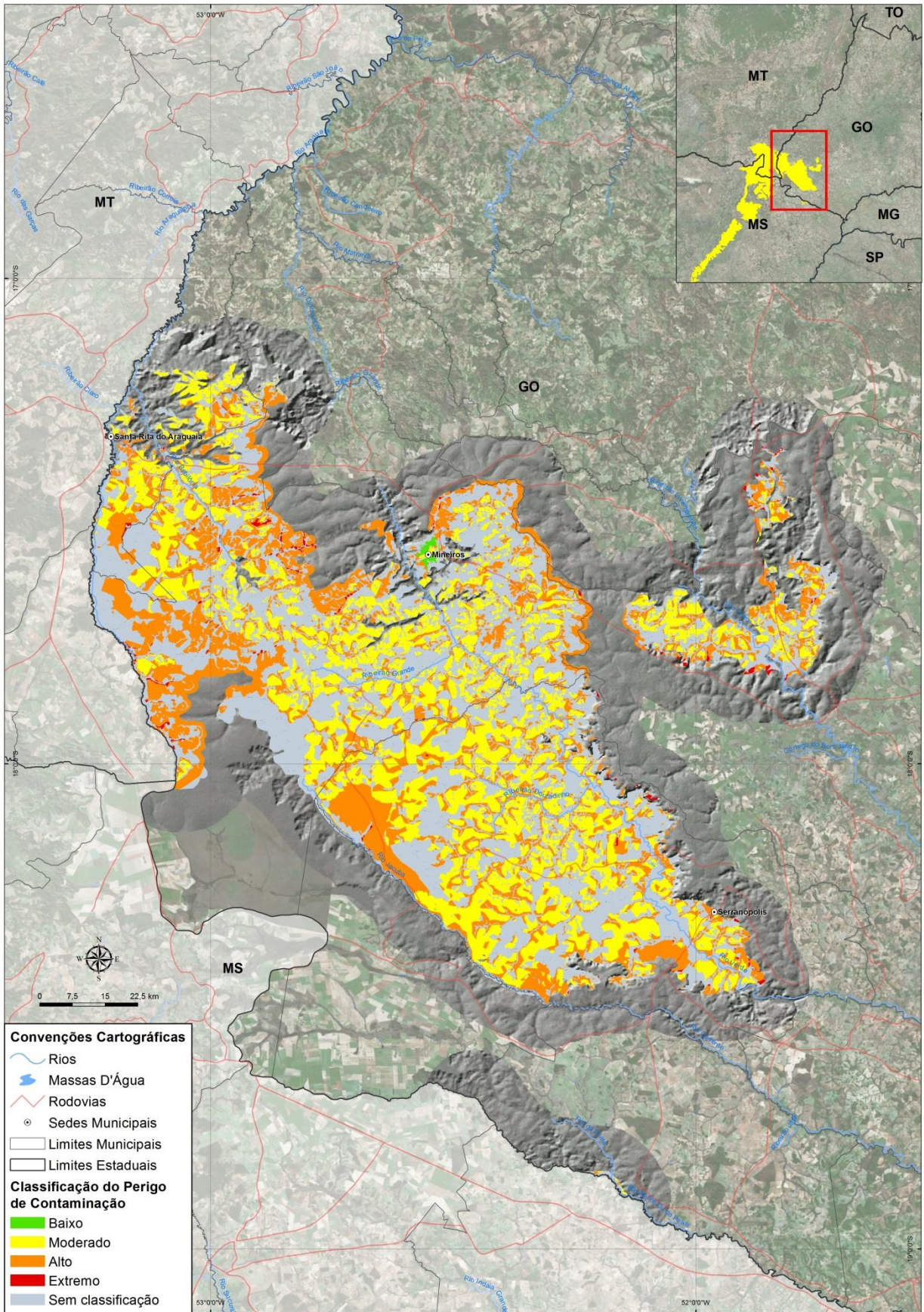


Figura 2.64 – Mapa de perigo de contaminação do SAG por fontes difusas de Goiás

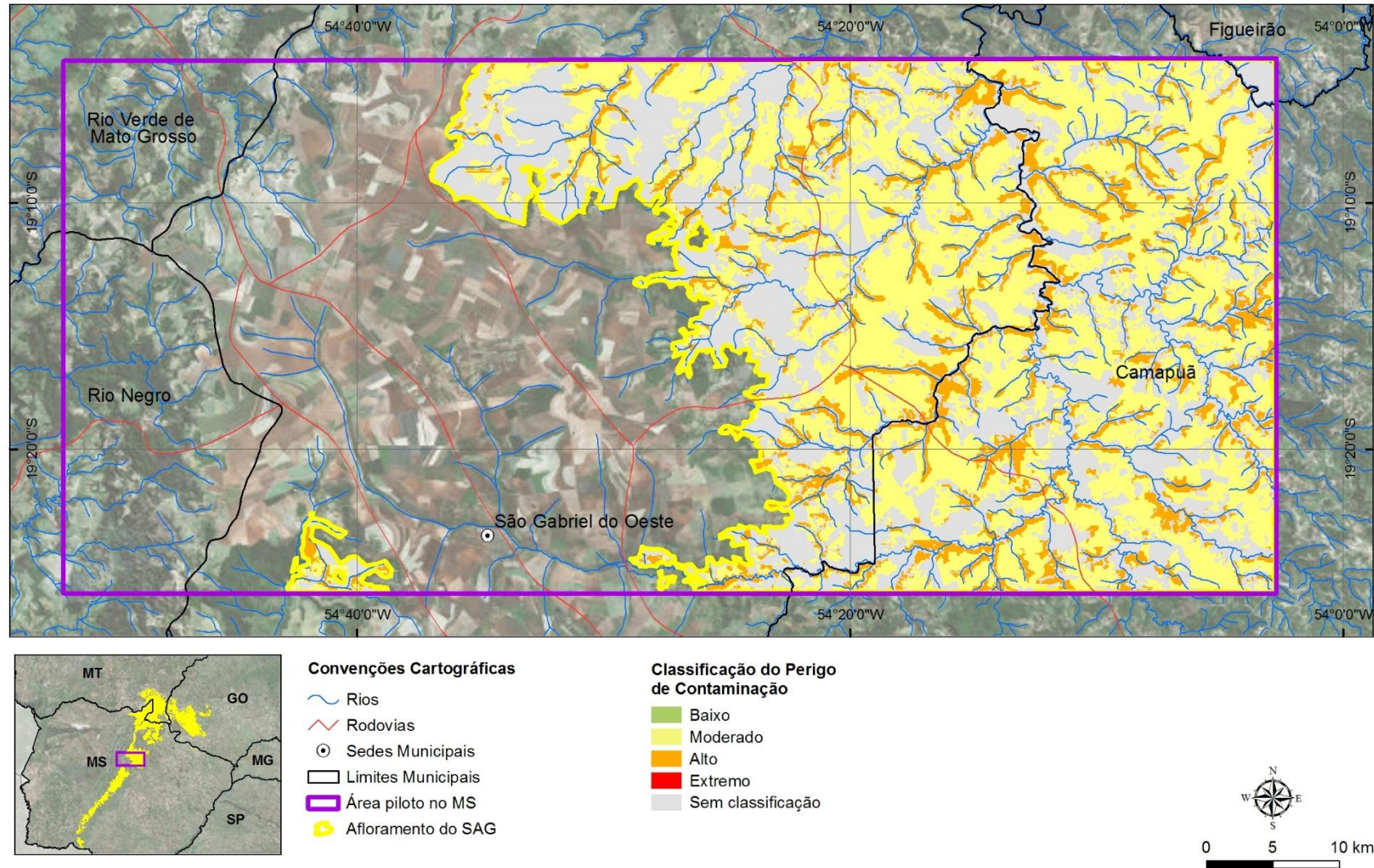


Figura 2.65 – Mapa de perigo de contaminação do SAG por fontes difusas da área piloto de São Gabriel do Oeste (MS)

