INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Minas Gerais
Campus Bambuí

SGB
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

Atlas de *Backgroud* Geoquímico e Índices Ambientais

Valores de referência e índices ambientais de elementos potencialmente tóxicos à natureza e à vida da região de Abaeté a Belo Horizonte - Minas Gerais



2023

INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Minas Gerais
Campus Bambuí

ATLAS DE *BACKGROUND* GEOQUÍMICO E ÍNDICES AMBIENTAIS

VALORES DE REFERÊNCIA E ÍNDICES AMBIENTAIS DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS À NATUREZA E À VIDA DA REGIÃO DE ABAETÉ A BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS.

SGB
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

BELO HORIZONTE
2023

FICHA TÉCNICA

2023. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG). Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte, desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05, Caixa Postal 05 – Bambuí – MG – 38900-000 – www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG

Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ

Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ

Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Sabrina Ferreira de Queiroz

Ariana Cristina Santos Almeida (Orientadora)

Eduardo Duarte Marques (Coorientador)

PARCERIA

Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM. Superintendência Regional de Belo Horizonte.

APOIO TÉCNICO

PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO

Capa – Elizabeth de Almeida Cadete Costa

Figuras – Sabrina Ferreira de Queiroz e Márcio Ferreira Augusto

Catalogação na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

Q3a Queiroz, Sabrina Ferreira de.
Atlas de background geoquímico e índices ambientais: valores de referência e índices ambientais de elementos potencialmente tóxicos à natureza e à vida da região de Abaeté a Belo Horizonte, Minas Gerais. / Sabrina Ferreira de Queiroz; orientador: Ariana Cristina Santos Almeida; coorientador: Eduardo Duarte Marques. – Bambuí, 2023.
79 p.: il.; color.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2022.

1. Produto tecnológico. 2. Geologia. 2. Toxicologia. I. Almeida, Ariana Cristina Santos. II. Marques, Eduardo Duarte. III.Título.

CDD 333.7072

Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

APRESENTAÇÃO

Produto tecnológico é um produto com elevado grau de novidade, fruto da aplicação de novos conhecimentos científicos, técnicas e expertises desenvolvidas no âmbito da pesquisa. É utilizado, diretamente, na solução de problemas, visando o bem-estar social (CAPES, 2019).

Mapas são produtos originados de estudos cartográficos e se enquadram no tipo de produto: Carta, Mapa ou similar, segundo a Capes (2019). Ademais, representam, de forma gráfica, uma superfície plana e visam trazer ao leitor as informações de objetos ou os fenômenos de origem física natural e/ou de origem antropogênica.

Obtidos a partir de um trabalho de levantamento geoquímico — realizado em projetos geoquímicos do **Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM),** e como resultado da Dissertação de Mestrado do **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG),** intitulada como *Assinatura Geoquímica e suas Implicações para o Meio Ambiente*: Bacia do Rio São Francisco, região entre os municípios de Abaeté e Belo Horizonte — foram gerados os mapas e originou-se o presente Atlas, de forma a deixar mais claro e simples os resultados obtidos.

Os tratamentos robustos de estatística e de processamento espacial da informação deram origem a esses produtos, os quais têm como objetivo fornecer valores de referência para o controle e a mitigação de elementos químicos potencialmente tóxicos, bem como fornecer informações espaciais de índices ambientais em áreas que merecem devidas atenções em relação à disponibilidade destes elementos.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 6
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA 7
CONTEXTO GEOGRÁFICO 7
CONTEXTO GEOLÓGICO 9
MATERIAIS E MÉTODOS 12
DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE *BACKGROUND* GEOQUÍMICO 13
DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES AMBIENTAIS 14
PARÂMETROS LEGAIS E SUMÁRIOS ESTATÍSTICOS 15
MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA E ÍNDICES AMBIENTAIS 18
BACKGROUND GEOQUÍMICO – MÉTODO MAD 18
DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES AMBIENTAIS 25
Fator de Enriquecimento 25
Fator de Contaminação 46
Índice de Poluição 57
Grau de Contaminação Modificado 59
Risco Ecológico 61
DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 63
CONCLUSÃO 65

INTRODUÇÃO

Levantamentos Geoquímicos Multielementares (LGM), aliados a técnicas avançadas de processamento de dados e análises estatísticas, constituem ferramentas importantes ao entendimento do meio físico e da sua relação com as alterações naturais e as geradas pelas ações antrópicas. Galuszka (2007a) cita a implicação destas alterações de forma importante nas áreas da Geologia, da Toxicologia, da Biologia e em outros campos, demonstrando a importância da definição de concentração geoquímica de elementos-traço e sua relevância para os estudos ambientais ligados à gestão territorial sustentável.

Sedimentos de corrente possuem uma grande capacidade de concentrar elementos-traço, e, desta forma, levantamentos geoquímicos por esta matriz podem revelar a assinatura geológica de uma região (GASPARON *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2003), bem como serem aplicados em estudos ambientais, identificando potenciais fontes de contribuição, sejam elas de poluição antropogênica ou de fontes naturais (geogênicas), conforme apresentado por diversos trabalhos (ALBANESE *et al.*, 2007; DARNLEY *et al.*, 1995; GAŁUSZKA, 2007; REIMANN & CARITAT, 2005, 2017; YUAN *et al.*, 2013).

No Brasil, trabalhos de grande abrangência com esse enfoque são escassos. Existem levantamentos geoquímicos regionais, realizados por empresas estatais e instituições privadas (MARQUES, 2010; PINHO *et al.*, 2017; SALOMÃO *et al.*, 2018; LICHT, 2018), sendo necessários trabalhos e estudos que estabeleçam concentrações de elementos-traço e definam valores de referências que permitam a confrontação com as legislações, regulamentos e a avaliação do estado de integridade física e ambiental feita através do levantamento dos índices ambientais, permitindo o controle e a mitigação de elementos que podem levar a danos e riscos à saúde e à vida. A região de estudo se encontra na bacia hidrográfica do São Francisco, em Minas Gerais, região particularmente relevante para estudos geoquímicos, por estar inserida em uma das maiores províncias minerais do Brasil e do mundo. Abrange a área de maior concentração populacional e de importância econômica do estado, tendo como principais atividades

relacionadas: a indústria, a mineração e as atividades agropecuárias.

Por não se conhecer a distribuição dos elementos nesta região e qual a influência os grandes domínios geológicos exercem sobre ela, faz-se necessário: a identificação das associações e dos processos geoquímicos; a definição da distribuição espacial e concentrações de *background;* e a distribuição de valores anômalos a partir dos mapas de índices ambientais para os elementos analisados — levando em consideração as compartimentações geoquímicas e/ou geológicas, bem como a correlação com o uso e a ocupação do solo.

Dessa forma, o objetivo deste Atlas é apresentar os mapas de distribuição de elementos potencialmente tóxicos em diversos temas, com o intuito de enriquecer o conhecimento geoquímico, e trazer informações coerentes com a realidade regional, possibilitando o controle e a mitigação destes elementos na área.

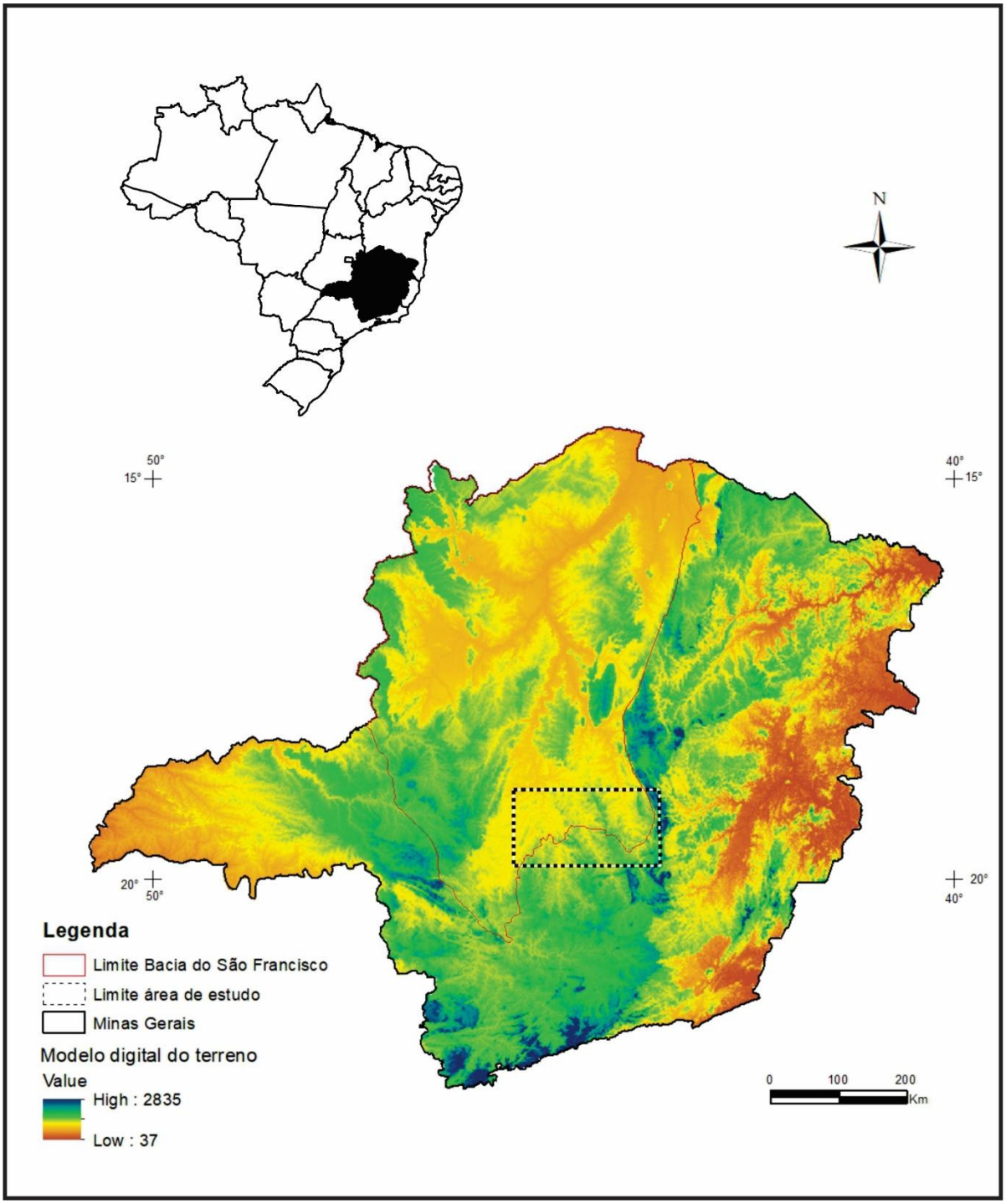
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

CONTEXTO GEOGRÁFICO

A área abordada neste Atlas está localizada no Estado de Minas Gerais, Região Sudeste do Brasil, e no extremo sudeste da Bacia do São Francisco, com área aproximada de 22 mil km^2 (**Figura 1**). Abrange vários municípios, como a capital mineira, **Belo Horizonte**, e as seguintes localidades: Abaeté, Pompéu, **Sete Lagoas**, Baldim, Bom Despacho, Pará de Minas, Inhaúma, Pedro Leopoldo, **Betim**, **Contagem**, Lagoa Santa e outras; sendo que alguns destes municípios compõem a lista dos 20 municípios de maior PIB do estado em 2017 (FJP, 2019).

Grande parte da área de estudo está inserida na Região Geográfica Intermediária (RGINT) de Belo Horizonte, e parte pertence à RGINT de Divinópolis, sendo a RGINT de Belo Horizonte responsável por uma grande participação na produção industrial do estado (FJP, 2019).

Figura 1: Localização geográfica da área de estudo e da Bacia do São Francisco.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo se encontra na porção sul-sudeste do Cráton do São Francisco, sendo limitada a leste pela Faixa Araçuaí (ALMEIDA, 1977; UHLEIN *et al.*, 1990; UHLEIN, 1991; PEDROSA SOARES *et al.*, 1992), conforme mostra a **Figura 3**. Segundo Alkmim (2004), o Cráton do São Francisco é uma entidade geotectônica que foi consolidada ao final da orogênese brasiliana.

A geologia regional é definida, principalmente, por cinco grandes unidades litoestratigráficas, que são caracterizadas, da base para o topo, pelos: Complexos Metamórficos; Supergrupo Rio das Velhas; Supergrupo Minas; Supergrupo Espinhaço; e Grupo Bambuí.

As rochas do Grupo Bambuí foram depositadas sobre rochas arqueanas pertencentes aos complexos Belo Horizonte (RIBEIRO *et al.*, 2003) e Divinópolis (ROMANO, 2007); sobre os metassedimentos do Supergrupo Espinhaço de idade paleo-mesoproterozóica, unidades não envolvidas na deformação Brasiliana (PFLUG, 1965, 1968; PFLUG & RENGER, 1973); e sobre o Grupo Macaúbas (PFLUG, 1965, 1968; PFLUG & RENGER, 1973), de idade neoproterozóica. Segundo Almeida (1977), durante o evento Brasiliano ocorreu a inversão parcial da Bacia Espinhaço: cavalgando sobre as rochas dos grupos Macaúbas e Bambuí.

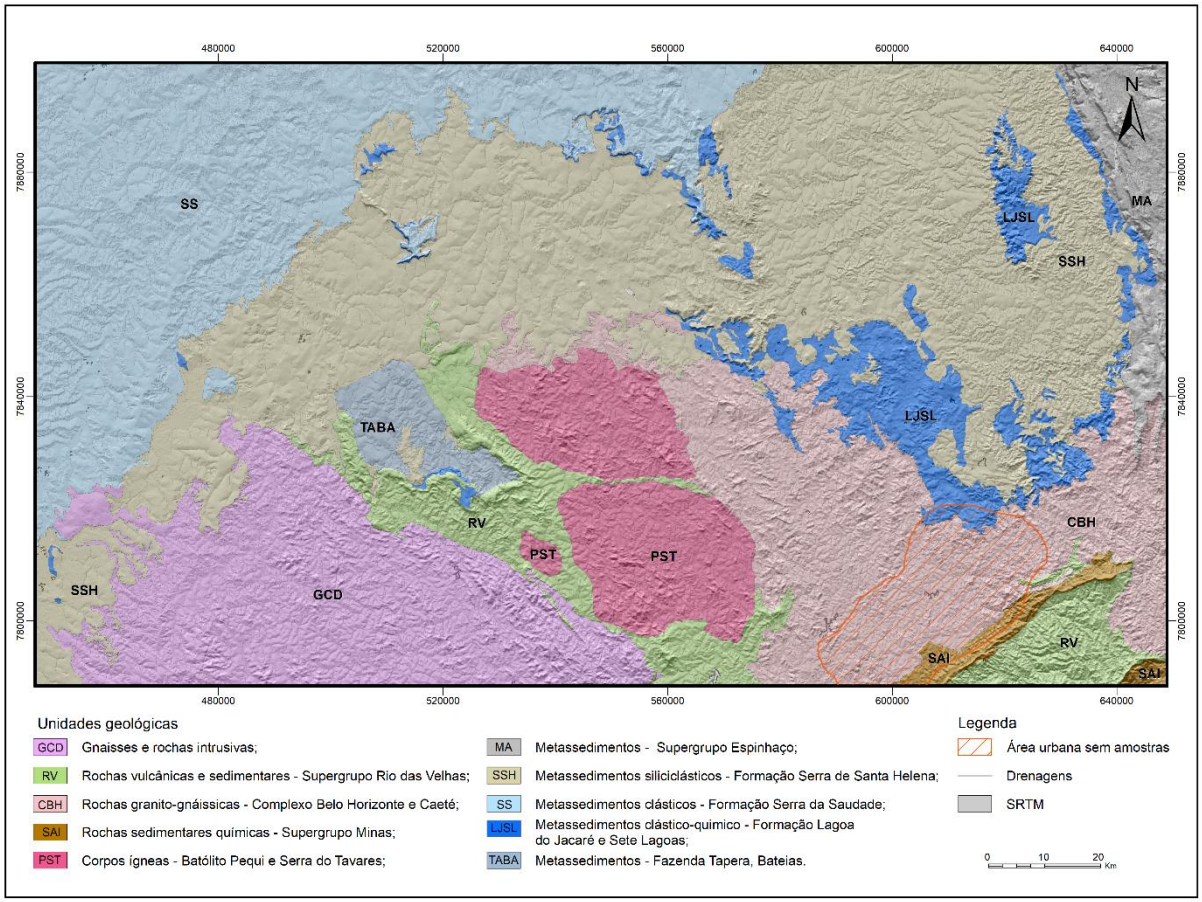
Na região do contato faixa Araçuaí – Cráton, a deformação brasiliana foi melhor impressa com a presença de falhamentos e dobramentos, mas em atingir o embasamento granito-gnáissico dos complexos metamórficos, caracterizando uma tectônica superficial (*thin skinned*) (ALKMIM *et al.*, 1993; PINHO *et al.*, 2006, 2008). À oeste, unidades estratigráficas apresentam uma menor deformação, mantendo as características sedimentares melhor preservadas, principalmente a partir da Falha de Sete Lagoas, indicando que o evento colisional brasiliano teve influência apenas secundária na estruturação do Grupo Bambuí na região central da bacia (MARSHAK & ALKMIM, 1989).

A borda sudeste da Bacia do São Francisco, onde as relações estratigráficas entre o embasamento cristalino e as rochas sedimentares que o recobrem estão bem definidas, montam uma história evolutiva da sedimentação, permitindo subsidiar a prospecção de

jazidas de vários bens minerais metálicos, tais como Zn, Pb, fluorita, etc.; e não-metálicos, como calcário e dolomito utilizados para os mais diversos fins (MARQUES, 2010).

A **Figura 2** apresenta o Mapa Geológico Simplificado da Área de Estudo, ressaltando as principais associações litológicas.

Figura 2: Mapa geológico simplificado da área de estudo.



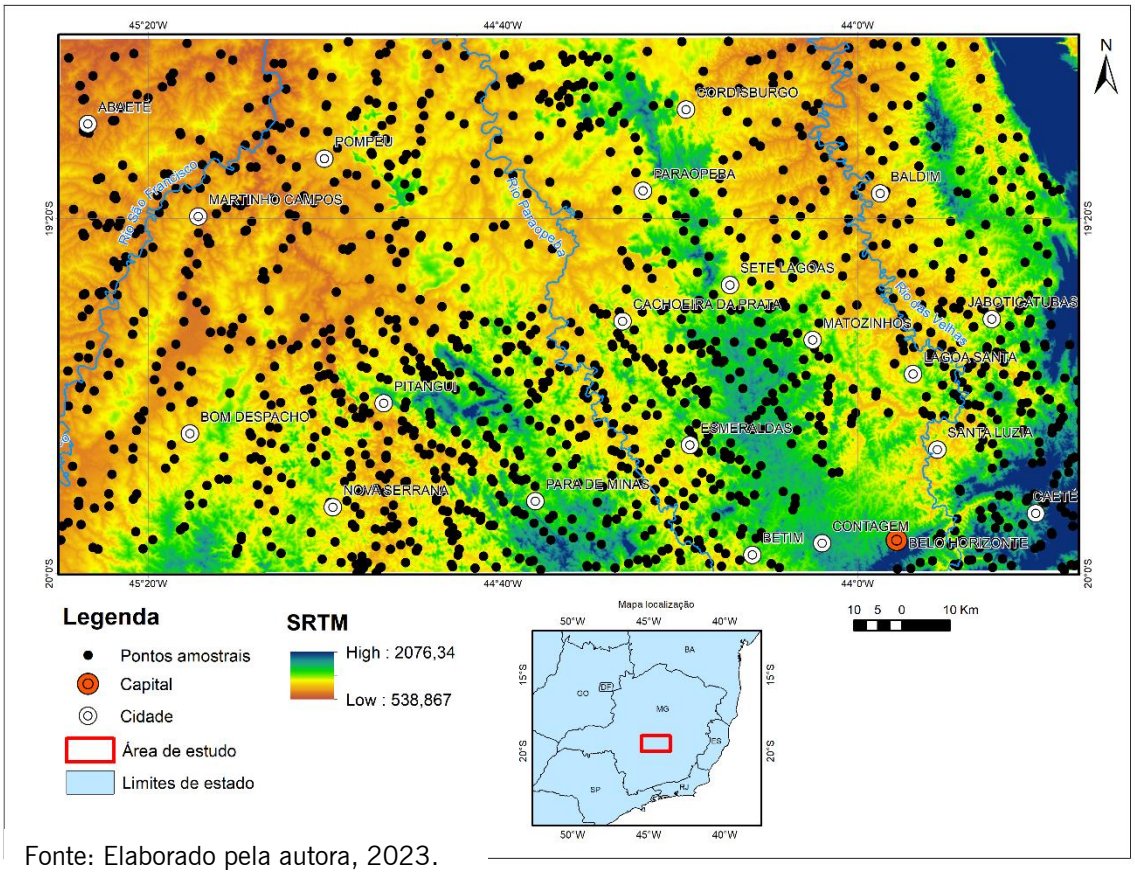
Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste Atlas foram utilizados os dados resultantes de projetos executados pelo Serviço Geológico do Brasil-SGB/CPRM, no período de 2008 a 2013, que abordam o Quadrilátero Ferrífero e região, sendo selecionados os dados para a área de estudo. É composto por 1.322 amostras de sedimentos de corrente (fração < 80 *mesh* e digestão por água régia) já coletadas e analisadas para 53 elementos (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn e Zr), via Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) e Espectrometria de Massa por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS). (**Figura 3**).

As coletas destes dados seguiram procedimentos de coleta, preparação e análise, aceitos internacionalmente, e com um controle de QA/QC em todas as etapas. Os pontos amostrados foram, através da delimitação de microbacias, de 1ª a 3ª ordem.

Figura 3: Distribuição amostral dos sedimentos de corrente.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

O processamento dos dados geoquímicos ocorreu com técnicas conceituadas indicadas e aplicadas por vários autores (CARITAT *et al.*, 2001; CARITAT & COOPER, 2016; REIMANN & CARITAT, 2017; REIMANN *et al.*, 2008, 2018), bem como análises estatísticas com utilização de técnicas uni, bi e multivariadas.

Dentro da população amostral dos 53 elementos, foram selecionados 21 considerados potencialmente tóxicos para a realização de tratamento estatístico convencional e descritivo, bem como à determinação de diversos parâmetros, como: amplitude, médias, desvio padrão, desvio absoluto da mediana, mediana, coeficiente de variação, teste de normalidade de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov, entre outros.

Boxplots, histogramas, gráficos de probabilidade, gráficos de dispersão e estatísticas bivariadas, permitem o estabelecimento de tendências e associações dos elementos analisados, bem como a compreensão dos processos geológicos, físicos e antropogênicos que controlam os resultados geoquímicos (MANLY, 1986; DAVIS, 1986; TABACHNICK & FIDELL, 2001; REIMANN *et al*., 2002; REIMANN *et al*., 2008; FILZMOSER *et al*., 2009; CARRANZA, 2009, 2011; GRUNSKY, 2010; LAPWORTH *et al*., 2012).

DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE *BACKGROUND* GEOQUÍMICO

A definição de *background* geoquímico ocorreu através do método estatístico (método indireto) que utiliza de técnicas e de ferramentas gráficas, computacionais e testes estatísticos probabilísticos, de forma a apresentar a distribuição dos resultados das análises químicas.

Essas técnicas estatísticas permitem, em diversos níveis: organizar um conjunto de dados; identificar seu comportamento e sua estruturação; caracterizar padrões; definir estimadores; definir faixas de concentração de *background* e de anomalias; definir a presença de subpopulações; definir as relações entre as variáveis (elementos); definir a distribuição e o comportamento destas variáveis no espaço (VICQ, 2015; SALOMÃO, 2020).

Atualmente, uma gama de métodos são utilizados na literatura, tais como Média ± 2 Desvios-Padrão (em desuso); Percentis 95th e 98th; Técnica de 2σ

iterativo (I2σ); Função de Distribuição Calculada (CDF); MAD (*Median Absolute Deviation*); TIF (*Tukey's Inner Fence*); e, recentemente, o modelo fractal (REIMANN *et al.*, 2018a; REIMANN & CARITAT, 2005, 2017; SAHOO *et al.*, 2020b; SALOMÃO *et al.*, 2018, 2019a; CHENG *et al.*, 1995, 1999, 2000).

Dentre os métodos citados, neste trabalho serão realizados três deles (devido à robustez mostrada em trabalhos prévios), a saber: o desvio absoluto da mediana (MAD); o TIF, amplamente conhecido através do gráfico boxplot; e, por fim, o modelo fractal. Neste Atlas serão apresentados os resultados obtidos através da técnica MAD.

DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES AMBIENTAIS

Os índices ambientais permitem quantificar o enriquecimento e o empobrecimento desses elementos em diversas matrizes geológicas, principalmente sedimentos e solos. Para isso, é necessário compará-los com os valores de referência (SIVAKUMAR *et al.*, 2016).

Segundo Soares (2002), os sedimentos contaminados são considerados mundialmente como os contaminantes que mais contribuem para a degradação dos ecossistemas aquáticos, e, portanto, um problema eminente a ser resolvido para a preservação dos recursos hídricos.

Os sedimentos têm a capacidade de acumularem elementos químicos em sua estrutura através dos diversos mecanismos, tais como adsorção, precipitação, entre outros, tornando-se uma ótima matriz para registro de processos que ocorrem em uma bacia de drenagem, sejam por processos naturais ou de origem antrópica.

Para a definição dos índices ambientais, é necessário a utilização de valores de referência, que devem ser considerados livres da influência antrópica, sendo utilizada com frequência a média crustal (UCC).

Contudo, devido à grande variação de concentrações ocasionadas pela grande variabilidade dos substratos geológicos (litotipos) e de diferentes atividades antropogênicas, o uso dessa referência pode subestimar ou superestimar os cálculos e não fornecer um resultado coerente com a realidade. Dessa forma, o uso do valor de referência (*background*) da própria área gera resultados fidedignos.

Apresentaremos diversos modos para calcular esses índices de contaminação, tais como: Fator de

Enriquecimento (FE); Fator de Contaminação (FC); Índice de Poluição (PLI); Grau de Contaminação Modificado (GCm); e Risco Ecológico (RE).

Para as diversas técnicas e tratamentos descritos, será apresentado o tratamento dos dados geoquímicos considerando toda a área de estudo, e, em uma segunda etapa, os resultados dos tratamentos dos dados geoquímicos individualizados por compartimento geológico.

PARÂMETROS LEGAIS E SUMÁRIOS ESTATÍSTICOS

Tabela 1: Valores orientadores para solos e água subterrânea (COPAM – CERH N.º 166/2011), confrontados com níveis de classificação do material a ser dragado e dispostos em águas sob jurisdição nacional (CONAMA N.º 454/2012).

COPAM – CERH N.º 166/2011							**CONAMA N.º 454/2012**				
Substâncias (Inorgânicos)	**Valor de**						**Substâncias** (Metais e Semi metais ($mg.kg^{-1}$))	NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL A SER DRAGADO (em unidade de material seco)			
	Solo ($mg.kg^{-1}$ de peso seco) (3)					**Água Subterrânea ($\mu g.L^{-1}$) (1)**		Água doce		Água salina/ salobra	
	Referência de qualidade	**Prevenção (1)**	**Investigação (1)**								
			Agrícola	**Residencial**	**Industrial**	**Investigação**					
								Nível 1	Nível 2	Nível 1	Nível 2
Alumínio (5)	-	-	-	-	-	3500	-	-	-	-	-
Antimônio (4)	**0,5**	2	5	10	25	5	-	-	-	-	-
Arsênio (4)	**8**	15	35	55	150	10	Arsênio (As)	5,9[1]	17[1]	4	70[2]
										19	
Bário (4)	**93**	150	300	500	750	700	-	-	-	-	-
Boro	**11,5**	-	-	-	-	500	-	-	-	-	-
Cádmio (4)	**<0,4**	1,3	3	8	20	5	Cádmio (Cd)	0,6[1]	3,5[1]	1,2[2]	4
											7,2
Chumbo (4)	**19,5**	72	180	300	900	10	Chumbo (Pb)	35[1]	91,3[1]	46,7[2]	218[2]
Cobalto	**6**	25	35	65	90	5	-	-	-	-	-
Cobre (4)	**49**	60	200	400	600	2.000	Cobre (Cu)	35,7[1]	197[1]	34[2]	270[2]
Cromo (2)	**75**	75	150	300	400	50	Cromo (Cr)	37,3[1]	90[1]	81[2]	370[2]
Ferro (5)	**-**	-	-	-	-	2450	-	-	-	-	-
Manganês (5)	**-**	-	-	-	-	400	-	-	-	-	-
Mercúrio (4)	**0,05**	0,5	12	36	70	1	Mercúrio (Hg)	0,17[1]	0,486[1]	4	5
										0,3	1,0
Molibdênio	**<0,9**	30	50	100	120	70	-	-	-	-	-
Níquel	**21,5**	30	70	100	130	20	Níquel (Ni)	1	1	20,9[2]	51,6[2]
								18	35,9		

Nitrato (como N) [4]	-	-	-	-	-	10.000	-	-	-	-	-
Prata	**<0,45**	2	25	50	100	50	-	-	-	-	-
Selênio [4]	**0,5**	5	-	-	-	10	-	-	-	-	-
Vanádio	**129**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinco [5]	**46,5**	300	450	1000	2000	1050	Zinco (Zn)	123[1]	315[1]	150[2]	410[2]

Fonte: Tabela modificada com base em CONAMA, 2012. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=667>. Acesso em: 5 jun. 2022. E em COPAM, 2011. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=18414>. Acesso em: 05 jun. 2022.

Para a tabela de dados, COPAM/CERH N.º 02/2010:

(1) Os Valores de Prevenção e Investigação são os estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH №02, de 08 de setembro de 2010;

(2) Em função da concentração de cromo obtida, após análise estatística, ser superior ao VP estabelecido pela Resolução CONAMA 420/2009, adotou-se para o VRQ o valor de VP dessa Resolução;

(3) Procedimentos analíticos para digestão ácida de amostras de solos para determinação de espécies metálicas por técnicas espectrométricas devem seguir as recomendações dos métodos 3050b (exceto para o elemento mercúrio) ou 3051 da U.S EPA - SW-846 ou outro procedimento equivalente;

(4) Valores máximos permitidos oriundos da Portaria Nº518/2004, do MS (Tabela Nº3), com base em risco à saúde humana;

(5) Estes valores são diferentes da Tabela Nº 5, da Portaria Nº518 do MS, pois foram calculados com base em risco à saúde humana, de acordo com o escopo desta resolução.

Para a tabela de dados, CONAMA N.º 454/2012:

Os valores orientadores adotados na Tabela III têm como referência as seguintes publicações oficiais canadenses, norte-americanas e europeias:

(1) *Environmental Canada*. *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. *Canadian Environmental Quality Guidelines - Summary Tables*. Atualizado em 2002;

(2) Long, E. R., MacDonald, D. D., Smith, S. L. & Calder F. D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management 19 (1): 81-97.