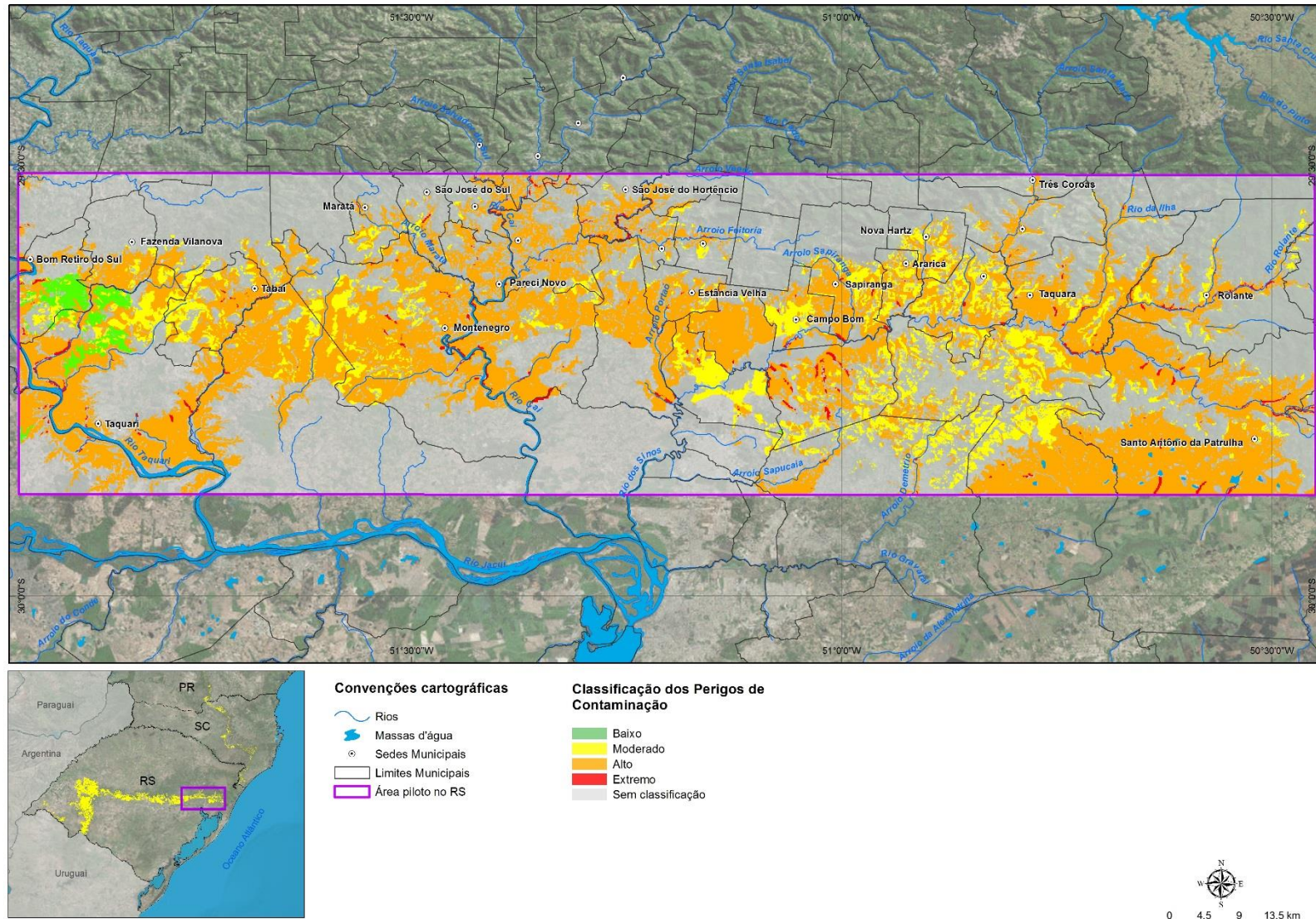


Figura 2.66 – Mapa de perigo de contaminação do SAG por fontes difusas da área piloto de São Sebastião do Caí (RS)

Na maioria dos estados estudados, representados por Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás, predomina a classe “moderada” de perigo de contaminação por fontes difusas nas áreas de afloramento do SAG. Por outro lado, nos estados do Rio Grande do Sul, onde alcança 38,6% da área total e Mato Grosso predomina a classe “alta” de perigo de contaminação. As classes “baixa” e “extrema” de perigo de contaminação por fontes difusas alcançam máximos de 5,5% e 3,8%, respectivamente, da área do Rio Grande do Sul e são inexpressivas nos demais estados (com exceção do estado de Santa Catarina, que apresenta 3,9% da área classificada como classe “extrema” de perigo de contaminação). A classe “desprezível” não foi identificada nos estudos. Por outro lado, áreas nas quais não foi possível estabelecer uma classificação de perigo de contaminação, segundo os critérios adotados, variaram entre 20,2%, no Rio Grande do Sul, e 53,2% no Mato Grosso.

A distribuição da classificação do perigo de contaminação das águas subterrâneas do SAG por fontes difusas, nos estados, é mostrada na Figura 2.67.

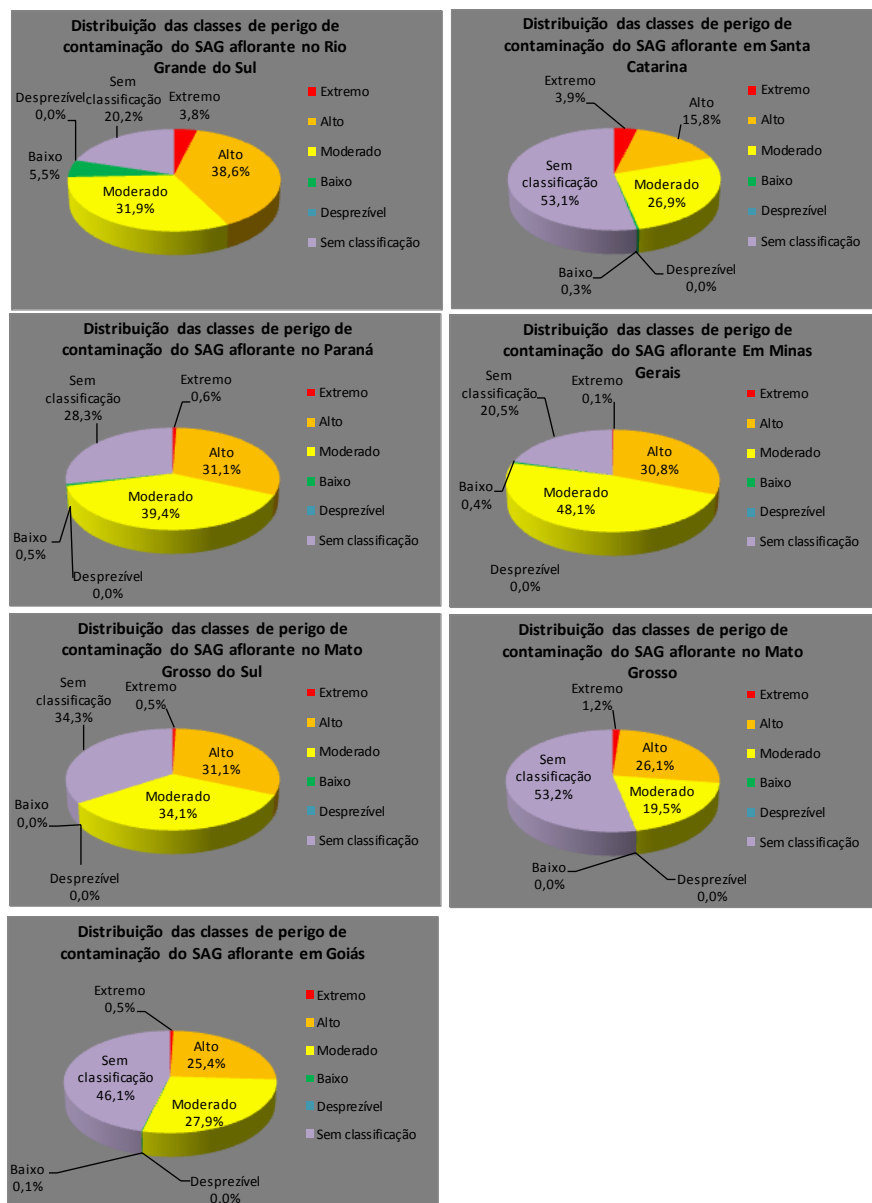


Figura 2.67 – Distribuição das classes de perigo de contaminação do SAG por fontes difusas, nos estados

3. 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.

3.1 DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÕES

Foram realizados três Workshops nos Estados abrangidos pelo SAG, para apresentação e discussão dos resultados dos estudos, com os seguintes objetivos: debater com a população e/ou seus representantes ações para manejo sustentável das águas subterrâneas na área do aquífero; obter contribuições dos grupos interessados em promover a preservação dos mananciais subterrâneos da área de abrangência do SAG; 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 de perigo alto de contaminação do aquífero.

Também foi proposta a realização de ações de educação ambiental focadas na preservação do SAG, considerando sua inserção 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 - Programa Estratégico de Ação, integrante do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani -, que teve por objetivo criar um arcabouço de gestão para esse importante aquífero, apoiando o manejo sustentável da água subterrânea na Argentina, no Brasil, no Paraguai e no Uruguai, países que o abrigam.

3.2 GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, MEIO AMBIENTE E USO DA TERRA NO TERRITÓRIO DE ABRANGÊNCIA DO SAG

As estratégias propostas no âmbito deste estudo e amplamente discutidas nos Workshops mencionadas são apresentadas no Quadro 3.1. Os temas considerados foram: i) uso e ocupação da terra; ii) consolidação de unidades de conservação; iii) proteção de mananciais subterrâneos; iv) procedimentos de controle da contaminação das águas subterrâneas; e v) diretrizes para a classificação de atividades poluidoras.

Em complementação ao segundo tema o Quadro 3.2 apresenta as Unidades de Conservação (UC) existentes na área de afloramento do SAG, bem como algumas informações relevantes sobre elas. Observa-se que enfoque considerado neste estudo foi o de que a consolidação ou fortalecimento destas UCs constituem uma forma de proteção do aquífero, na medida em que, sendo as UC de proteção integral não são permitidos usos antrópicos, com potencial de impactar os ecossistemas em seus limites, e sejam elas, de uso sustentável, são permitidos apenas usos controlados e que atendam a um Plano de Manejo preestabelecido.

QUADRO 3.1 – ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG

<i>Estratégias para a Gestão Integrada do Território de Abrangência do SAG - Uso e Ocupação da Terra</i>	
Ações de caráter geral	Inserção das áreas de proteção do SAG no Zoneamento dos Planos Diretores Municipais
	Solicitação de exigências específicas para o licenciamento ambiental de empreendimentos com potencial de contaminação do SAG
	Priorização das áreas de afloramento do SAG para projetos de esgotamento sanitário
	Indicação de áreas para implantação de estruturas de disposição final de resíduos sólidos fora das áreas de afloramento do SAG
	Ampliação das atividades de fiscalização e maior aparelhamento e capacitação dos órgãos responsáveis
Mecanismos de planejamento regional e local	Incorporação de restrição às diretrizes do Zoneamento Ecológico Econômico 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
	Revisão/adequação das taxas máximas de impermeabilização de terrenos nas áreas urbanas, visando evitar a contaminação do SAG, especialmente nas áreas de maior vulnerabilidade do aquífero
	Inserção de medidas e programas específicos para proteção do SAG em Planos de Bacia Hidrográfica
<i>Estratégias para a Gestão Integrada do Território de Abrangência do SAG - Consolidação das Unidades de Conservação</i>	
UCs de proteção integral	Destinação prioritária dos recursos da compensação ambiental (Lei Federal nº 9.985/2000) a UCs que abrigam áreas de afloramento do SAG
UCs de uso sustentável	Identificação e delimitação das áreas de maior vulnerabilidade do aquífero, a serem consideradas nos Planos de Manejo das UCs
<i>Estratégias para a Gestão Integrada do Território de Abrangência do SAG - Proteção de Mananciais Subterrâneos</i>	
A exemplo da Lei Estadual de São Paulo nº 9.866/97, que criou a Área de Proteção e Recuperação de Mananciais - APRM	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
<i>Estratégias para a Gestão Integrada do Território de Abrangência do SAG - Controle da Contaminação das Águas Subterrâneas</i>	
Prevenção da contaminação futura	Definição de áreas de proteção para fontes de abastecimento de água 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
	Inserção dos 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 no escopo dos Estudos de Impacto Ambiental - EIA
Manejo de fontes potenciais de contaminação existentes	Estabelecimento de prioridade para as medidas de controle da contaminação de água subterrânea, mediante; 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
	Redução ou eliminação da carga contaminante de subsolo com modificações de projeto
	Implantação de campanhas intensivas de monitoramento da qualidade da água subterrânea
Investigação do passivo ambiental	Decisão sobre o tipo de remediação ou medidas de limpeza a serem adotadas com base em critério a ser definido caso a caso, dependendo das informações e dados disponíveis e da orientação do órgão ambiental
Seleção de novas áreas para abastecimento público	Realização de análise que possibilite decidir se será possível controlar todas as fontes de contaminação ou se é aconselhável identificar outros locais para a instalação de novos sistemas de captação de águas subterrâneas
Critérios para a construção de poços	Obediência às seguintes normas da ABNT: NBR 12.212/06 - Projeto de poço para captação de águas subterrâneas; e 12.244/06 - Construção de poço para captação de água subterrânea
<i>Estratégias para a Gestão Integrada do Território de Abrangência do SAG - Diretrizes para Classificação de Atividades Poluidoras</i>	
Compatibilização entre diversos cadastros (Estados e União) de empreendimentos poluidores	Revisão, pelos estados em que ocorrem afloramentos do SAG, dos critérios que classificam as atividades potencialmente poluidoras de forma conjunta, à luz do Cadastro Técnico Federado do IBAMA
	Definição de limites iguais para enquadramento das atividades em alto, médio e baixo potencial poluidor, a depender da tipologia potencial das cargas poluentes geradas, e porte dos empreendimentos

QUADRO 3.2 – UNIDADES DE CONSERVAÇÃO EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG NOS ESTADOS, EXCETO SÃO PAULO

<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 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

3.3 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 microrganismos 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. Ressalva-se que a presença de elementos em quantidades acima do Valor Máximo Permitido (VMP) 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.

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. Assim, foram utilizados somente indicadores químicos e bacteriológicos para avaliação da qualidade da água do SAG.

Os resultados das análises químicas (Quadro 3.3) mostraram que apenas algumas amostras de água estão com parâmetros químicos acima dos teores máximos permitidos pela legislação vigente (Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde).

As causas 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.

Além disso, metade das amostras analisadas apresentou contaminação microbiológica em razão da falta de cimentação e de proteção sanitária dos poços.

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 são recomendadas. Em função dos resultados, poderão ser propostas áreas de restrição ou de monitoramento preventivo da qualidade.

QUADRO 3.3 – RESULTADOS DE ANÁLISES DE AMOSTRAS DE ÁGUA DO SAG COM PARÂMETROS ACIMA DOS VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS PELA PORTARIA Nº 2914/11

Amostra	UF	Município	Íons	VMP (2914/11) (mg/L)	Valor obtido (mg/L)
GS086	RS	Restinga Seca	Fluoreto	1,5	1,8
GS148	RS	Santa Maria			2,01
GS148	RS	Santa Maria	Sulfato	250	444
GS167	SC	Timbé do Sul			255
GN050	MS	Nioaque	Nitrato	44	102
GN100	MT	Alto Araguaia			113
GN114	MT	Alto Araguaia			47,3
GS145	RS	São Francisco Assis			83,2
GS146	RS	Santa Maria			58,1
GS153	RS	Santana do Livramento			51,2
GS148	RS	Santa Maria	Sódio	200	448
GN047	GO	Mineiros	Ferro	0,3	1,47
GS169	SC	Urubici			0,5
GN052	MS	Nioaque	Manganês	0,1	0,11
GN100	MT	Alto Araguaia			1,62
GN111	MT	Alto Araguaia			0,13
GN114	MT	Alto Araguaia			0,25
GS169	SC	Urubici			0,64

Destaca-se na questão do monitoramento contínuo da quantidade e qualidade das águas subterrâneas do SAG a implantação da Rede Nacional Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), cujo objetivo é ampliar o conhecimento hidrogeológico dos aquíferos (Figura 3.1).

Destaca-se que a RIMAS é uma rede essencialmente quantitativa, associada a um sistema de alerta qualitativo (monitoramento de nível de água diário, alguns parâmetros físico-químico

semestrais ou anuais e análises físico-químicas completas quinquenais ou em casos de variações significativas nos parâmetros monitorados semestralmente ou anualmente).

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.



Figura 3.1 - Poço no Rio Grande do Sul pertencente à Rede Nacional Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas – RIMAS – CPRM

3.4 PROPOSIÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO

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.

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.

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 são 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.

Considerando o uso da terra por áreas de mata e de cerrado e vulnerabilidade média do aquífero, foram selecionadas regiões potenciais para 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 de seleção, as regiões foram agrupadas entre si para formar núcleos maiores, desde que distantes no máximo 1 km umas das outras e com superfície total superior a 10 km² (Quadro 3.4). Estes critérios permitiram

distinguir 115 regiões em todo o SAG aflorante, destacando-se pela quantidade e dimensões aquelas localizadas nos estados do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (Figuras 3.2 a 3.12).

As indicações, todavia, constituem apenas sugestões baseadas em conceitos técnicos e a implementação das mesmas dependerá da decisão de cada estado envolvido. Uma alternativa de implementação, apontada neste estudo, seria agregar porções das áreas selecionadas às Unidades de Conservação de proteção integral existentes, desde que próximas, ampliando as áreas naturais a serem preservadas, particularmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, onde esta situação é mais favorável.

QUADRO 3.4 – NÚMERO DE REGIÕES POTENCIAIS, POR ESTADO, PARA ESTABELECIMENTO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO DO SAG E MUNICÍPIOS ABRANGIDOS

Estados	Nº de regiões	Área (km ²)	Municípios abrangidos
RS	6	10 a 20	Agudo, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Ivorá, Nova Palma, Paraíso do Sul, Santa Maria e Silveira Martins
PR	13	10 a 48	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
SC	5	10 a 50	Pitanga, Cruz Machado, Inácio Martins, Porto Vitória, União da Vitória, Paula Freitas e Paulo Frontin
MG	3	16 a 36	Sacramento, Claraval e Ibiraci
MS	35	10 a 119	Nioaque, Anastácio, Terenos, Coxim, Sonora, Rochedo, São Gabriel do Oeste, Pedro Gomes, Camapuã, Figueirão, Alcinoópolis e Costa Rica
MT	26	10 a 398	Itiquira, Alto Garças, Alto Araguaia e Alto Taquari
GO	27	10 a 32	Santa Rita do Araguaia, Mineiros e Serranópolis