Tabela 2: Sumário estatístico dos elementos e média crustal (UCC).

Sumário Estatístico Geral — Dados Brutos									
Variáveis	**Média**	**Mínimo**	**Q1 (25%)**	**Q2 (Mediana)**	**Q3 (75%)**	**Máximo**	**Assimetria**	**Curtose**	**UCC**
Ag (ppb)	23,72	4,00	16,00	22,00	30,00	662,00	1,47	4,52	53
Al (%)	1,56	0,13	1,10	1,62	2,31	8,00	-0,54	0,82	8,15

As (ppm)	3,05	0,05	1,10	3,60	7,10	1665,00	-0,05	0,95	4,48
Au (ppb)	0,56	0,10	0,20	0,50	1,10	10097,40	1,55	4,52	0,0015
B (ppm)	3,94	0,50	1,00	10,00	10,00	24,00	-0,32	-1,64	17
Ba (ppm)	63,72	8,90	44,00	60,25	90,10	821,90	0,32	0,80	624
Be (ppm)	0,48	0,05	0,40	0,50	0,70	11,00	-0,59	2,02	2,1
Bi (ppm)	0,20	0,01	0,13	0,24	0,33	4,21	-0,67	1,13	0,16
Ca (%)	0,06	0,01	0,04	0,06	0,11	9,54	0,56	1,69	2,56
Cd (ppm)	0,03	0,01	0,02	0,03	0,04	0,81	0,34	0,53	0,09
Ce (ppm)	61,38	6,70	44,20	65,00	85,00	762,60	-0,04	1,96	63
Co (ppm)	7,58	0,20	4,10	7,50	13,20	321,70	0,17	0,66	17,3
Cr (ppm)	29,63	1,00	16,20	30,75	53,30	4808,70	0,11	0,69	92
Cs (ppm)	1,13	0,08	0,77	1,16	1,74	8,97	-0,40	0,84	4,9
Cu (ppm)	15,04	1,01	9,08	16,91	25,02	424,00	-0,36	0,44	28
Fe (%)	2,99	0,16	2,08	3,19	4,48	31,61	-0,38	1,29	3,52
Ga (ppm)	6,44	0,50	4,60	6,80	9,40	30,80	-0,75	1,44	17,5
Ge (ppm)	0,07	0,05	0,05	0,05	0,10	0,40	0,57	-0,42	1,4
Hf (ppm)	0,14	0,01	0,09	0,14	0,23	2,05	-0,10	0,54	5,3
Hg (ppb)	18,93	0,25	13,00	21,00	30,00	2136,00	-1,10	6,20	50*
In (ppm)	0,03	0,01	0,02	0,03	0,04	0,24	0,10	-0,31	0,056
K (%)	0,08	0,01	0,06	0,08	0,12	0,69	-0,07	0,35	2,32
La (ppm)	23,94	3,20	16,40	24,20	34,20	376,80	0,26	1,24	31
Li (ppm)	5,99	0,30	4,40	6,30	8,70	44,40	-0,64	1,68	21
Mg (%)	0,05	0,01	0,03	0,05	0,07	0,65	0,25	0,93	1,49
Mn (ppm)	380,13	16,00	193,00	344,50	686,00	7841,00	0,43	0,29	774
Mo (ppm)	0,42	0,04	0,24	0,35	0,56	10,22	1,37	2,04	1,1
Na (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,42	0,28	0,05
Nb (ppm)	0,24	0,02	0,15	0,23	0,37	2,80	0,25	0,22	12
Ni (ppm)	10,11	0,50	5,60	9,70	16,20	387,70	0,47	0,75	47
P (%)	0,03	0,00	0,02	0,03	0,04	0,41	0,00	1,75	0,067*
Pb (ppm)	16,46	1,77	12,62	17,06	21,92	215,33	-0,35	2,26	17
Pd (ppb)	8,45	5,00	5,00	5,00	10,00	245,00	1,56	2,08	0,52
Pt (ppb)	1,53	1,00	1,00	1,00	2,00	25,00	1,37	1,44	0,5
Rb (ppm)	11,42	1,30	8,90	12,50	16,40	52,40	-1,05	1,76	84
Re (ppb)	0,65	0,50	0,50	0,50	1,00	4,00	1,05	0,26	0,198
S (%)	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	3,08	0,85	3,28	0.0621*
Sb (ppm)	0,23	0,01	0,06	0,36	0,61	26,12	0,03	-0,31	0,4
Sc (ppm)	3,40	0,20	2,30	3,50	5,20	26,00	-0,48	1,25	14
Se (ppm)	0,16	0,05	0,10	0,20	0,30	20,40	0,27	0,94	0,09
Sn (ppm)	1,04	0,10	0,70	1,00	1,60	11,30	-0,07	0,46	2,1
Sr (ppm)	7,49	0,80	4,80	7,30	10,90	506,10	0,87	2,84	320
Ta (ppm)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	1,26	-0,40	0,9
Te (ppm)	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,18	0,70	-0,34	0,001
Th (ppm)	8,70	0,60	5,70	7,70	13,10	190,80	0,58	1,36	10,5
Ti (%)	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,19	0,47	-0,14	0,38
Tl (ppm)	0,16	0,02	0,11	0,16	0,23	1,12	-0,19	0,70	0,9
U (ppm)	1,60	0,10	1,10	1,50	2,40	15,90	0,20	1,13	2,7
V (ppm)	32,16	1,00	21,00	34,00	52,00	245,00	-0,68	1,35	97
W (ppm)	0,07	0,00	0,05	0,05	0,10	14,80	3,23	22,64	1,9
Y (ppm)	7,97	0,61	5,48	8,50	12,49	58,80	-0,66	1,01	21
Zn (ppm)	27,88	1,30	20,20	28,80	39,20	588,50	-0,28	3,17	67
Zr (ppm)	6,88	0,30	4,40	6,80	11,00	78,80	-0,29	1,21	193

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA E ÍNDICES AMBIENTAIS

BACKGROUND GEOQUÍMICO – MÉTODO MAD

O cálculo dos valores de *background* do MAD (1) é obtido através do desvio absoluto da mediana, calculado através do produto com uma constante (1,4826), tendo como resultado uma estimativa consistente do desvio padrão (REIMANN *et al.*, 2018). Portanto, a faixa de *background* define-se pela mediana ± 2*MAD.

Essa técnica é bastante utilizada por ser robusta, minimizando os efeitos de *outliers*:

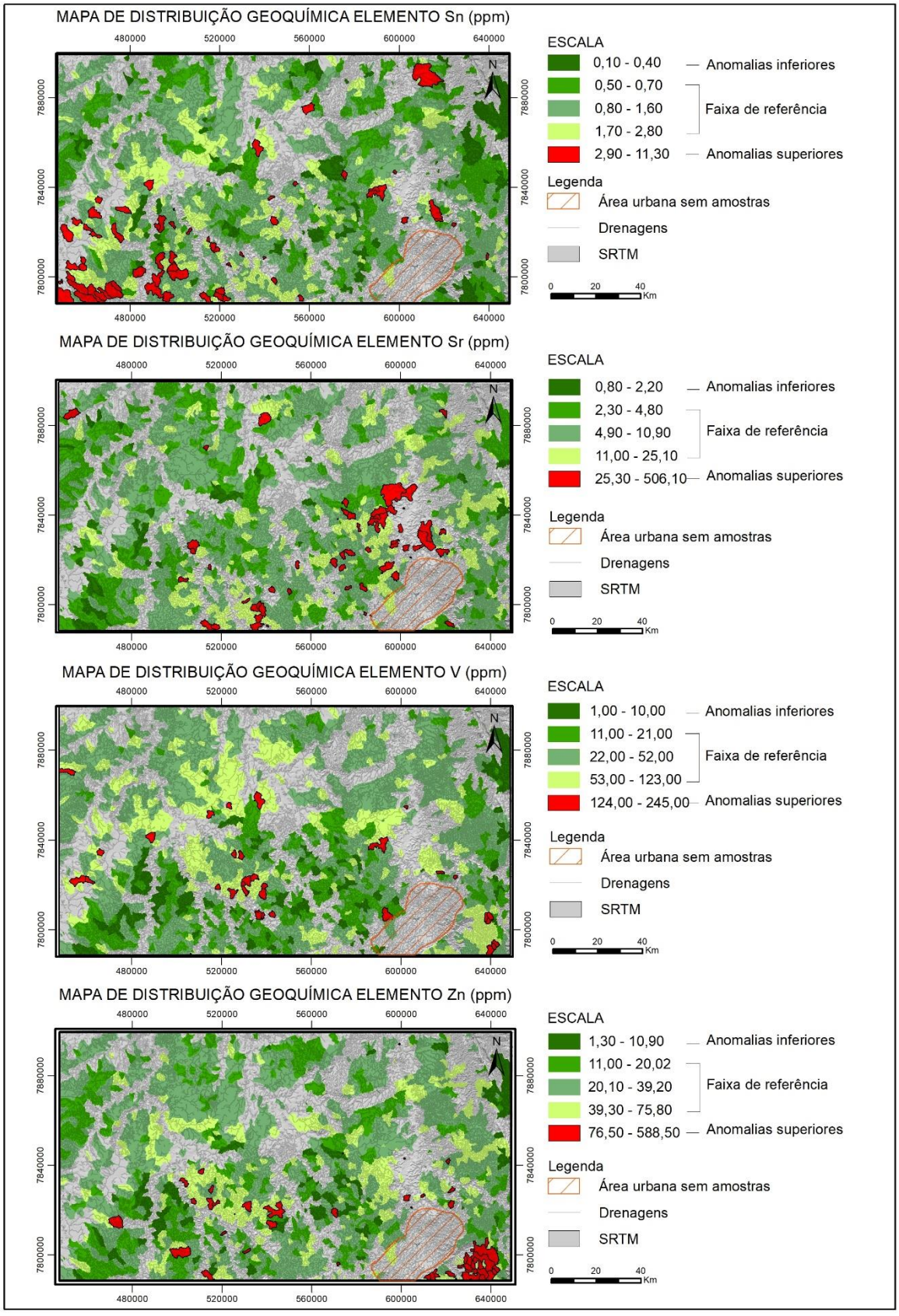
Onde: K é uma constante para ajuste a uma distribuição normal (K = 1,4826).

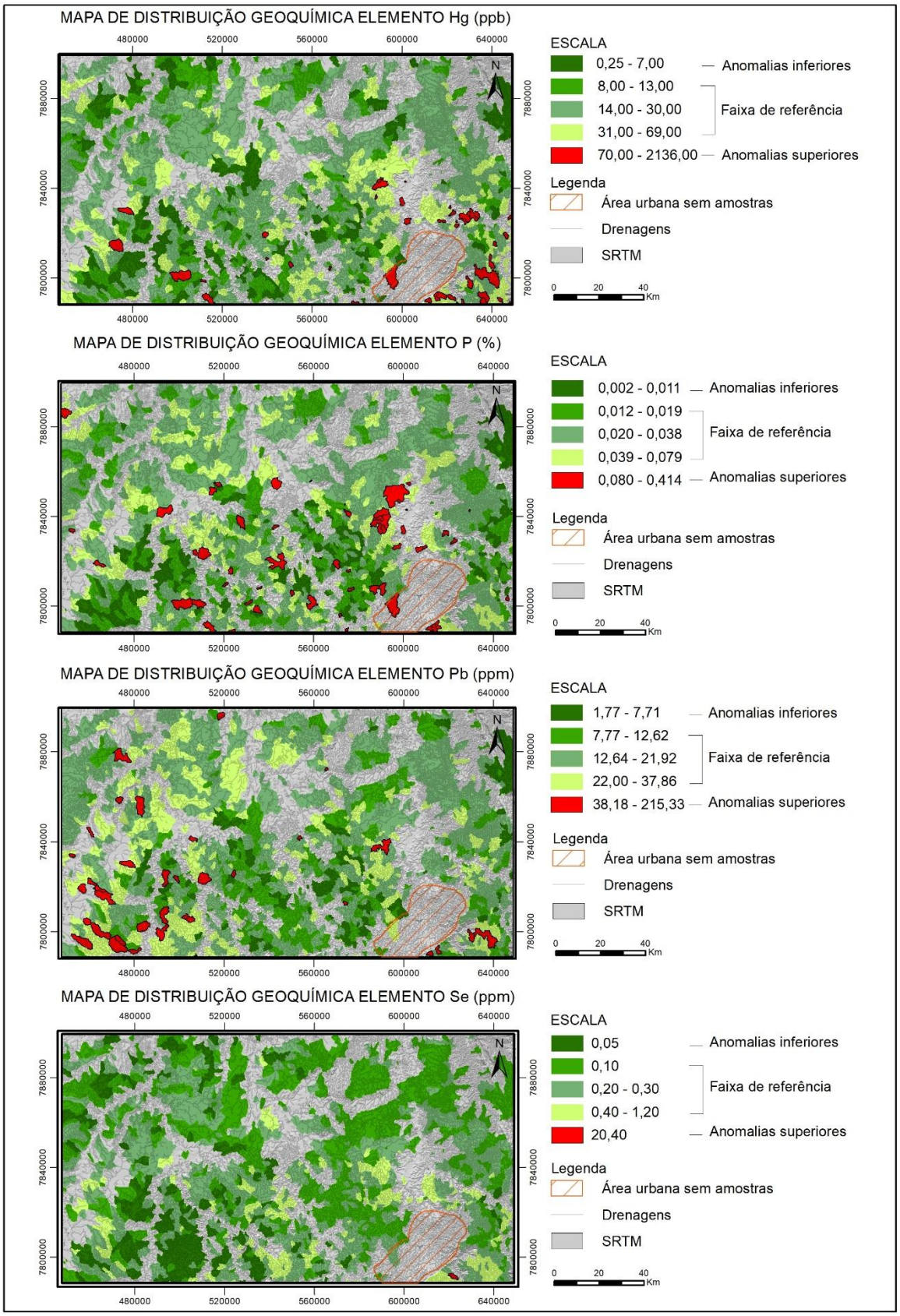
(1) $MAD\,(y) = \mathrm{K} \cdot mediana_i\ |y_i - mediana_j(y_j)| \therefore$

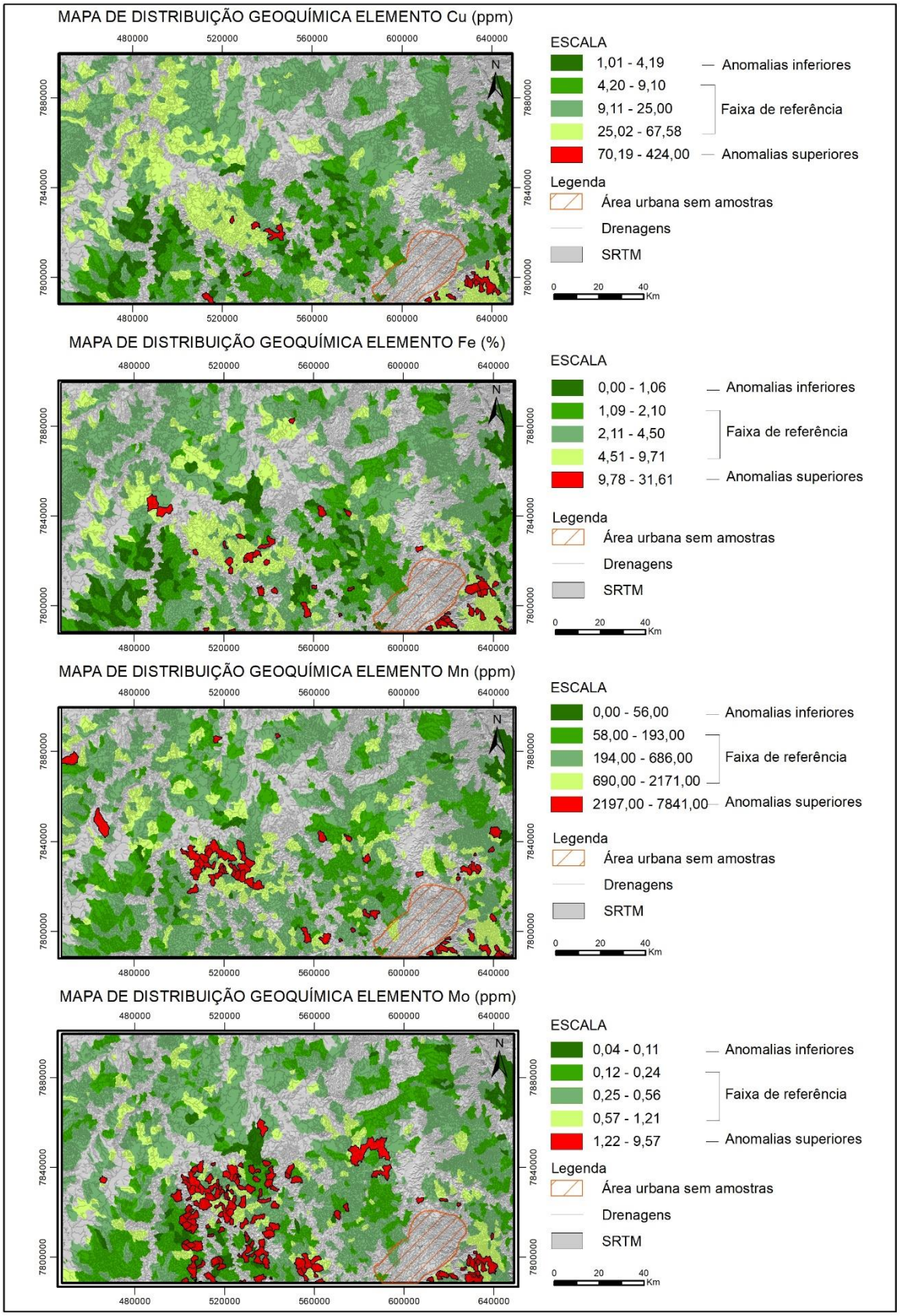
(2) $\mathrm{A_}MAD = 10\ (mediana\,(y) \pm 2 \cdot [MADy])$

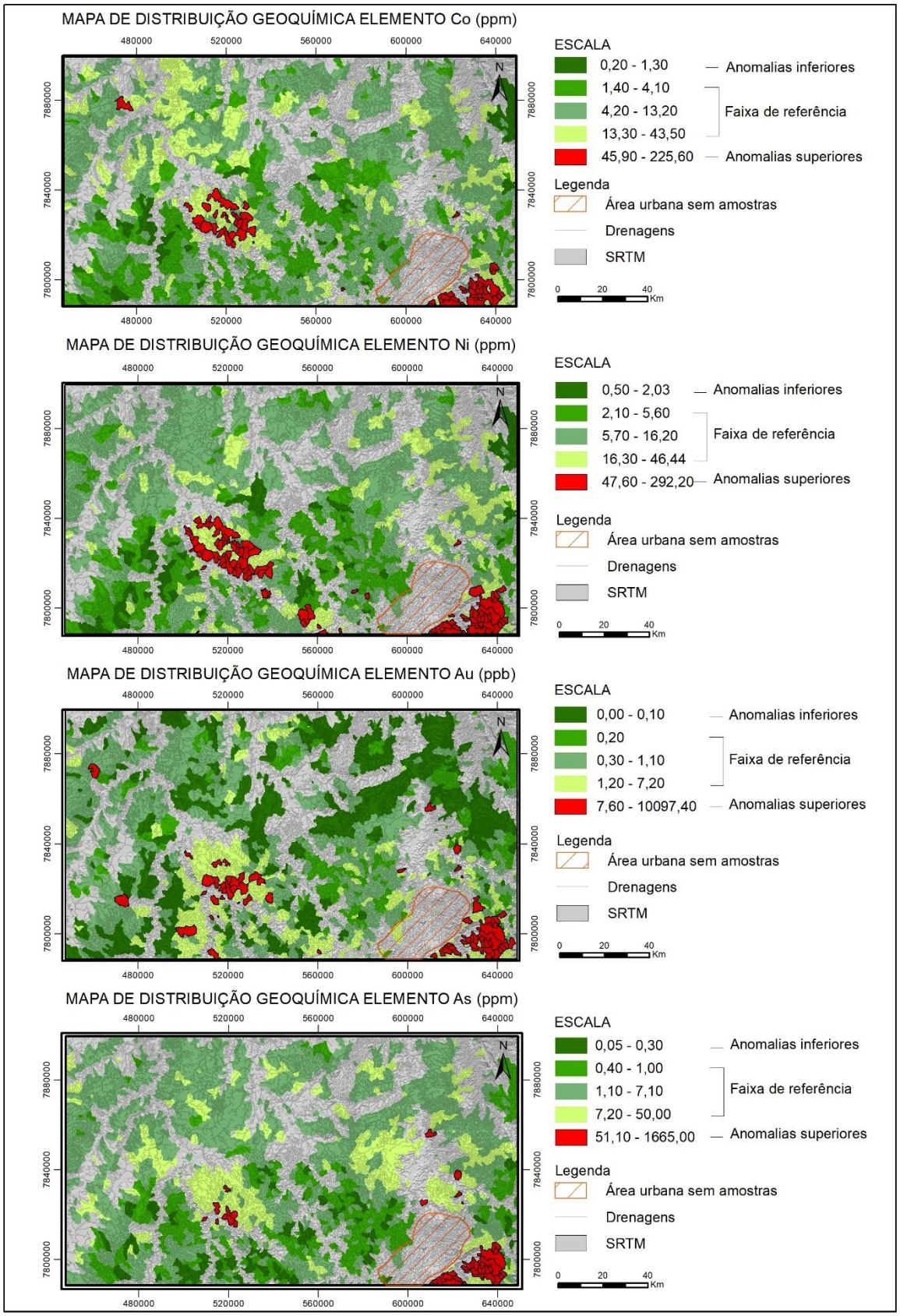
A_MAD é o anti-log ou o algoritmo inverso da transformação aplicada.

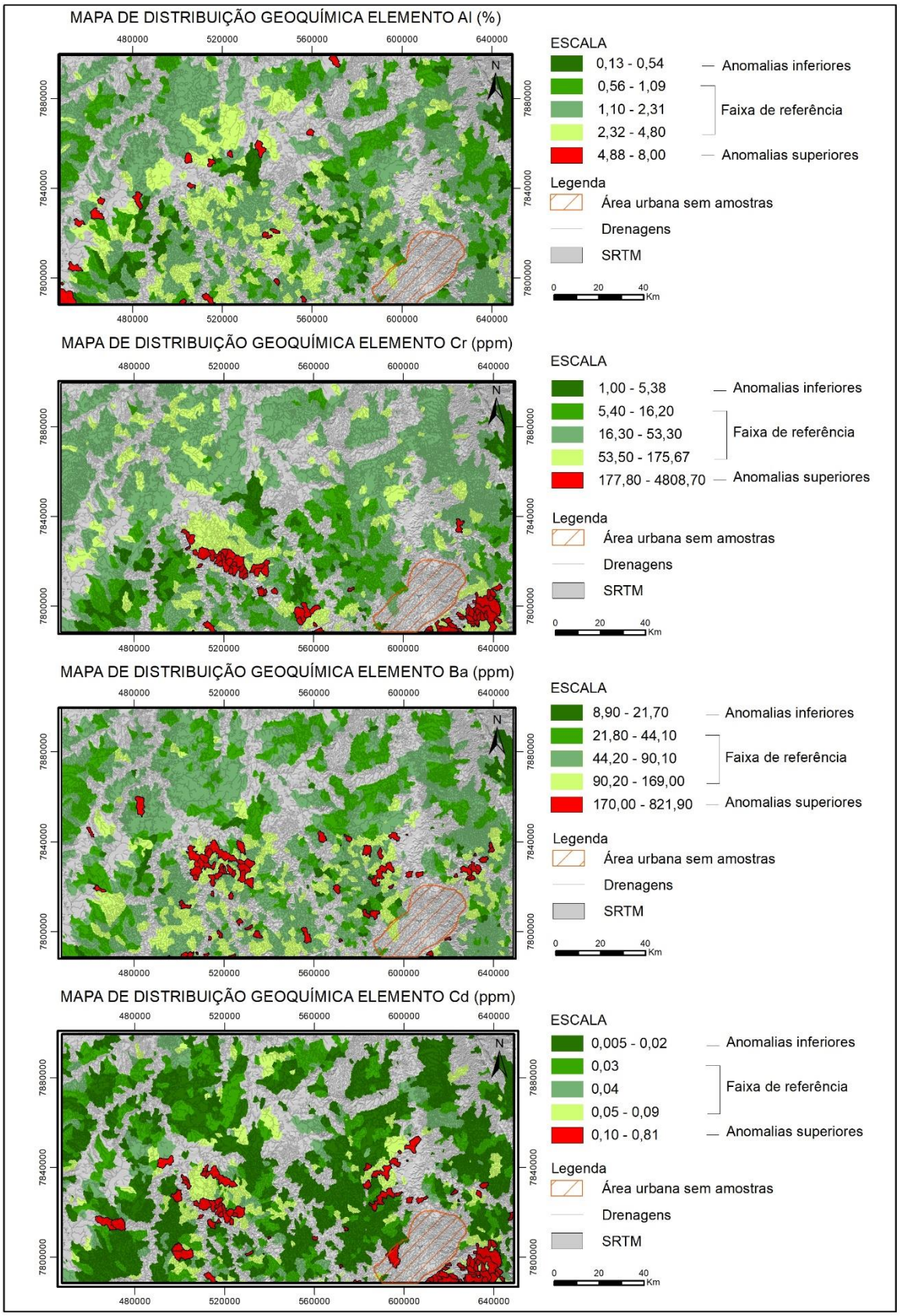
Mapas de *Background* Geoquímico – Método Mad para os elementos Al, Au, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sn, Sr, U, V e Zn.

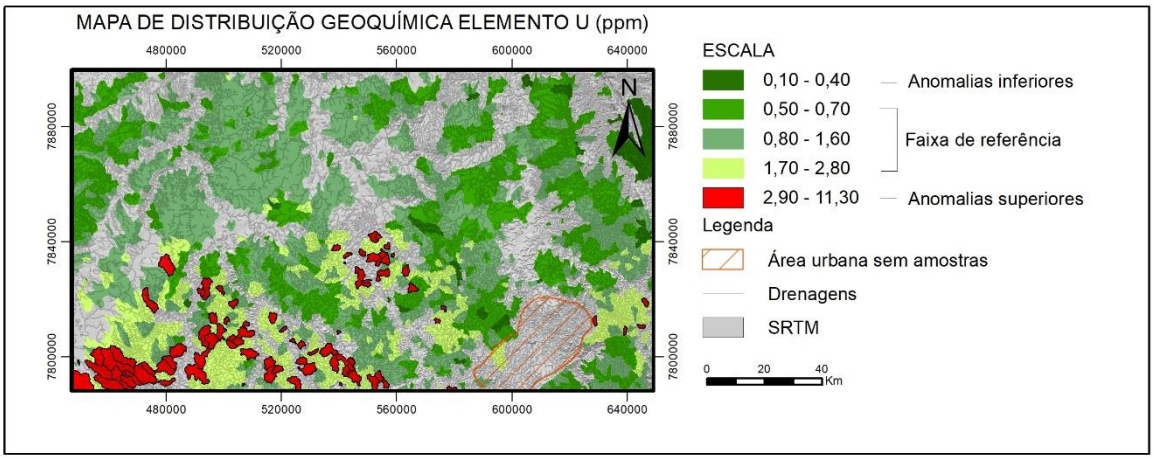



MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Hg (ppb)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA
0,25 - 7,00
8,00 - 13,00
14,00 - 30,00
31,00 - 69,00
70,00 - 2136,00
Anomalias inferiores
Faixa de referência
Anomalias superiores
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0
20
40
Km
MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO P (%)
0,002 - 0,011
0,012 - 0,019
0,020 - 0,038
0,039 - 0,079
0,080 - 0,414
MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Pb (ppm)
1,77 - 7,71
7,77 - 12,62
12,64 - 21,92
22,00 - 37,86
38,18 - 215,33
MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Se (ppm)
0,05
0,10
0,20 - 0,30
0,40 - 1,20
20,40


MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Cu (ppm)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA
1,01 - 4,19
4,20 - 9,10
9,11 - 25,00
25,02 - 67,58
70,19 - 424,00
Anomalias inferiores
Faixa de referência
Anomalias superiores
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0
20
40
Km
MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Fe (%)
0,00 - 1,06
1,09 - 2,10
2,11 - 4,50
4,51 - 9,71
9,78 - 31,61
MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Mn (ppm)
0,00 - 56,00
58,00 - 193,00
194,00 - 686,00
690,00 - 2171,00
2197,00 - 7841,00
MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Mo (ppm)
0,04 - 0,11
0,12 - 0,24
0,25 - 0,56
0,57 - 1,21
1,22 - 9,57


MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Co (ppm)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA
0,20 - 1,30
1,40 - 4,10
4,20 - 13,20
13,30 - 43,50
45,90 - 225,60
Anomalias inferiores
Faixa de referência
Anomalias superiores
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 20 40 Km
MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Ni (ppm)
ESCALA
0,50 - 2,03
2,10 - 5,60
5,70 - 16,20
16,30 - 46,44
47,60 - 292,20
Anomalias inferiores
Faixa de referência
Anomalias superiores
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 20 40 Km
MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Au (ppb)
ESCALA
0,00 - 0,10
0,20
0,30 - 1,10
1,20 - 7,20
7,60 - 10097,40
Anomalias inferiores
Faixa de referência
Anomalias superiores
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 20 40 Km
MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO As (ppm)
ESCALA
0,05 - 0,30
0,40 - 1,00
1,10 - 7,10
7,20 - 50,00
51,10 - 1665,00
Anomalias inferiores
Faixa de referência
Anomalias superiores
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 20 40 Km


MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Al (%)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA
0,13 - 0,54
0,56 - 1,09
1,10 - 2,31
2,32 - 4,80
4,88 - 8,00
Anomalias inferiores
Faixa de referência
Anomalias superiores
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0
20
40
Km
MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Cr (ppm)
1,00 - 5,38
5,40 - 16,20
16,30 - 53,30
53,50 - 175,67
177,80 - 4808,70
MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Ba (ppm)
8,90 - 21,70
21,80 - 44,10
44,20 - 90,10
90,20 - 169,00
170,00 - 821,90
MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO Cd (ppm)
0,005 - 0,02
0,03
0,04
0,05 - 0,09
0,10 - 0,81


MAPA DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA ELEMENTO U (ppm)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA
0,10 - 0,40
0,50 - 0,70
0,80 - 1,60
1,70 - 2,80
2,90 - 11,30
Anomalias inferiores
Faixa de referência
Anomalias superiores
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0
20
40
Km

DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES AMBIENTAIS

As técnicas para determinação dos índices ambientais foram executadas através do tratamento dos dados totais da área e, em uma segunda etapa, após individualização dos dados por unidade geológica. Os resultados obtidos a partir destes tratamentos serão apresentados a seguir:

Fator de Enriquecimento

O Fator de Enriquecimento (FE), como indicado pelo nome, indica o enriquecimento de determinado metal na amostra, seja de origem natural ou não, podendo ser calculado com diferentes normalizadores: Al, representando argilominerais, é considerado um elemento conservativo; (Fe + Mn) representando os hidróxidos de Fe e Mn; e (Ca + Mg) representando os carbonatos. Esses elementos são utilizados por serem abundantes na crosta, sendo os principais agentes de adsorção na natureza, e, por terem afinidade com elementos-traço, o comportamento destes elementos é altamente influenciado por eles (LIN & CHEN, 1998; LATRILLE *et al.*, 2001; SILVA-FILHO *et al.*, 2014).

$$FE = (C_X/C_R)_S / (C_X/C_R)_{VR\ área}$$

Onde: C_X é a concentração do metal escolhido; C_R é a concentração do elemento normalizador; S representa que o cálculo do elemento escolhido é realizado para cada amostra; e VR área significa que é referente aos valores de referência (*background*) do elemento escolhido para a área.