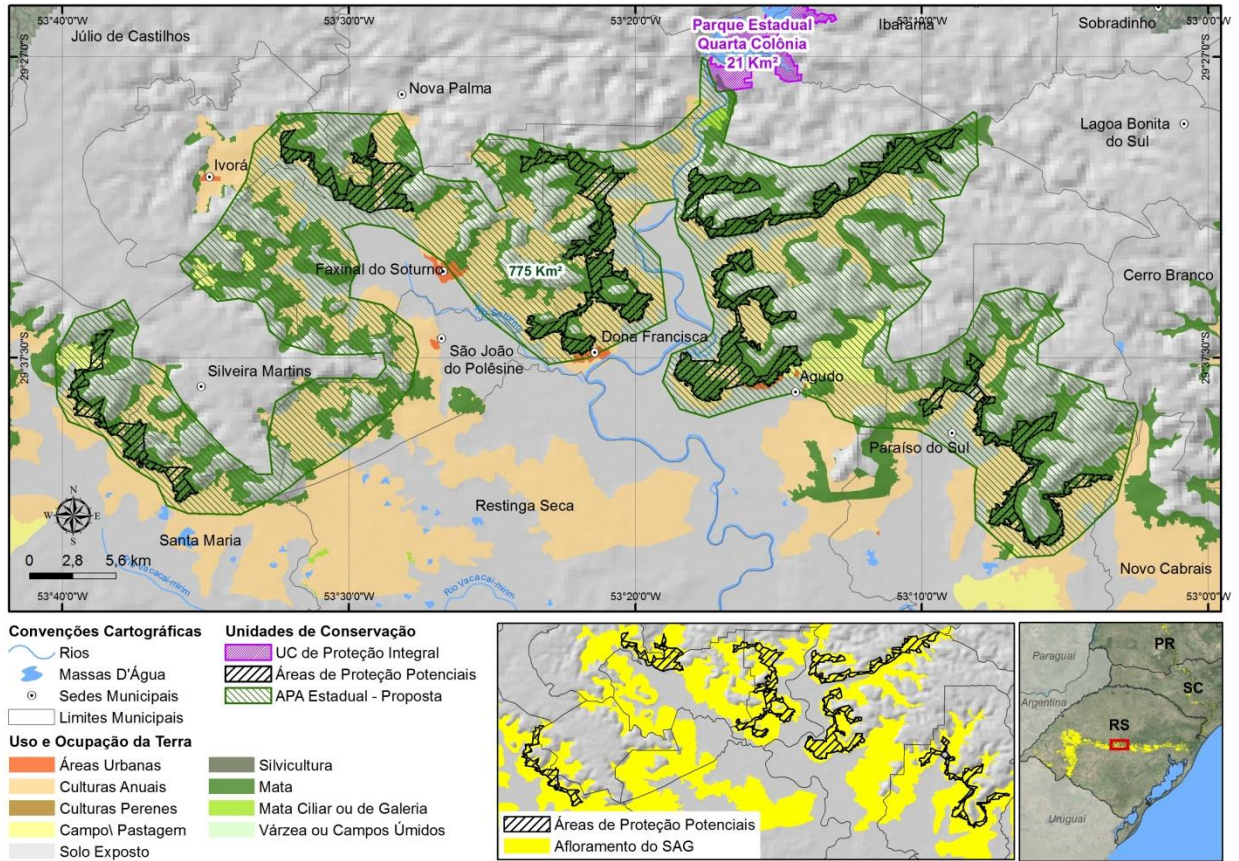


Figura 3.2 – Áreas de proteção potenciais do SAG no Rio Grande do Sul e proposta para criação de APA

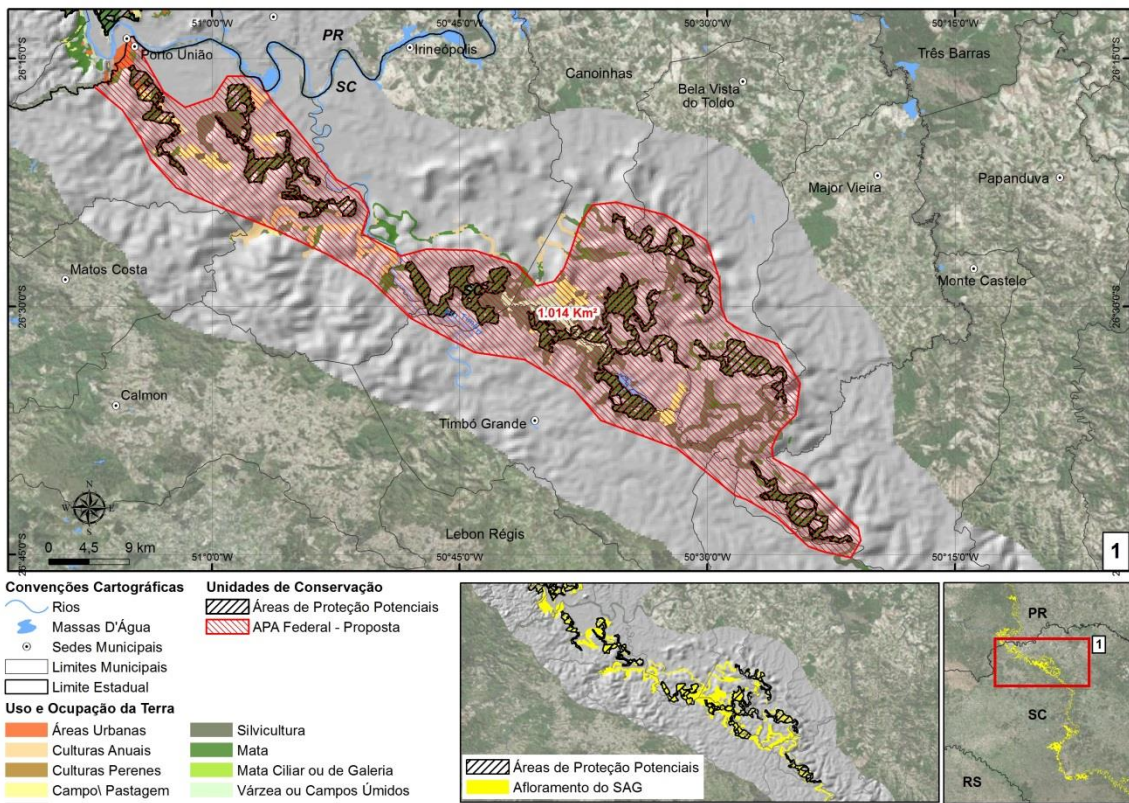


Figura 3.3 - Áreas de Proteção Potenciais do SAG em Santa Catarina - Porção Norte do Afloramento – Proposta para a Criação de APA Federal

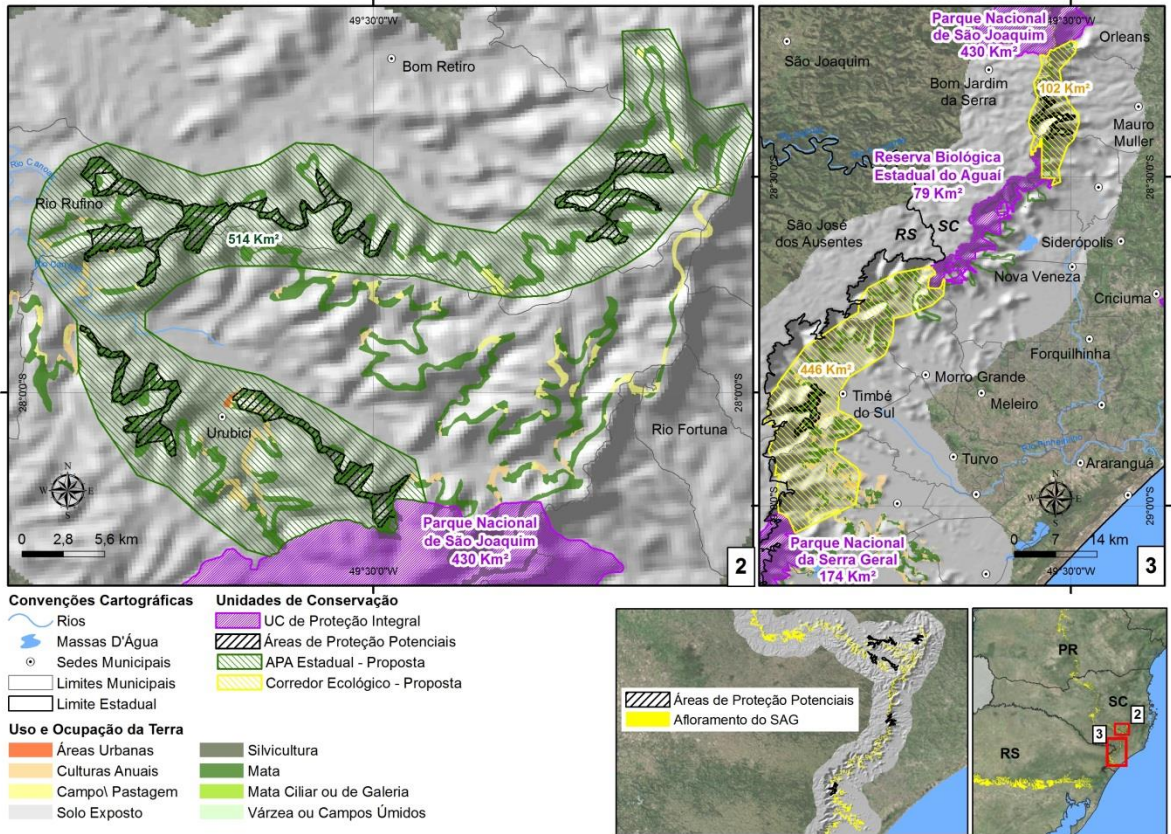


Figura 3.4 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG em Santa Catarina – Porção Sul do Afloramento - Proposta para a Criação de APA Estadual e Corredor Ecológico