De acordo com Kamani *et al*. (2015), podemos classificá-los em sete classes:

$FE \leq 1$: Não poluído;

$1 < FE \leq 3$: Pouco a moderadamente poluído;

$3 < FE \leq 5$: Moderadamente poluído;

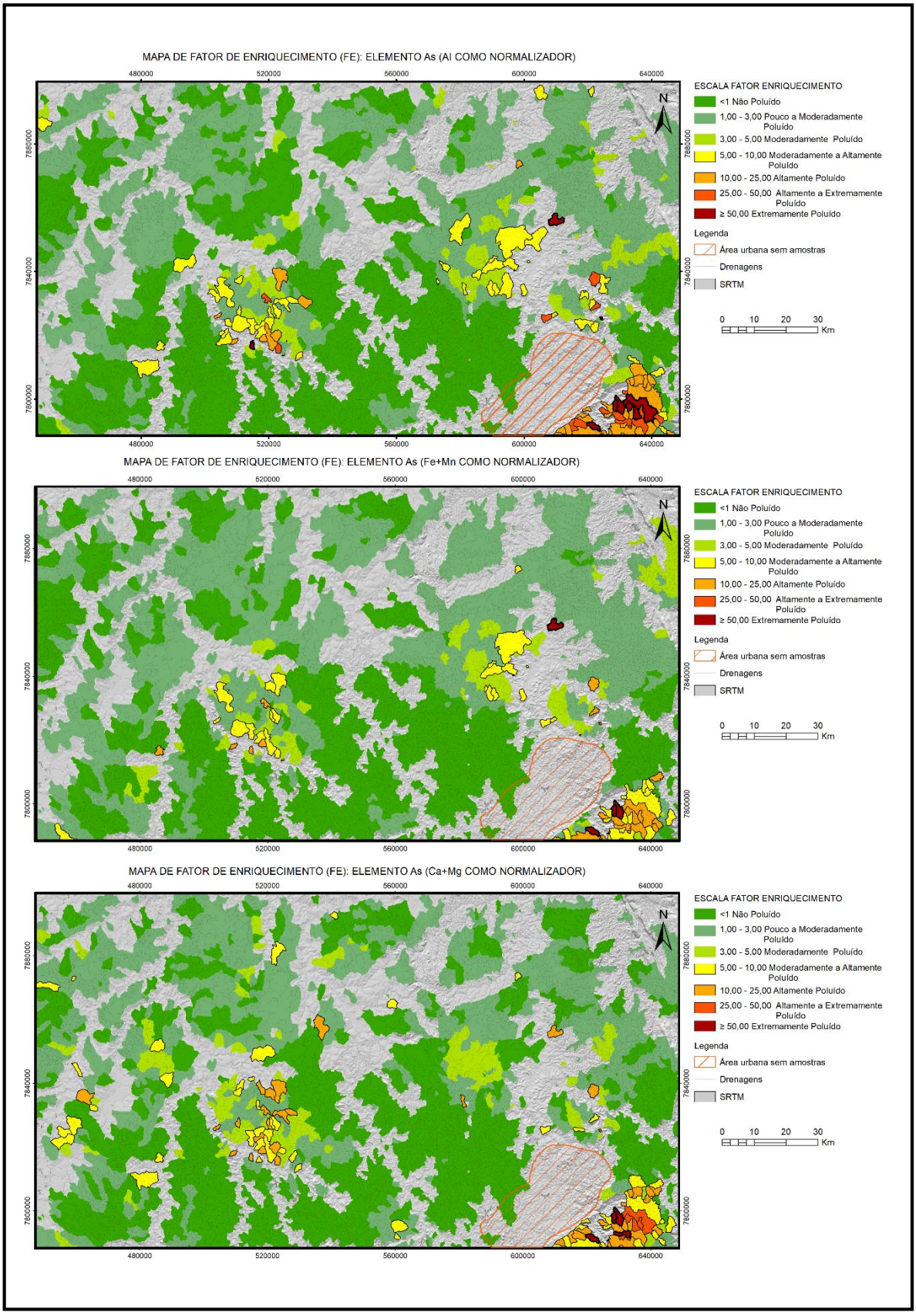
$5 < FE \leq 10$: Moderadamente a altamente poluído;

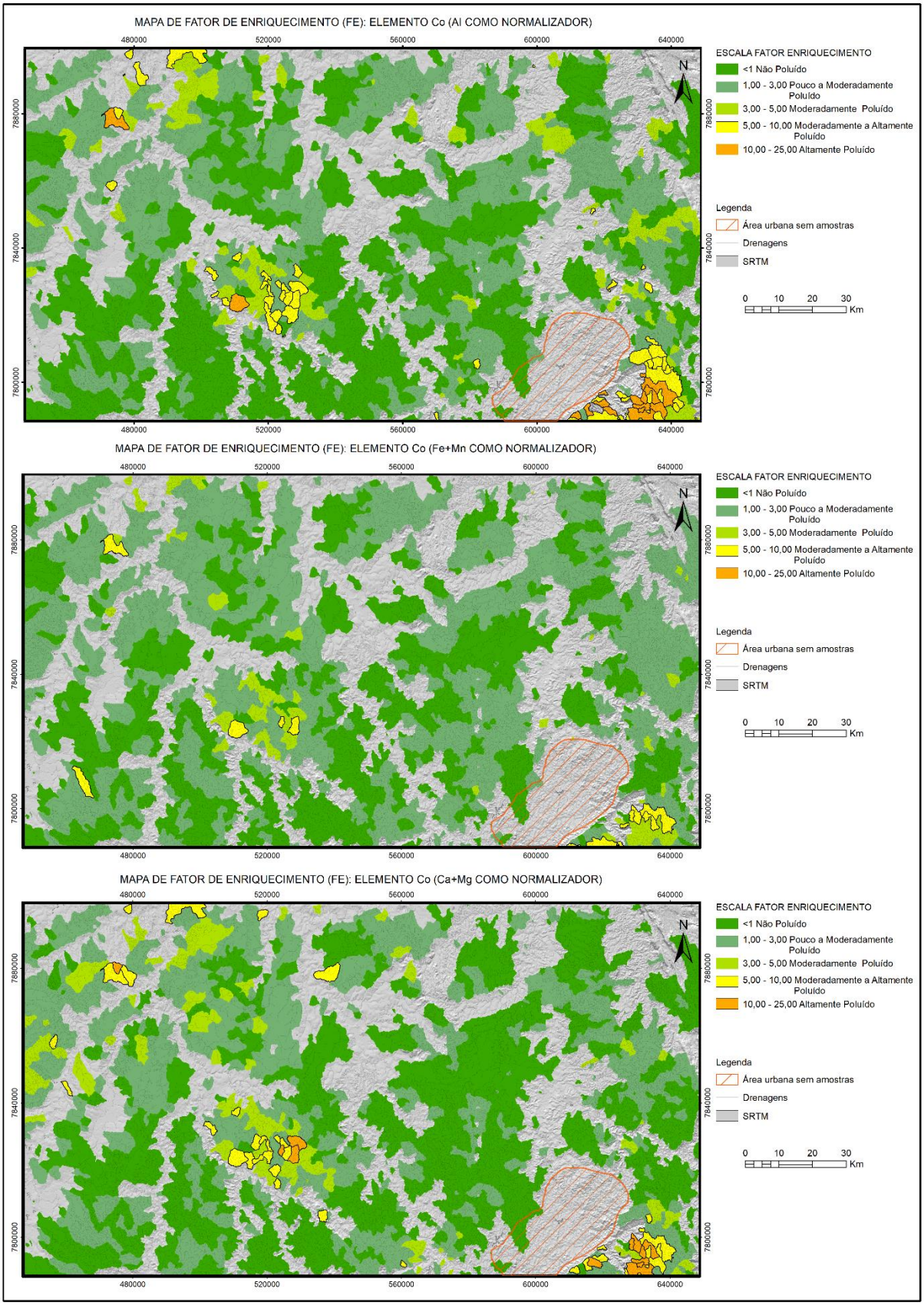
$10 < FE \leq 25$: Altamente poluído;

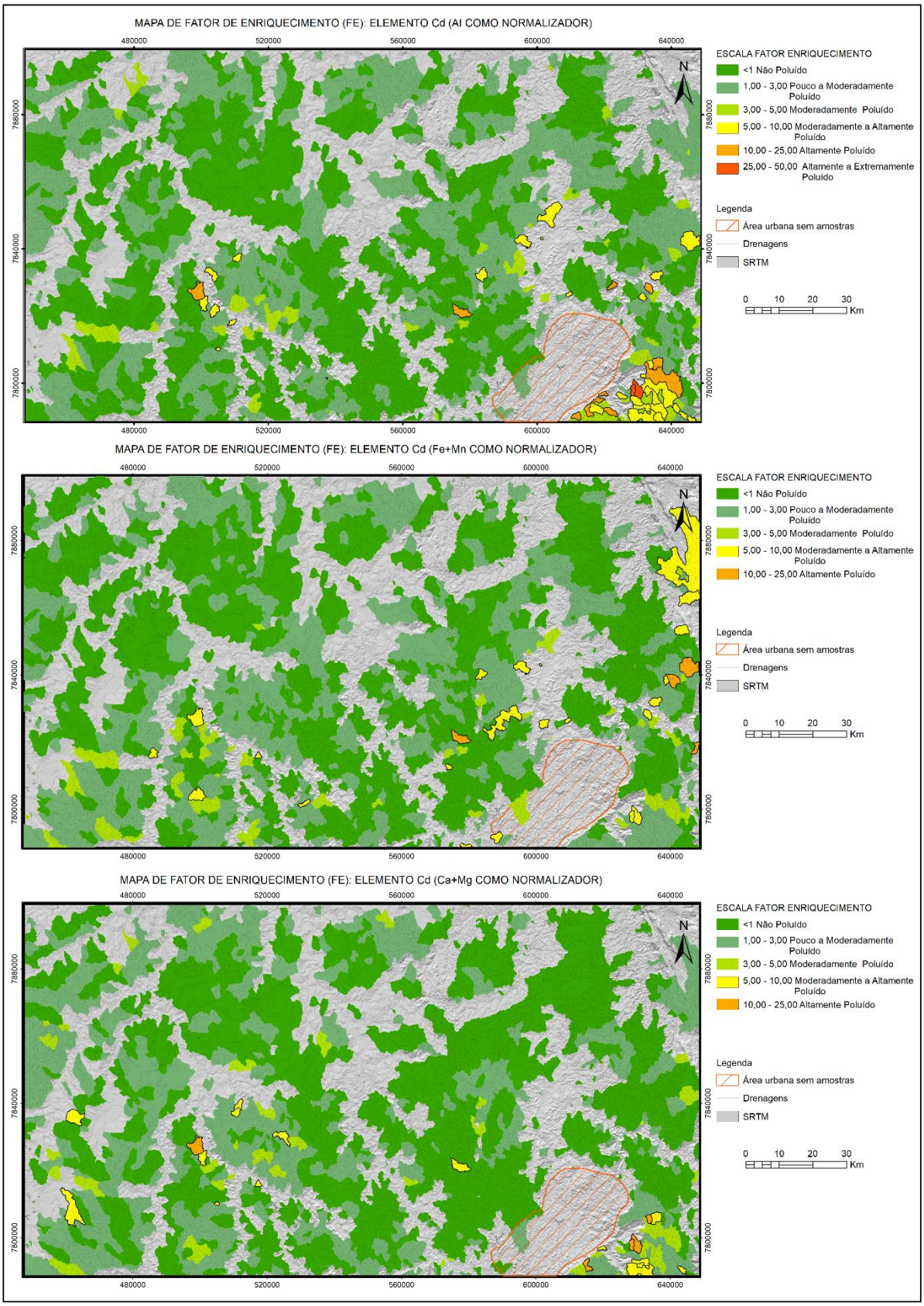
$25 < FE \leq 50$: Altamente a extremamente poluído;

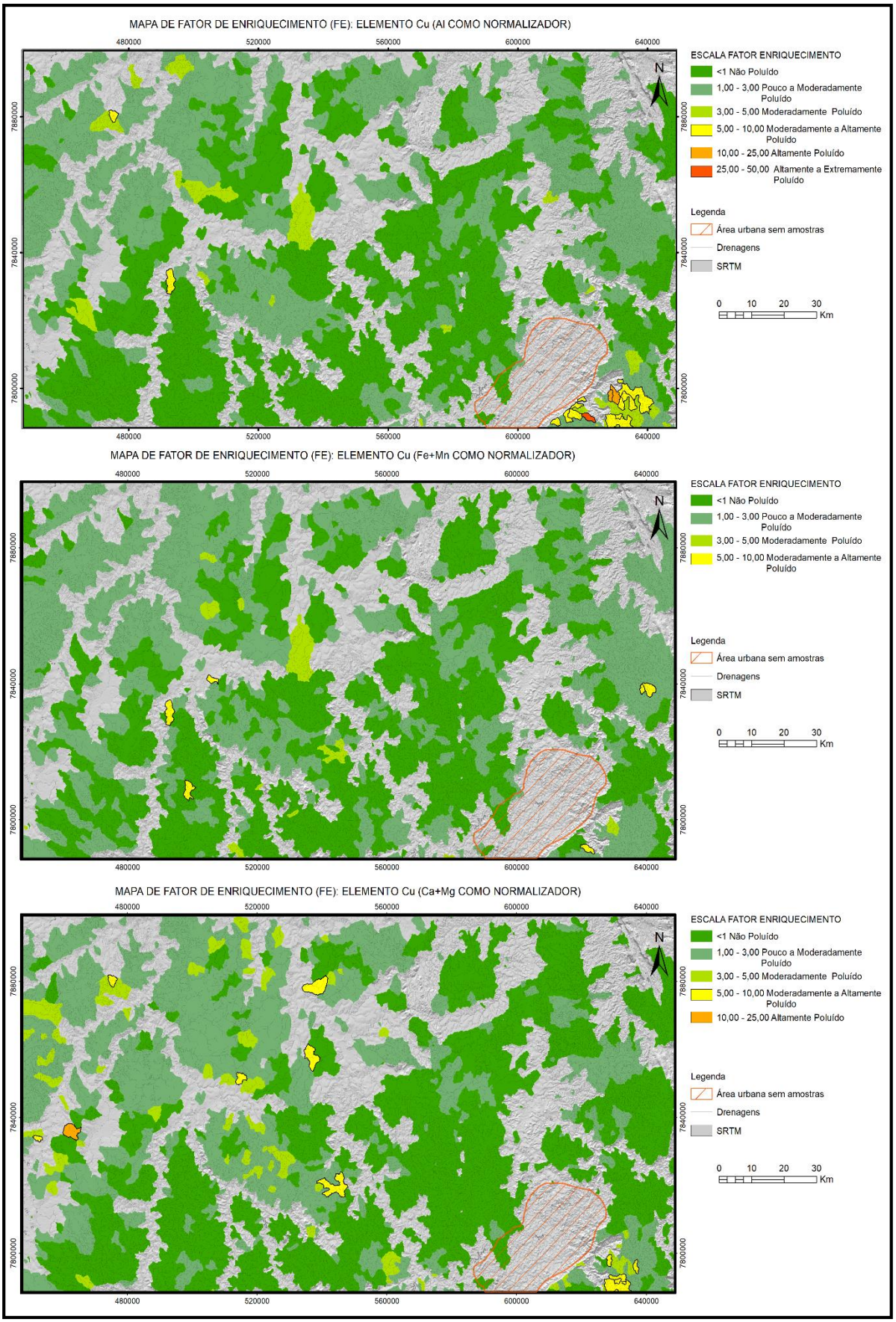
$FE > 50$: Extremamente poluído.

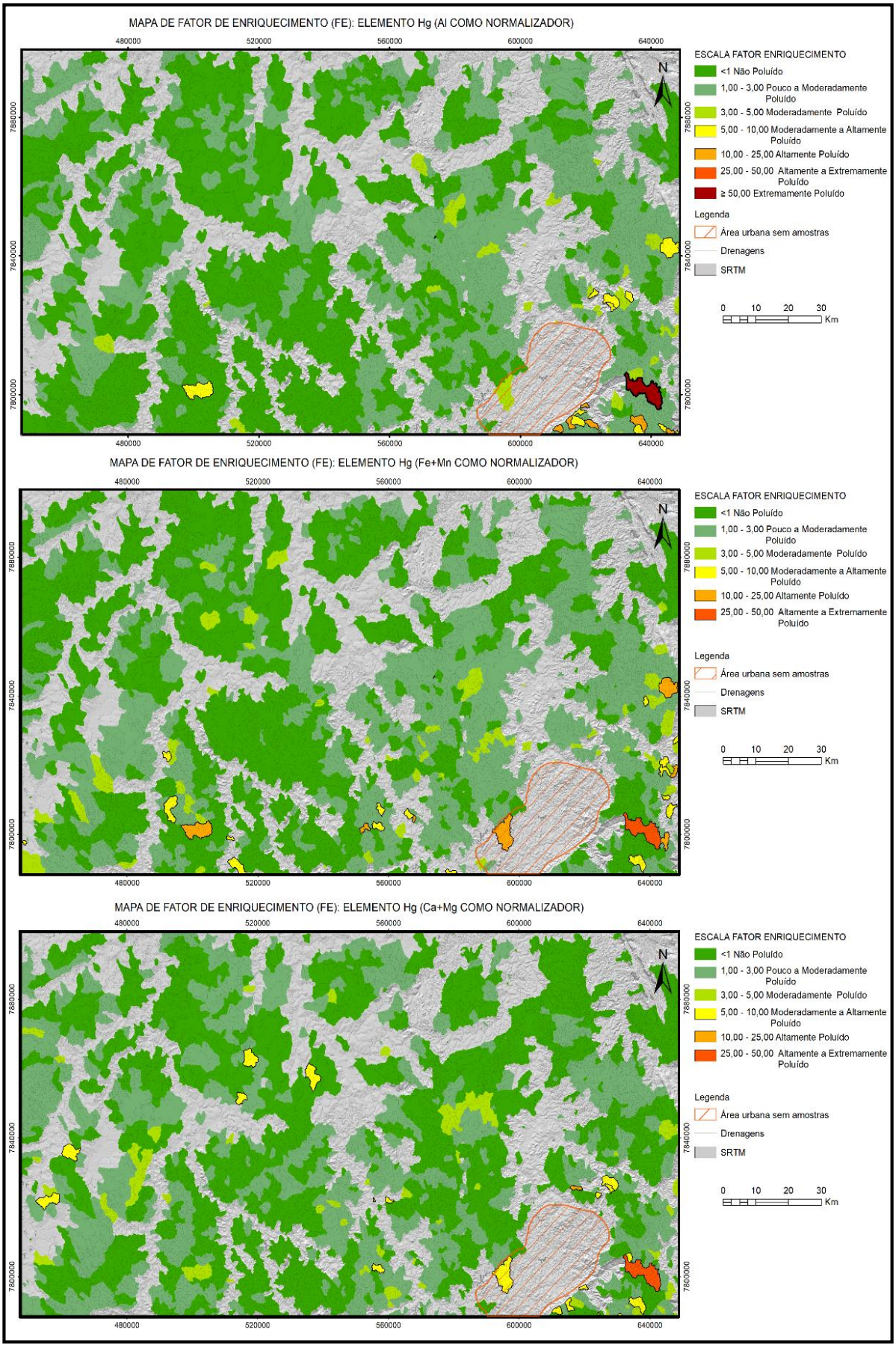
Mapas de Fator de Enriquecimento (FE) – Elementos As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, U e Zn. Tratamento global dos dados.

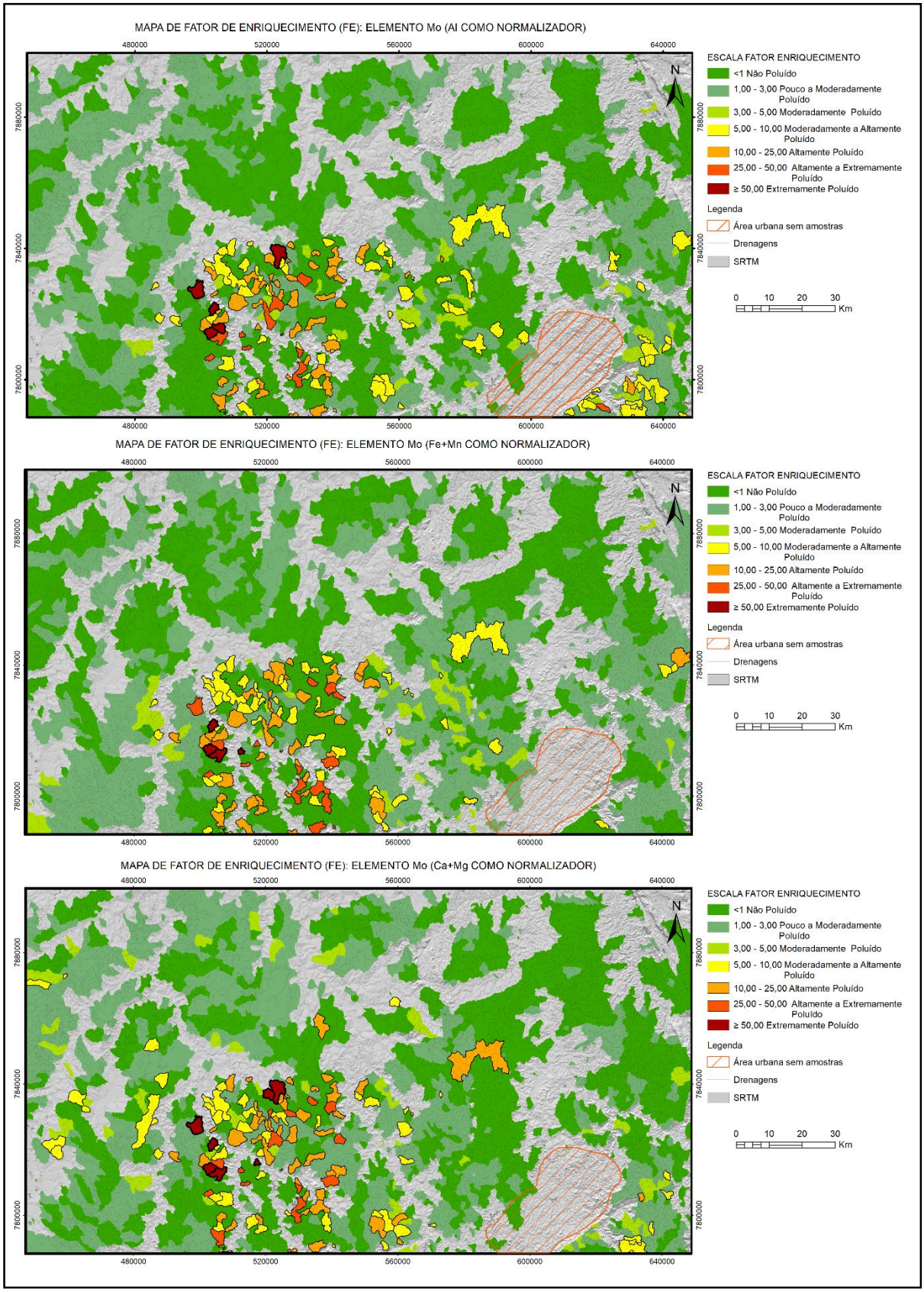


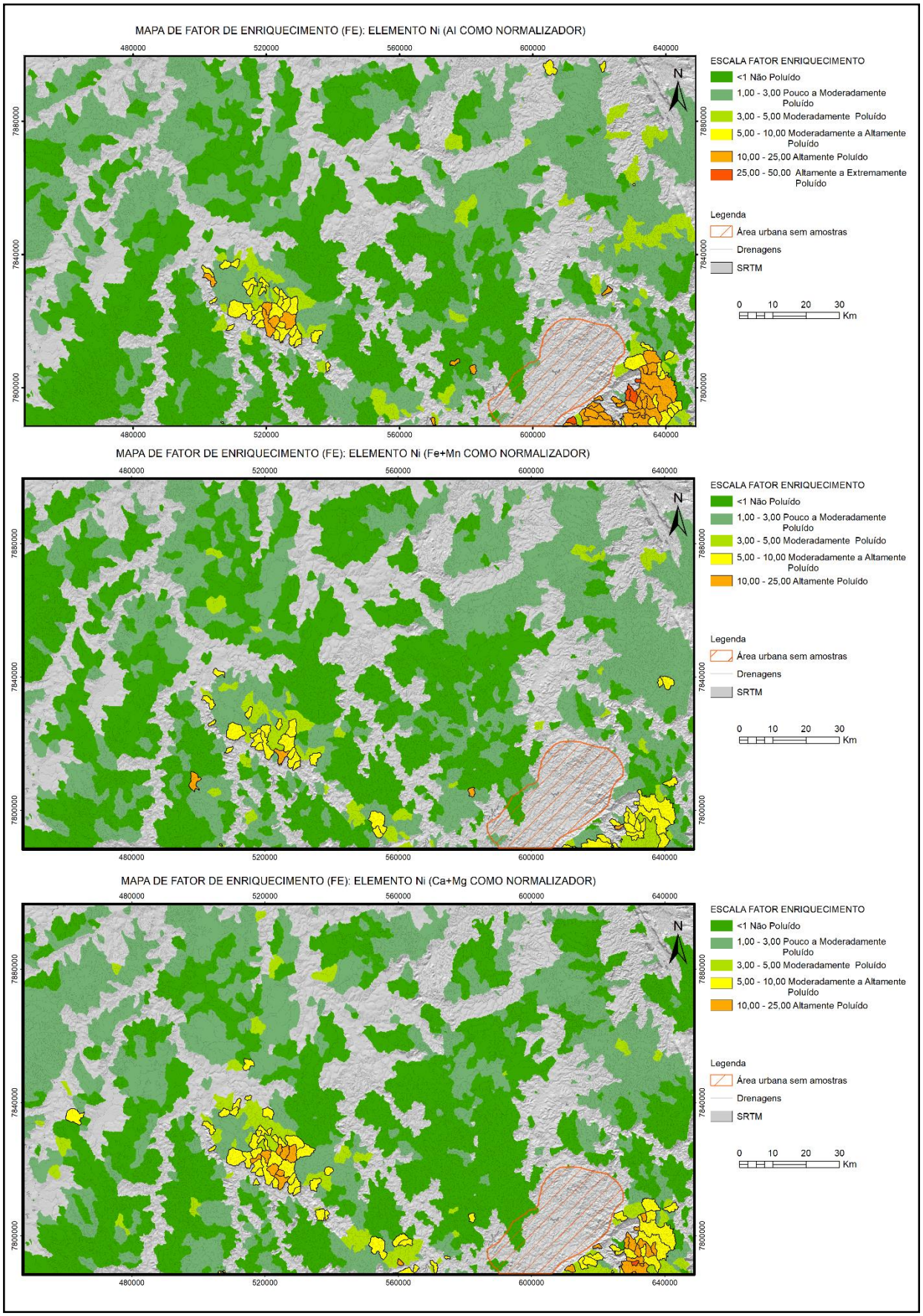

MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Co (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Co (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Co (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)

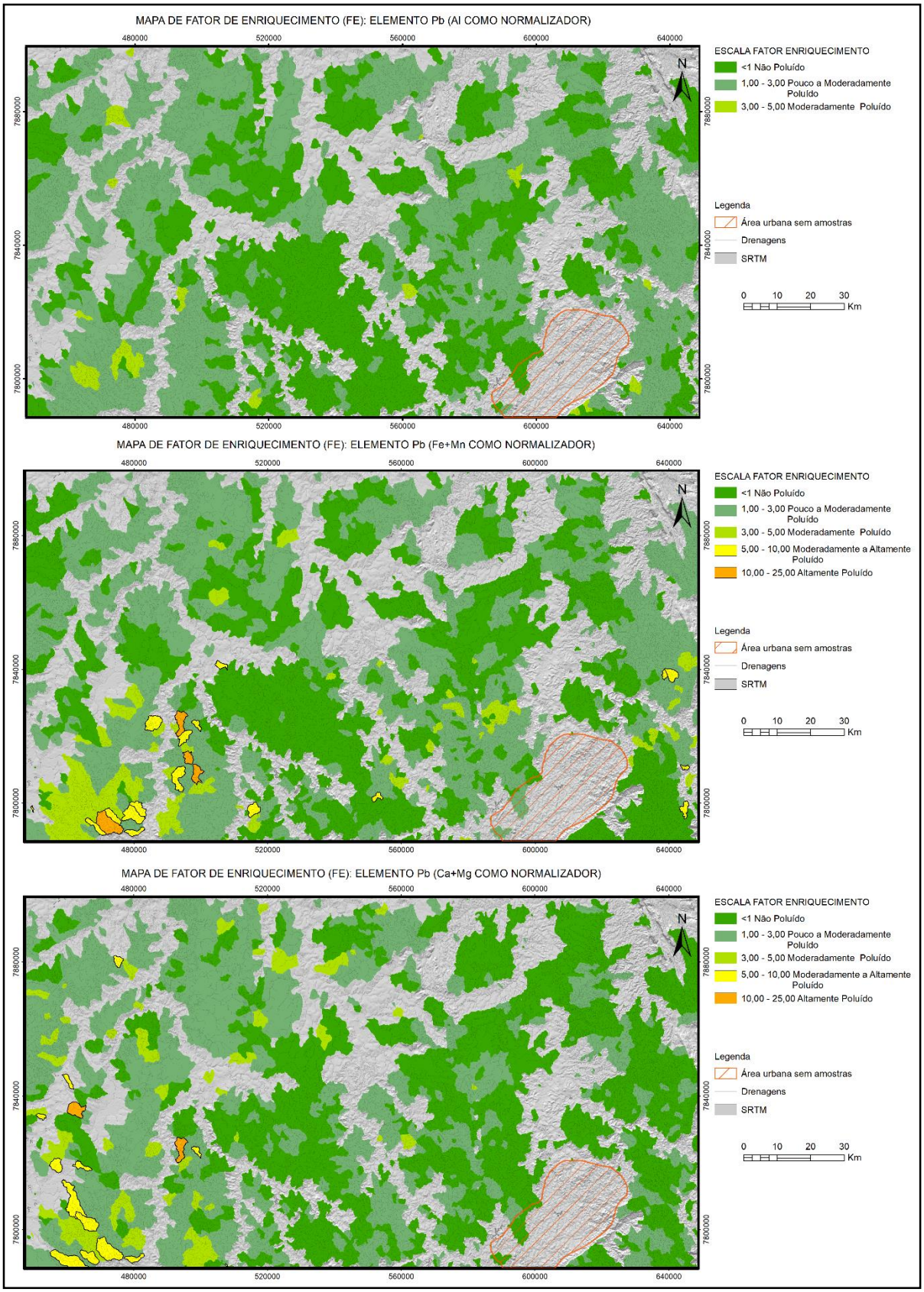

MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cd (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
25,00 - 50,00 Altamente a Extremamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cd (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cd (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km

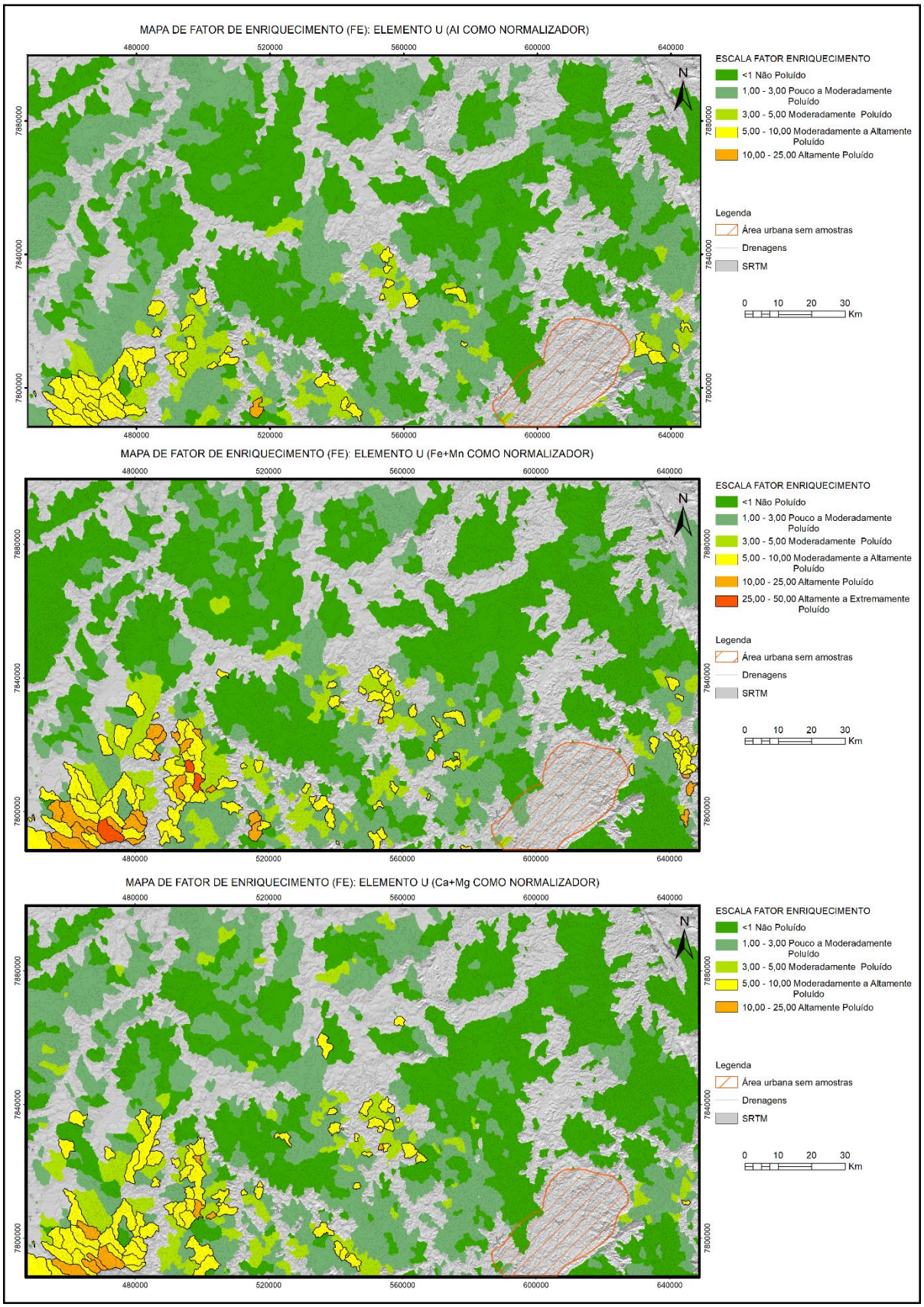

MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cu (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
25,00 - 50,00 Altamente a Extremamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cu (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cu (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km

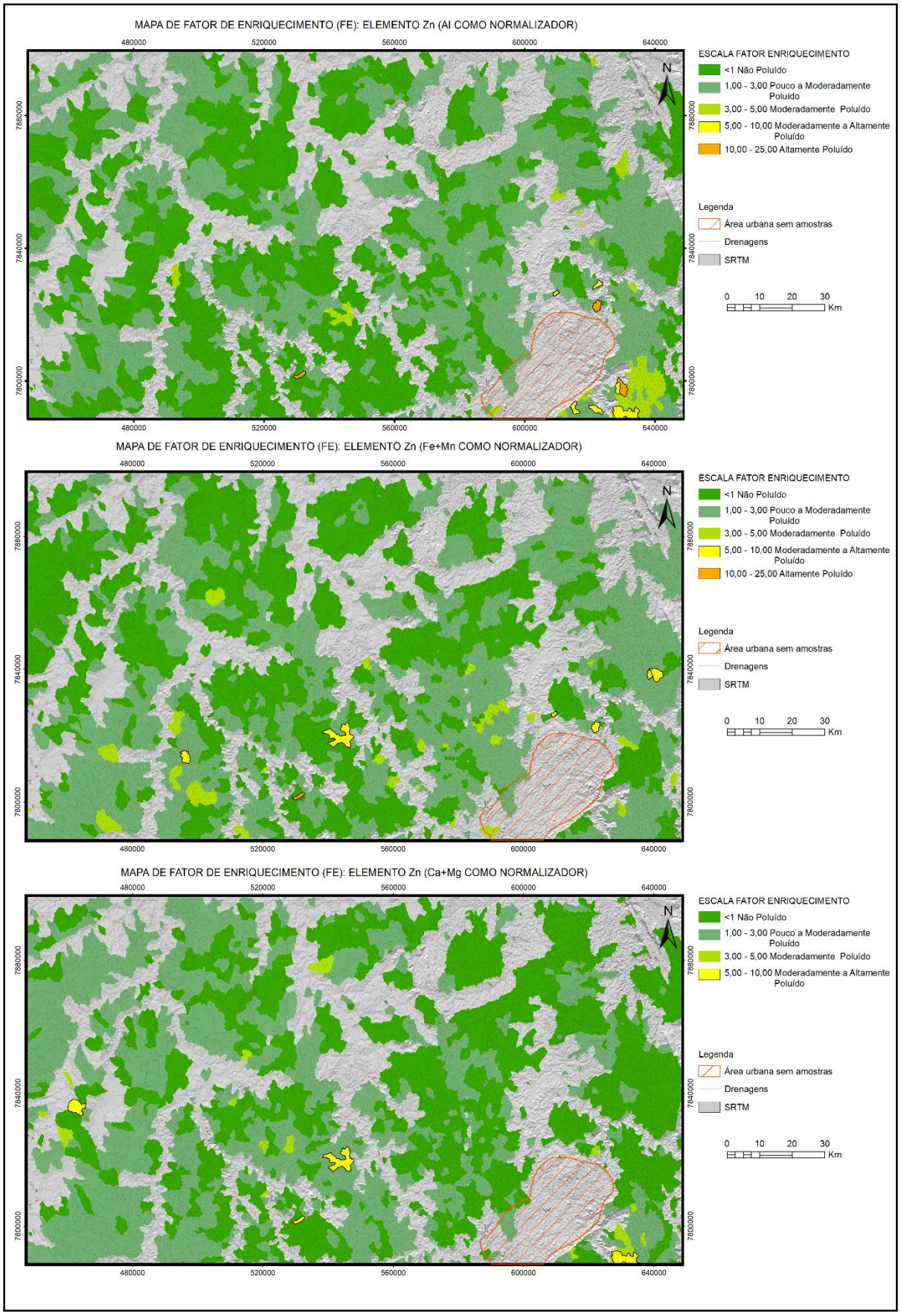

MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Hg (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
25,00 - 50,00 Altamente a Extremamente Poluído
≥ 50,00 Extremamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Hg (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Hg (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)


MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Mo (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
25,00 - 50,00 Altamente a Extremamente Poluído
≥ 50,00 Extremamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Mo (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Mo (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)

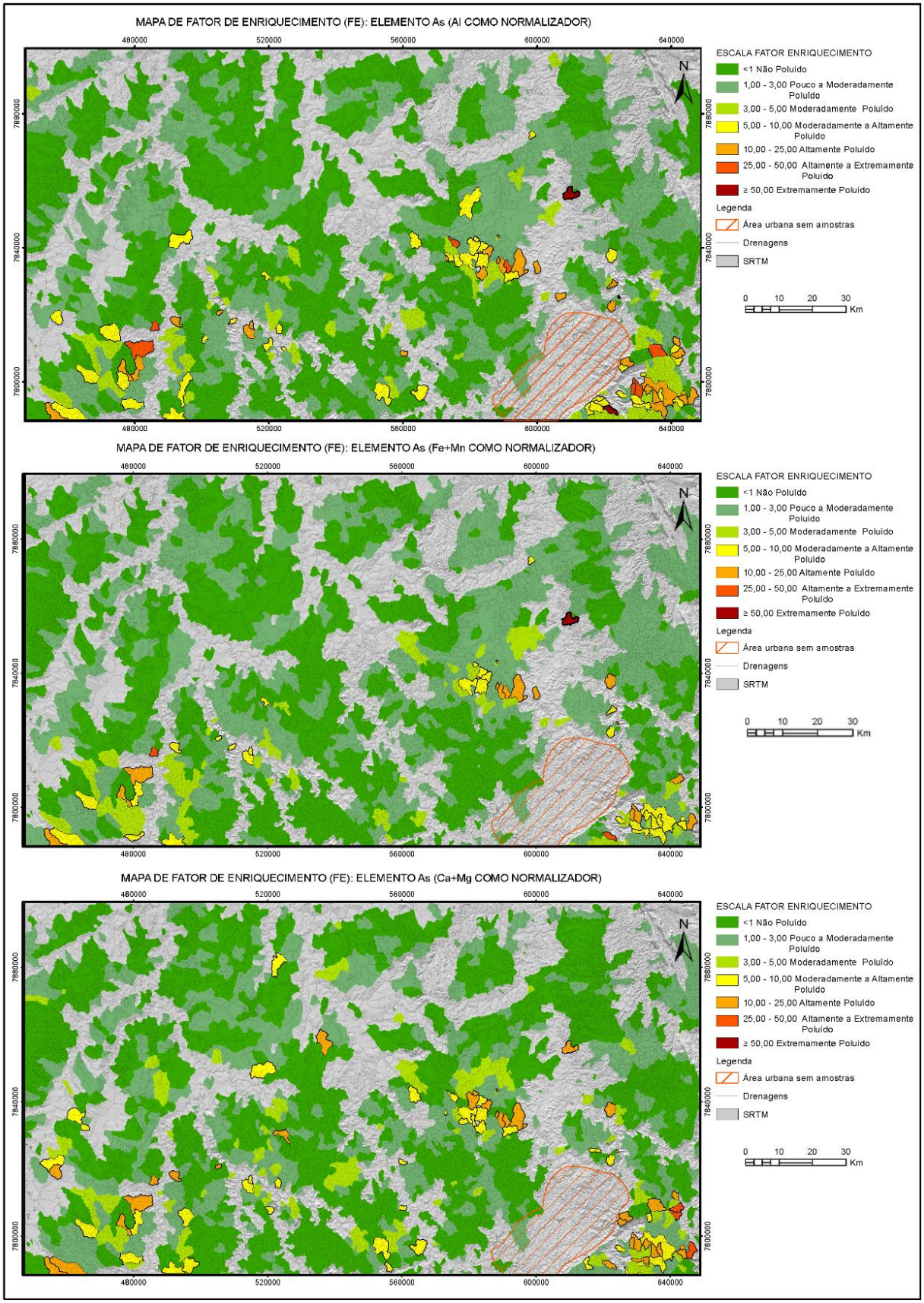

MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Ni (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
25,00 - 50,00 Altamente a Extremamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Ni (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Ni (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km

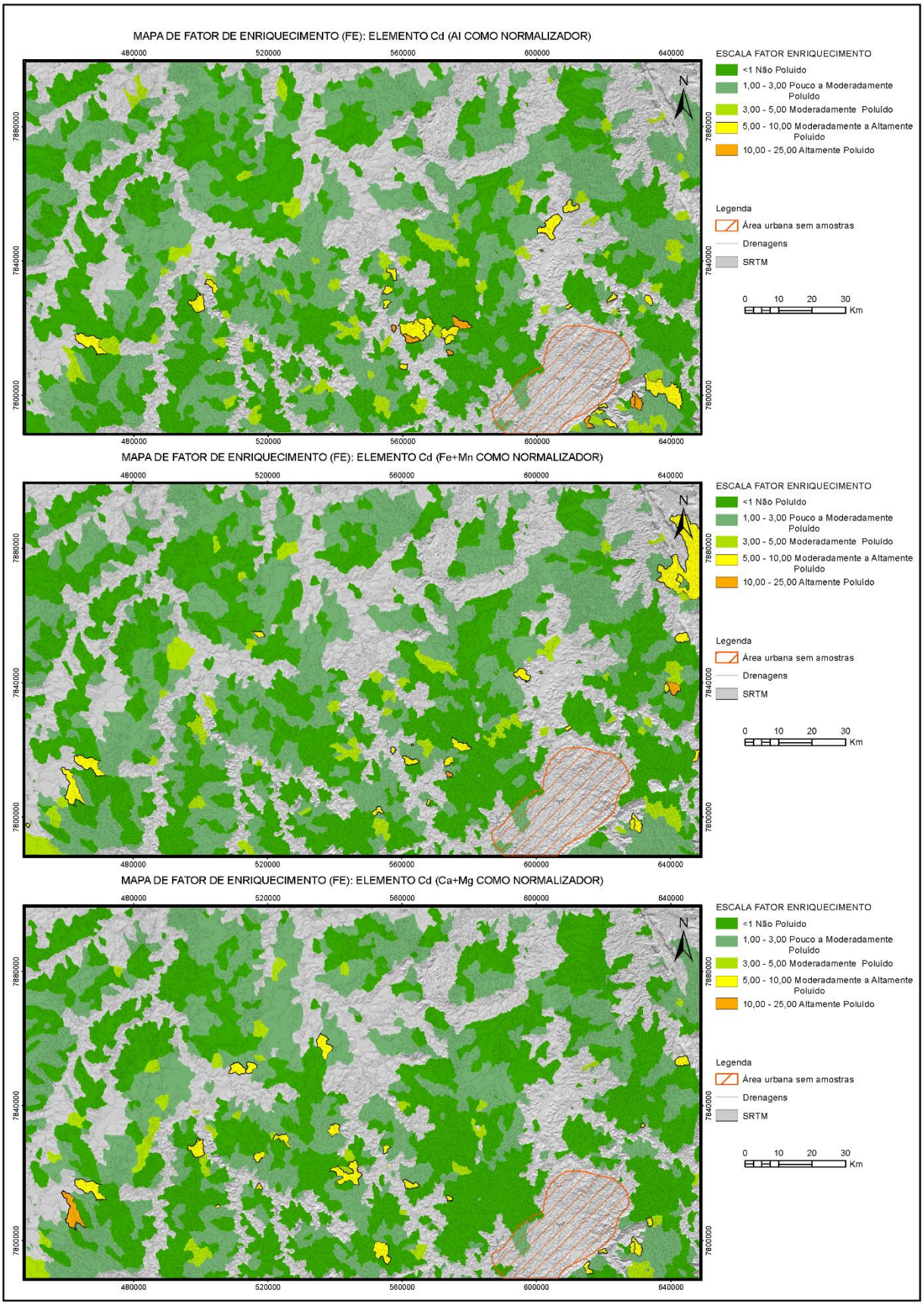

MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Pb (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Pb (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Pb (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km

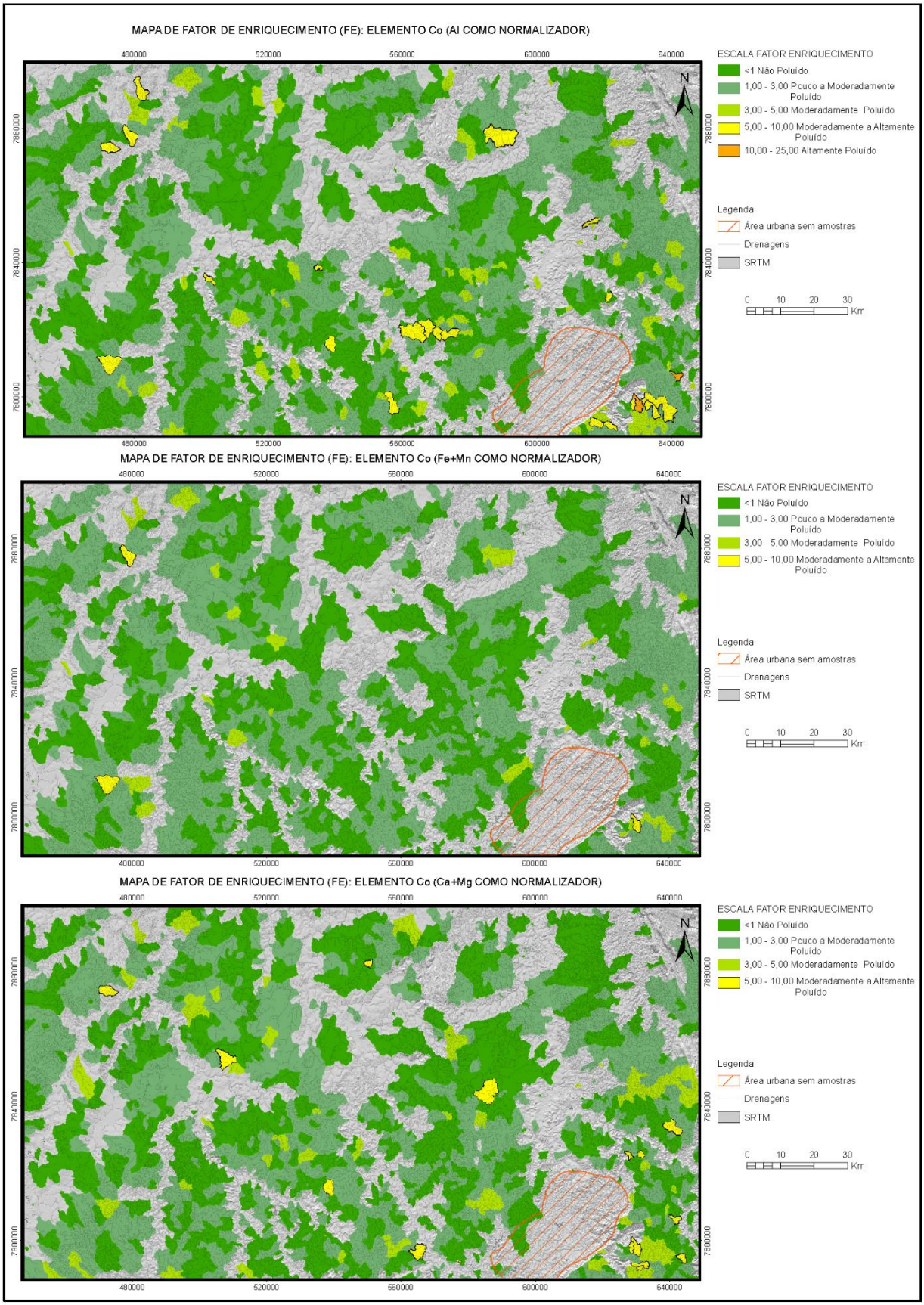

MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO U (AI COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO U (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
25,00 - 50,00 Altamente a Extremamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO U (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km

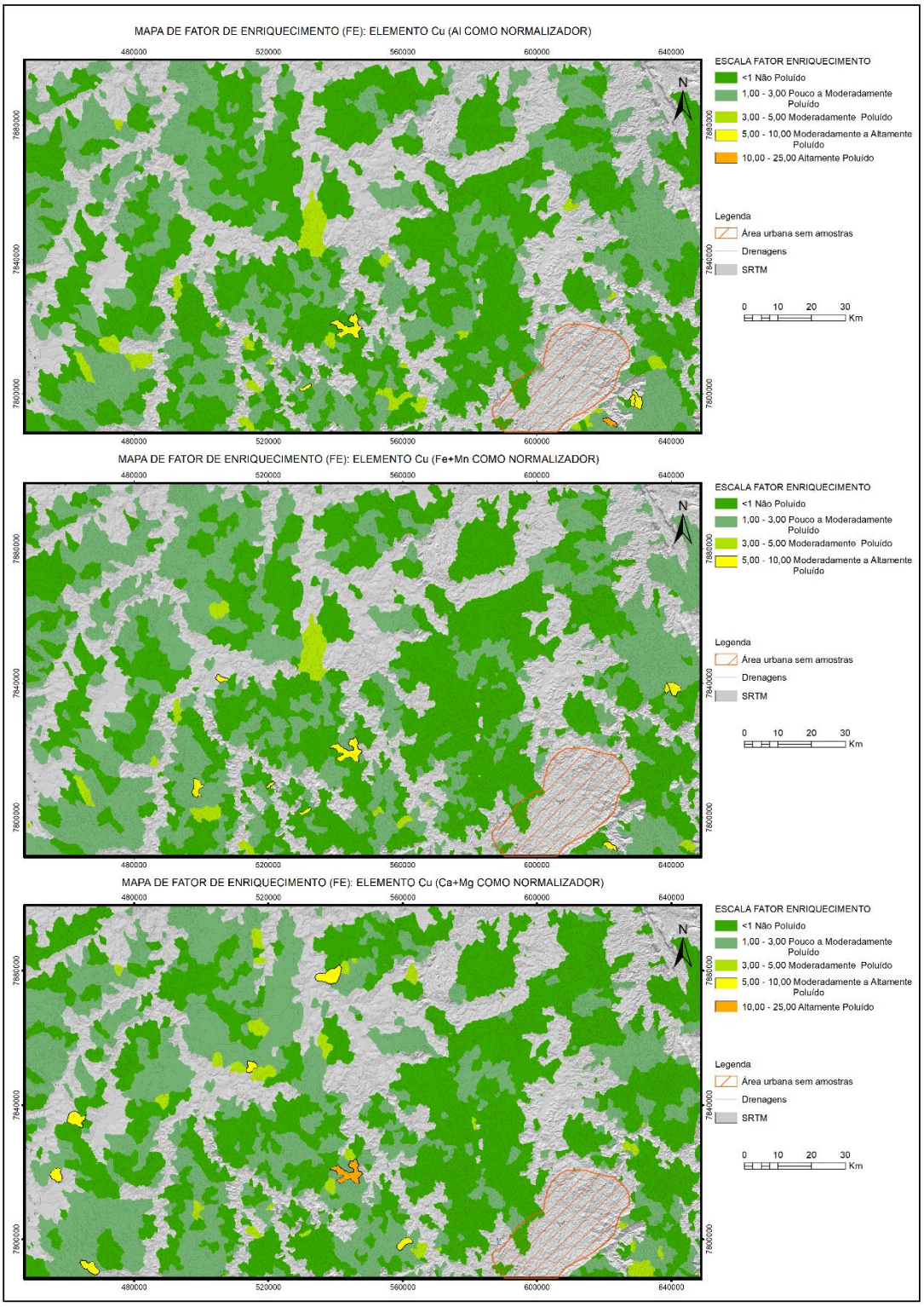

MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Zn (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Zn (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Zn (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)

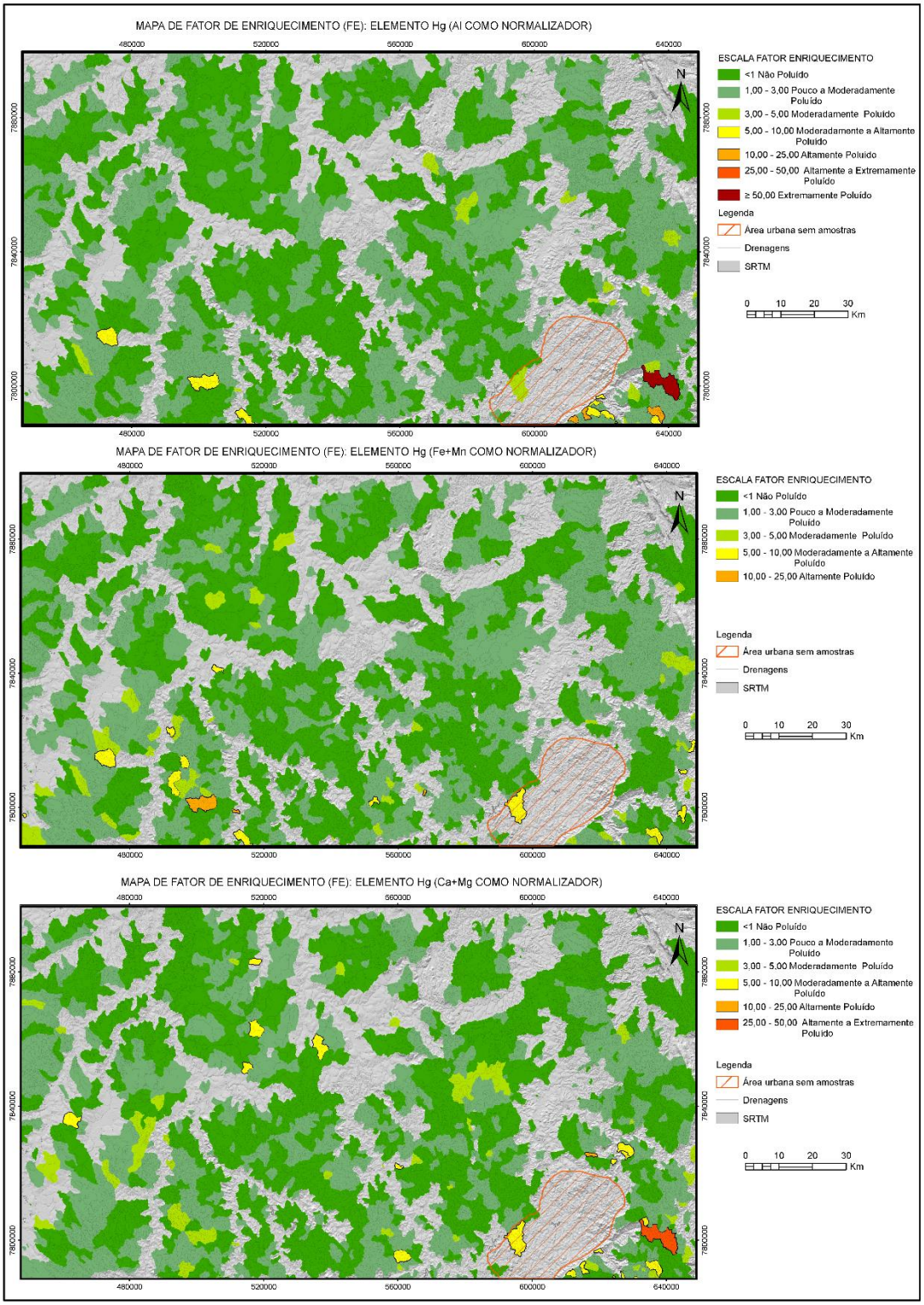
Mapas de Fator de Enriquecimento (FE) – Elementos As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, U e Zn. Tratamento dos dados por unidade geológica.