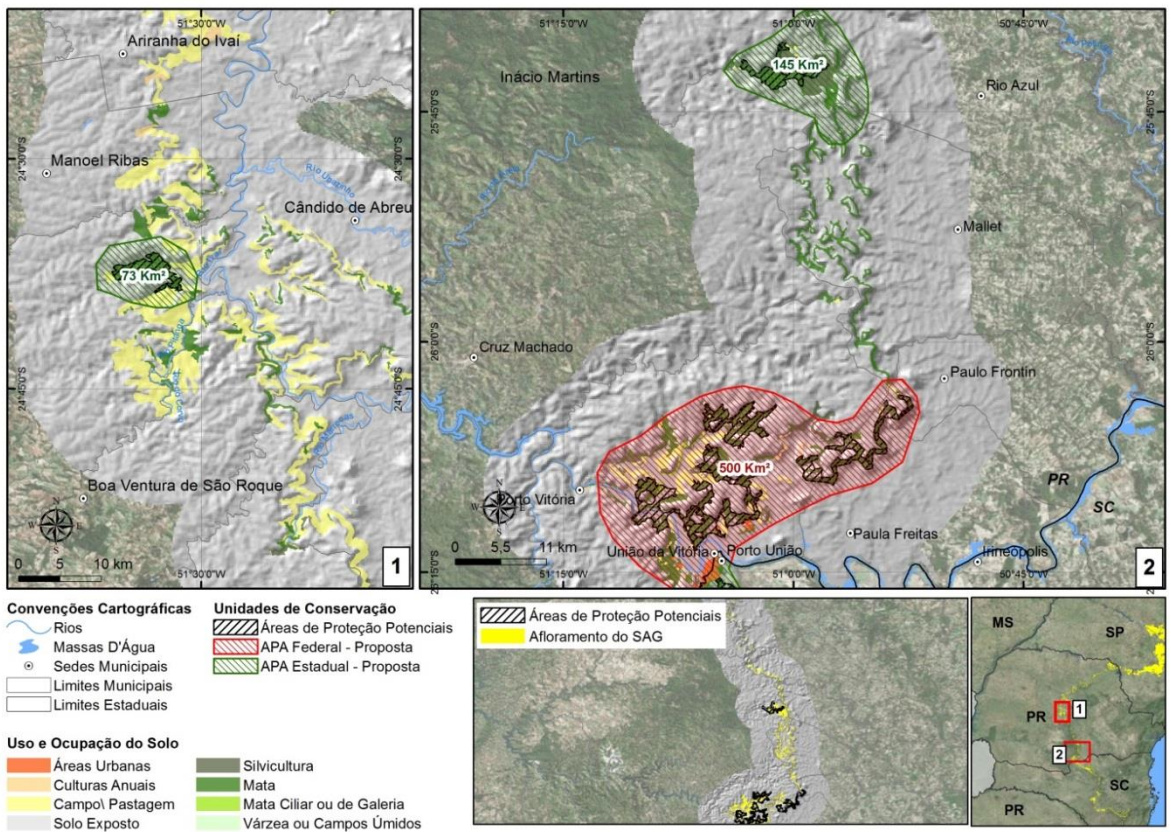
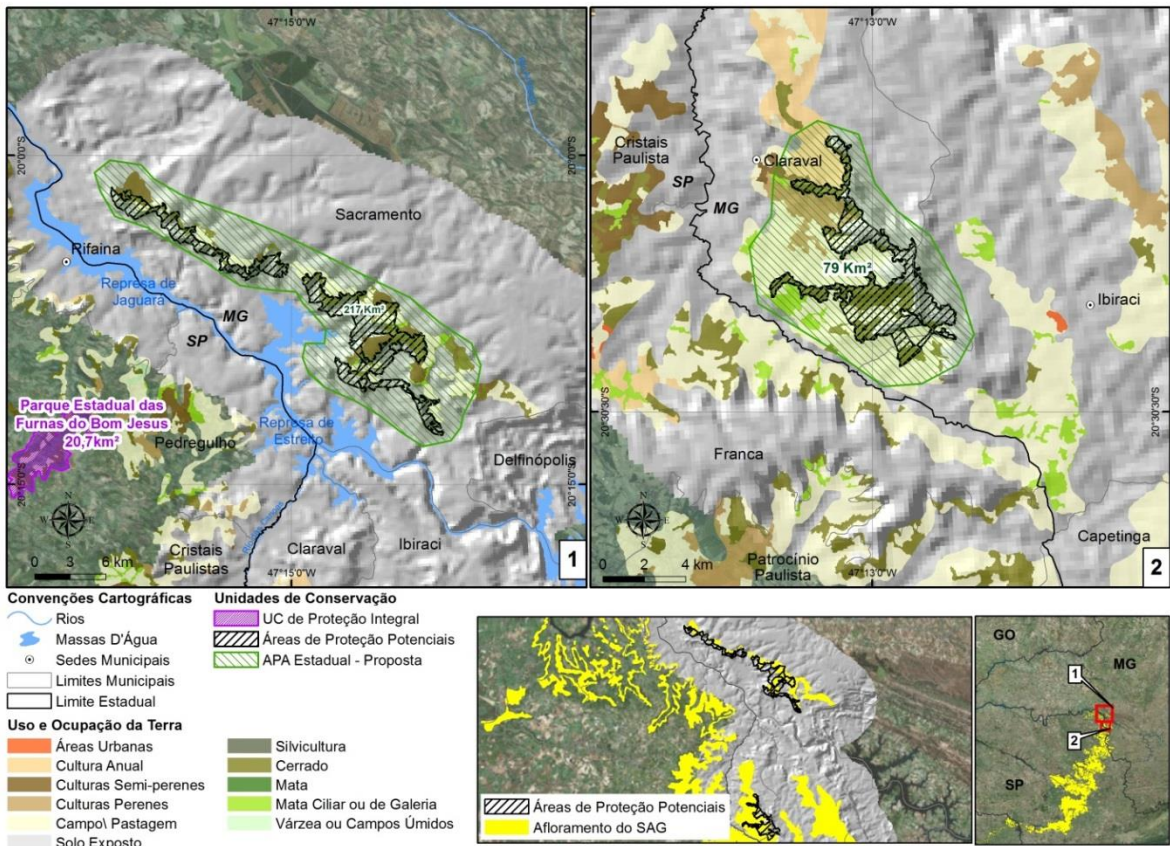
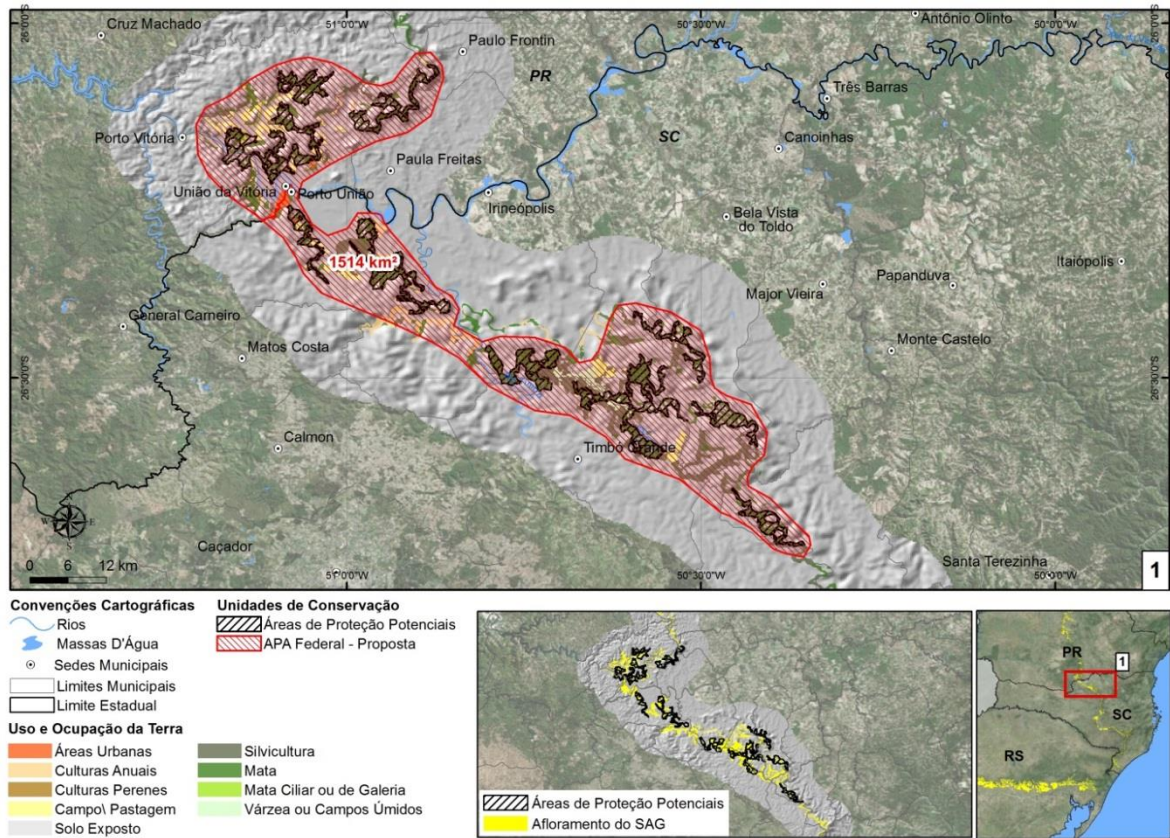