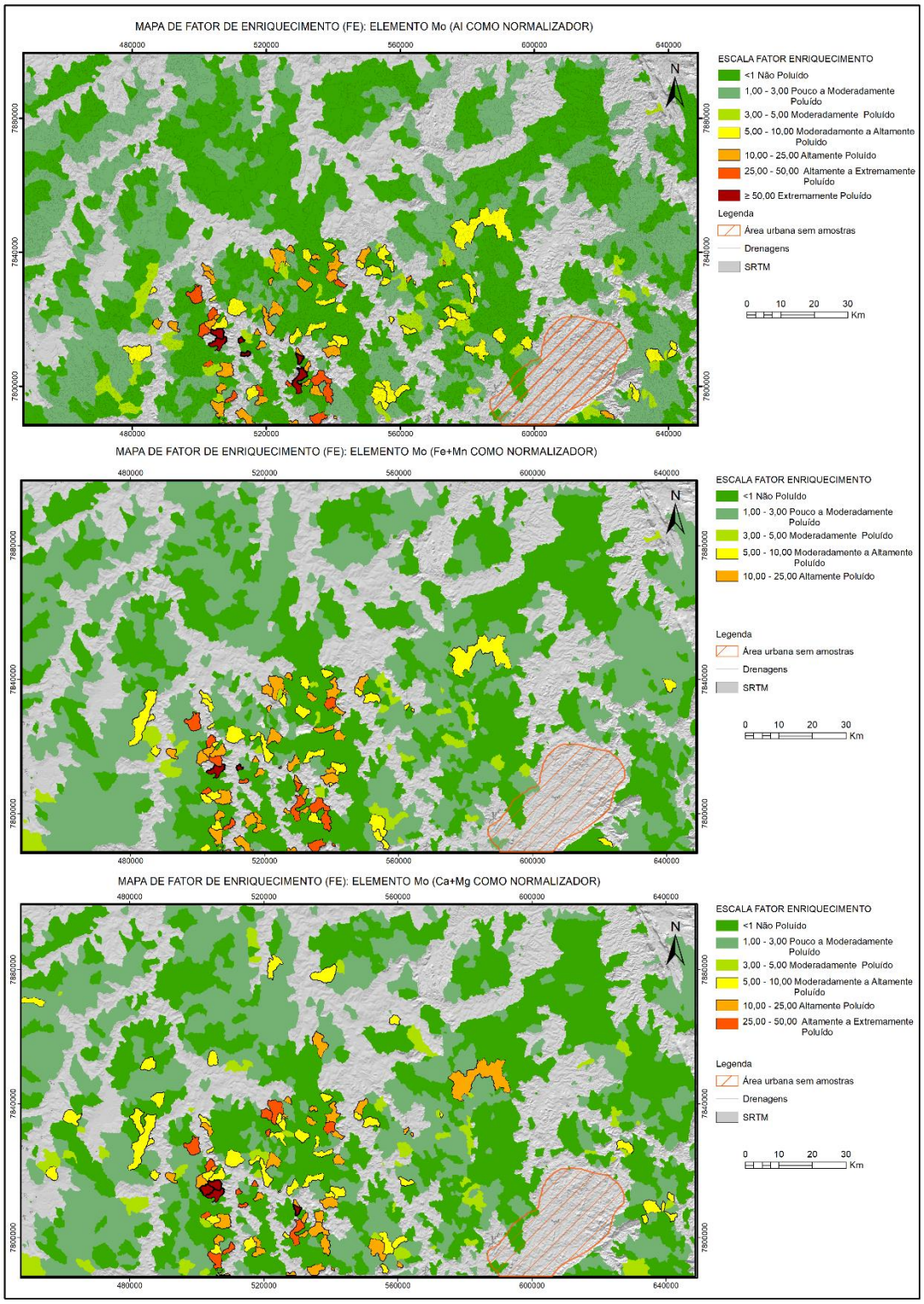


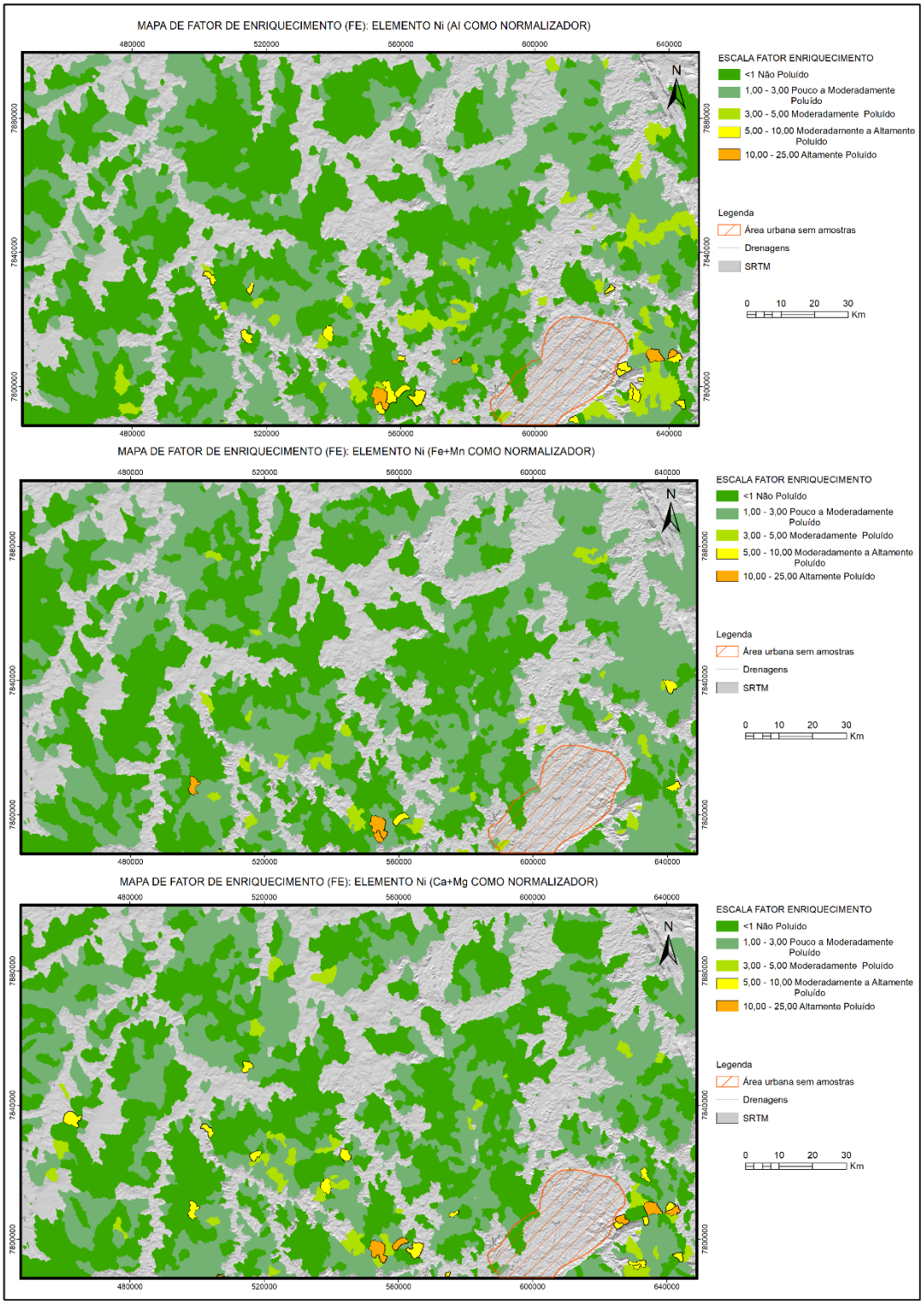

MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cd (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluido
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluido
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluido
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluido
10,00 - 25,00 Altamente Poluido
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cd (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cd (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)

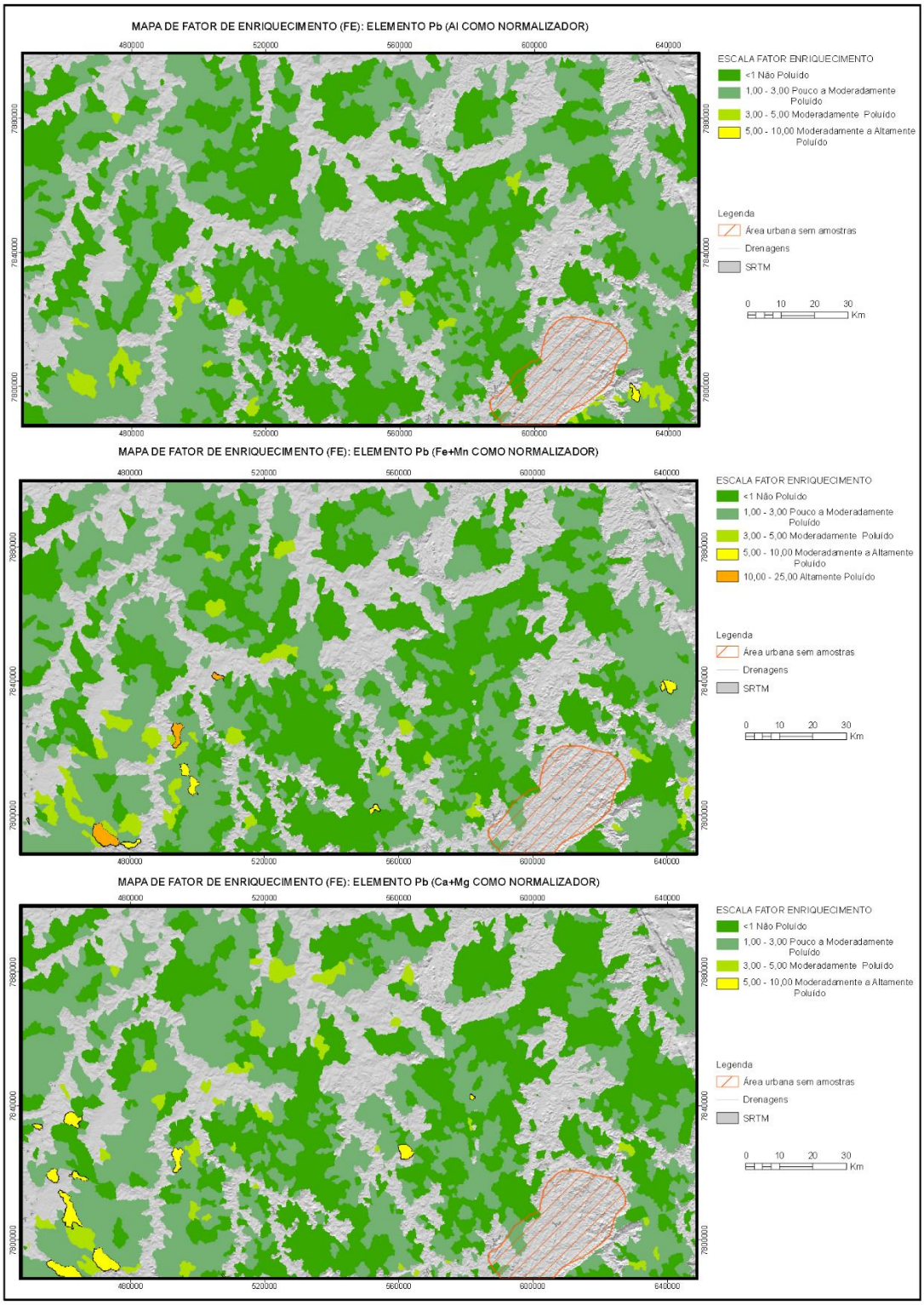

MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Co (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Co (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Co (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)

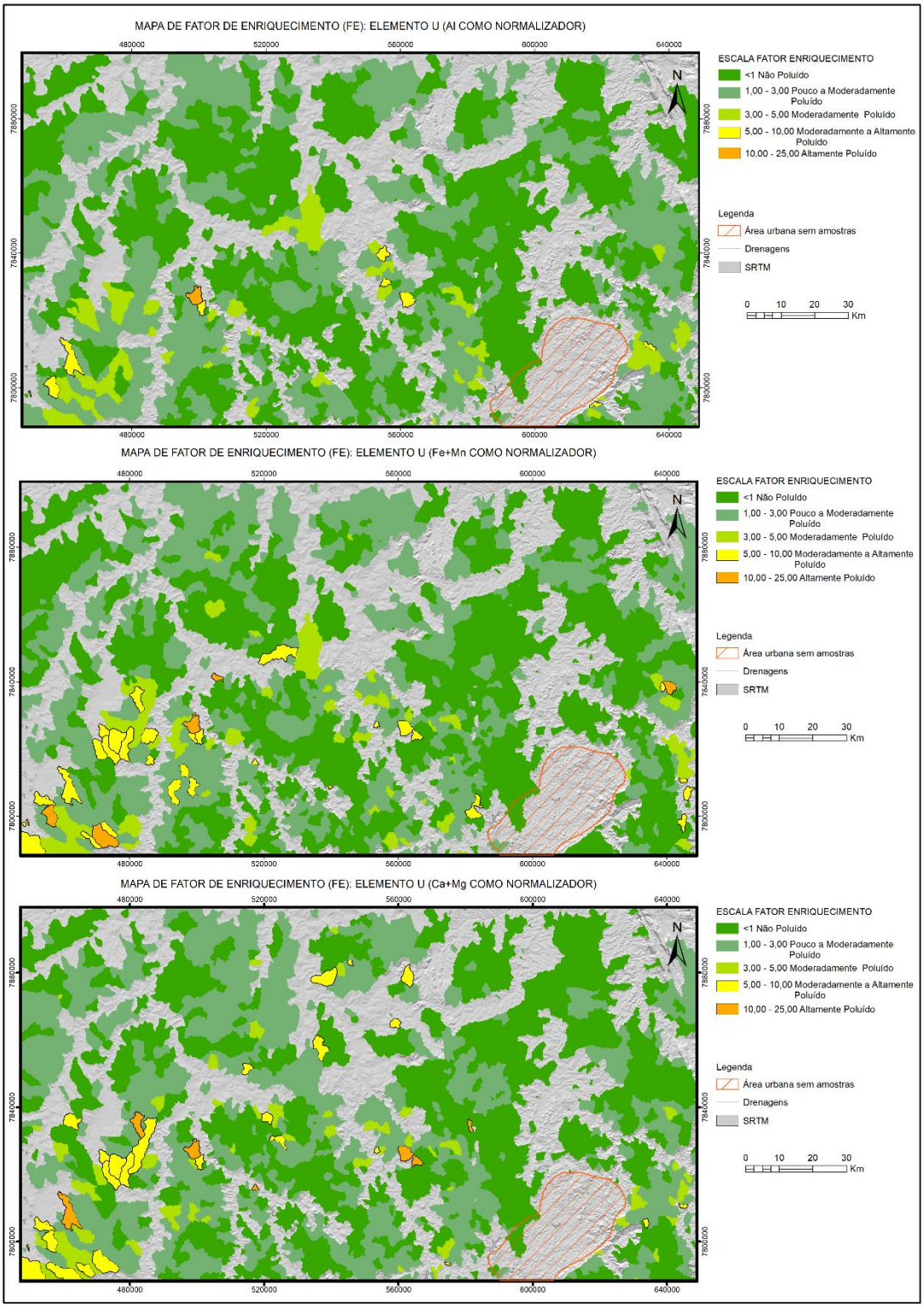

MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cu (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cu (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cu (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)

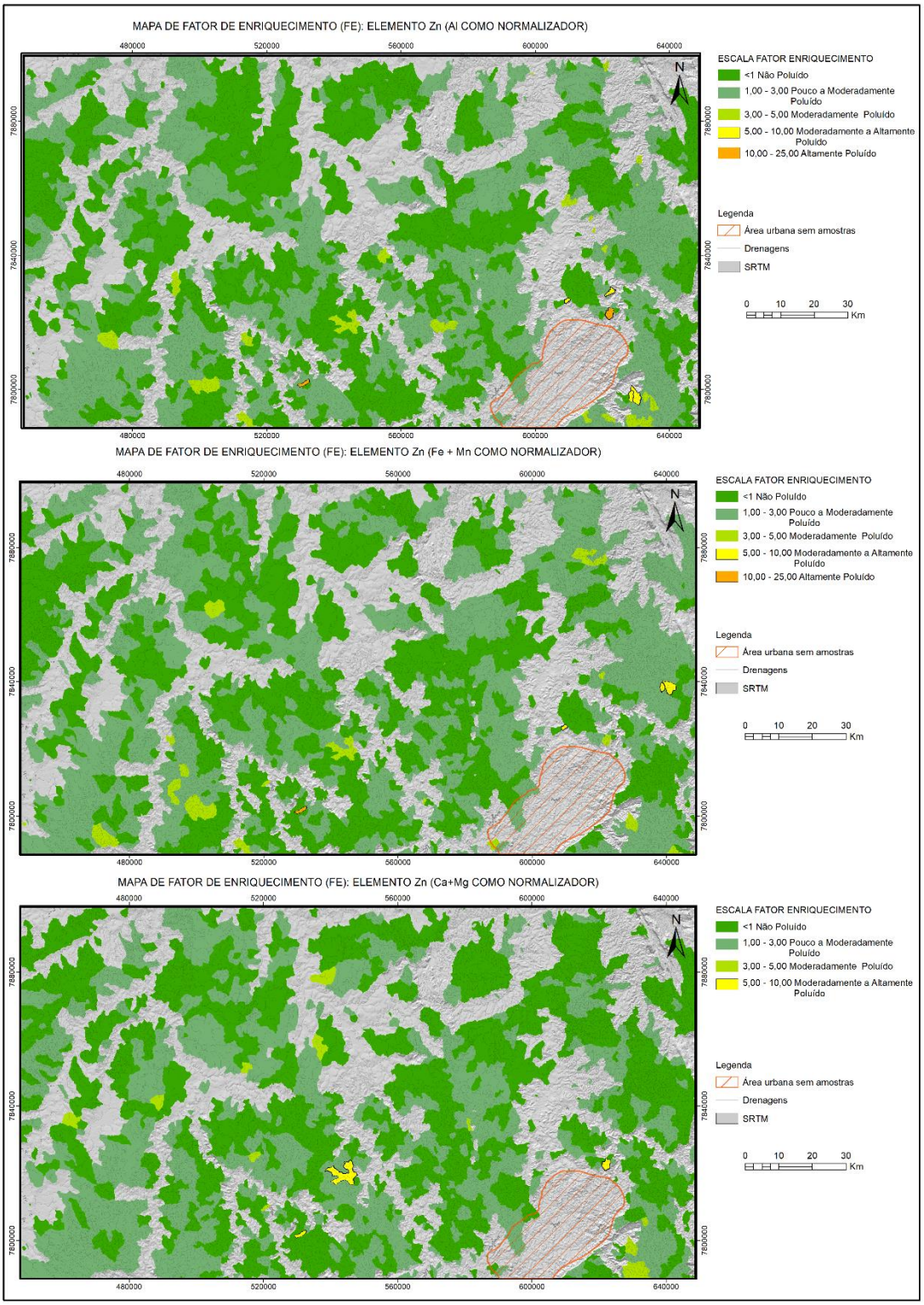

MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Hg (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
25,00 - 50,00 Altamente a Extremamente Poluído
≥ 50,00 Extremamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Hg (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Hg (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
25,00 - 50,00 Altamente a Extremamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km


MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Mo (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
25,00 - 50,00 Altamente a Extremamente Poluído
≥ 50,00 Extremamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Mo (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Mo (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)


MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Ni (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Ni (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Ni (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)


MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Pb (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Pb (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Pb (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km


MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO U (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO U (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO U (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)


MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Zn (Al COMO NORMALIZADOR)
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR ENRIQUECIMENTO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Pouco a Moderadamente Poluído
3,00 - 5,00 Moderadamente Poluído
5,00 - 10,00 Moderadamente a Altamente Poluído
10,00 - 25,00 Altamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
Km
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Zn (Fe + Mn COMO NORMALIZADOR)
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Zn (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)

Fator de Contaminação

O Fator de Contaminação (FC) é a razão entre o metal contido no sedimento para o valor de referência do metal (*background*) da área de estudo. É uma ferramenta efetiva para monitorar a poluição em um período de tempo (SIVAKUMAR et al., 2016). É calculado da seguinte forma:

$$FC = C_S/C_{BG},$$

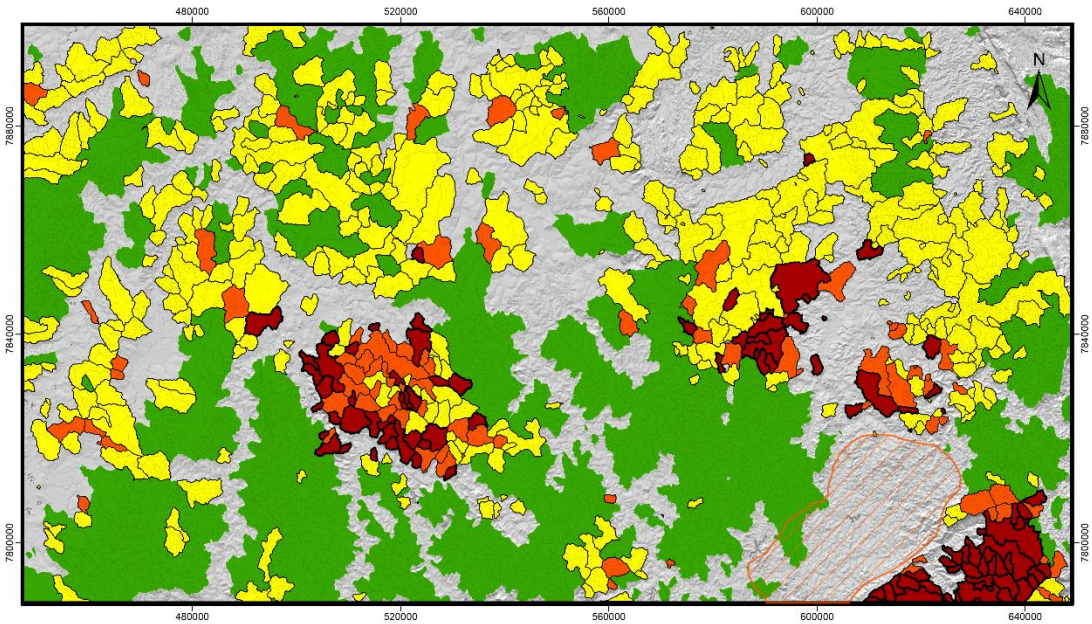
Onde: C_S é a concentração do metal poluente na amostra; e C_{BG} é a concentração do *background* calculado do metal poluente para a área de estudo.

De acordo com Hakanson (1980):

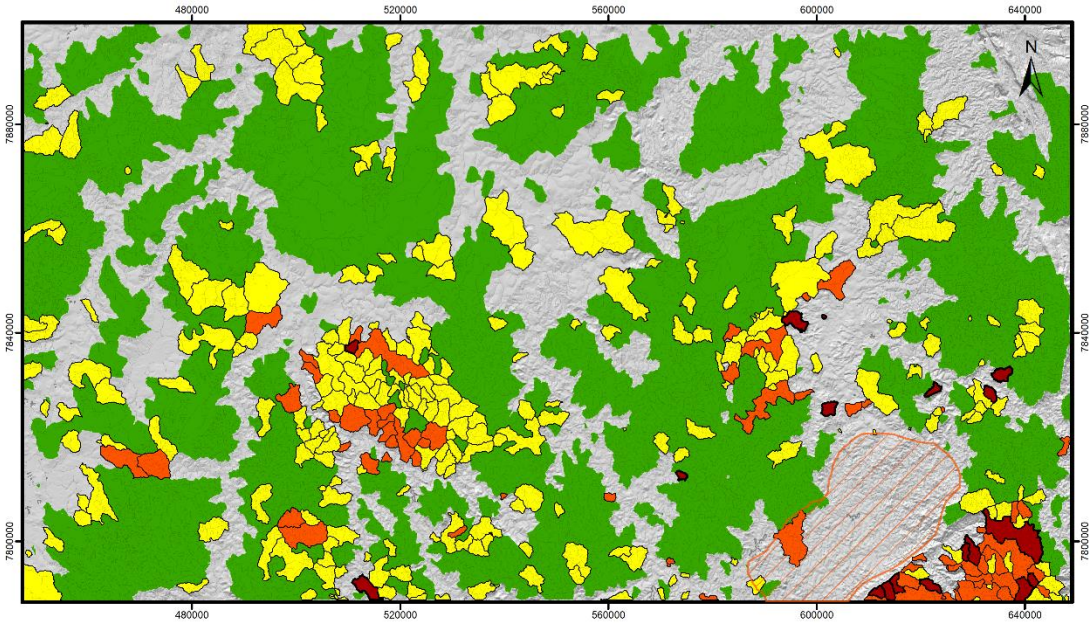
- FC < 1: indica baixa contaminação;
- 1 < FC < 3: é moderada contaminação;
- 3 < FC < 6: é considerável contaminação;
- FC > 6: é alta contaminação.

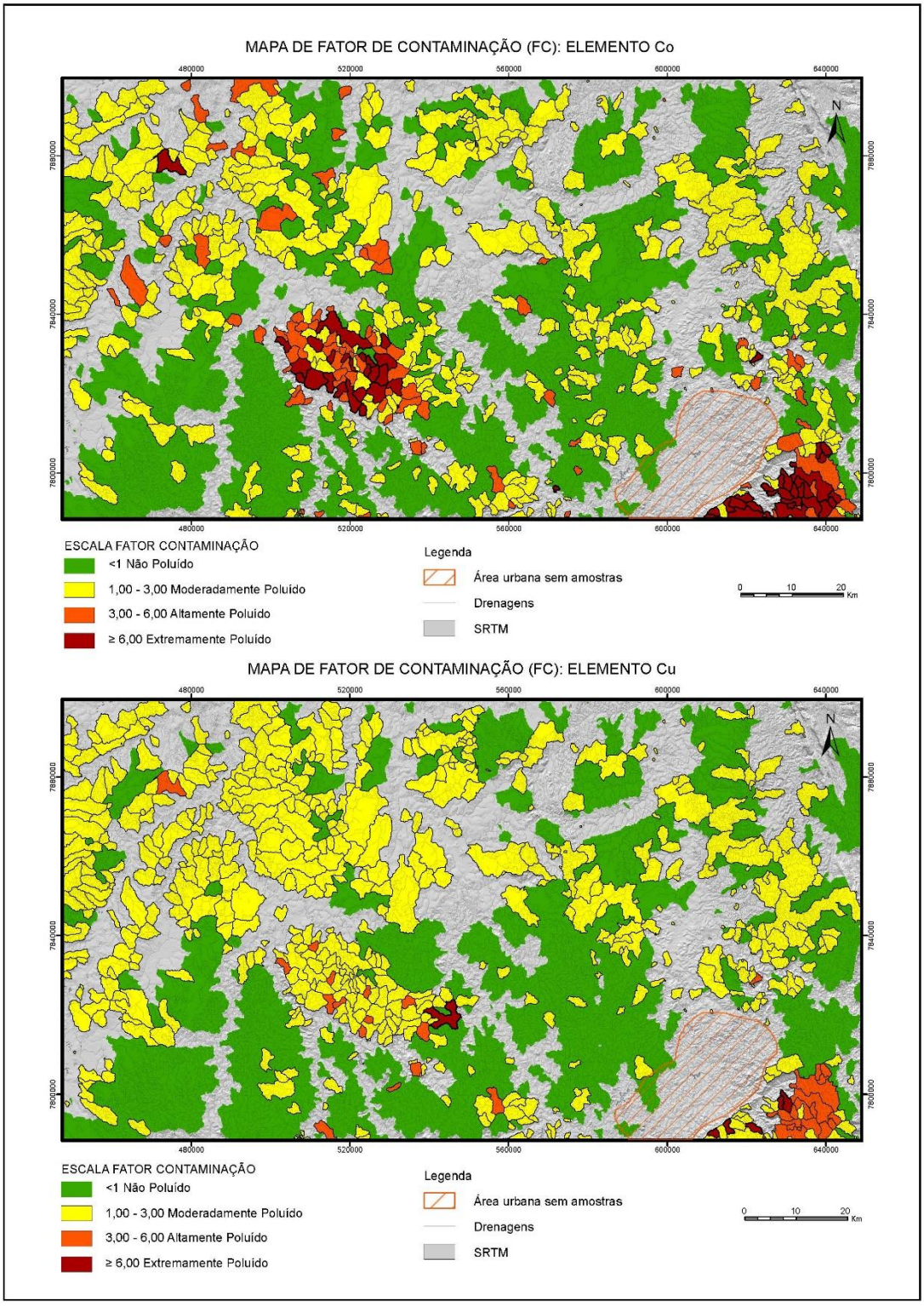
Mapas de Fator de Contaminação (FC) – Elementos As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, U e Zn. Tratamento global dos dados.

MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO As

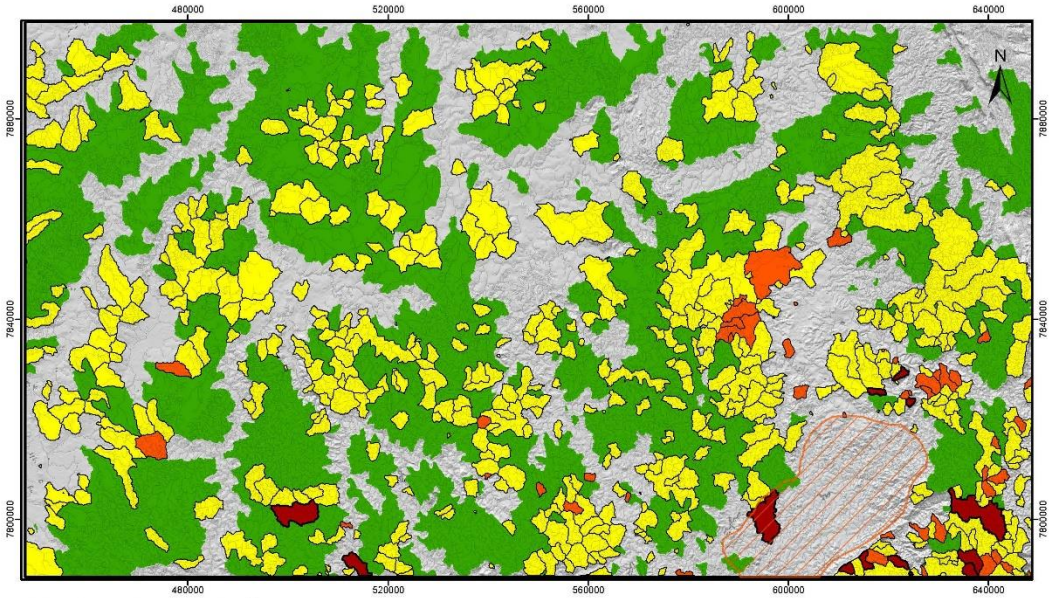


MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Cd




MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Co
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR CONTAMINAÇÃO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Moderadamente Poluído
3,00 - 6,00 Altamente Poluído
≥ 6,00 Extremamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0
10
20
Km
MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Cu
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR CONTAMINAÇÃO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Moderadamente Poluído
3,00 - 6,00 Altamente Poluído
≥ 6,00 Extremamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0
10
20
Km

MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Hg

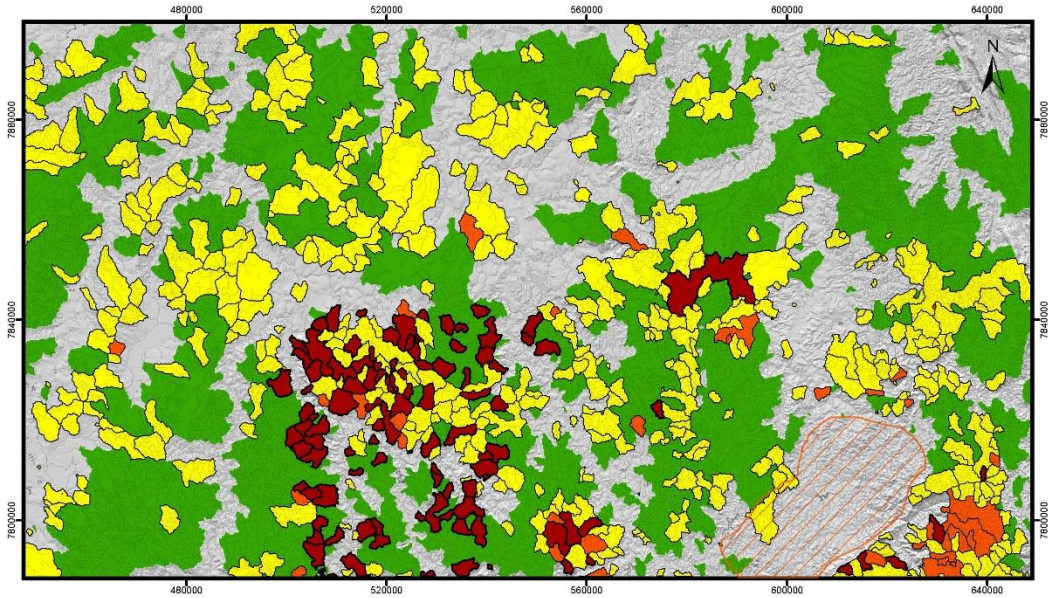


ESCALA FATOR CONTAMINAÇÃO
- <1 Não Poluído
- 1,00 - 3,00 Moderadamente Poluído
- 3,00 - 6,00 Altamente Poluído
- ≥ 6,00 Extremamente Poluído