Figura 3.5 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG no Paraná e APAs Estaduais e Federal Propostas



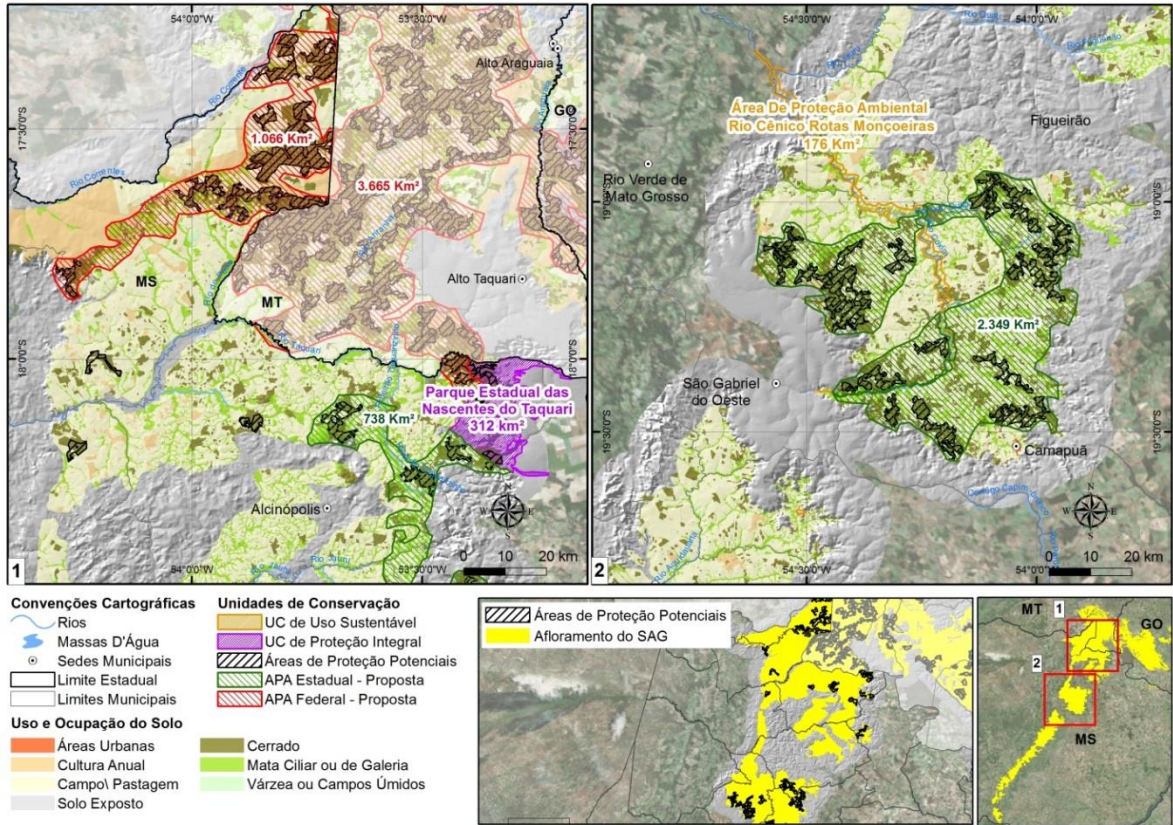


Figura 3.8 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG no Mato Grosso do Sul e APAs Estadual e Federal Propostas – Porção Norte do Afloramento

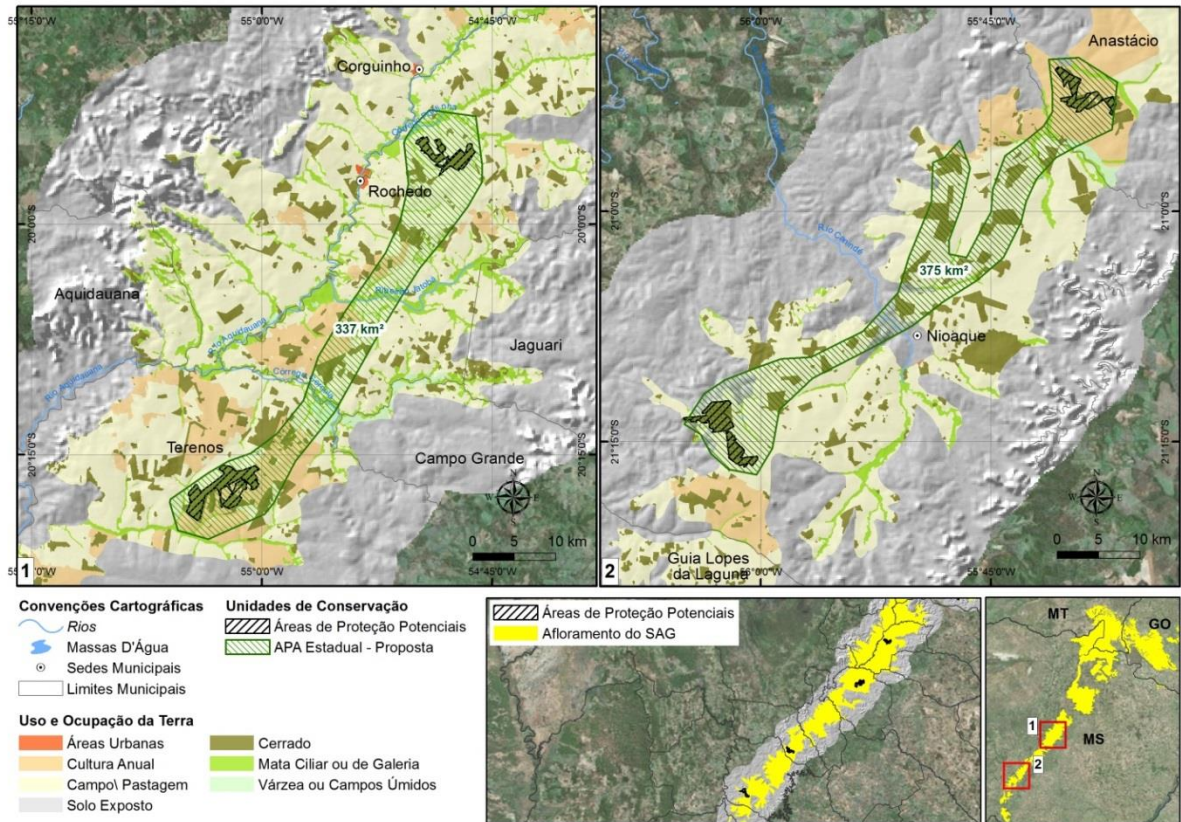


Figura 3.9 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG no Mato Grosso do Sul e APAs Propostas – Porção Sul do Afloramento