Legenda
- Área urbana sem amostras
- Drenagens
- SRTM

0 10 20 Km

MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Mo

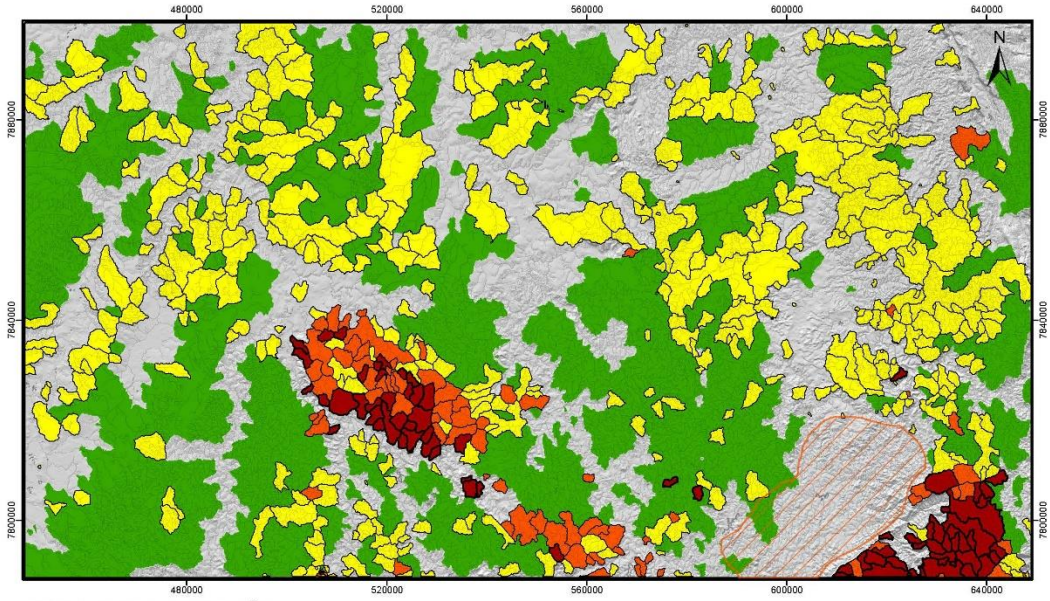


ESCALA FATOR CONTAMINAÇÃO
- <1 Não Poluído
- 1,00 - 3,00 Moderadamente Poluído
- 3,00 - 6,00 Altamente Poluído
- ≥ 6,00 Extremamente Poluído

Legenda
- Área urbana sem amostras
- Drenagens
- SRTM

0 10 20 Km

MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Ni

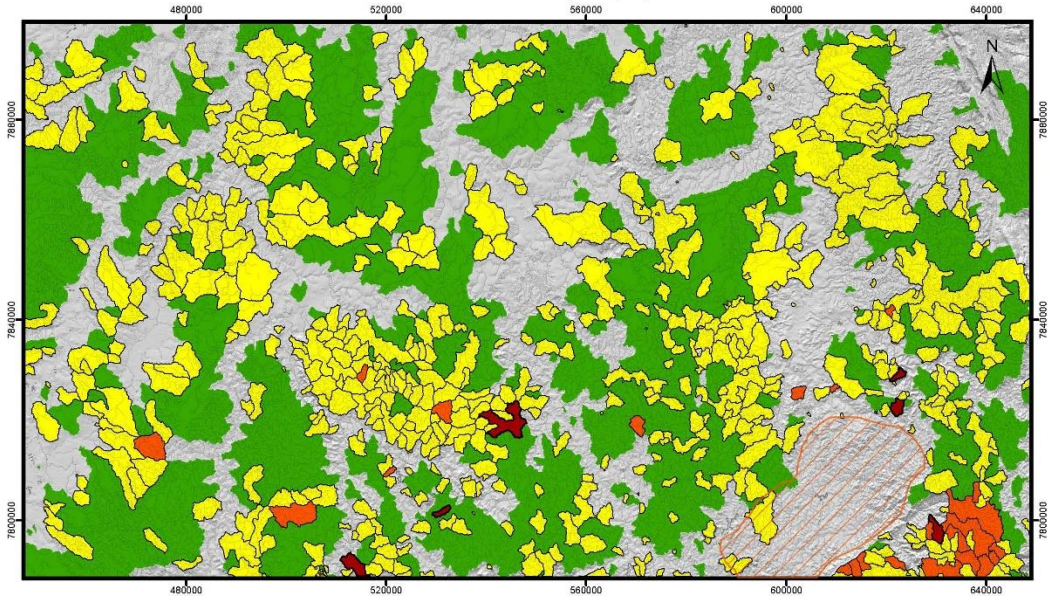


ESCALA FATOR CONTAMINAÇÃO
- <1 Não Poluído
- 1,00 - 3,00 Moderadamente Poluído
- 3,00 - 6,00 Altamente Poluído
- ≥ 6,00 Extremamente Poluído

Legenda
- Área urbana sem amostras
- Drenagens
- SRTM

0 10 20 Km

MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Pb

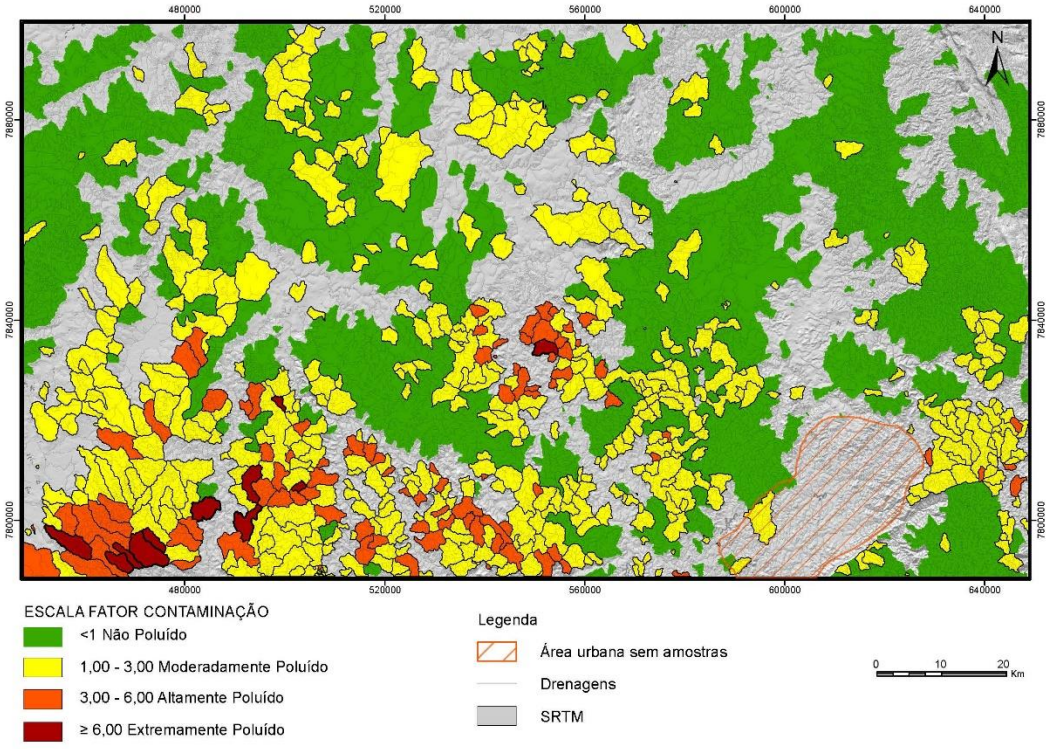


ESCALA FATOR CONTAMINAÇÃO
- <1 Não Poluído
- 1,00 - 3,00 Moderadamente Poluído
- 3,00 - 6,00 Altamente Poluído
- ≥ 6,00 Extremamente Poluído

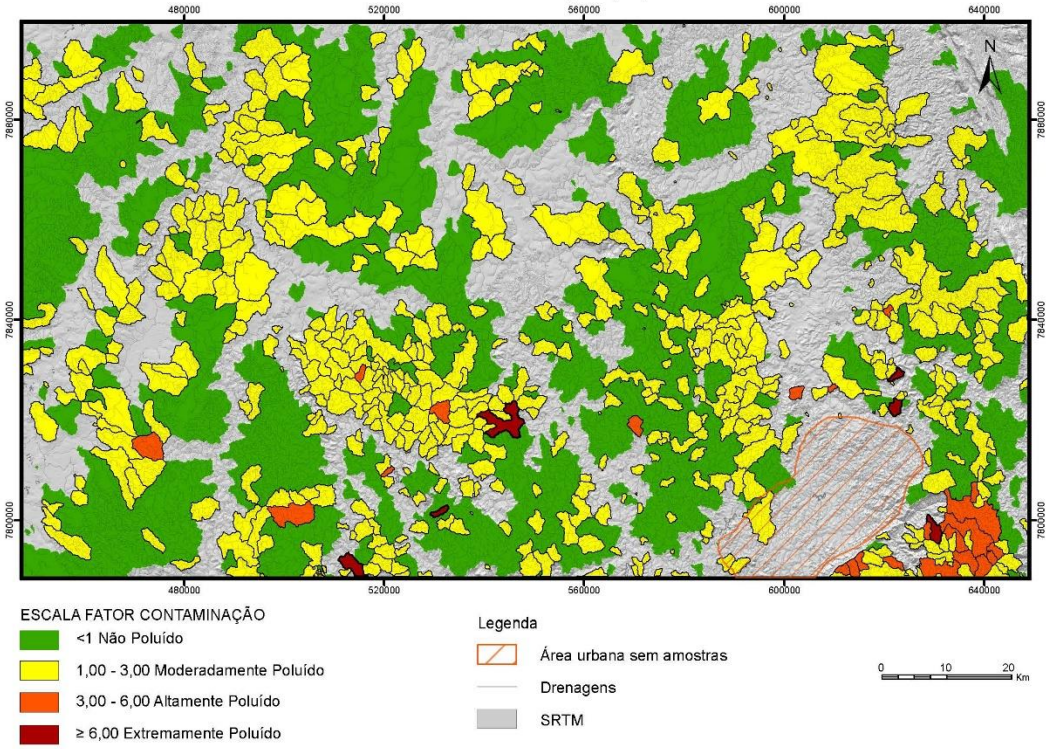
Legenda
- Área urbana sem amostras
- Drenagens
- SRTM

0 10 20 Km

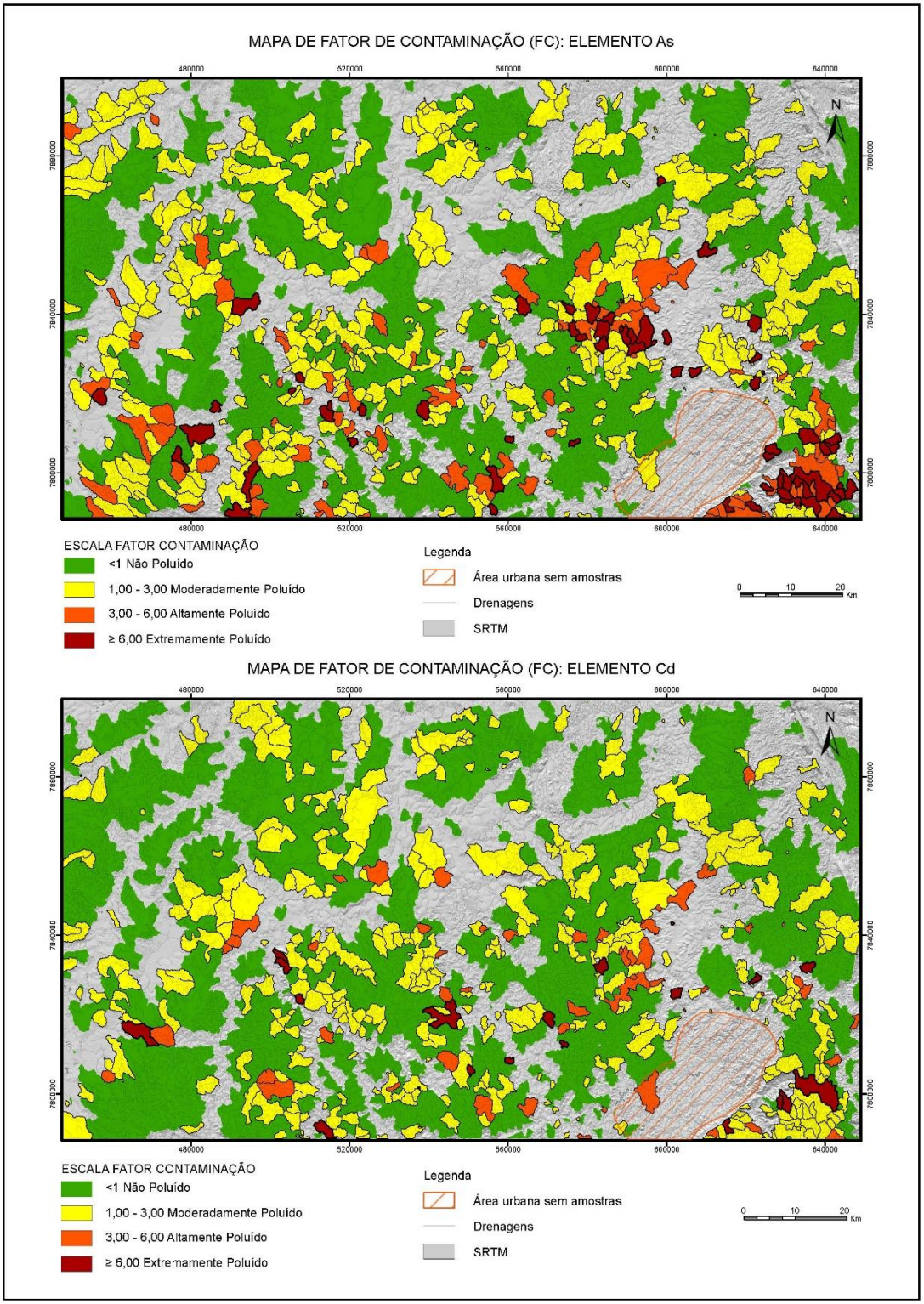
MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO U



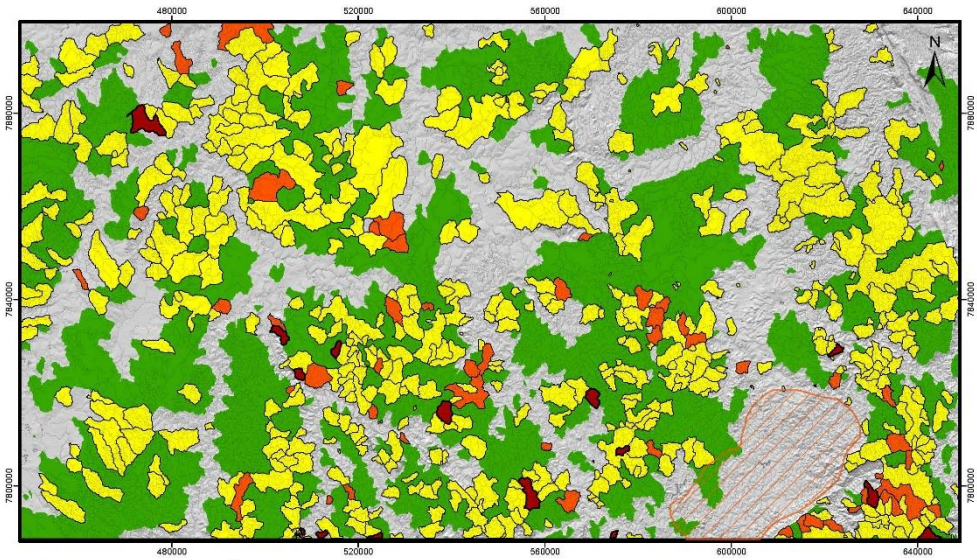
MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Zn



Mapas de Fator de Contaminação (FC) – Elementos As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, U e Zn. Tratamento dos dados por unidade geológica.



MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Co

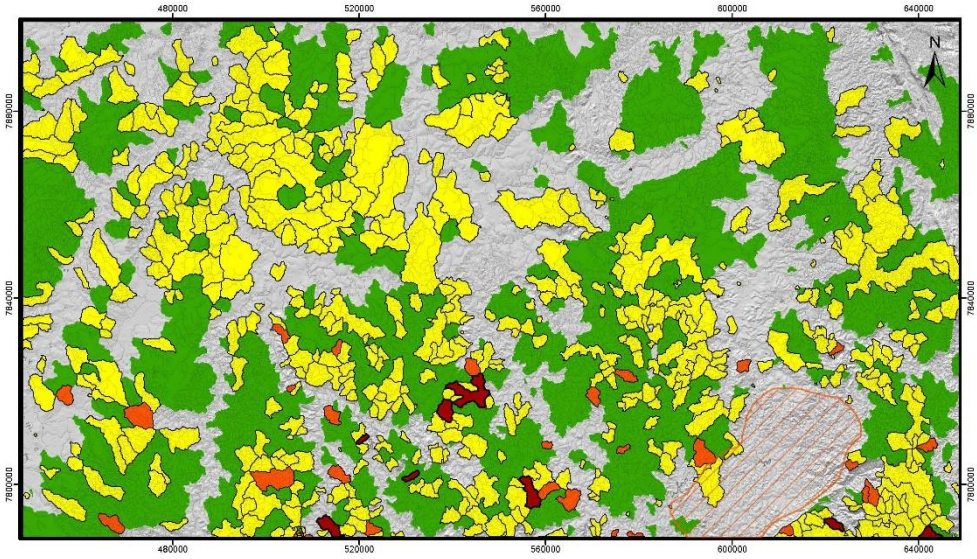


ESCALA FATOR CONTAMINAÇÃO
- <1 Não Poluído
- 1,00 - 3,00 Moderadamente Poluído
- 3,00 - 6,00 Altamente Poluído
- ≥ 6,00 Extremamente Poluído

Legenda
- Área urbana sem amostras
- Drenagens
- SRTM

0 10 20 Km

MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Cu

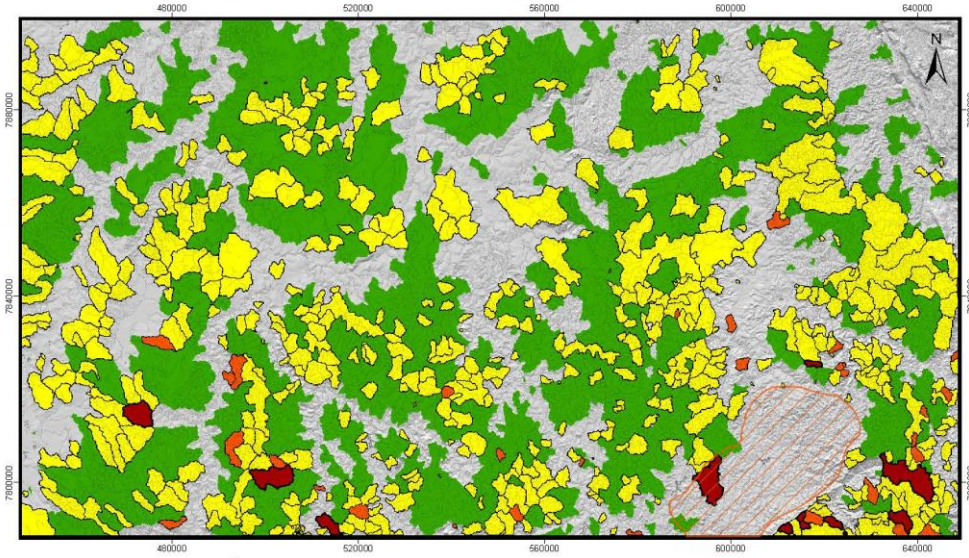


ESCALA FATOR CONTAMINAÇÃO
- <1 Não Poluído
- 1,00 - 3,00 Moderadamente Poluído
- 3,00 - 6,00 Altamente Poluído
- ≥ 6,00 Extremamente Poluído

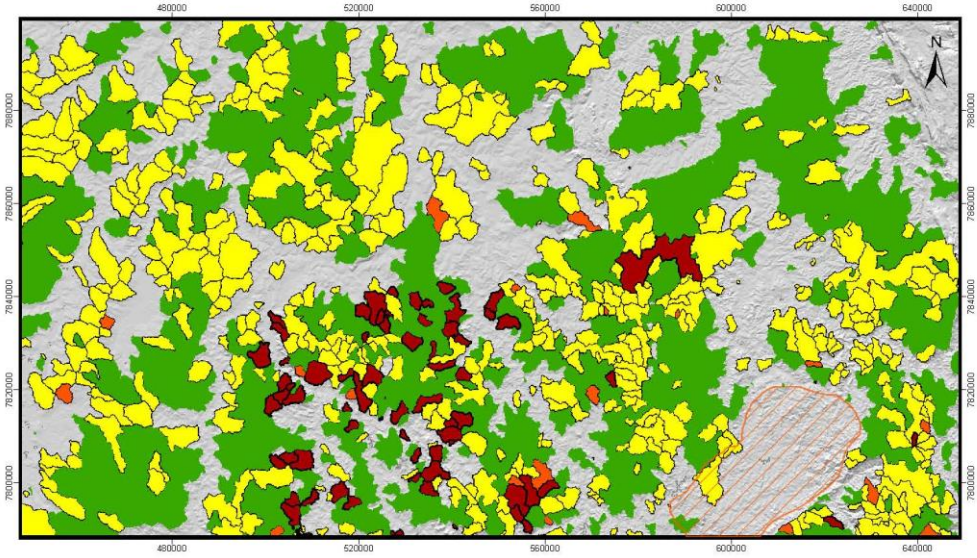
Legenda
- Área urbana sem amostras
- Drenagens
- SRTM

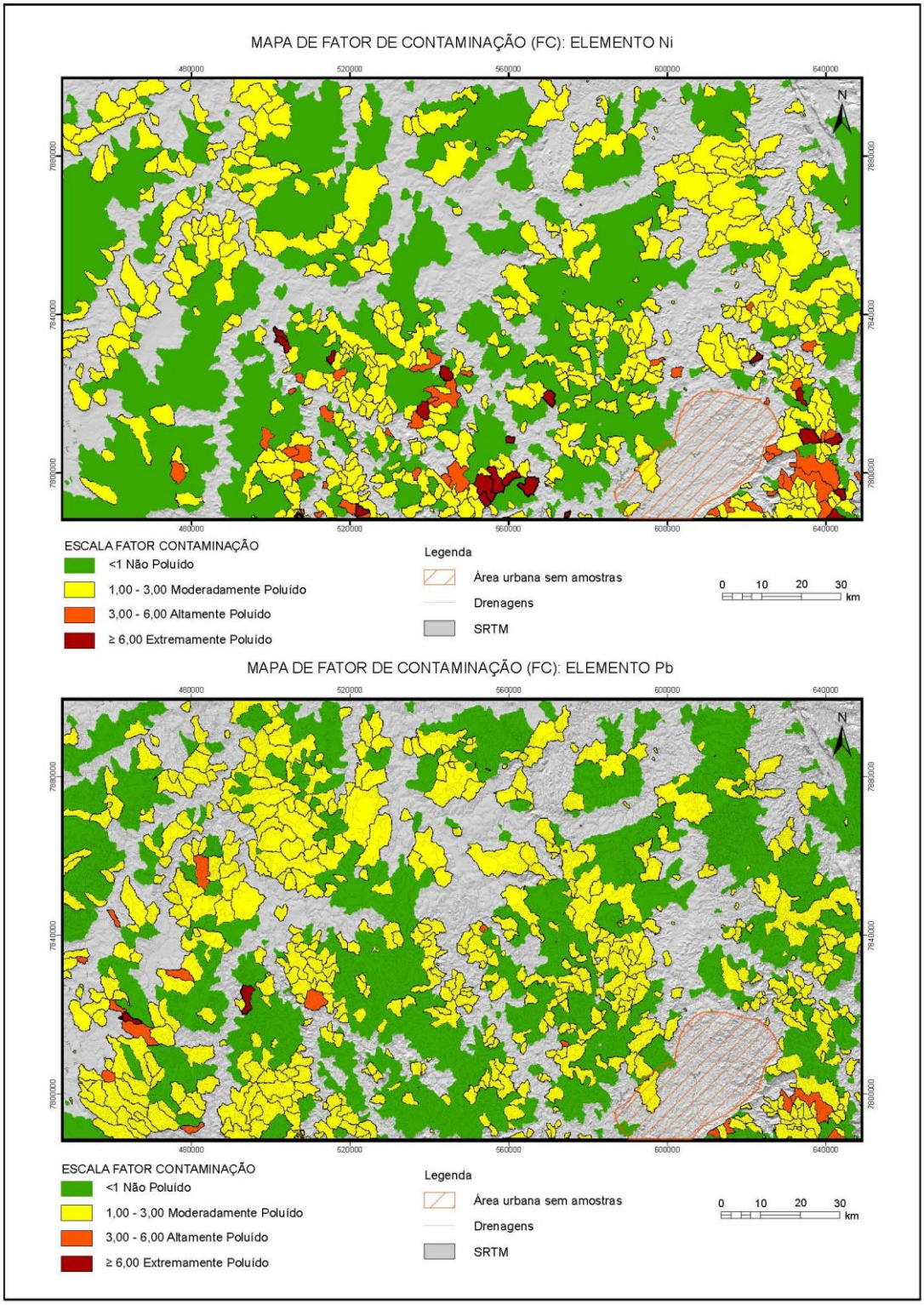
0 10 20 Km

MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Hg

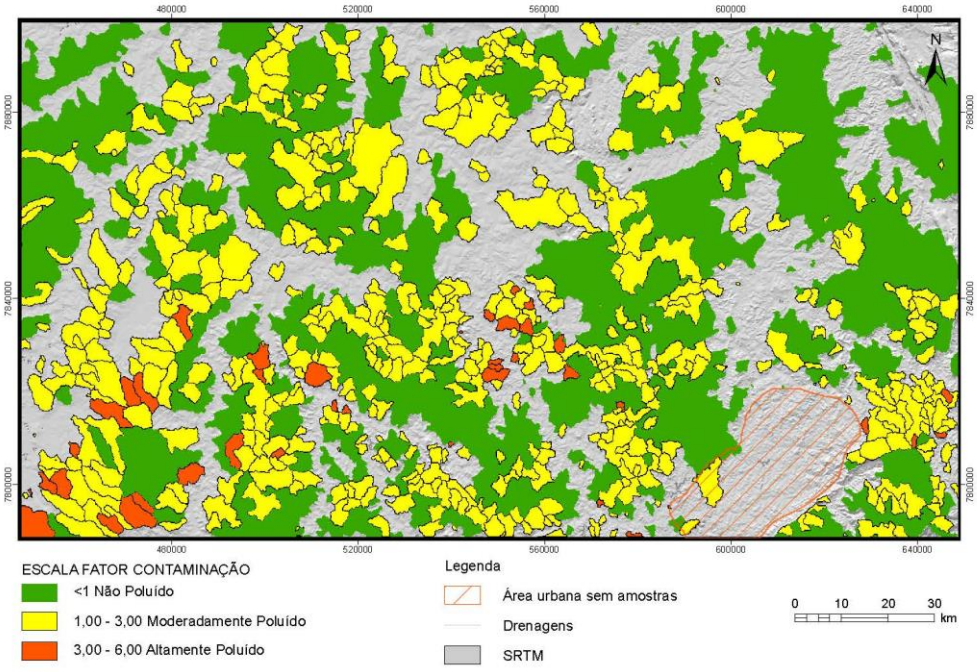


MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Mo

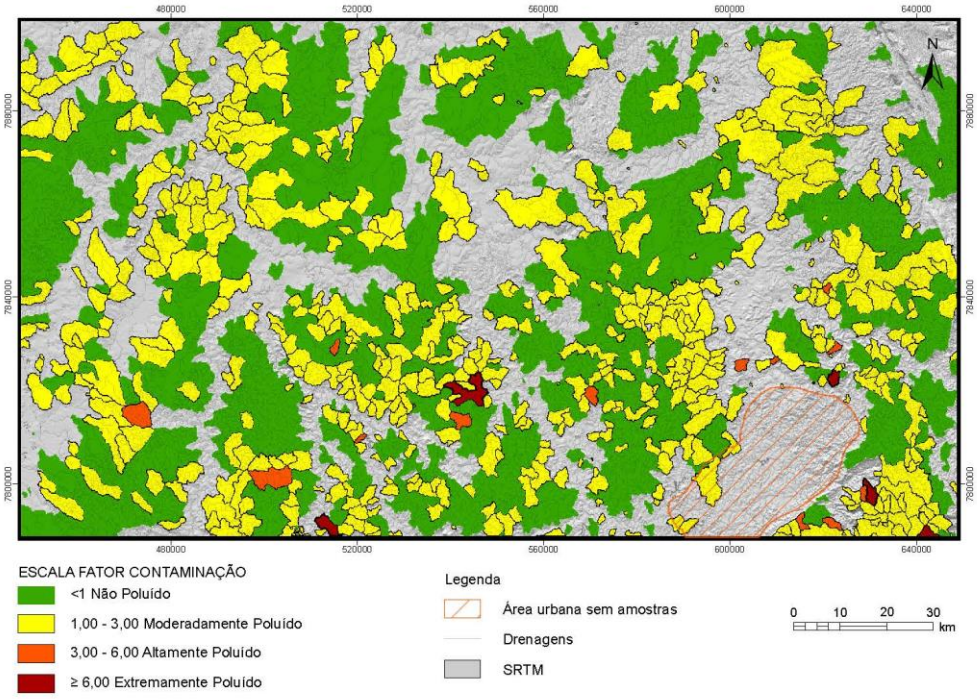



MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Ni
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR CONTAMINAÇÃO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Moderadamente Poluído
3,00 - 6,00 Altamente Poluído
≥ 6,00 Extremamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
km
MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Pb
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
ESCALA FATOR CONTAMINAÇÃO
<1 Não Poluído
1,00 - 3,00 Moderadamente Poluído
3,00 - 6,00 Altamente Poluído
≥ 6,00 Extremamente Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM
0 10 20 30
km

MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO U



MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Zn



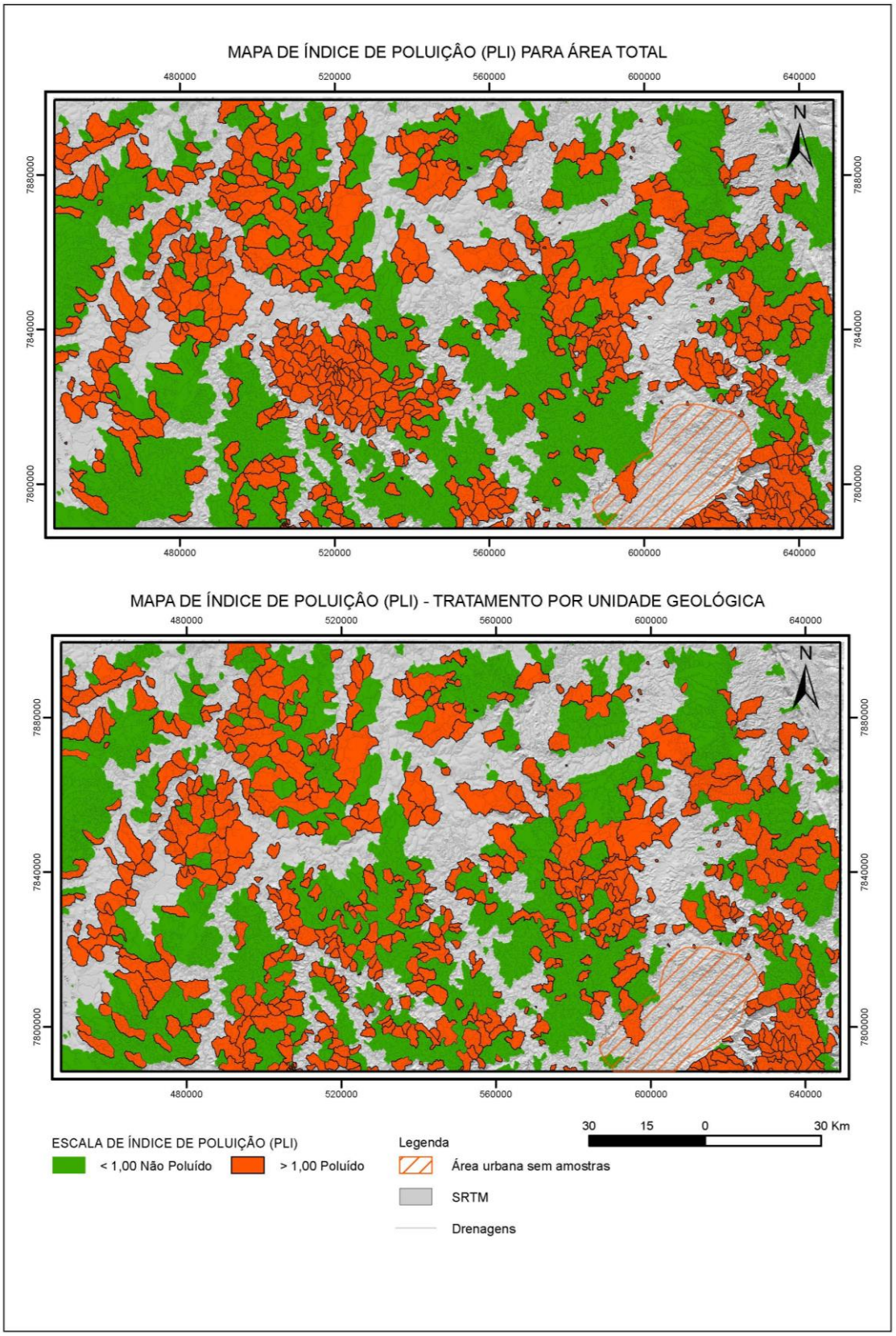
Índice de Poluição

O Índice de Poluição (PLI) representa o número de vezes pelo qual a concentração do metal pesado no sedimento ultrapassou o valor de referência (*background*). É obtido pela somatória dos fatores de contaminação (FC) já obtidos, multiplicados entre si e elevados à potência fracionada do número de metais poluentes considerados (n). O PLI indica o nível geral de metal pesado poluente em uma amostra (SIVAKUMAR *et al*., 2016).

$$\text{PLI} = \sqrt[n]{FC1\ x\ FC2\ x\ \ldots..x\ FCn}$$

Onde: FC representa os fatores de contaminação dos elementos poluentes já calculados; e n é o número de metais poluentes

São classificados os resultados: (PLI > 1) como poluído; e (PLI < 1) como não poluído.


MAPA DE ÍNDICE DE POLUIÇÂO (PLI) PARA ÁREA TOTAL
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
MAPA DE ÍNDICE DE POLUIÇÂO (PLI) - TRATAMENTO POR UNIDADE GEOLÓGICA
30 15 0 30 Km
ESCALA DE ÍNDICE DE POLUIÇÃO (PLI)
< 1,00 Não Poluído
> 1,00 Poluído
Legenda
Área urbana sem amostras
SRTM
Drenagens

Grau de Contaminação Modificado

O Grau Modificado de Contaminação (GCm) foi introduzido para estimar o grau geral de contaminação em um determinado local ou área, podendo ser calculado através do somatório dos fatores de contaminação dos metais considerados, divididos pelo número de metais poluentes considerados.

$$GCm = \frac{\sum_{i=1}^{n} FCi}{n}$$

Para a classificação e a descrição do Grau Modificado de Contaminação (GCm) no sedimento, a seguinte escala é proposta por Hakanson (1980):

GCm <1.5: é nulo para um grau muito baixo de contaminação;

1,5 ≤ GCm < 2: é um baixo grau de contaminação;

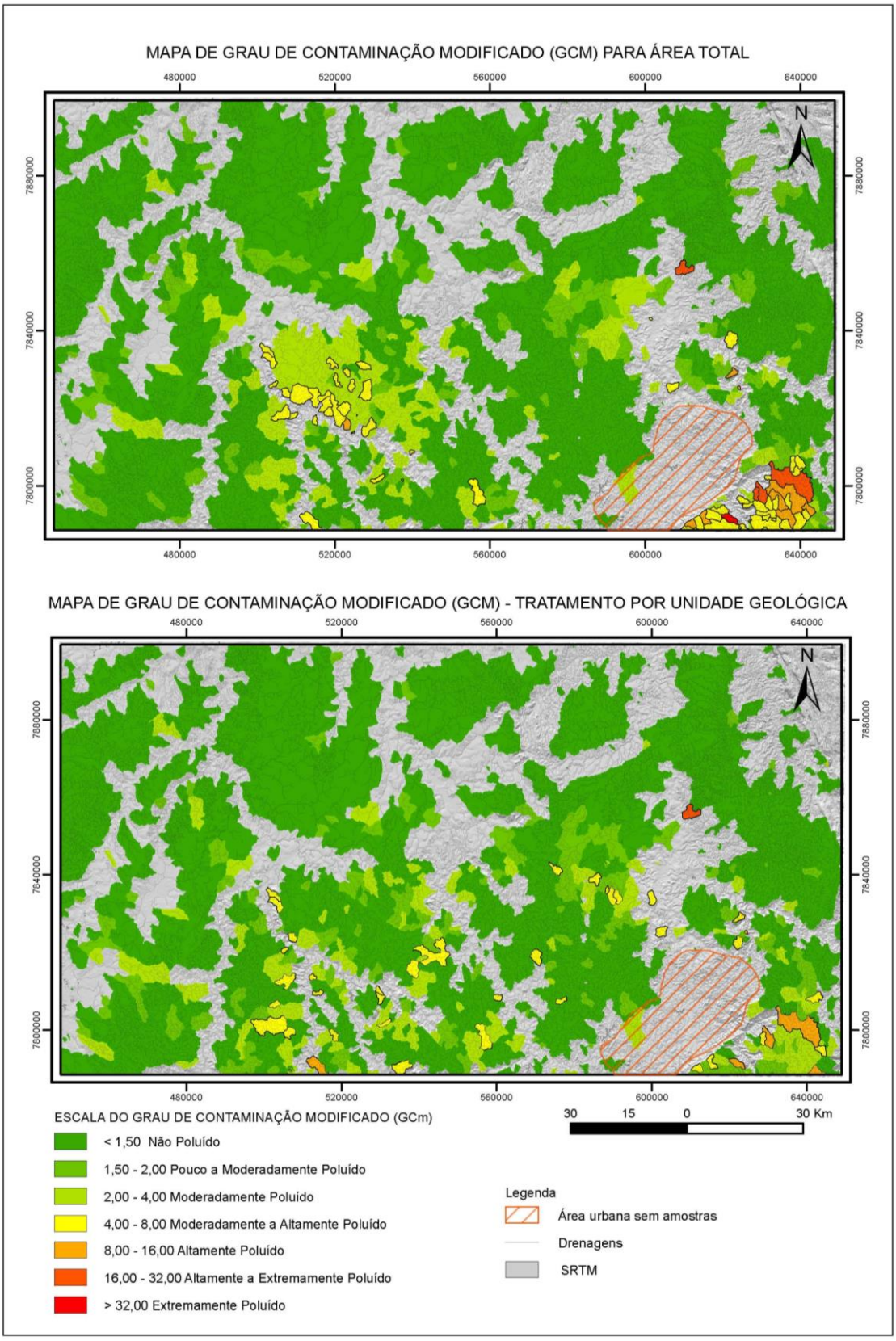
2 ≤ GCm < 4: é um grau moderado de contaminação;

4 ≤ GCm < 8: é um grau alto de contaminação;

8 ≤ GCm < 16: é um muito alto grau de contaminação;

16 ≤ GCm < 32: é um extremamente alto grau de contaminação;

GCm ≤ 32: é um grau ultra-alto de Contaminação.


MAPA DE GRAU DE CONTAMINAÇÃO MODIFICADO (GCM) PARA ÁREA TOTAL
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
MAPA DE GRAU DE CONTAMINAÇÃO MODIFICADO (GCM) - TRATAMENTO POR UNIDADE GEOLÓGICA
ESCALA DO GRAU DE CONTAMINAÇÃO MODIFICADO (GCm)
< 1,50 Não Poluído
1,50 - 2,00 Pouco a Moderadamente Poluído
2,00 - 4,00 Moderadamente Poluído
4,00 - 8,00 Moderadamente a Altamente Poluído
8,00 - 16,00 Altamente Poluído
16,00 - 32,00 Altamente a Extremamente Poluído
> 32,00 Extremamente Poluído
30 15 0 30 Km
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM

Risco Ecológico

O índice de Risco Ecológico potencial (RE) pode ser usado para avaliar as características e o comportamento ambiental de metais pesados contaminantes em sedimentos, indicando agentes contaminantes e locais de atenção prioritárias (HAKANSON, 1980).

O índice de Risco Ecológico potencial (RE) é calculado por:

$$RE = \sum_{i=1}^{n} T_r^i * FCi$$

Onde: T_r é o fator de resposta à toxicidade de um determinado metal, tabelado fator de resposta tóxica, representando o potencial perigo de contaminação do metal pesado para indicar a toxicidade de cada metal pesado e a contaminação para o meio ambiente.

Os fatores de respostas tóxicas padronizadas para os elementos são: As (10), Cd (30), Co (5), Cr (2) Cu (5), Mo (5), Ni (5), Pb (5), U (2), Zn (1) (HAKANSON, 1980)

Para a classificação e a descrição do Risco Ecológico (RE), Doležalová Weissmannová *et al*. (2019) propõem a seguinte escala:

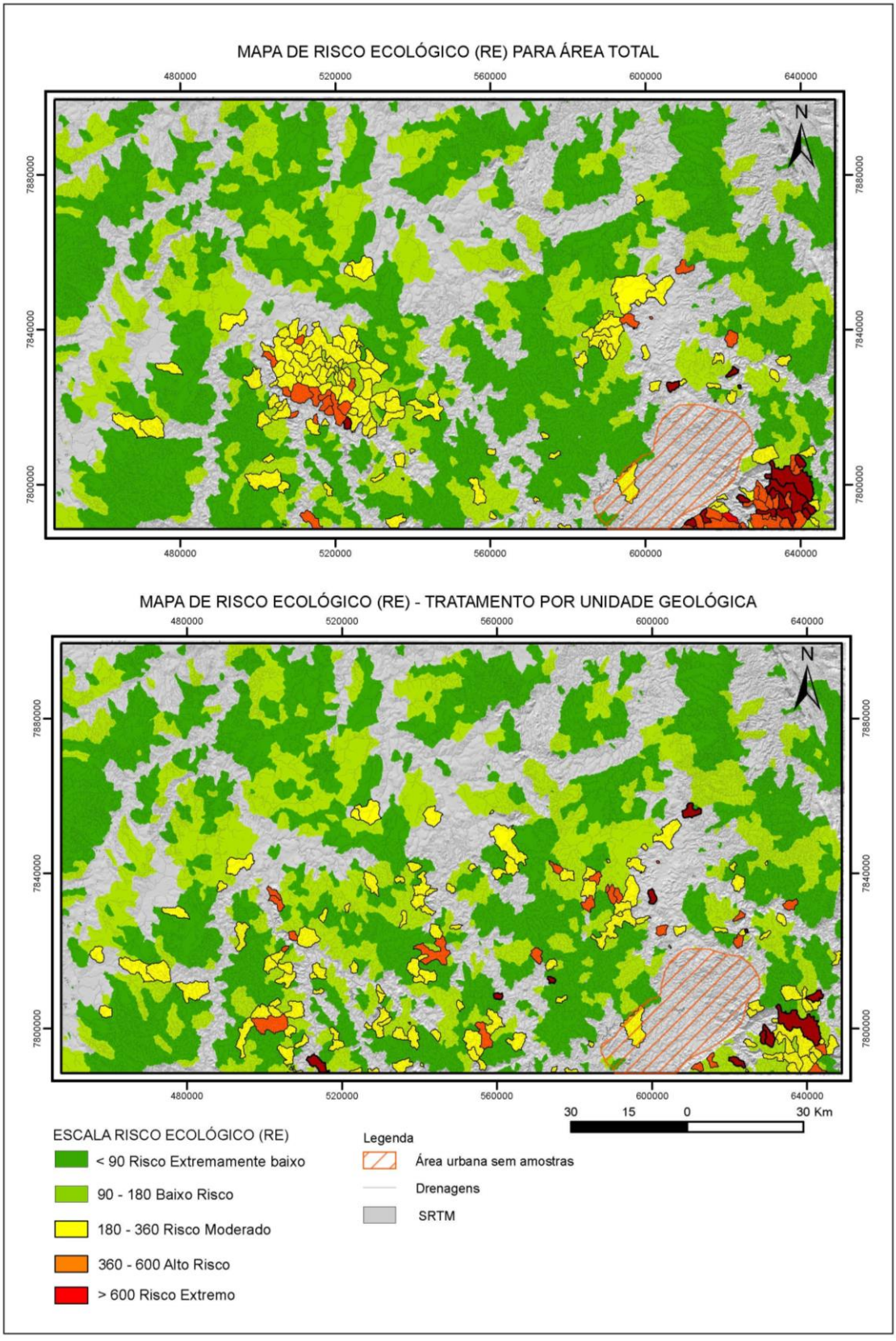
RE < 90: baixo risco ecológico;

90 > RE < 180: risco ecológico moderado;

180 > RE < 360: forte risco ecológico;

360 > RE < 600: risco ecológico muito forte;

RE > 600: risco ecológico muito muito forte.


MAPA DE RISCO ECOLÓGICO (RE) PARA ÁREA TOTAL
480000
520000
560000
600000
640000
7880000
7840000
7800000
N
MAPA DE RISCO ECOLÓGICO (RE) - TRATAMENTO POR UNIDADE GEOLÓGICA
30 15 0 30 Km
ESCALA RISCO ECOLÓGICO (RE)
< 90 Risco Extremamente baixo
90 - 180 Baixo Risco
180 - 360 Risco Moderado
360 - 600 Alto Risco
> 600 Risco Extremo
Legenda
Área urbana sem amostras
Drenagens
SRTM

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos dos valores de referência para os 21 elementos selecionados — elementos potencialmente tóxicos para os ecossistemas presentes na matriz sedimento de corrente, explorados através técnicas estatísticas comuns (estatística univariada), estatística bivariada e representação da distribuição espacial dos valores de referências a partir de técnicas cartográficas e do *software*, ArcGis —, permitem investigar o comportamento, as tendências e as associações dos elementos analisados, levando ao entendimento das anomalias geoquímicas que podem estar relacionadas aos processos geológicos, físicos naturais e antropogênicos.

Identificam-se faixas de concentração de *background* (entre limiares inferiores e superiores) representadas pelo valor mediano dos *boxplots*, considerando-se que determinados elementos possuem fontes distintas (sendo elas unidades geológicas distintas, diferentes processos hidrotermais, ou mesmo contaminação por fontes antrópicas). Desta forma, a concentração de *background* (ou mediana) de um elemento pode possuir valores distintos por unidade.

As distribuições das concentrações vistas nos mapas demonstram, para todos os elementos, uma clara afinidade litológica. Contudo, observam-se pontualmente valores anômalos que podem estar associados com as atividades antropogênicas.

Ao se comparar os valores mediados com os valores da média crustal (UCC), verificamos, com algumas exceções, que os valores obtidos para a área de estudo são inferiores aos valores do UCC. Isto implica que a utilização desse parâmetro, utilizado mundialmente, pode levar a considerar uma área contaminada ou poluída como não poluída.

As faixas de *background* para os elementos As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Mo, V, Zn, são mais representativas nas unidades do Supergrupo Rio das Velhas (RV), corroborada pelas mineralizações de Au carreados por fluidos hidrotermais juntamente com elementos como Ag, As, Sb, Pb e Zn, (BORBA, 2000). Tal fato pode, também, ser corroborado pelas afinidades geoquímicas entre esses elementos.

O tratamento em relação aos índices ambientais dos elementos — As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, U e Zn, elementos de grande potencial de toxicidade obtidos pelo tratamento global dos dados — apresentou uma distribuição das anomalias por toda a área e, também, grandes concentrações anômalas em regiões mais específicas. Observa-se esse fenômeno para o FC, FE, RE, PLI e GCm.

Após a individualização dos dados por unidades geológicas, houve uma

mudança no comportamento das distribuições. Há uma tendência no valor médio para alguns metais relacionados à variabilidade litológica, tais como valores As, Mo, Hg, Cd e U; um enriquecimento médio nas unidades do grupo Rio das Velhas (RV) e do batólito Pequi e Serra dos Tavares (PST). Observamos um enriquecimento médio alto, também, para o Mo nas rochas graníticas gnáissicas da unidade Cláudio/Divinópolis (GCD); e As para as rochas graníticas gnáissicas do Complexo Belo Horizonte (CBH).

Verifica-se que, através do FE, os elementos que possuem maiores áreas e níveis de contaminação são o Mo > As > Cd > Co > Ni > Hg > U > Cu > Zn > Pb, e que esses níveis de contaminação são, na sua maioria, concentrados da porção sul da área. Assim sendo, estão muito relacionados com as rochas graníticas gnáissicas do embasamento cristalino e as rochas vulcanossedimentares (*greesntones belt*).

Os 10 elementos (As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, U e Zn) apresentaram contaminações com FC entre 3 e 6 (“altamente poluído”) e entre 1 e 3 (“moderadamente poluído”).

As associações naturais de alguns destes elementos ocorrem em: depósitos de sulfetos maciços (Ni-Co-Fe-Cu-Ag-PGE-Se-Te-As-S); filões lenticulares de sulfetos (Ni-Co-Fe-Cu-S); depósitos de urânio (U-Cu-Ag-Co-Ni-As-V-Se-Au-Mo); e depósitos lateríticos residuais (Ni-Co-Fe-Mn-Cr) (REIMANN & CARITAT, 1998). São, também, comumente encontradas nas rochas vulcanossedimentares (RV e Fazenda Tabera/Bateias (TABA)).

O Ni, U, Zn, Cu, Hg, ocorrem preferencialmente na porção sul da área de estudo; já o Hg, apresenta contaminações pontuais na porção centro-leste.

O Índice de Poluição (PLI) representa o número de vezes pelo qual a concentração do metal pesado no sedimento ultrapassou o valor de referência (*background*), e indica o nível geral de metal pesado poluente em uma amostra (SIVAKUMAR *et al.*, 2016).

O cálculo do PLI realizado por unidades geológicas mostra-se com uma maior dispersão e diluição das áreas contaminadas; contudo, observa-se que em ambos os tratamentos a área de estudo encontra-se com um elevado grau de contaminação, sejam elas de fundo geogênico ou de natureza antropogênica. Apesar da região de maior uso e ocupação ficar na região centro-sul da área de estudo, esse índice de contaminação ocorre de forma generalizada.

O Grau Modificado de Contaminação (GCm) foi introduzido para estimar o grau geral de contaminação em um determinado local ou área, calculado através do somatório dos fatores de contaminação dos metais

considerados, divididos pelo número de metais poluentes apontados.

Os valores obtidos através dos parâmetros do estado de poluição do fator de contaminação modificado (GCm) para área total mostra, de forma geral, a área de estudo não poluída (< 1,50). No extremo SE da área, observamos níveis de contaminação que variam de 4 a 8 (“moderadamente a altamente poluído”), até valores > 32 (“extremamente poluído”). Na região centro-sul, também observamos valores que indicam uma região com valores que variam de 2 a 4 (“moderadamente poluído”) até valores de 4 a 8 (“moderadamente a altamente poluído”).

Essas regiões anômalas indicam uma origem geogênica relacionada com as rochas máficas e ultramáficas do RV e TABA.

Após a individualização dos dados por unidades geológicas, observamos que as regiões da área de estudo que apresentaram valores maiores de contaminação passaram a apresentar valores de contaminações no máximo de 8 a 16 (“altamente poluído”), o que ocorreu devido aos valores de referência da região serem naturalmente mais elevados quando se comparados aos valores medianos globais.

O RE, após a individualização dos dados por unidades geológicas de forma semelhante ao GCm, traz uma distribuição diluída de anomalias menor — essa diluição do nível de contaminação ocorreu devido aos valores de referência da região serem naturalmente mais elevados quando se comparados aos valores medianos da área total.

CONCLUSÃO

Após a exposição dos resultados, foi evidenciado que diversas regiões da área de estudo mostram resultados com concentrações dos 21 elementos químicos analisados, apresentando concentrações elevadas ou acima dos parâmetros legais definidos pelas legislações vigentes atuais — sejam elas estaduais, federais ou até mesmo valores de referências internacionais utilizados com frequência.

Verifica-se que o estabelecimento de valores de referência (*background*) para elementos-traço tem fundamental importância não somente na pesquisa mineral, mas em estudos ambientais, pois se faz de grande relevância para balizar as decisões de controle e mitigação de áreas, principalmente quando relacionados a áreas contaminadas que venham trazer riscos potenciais à saúde e a todo o ecossistema relacionado.

Atualmente, a principal legislação utilizada para controle e fiscalização é a Resolução CONAMA N°454/2012. Esta resolução se baseia, principalmente, no guia de qualidade dos sedimentos canadenses. Os

resultados deste estudo demonstram as discrepâncias dos valores médios da região e quão importante é estabelecer parâmetros de referências levando em consideração a variabilidade local.

A utilização inadequada, ou o uso de valores de referência sem levar em consideração a variabilidade local, podem induzir a interdição ou a remediação de áreas naturalmente enriquecidas de determinados elementos, levando a perdas de recursos (financeiro e/ou econômico). Por outro lado, podem enquadrar regiões contaminadas como regiões sem riscos potenciais à saúde e à vida. Os índices ambientais são importantes ferramentas de controle e mitigação de regiões contaminadas.

O Índice de Poluição (PLI) indica uma grande quantidade de regiões consideradas poluídas em, pelo menos, um poluente.

O Grau Modificado de Contaminação (GCm) mostra-se com contaminações naturais relacionadas à geologia a sudeste da área, bem como uma microbacia altamente poluída que não se verificou a correspondência com os litotipos e não evidenciou informações que corroborem a contaminação antrópica devido a não presença de indústrias ou outro tipo de atividade registrada. No geral, a área (através deste método) apresenta–se em sua maioria não poluída.

O Risco Ecológico (RE), assim como os demais métodos utilizados neste trabalho, mostra valores elevados, principalmente no extremo sudeste da área, associados às rochas vulcano-sedimentares.

REFERÊNCIAS

ALBANESE, S.; VIVO B. de; LIMA A.; CICCHELLA D. Geochemical *background* and baseline values of toxic elements in stream sediments of Campania region (Italy). **Journal of Geochemical Exploration**, v. 93, n. 1, p. 21-34, 2007.

ALKMIM, F. F. de. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, p. 17-34, 2004.

ALKMIM, F. F.; BRITO NEVES, B. B.; CASTRO ALVES, J. A. Arcabouço estrutural do Cráton do São Francisco. **O Cráton do São Francisco. Sociedade Brasileira de Geologia, Salvador, Brazil**, p. 45-62, 1993.

ALMEIDA F. F. M. de. O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências, 7: 349-364, 1977.

CARITAT P. & COOPER M. A continental-scale geochemical atlas for resource exploration and environmental management: The National Geochemical Survey of Australia, 2016.

CARITAT P. *et al.* Regional distribution of Al, B, Ba, Ca, K, La, Mg, Mn, Na, P, Rb, Si, Sr, Th, U and Y in terrestrial moss within a 188,000 km2 area of the central Barents region: influence of geology, seaspray and human activity. **Applied Geochemistry**, v. 16, n. 2, p. 137-159, 2001.

CARRANZA E. J. M. Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS. Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, Vol. 11, M. Hale (Series Editor), 2009.

CARRANZA E. J. M. Geochemical sampling for geological–environmental studies. **Journal of geochemical exploration**, v. 111, n. 3, p. 57-58, 2011.

CHENG Q. MULTIFRACTAL theory and geochemical element distribution pattern. Earth Science-Journal of China University of Geosciences 25 (3), p.311–318, 2000.

CHENG Q. Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation. J. Geochem. Explor. 65, 175–194, 1999.

CHENG Q. The perimeter–area fractal model and its application in geology. Math. Geol. 27, p. 69–82, 1995.

CONAMA, Resolução. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, Resolução N°454, 01 de novembro de 2012. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2012. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=667.Acesso em 05 jun. 2022.

COPAM, Deliberação Normativa. Conselho Estadual De Política Ambiental – COPAM/CERH n° 02, de 08 de setembro de 2010. D. E. – "Minas Gerais", Belo Horizonte, 2010.

COPAM, Resolução. Conselho Estadual De Política Ambiental – COPAM, Resolução N° 166, de 29 de junho de 2011. Diário do Executivo de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=18414. Acesso em 05 jun. 2022.

DARNLEY, A. G. *et al.* A global geochemical database for environmental and resource management: recommendations for International Geochemical Mapping, final report of IGCP Project 259, 2005.

DAVIS, P. A.; KOZAK, R. C.; SCHABER, G. G. (1986). Global radar units on Venus derived from statistical analysis of Pioneer Venus Orbiter radar data. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 91, n. B5, p. 4979-4992, 1986.

DOLEŽALOVÁ WEISSMANNOVÁ, H. *et al*. Potential ecological risk and human health risk assessment of heavy metal pollution in industrial affected soils by coal mining and metallurgy in Ostrava, Czech Republic. International journal of environmental research and public health, v. 16, n. 22, p. 4495, 2019.

FILZMOSER, P.; HRON, K.; REIMANN, C. Principal component analysis for compositional data with *outliers*. **Environmetrics: The Official Journal of the International Environmetrics Society**, v. 20, n. 6, p. 621-632, 2009.

FJP, Indicadores Econômicos, 23. Fundação João Pinheiro - FJP. Diretoria de Estatística e Informações. Produto interno bruto dos municípios de Minas Gerais: ano de referência 2017. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: https://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/02/Estatistica-Informacoes-23-PIB-dos-municipios.pdf. Acesso em: 23 fev. 2023.

FJP, Indicadores Econômicos, 45. Fundação João Pinheiro - FJP. Diretoria de Estatística e Informações Produto Interno Bruto dos municípios de Minas Gerais: ano de referência 2019. Belo Horizonte, 2022. Disponível em: https://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/13.01_Serie-Estatistica-Informacoes-Produto-Interno-Bruto-dos-Municipios-2019_com-capa.pdf. Acesso em: 23 fev. 2023.

GALUSZKA A. A review of geochemical *background* concepts and an example using data from Poland. **Environmental geology**, v. 52, n. 5, p. 861-870, 2007a.

GASPARON, M. *et al.* The freshwater lakes of the Larsemann Hills, East Antarctica: chemical characteristics of the water column, 2002.

GRUNSKY, E. C. The interpretation of geochemical survey data. **Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis**, v. 10, n. 1, p. 27-74, 2010.

HAKANSON, L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. **Water research**, v. 14, n. 8, p. 975-1001, 1980.

KAMANI, H. et al. Heavy metal contamination in street dusts with various land uses in Zahedan, Iran. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 94, p. 382-386, 2015.

LAPWORTH, D. J. *et al.* Geochemical mapping using stream sediments in west-central Nigeria: implications for environmental studies and mineral exploration in West Africa. **Applied Geochemistry**, v. 27, n. 6, p. 1035-1052, 2012.

LATRILLE, C. et. al. Physical speciation of trace metals in Fe -Mn concretions from a rendzic lithosol developed on Sinemurian limestones (France). Geoderma, 127e146, 2001.

LICHT O. A. B. Multiscale, multimedia and multi-element geochemical mapping of the State of Paraná, Brazil, 2018.

LIN, J., CHEN, S. The relationship between adsorption of heavy metal and OM in river sediments. Environ. Int., 345e352, 1998.

MANLY, B. FJ; MCALEVEY, L.; STEVENS, D. A randomization procedure for comparing group means on multiple measurements. **British Journal of Mathematical and Statistical Psychology**, v. 39, n. 2, p. 183-189, 1986.

MARQUES, E.D. Geoquimica, p. 95-106, 2010 disponível em: TULLER, MANOEL PEDRO, *et al.* **Projeto Sete Lagoas-Abaeté**, CPRM, 2010.

MARSHAK, S.; ALKMIM, F. F. Proterozoic contraction/extension tectonics of the southern São Francisco region, Minas Gerais, Brazil. **Tectonics**, v. 8, n. 3, p. 555-571, 1989.

PEDROSA-SOARES, A. C. *et al.* Toward a new tectonic model for the late proterozoic Araçuaí (SE Brazil)-West Congolian (SW Africa) belt. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 6, n. 1-2, p. 33-47, 1992.

PFLUG, R. A geologia da parte meridional da Serra do Espinhaço e zonas adjacentes, Minas Gerais. **Boletim DNPM/DGM**, n.226, Rio de Janeiro, 1965. 55p

PFLUG, R. Observações sobre a estratigrafia da Série Minas na região de Diamantina, Minas Gerais. DNPM/ DGM, Not. Prel. Est. 142:1-20, Rio de Janeiro, 1968

PFLUG, R.; RENGER F. Estratigrafia e evolução geológica da margem sudeste do Cráton Sanfranciscano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, 1973, Aracaju. Anais... Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, 1973. v.2, p.5-19.

PINHO, J. M. M. *et al.* Geologia e recursos minerais das folhas: Cabeceira Grande, Unaí, Ribeirão Arrojado, Serra da Aldeia, Serra da Tiririca, Paracatu, Guarda-Mor, Arrenegado, Coromandel, Lagamar, Monte Carmelo e Patos de Minas. Projeto Vazante-Paracatu, 2017.

PINHO, J.M.M. *et al.* Definição semiquantitativa dos domínios estruturais do Grupo Bambuí, na região centro-sul de MG In: CONGRESSO CPRM - Programa Geologia do Brasil 150 BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44, 2008, Curitiba, Anais... Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, CD, 2008.