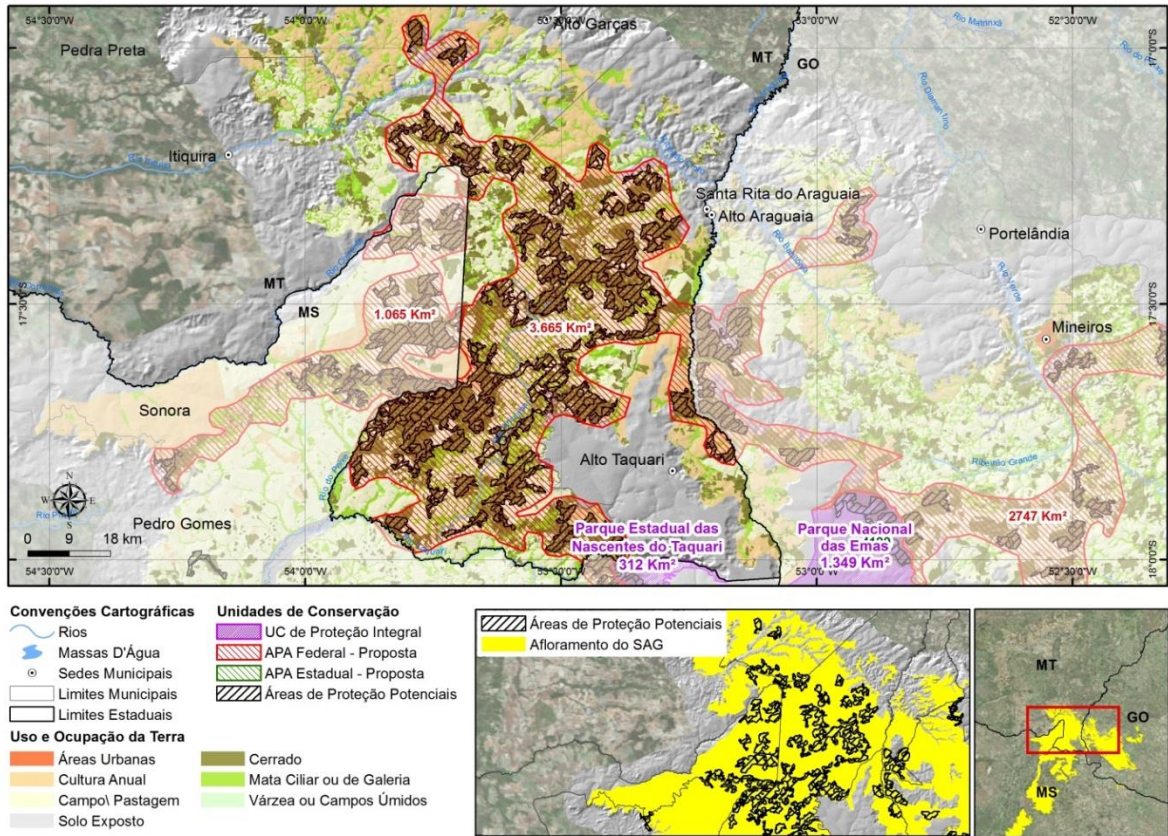


Figura 3.10 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG no Mato Grosso e APA Proposta

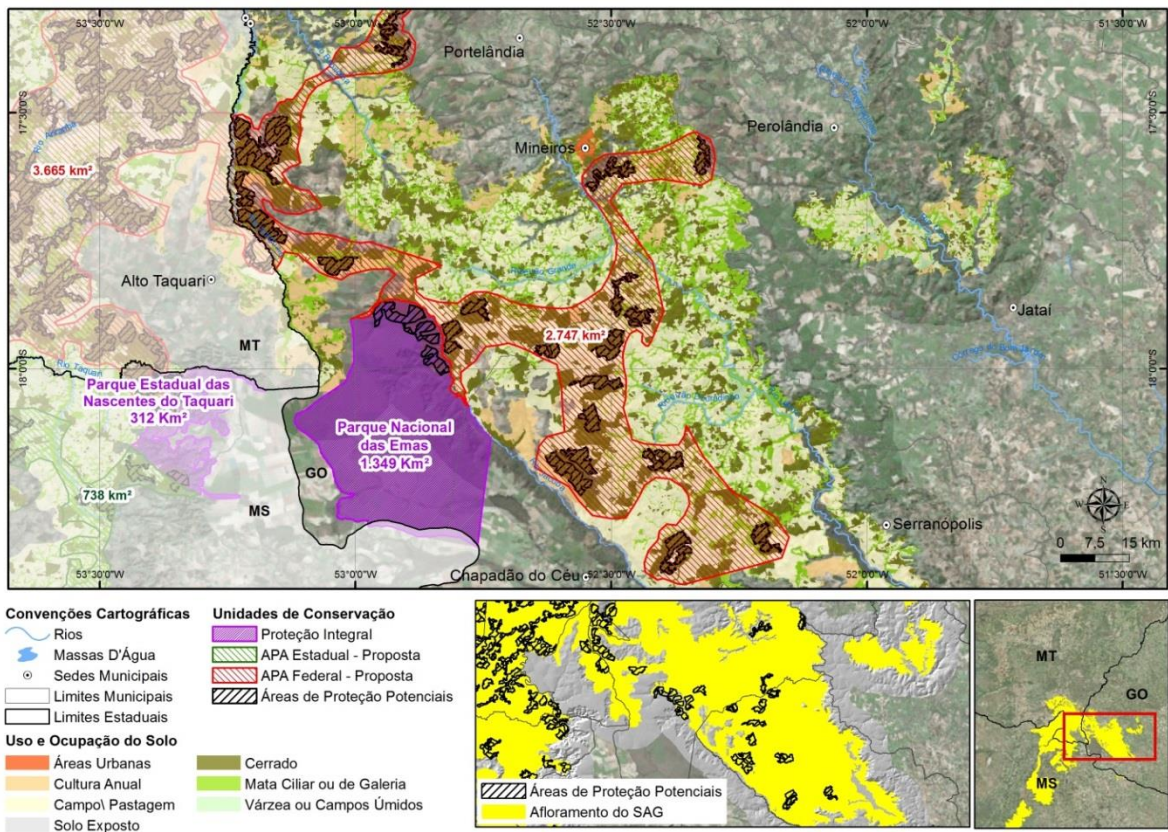


Figura 3.11 – Áreas de Proteção Potenciais do SAG em Goiás e APA Federal Proposta

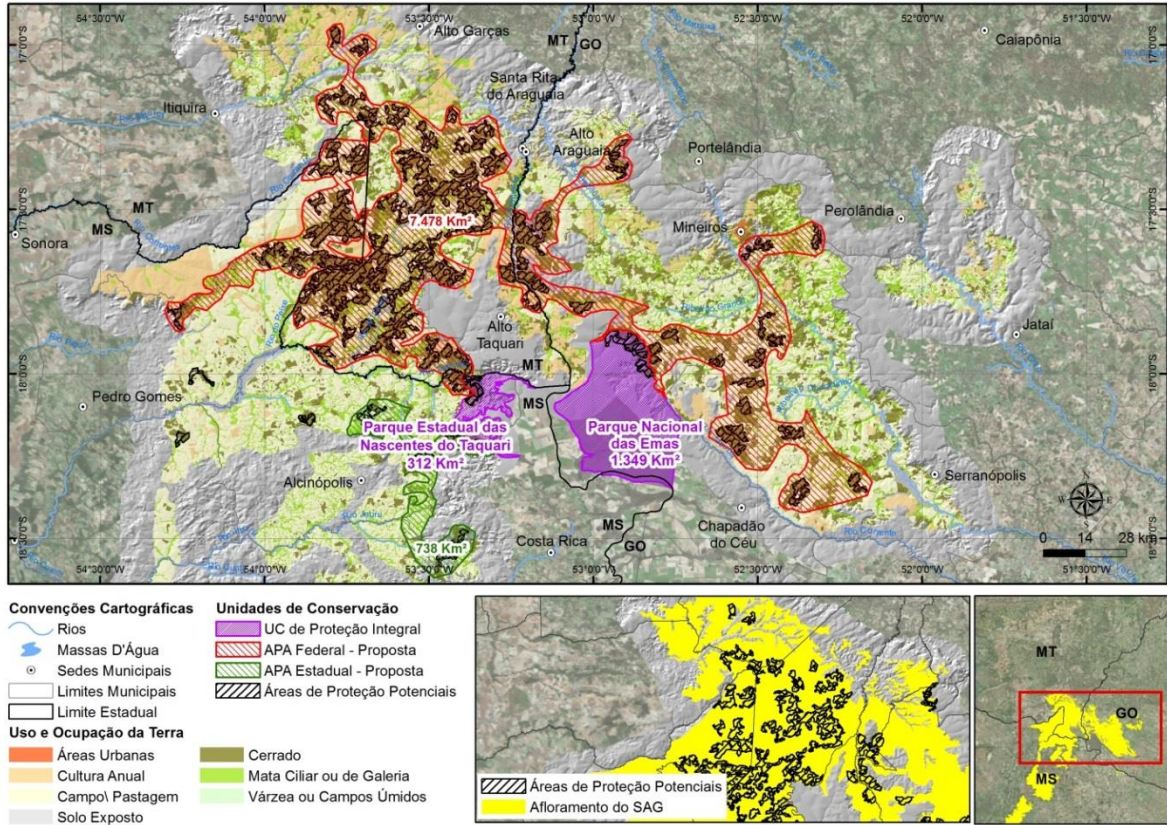


Figura 3.12 - Áreas de Proteção Potenciais do SAG nos Estados do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás e APA Estadual (MS) e Federal Proposta (MS, MT e GO)

3.5 PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO

Perímetro de proteção de poços (PPP) é uma área que circunda a captação, com dimensões e forma dependentes das características hidrogeológicas do terreno, onde a ocupação por atividades potencialmente contaminantes são impedidas ou restringidas. Os perímetros visam evitar que o manancial de abastecimento de água subterrânea (poço ou fonte) seja contaminado por atividades antrópicas.

A delimitação do perímetro de proteção envolve a avaliação da área de contribuição da captação, presença de fontes potenciais de contaminação no entorno e susceptibilidade aos eventuais contaminantes, e define o tempo de trânsito que um contaminante advectivo leva para atingir o poço.

Dentre os diversos métodos de delimitação destes perímetros (Quadro 3.5), que incluem critérios como distância, rebaixamento, tempo de residência, condições de contorno e capacidade de assimilação de contaminantes, o método volumétrico do raio fixo calculado (RFC) é o mais indicado para ser aplicado no SAG aflorante e em outros aquíferos livres, em razão da facilidade de uso e da pequena quantidade de parâmetros que devem ser conhecidos para sua estimativa.

QUADRO 3.5 – 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	■	■				
Rebaixamento		■	■		■	■
Tempo de residência		■	■		■	■
Limites hidrogeológicos				■	■	■
Capacidade de assimilação						■

O método volumétrico (RFC) 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. 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:

$$R \cong \sqrt{\frac{Qt}{n_e \pi H}} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde: 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 (m³/d); n_e= porosidade efetiva das rochas do aquífero.

Para a aplicação da formulação do RFC e delineamento 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. 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.

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 a equação 3.1 toma a seguinte forma:

$$R \cong \sqrt{\frac{Q*365}{n_e\pi H}} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Exemplos de perímetros de proteção de poços, calculados pelo método do RFC para as diversas unidades hidroestratigráficas componentes do SAG, são apresentados no Quadro 3.6 e Figura 3.13, 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 àquelas condições.

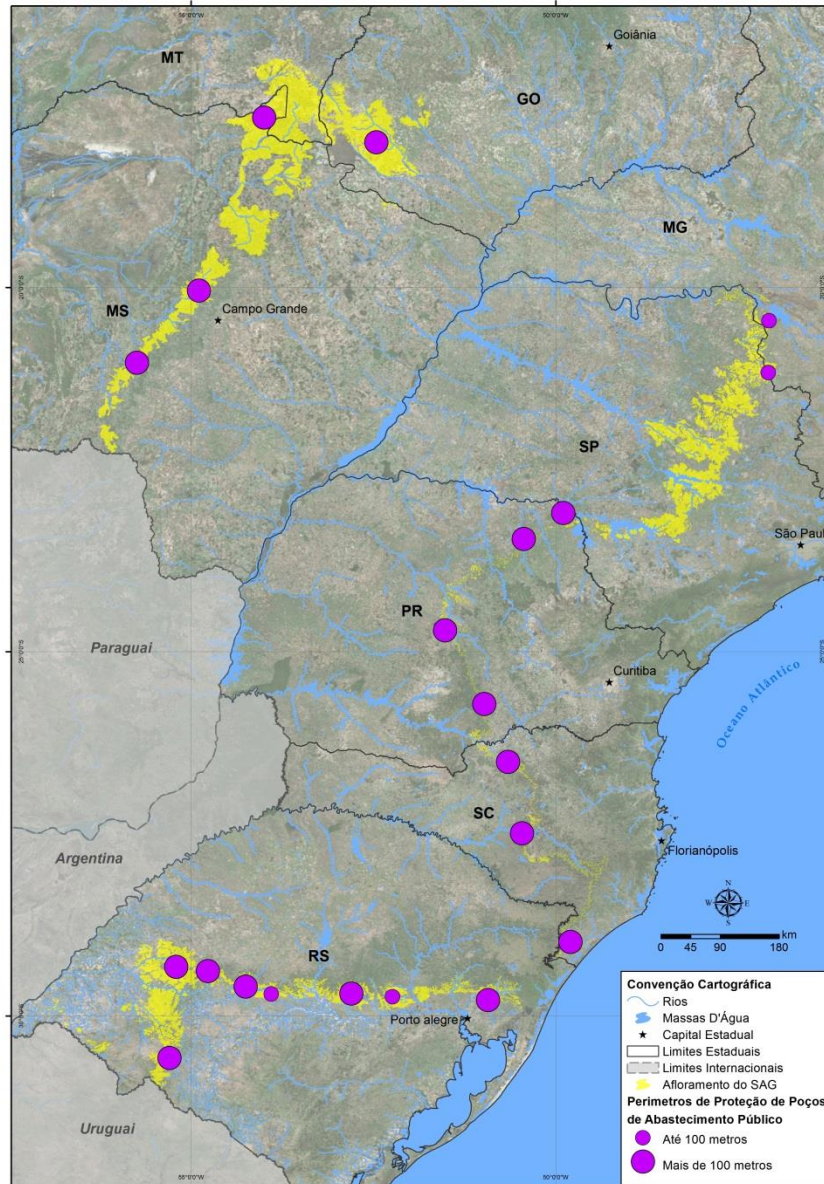


Figura 3.13 - Representação de perímetros de proteção de poços de abastecimento público perfurados nas unidades hidroestratigráficas do SAG

QUADRO 3.6 – EXEMPLOS DE CÁLCULO DE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS

Exemplos de cálculos de perímetros de proteção de poços					
Unidades hidroestratigráficas	n_e (%)	$t(d)$	H (m)	Q (m ³ /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

3.6 *PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG*

De maneira geral, os estados 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.

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.

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 ou 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.

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, foram traçadas diretrizes para a elaboração de normas específicas para os estados e municípios, com vistas a garantir a proteção do Sistema Aquífero Guarani.

As diretrizes propostas têm dois propósitos fundamentais. O primeiro refere-se à proteção efetiva do aquífero, questão relativa à segurança hídrica para as gerações atual e futuras. As águas subterrâneas, recurso ainda relativamente desconhecido, possuem um enorme potencial para garantir o abastecimento hídrico em qualidade e em quantidade adequadas para o consumo humano. Portanto, 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.

O outro propósito fundamental das diretrizes apresentadas refere-se à necessidade de maior conhecimento das águas subterrâneas pelos estados, ou seja, informações acerca de seu fluxo, pontos de contaminação e usuários desses recursos. Os estudos sobre águas subterrâneas são relativamente recentes e ainda são poucos os relatórios de conjuntura para verificação do estado da arte da gestão do SAG no 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 de 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. Embora direcionadas ao SAG, as diretrizes propostas podem ser utilizadas para outros sistemas de águas subterrâneas estaduais, considerando a importância e interrelação entre os diversos aquíferos (Quadro 3.7).

QUADRO 3.7 – PROPOSTAS DE DIRETRIZES DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS DO SAG, PARA INCORPORAÇÃO EM NORMAS LEGAIS

PROPOSTAS DE DIRETRIZES PARA INCORPORAÇÃO EM NORMAS LEGAIS		
Atribuições	Diretrizes	
Estaduais	Levantamento de informações	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.
	Uniformização de procedimentos administrativos	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.
	Usos das águas subterrâneas	Considerar expressamente a necessidade de indicação das prioridades de uso de águas subterrâneas nos planos de bacia hidrográfica, aprovados pelos respectivos Comitês
	Fiscalização	Aprovação de leis criando cargos de fiscais, seja na área de recursos hídricos, seja na área ambiental, com a realização de concursos públicos
	Enquadramento	Enquadramento das águas subterrâneas de acordo com a Resolução CONAMA nº 396/2008
	Sistema de gerenciamento de recursos hídricos	Implementar as políticas estaduais de recursos hídricos em vigor e, sobretudo, os seus instrumentos de gestão das águas subterrâneas e o funcionamento dos órgãos colegiados, de forma a garantir a continuidade da melhoria dos aspectos de qualidade e quantidade das águas inclusive as subterrâneas.
	Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE)	Elaborar Zoneamento Ecológico Econômico na zona de incidência do SAG, em articulação com os Planos Diretores dos Municípios, bem como outros planos
Estaduais e Municipais	Implementação das Unidades de Conservação (UC) nas áreas de afloramento do SAG	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 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
	Proteção de Mananciais	Incluir na legislação normas específicas sobre a proteção de mananciais subterrâneos (ordenação do uso e ocupação do solo), com base na cooperação entre Estados e Municípios, para orientar a ocupação das áreas de abrangência dos aquíferos.
	Licenciamento ambiental (1)	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 para a concessão das licenças, condicionando-as aos necessários cuidados que devem ser tomados nessas áreas
	Licenciamento ambiental (2)	Estabelecer norma estadual 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
Municipais	Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)	Estabelecer mecanismos jurídicos de remuneração aos proprietários das áreas de incidência dos aquíferos para que sejam adotadas práticas ambientalmente adequadas, com vistas à proteção das águas subterrâneas
	Uso e ocupação do solo	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
	Selo Verde	Elaboração de norma estadual atribuindo selo verde aos municípios que adotarem, em suas normas municipais, medidas de proteção aos aquíferos

4. 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.

Os mapeamentos geológicos nas escalas na escala 1:250.000 e 1:50.000 identificaram e delimitaram 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 coberturas indiferenciadas. 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 mostraram que as áreas efetivas do SAG aflorante são, na realidade, menores do que aquelas cartografadas no Projeto PSAG (OEA, 2009). 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.

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 km² (39,2%) e 18.647,7 km² (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 levantados 2.692 poços previamente cadastrados em órgãos e empresas estatais e privadas de saneamento, e cadastrados 314 poços novos em campo. Destes, 210 foram selecionados para a coleta de amostras de água para análises hidroquímicas e medição dos 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 (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 predomínio 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 km², 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 incide, 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 no PSAG (SISAG), no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e 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.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- 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 pp.
- 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 DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Demográfico. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em 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).
- LABORATÓRIO DE ESTUDO DE BACIAS – LEBAC. 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.
- 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.

- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO – SMA. 1997. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. IG/ Cetesb/ DAEE, São Paulo, 2 v., mapas. (Série Documentos).
- 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.; 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.
- 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.
- 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.

ANEXO I – MAPA HIDROGEOLÓGICO ESTADUAIS E DAS ÁREAS PILOTO



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