PINHO, J.M.M.; RIBEIRO, J.H.; TULLER, M.P.; FÉBOLI, W.L.; SIGNORELLI, N. Arcabouço estrutural do Grupo Bambuí na região sudeste do Cráton do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, 2006, Aracajú, Anais... Aracajú: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.111, 2006.

REIMANN C. & CARITAT P. Establishing geochemical *background* variation and threshold values for 59 elements in Australian surface soil. **Science of the Total Environment**, v. 578, p. 633-648, 2017.

REIMANN C. & CARITAT, P. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: Regional geochemical surveys versus enrichment factors. **Science of the Total Environment**, v.337, p. 91–107, 2005

REIMANN C. *et al.* GEMAS: Establishing geochemical *background* and threshold for 53 chemical elements in European agricultural soil. **Applied Geochemistry,** v. 88, p.302–318, 2018.

REIMANN C. *et al.* **Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R**. John Wiley & Sons, 2008.

REIMANN C.; FILZMOSER P.; GARRETT R.G. Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities. **Applied Geochemistry**, v.17, p. 185–206, 2002.

RIBEIRO J.H.; TULLER, M.P.; DANDERFER FILHO, A. Mapeamento geológico da região de Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Lagoa Santa, Vespasiano, Capim Branco, Prudente de Morais, Confins e Funilândia, Minas Gerais (escala 1:50.000) – Texto Explicativo. In: Projeto Vida. Belo Horizonte: CPRM, 1991. (versão CD-ROM, 2003)

ROMANO, A.W. Folha Pará de Minas, SE.23-Z-C-IV: texto e mapa. Programa Geologia do Brasil – PGB. Belo Horizonte: CPRM/UFMG, 2007. 1 CD-ROM.

SAHOO, P. K *et al.* Regional-scale mapping for determining geochemical *background* values in soils of the Itacaiúnas River Basin, Brazil: The use of compositional data analysis (CoDA). **Geoderma**, v. 376, p.114504, 2020b.

SAHOO, P. K *et al.* Source and *background* threshold values of potentially toxic elements in soils by multivariate statistics and GIS-based mapping: a high density sampling survey in the Parauapebas basin, Brazilian Amazon. **Environmental geochemistry and health**, v. 42, n. 1, p. 255-282, 2020.

SALOMÃO, G. N. *et al.* Geochemical distribution and threshold values determination of heavy metals in stream water in the sub-basins of Vermelho and Sororó rivers, Itacaiúnas River watershed, Eastern Amazon, Brazil**. Geochimica Brasiliensis**, v.32: p. 180–198, 2018.

SALOMÃO, G. N. *et al.* Geochemical mapping and *background* concentrations of iron and potentially toxic elements in active stream sediments from Carajás, Brazil – implication for risk assessment. **Journal of South American Earth Sciences**, v.92, p.151–166, 2019b.

SALOMÃO, G. N. *et al.* Geochemical mapping and estimation of *background* concentrations in soils of Carajás mineral province, eastern Amazonian Craton, Brazil. **Geochemistry: exploration, environment, analysis**, v. 19, n. 4, p. 431-447, 2019a.

SALOMÃO, G. N. *et al.* Geochemical mapping in stream sediments of the Carajás Mineral Province: *Background* values for the Itacaiúnas River watershed, Brazil. **Applied geochemistry**, v.*118*, p.104608, 2020.

SILVA L. F. F. *et al.* Mercury accumulation in sediments of a mangrove ecosystem in SE Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 145, n. 1, p. 67-77, 2003.

SILVA-FILHO, E. V. *et al.* Distribution of trace metals in stream sediments along the Trans-Amazonian Federal Highway, Pará State, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 54, p. 182-195, 2014.

SIVAKUMAR, S. *et al.* Assessment of heavy metal enrichment and the degree of contamination in coastal sediment from South East Coast of Tamilnadu, India. **Journal of Heavy Metal Toxicity and Diseases**, v. 1, n. 2, p. 1-8, 2016.

SOARES M. C. C. Avaliação Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre – RS. Dissertação de Mestrado. 100p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2002.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S. Using multivariate statistics., 4th edn.(Allyn & Bacon: Needham Heights, MA), 2001.

UHLEIN, A. **Transição cráton-faixa dobrada: exemplo do Cráton do São Francisco e da Faixa Aracuai (ciclo brasiliano) no estado de Minas Gerais: aspectos estratigráficos e estruturais**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1991.

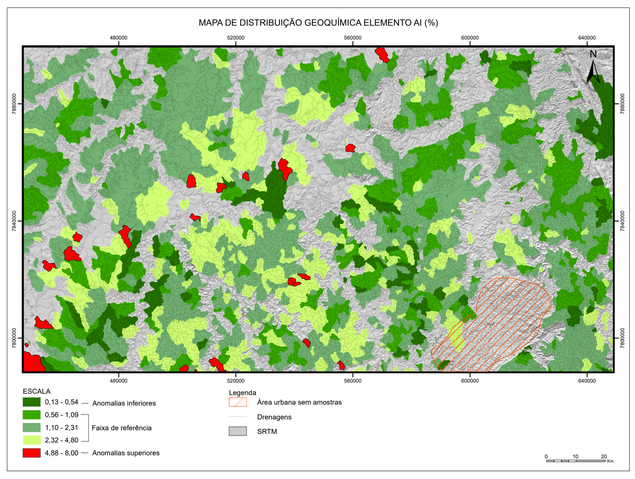
UHLEIN, A.; EGYDIO-SILVA, M.; TROMPETTE, R. Faixa de dobramentos Aracuai no estado de Minas Gerais: uma cadeia monocíclica de idade brasiliana. **Anais**, v. 6, p. 2576-2588, 1990.

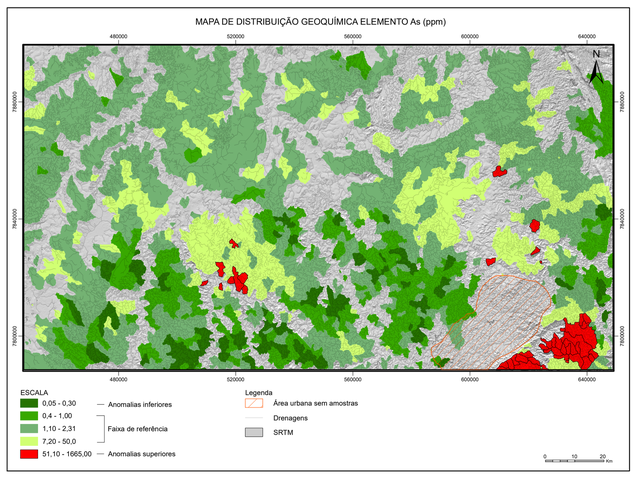
VICQ, R. *et al*. Iron Quadrangle, stream sediments, Brazil: geochemical maps and reference values. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 5, p. 4407-4417, 2015.

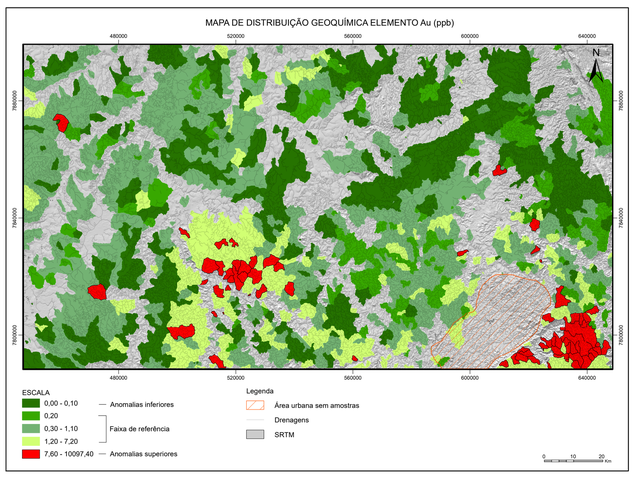
YUAN G. L. *et al*. Environmental geochemical mapping and multivariate geostatistical analysis of heavy metals in topsoils of a closed steel smelter: Capital Iron & Steel Factory, Beijing, China. **Journal of Geochemical Exploration**, v.130, p.15–21, 2013.

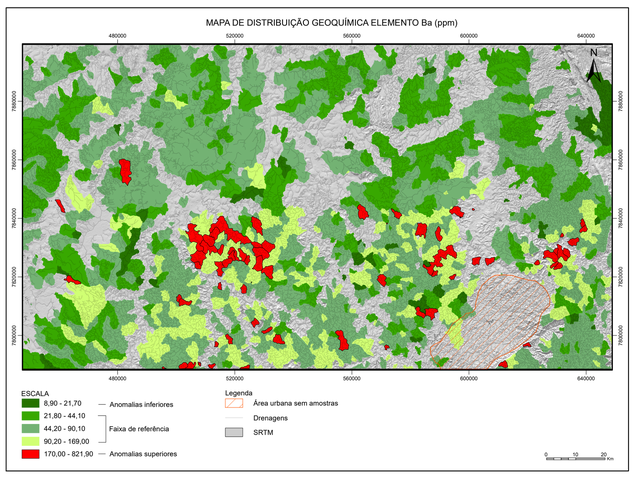
ANEXOS

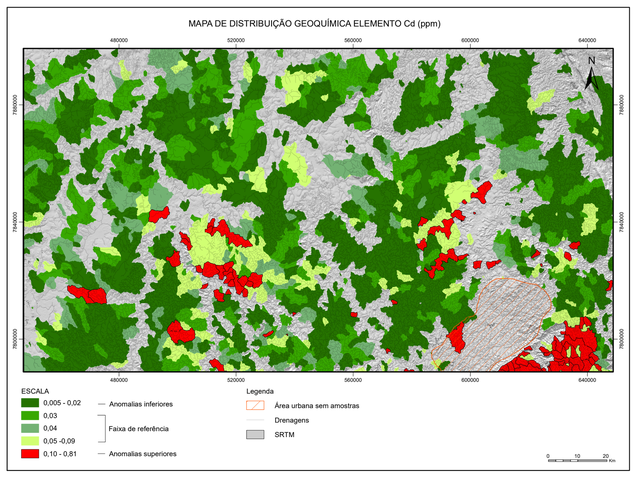
PRODUTO TÉCNICO: MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS: Al, As, Au, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sn, Sr, V, U e Zn APARTIR DO MÉTODO MAD

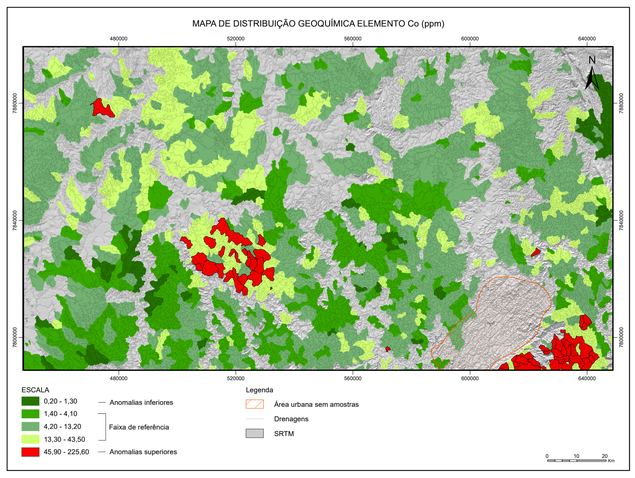


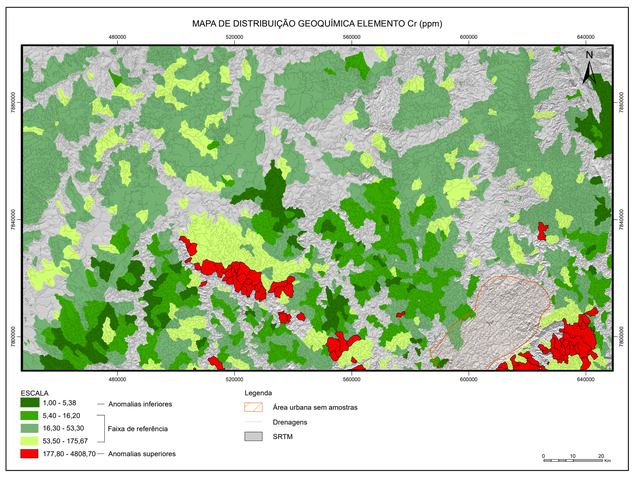


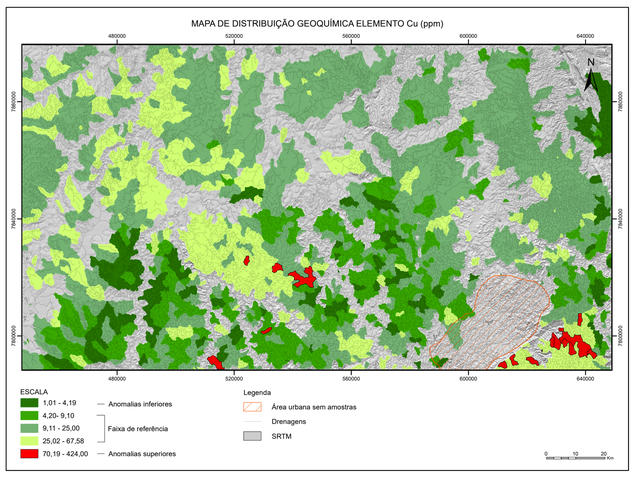


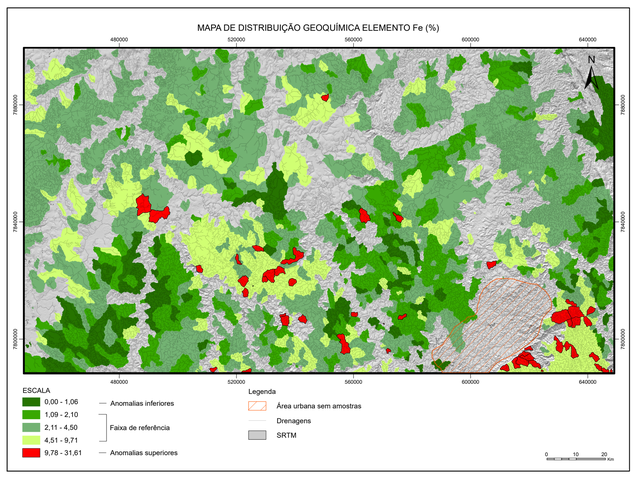


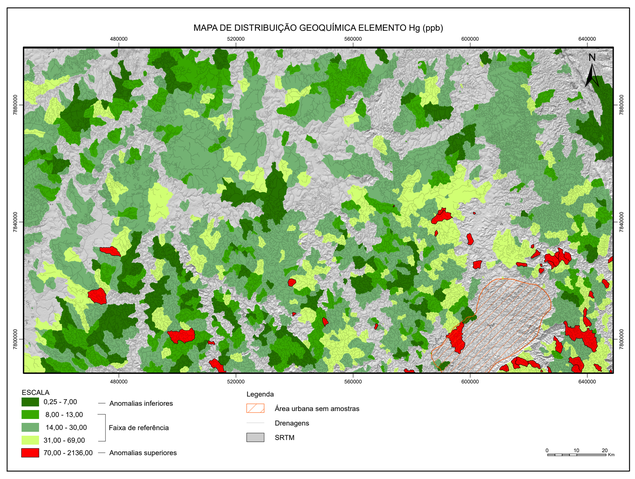


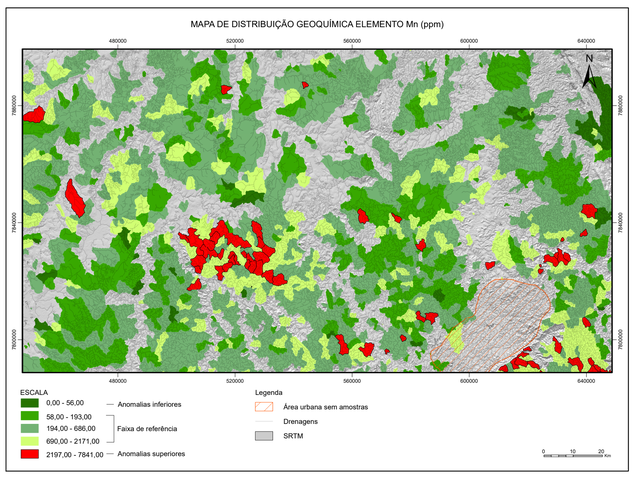


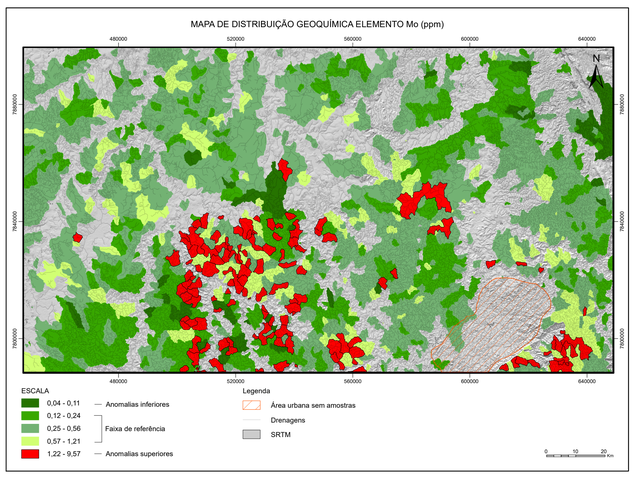


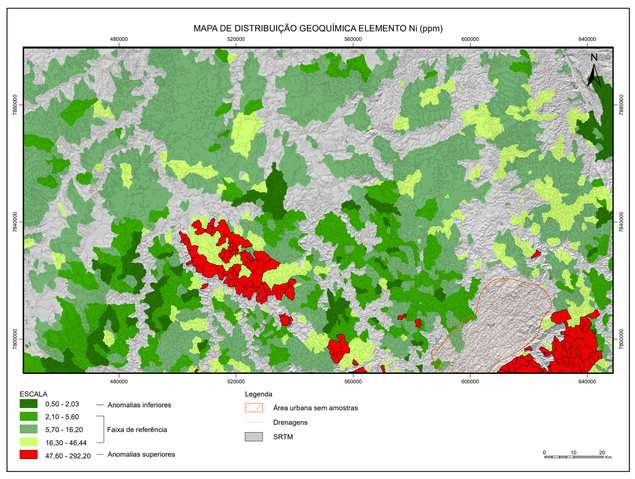


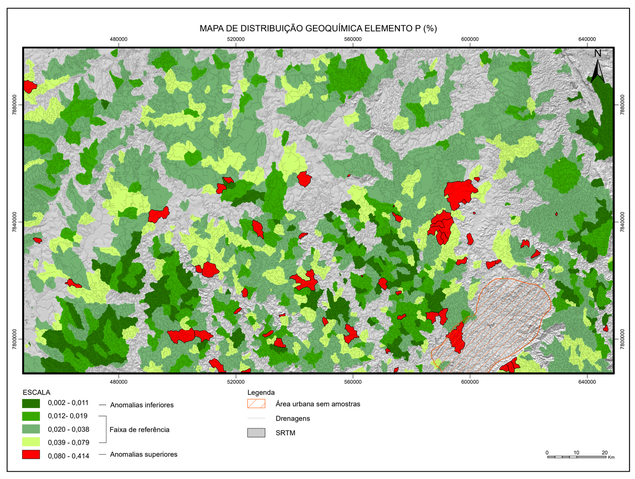


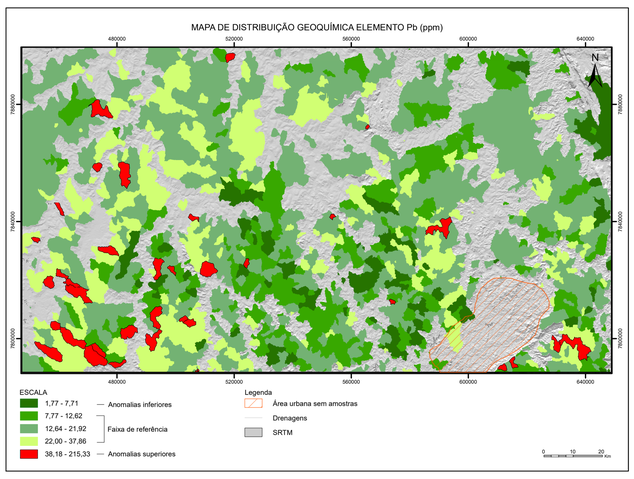


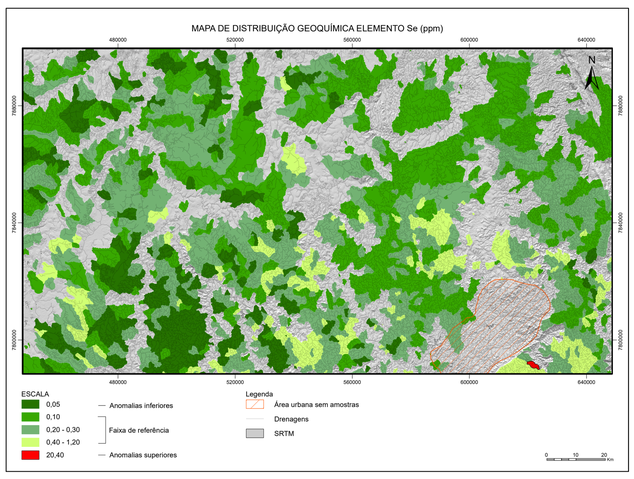


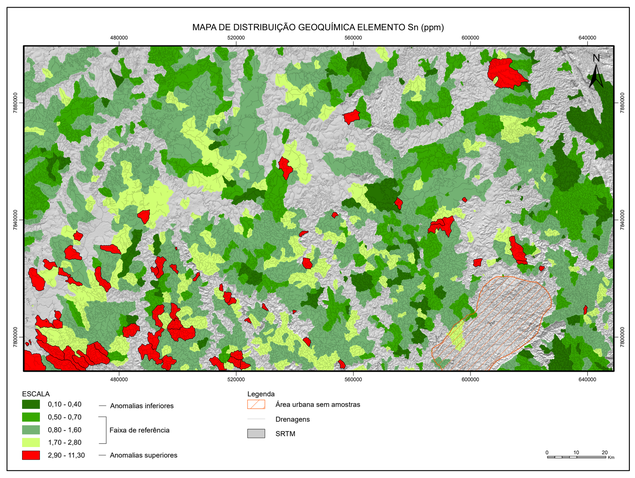


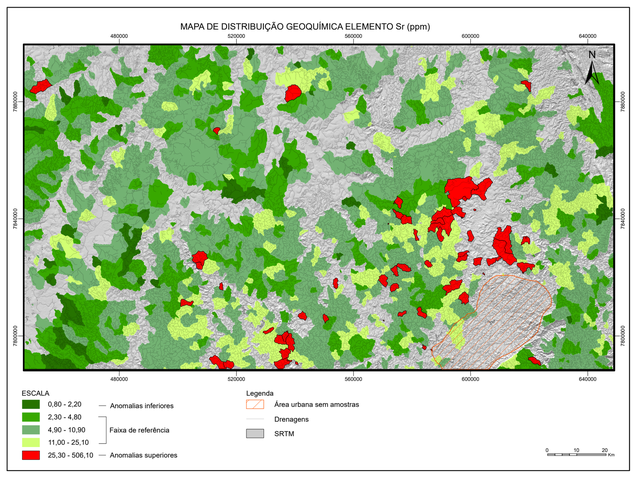


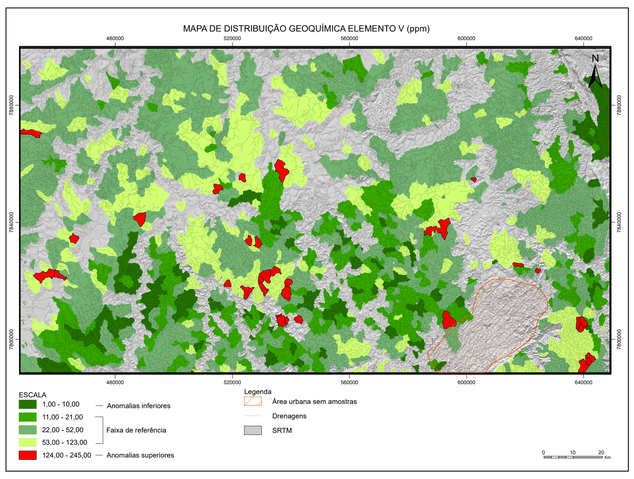


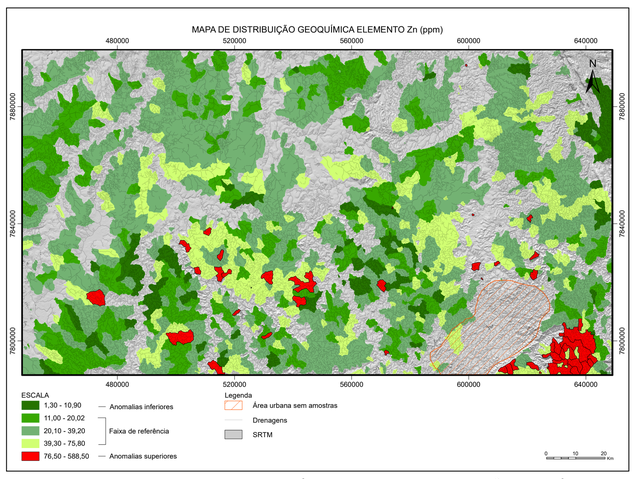


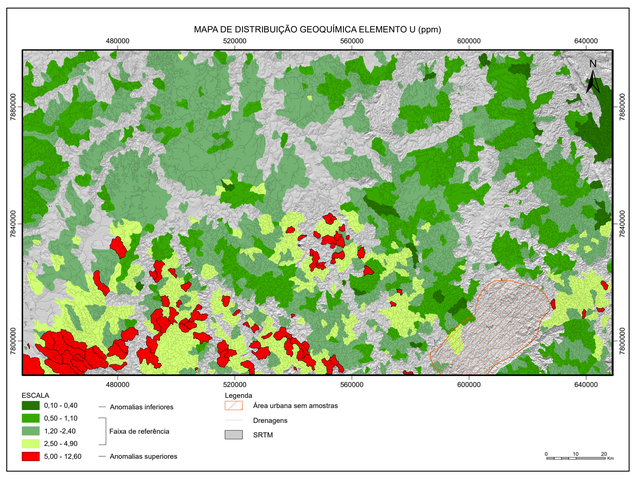


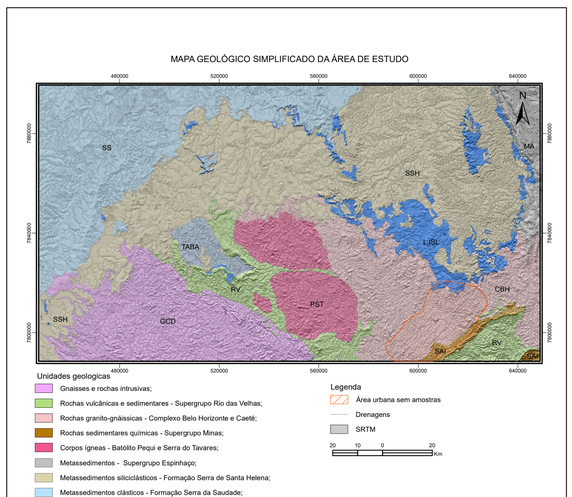


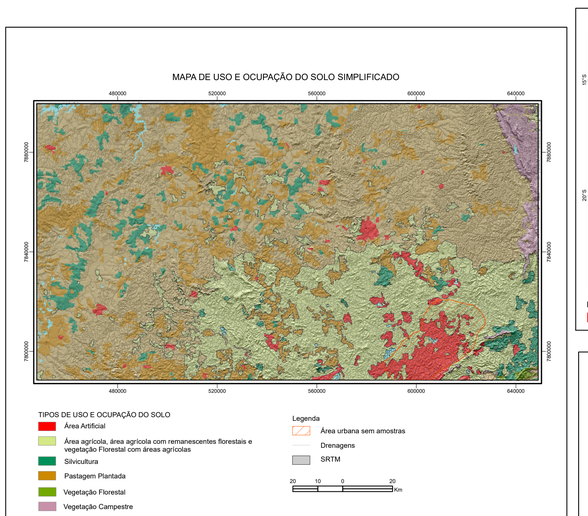




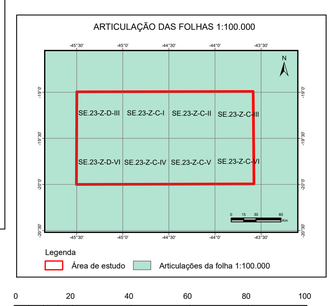












BASES CARTOGRÁFICAS

Mapa Geológico simplificado obtido através da compilação Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais é parte do PROGRAMA GECOLOGIA DO BRASIL, Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil - Projeto Mapas Geológicos Estaduais, executado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM., escala 1:1.000.000, publicada em 2020 por SILVA, Márcio Antônio da et. al.

Mapa de Uso e Ocupação do solo simplificado obtido através da compilação do Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE.Mapa de Cobertura e Uso da Terra do Brasil de 2010. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html. Acesso em: 04/07/2022

BASE DE DADOS GEOQUÍMICAS

Base de dados geoquímicos compilado do projeto Geoquímica do Quadrilátero ferrífero e seu entorno executado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM., no período de 2008 a 2013.

0 20 40 60 80 100 Km

ESCALA 1:850.000

2023

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 45°WGr.
acrescidas as constantes: 10.000Km e 500Km, respectivamente.
Datum horizontal: SIRGAS 2000
Declinação magnética do centro da folha em 2014: 22°03'10".

PRODUTO TÉCNICO: MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS: Al, As, Au, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sn, Sr, V, U e Zn APARTIR DO MÉTODO MAD

O produto técnico "MAPAS DE *BACKGROUND* GEOQUÍMICO - MAD PARA OS ELEMENTOS: Al, As, Au, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sn, Sr, V, U e Zn" foi realizado através da análise estatísticas e espacial de 21 elementos químicos potencialmente tóxicos utilizando-se da técnica MAD (*Median Absolut Desviation*) para obtenção destes valores de referência (*background* geoquímico). Os produtos obtidos através destes valores de referência têm como objetivo fornecer parâmetros para regulamentações, controle e mitigação destes elementos que trazem risco ao meio ambiente e a saúde considerando a variabilidade geológica da região.

2022. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA

AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de

Minas Gerais (IFMG). Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte,

desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05

Caixa Postal 05 – Bambuí – MG - 38900-000 - www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG

Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ

Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ

Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Sabrina Ferreira de Queiroz

ORIENTADORES

Ariana Cristina Santos Almeida e Eduardo Duarte Marques

PARCERIA

Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM. Superintendência Regional de Belo Horizonte.

PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO

Sabrina Ferreira de Queiroz e Márcio Ferreira Augusto
Consistência de pontos e geração das Bacias: Everton Assunção Martins dos Santos;

Citação Bibliográfica
(QUEIROZ, 2023)

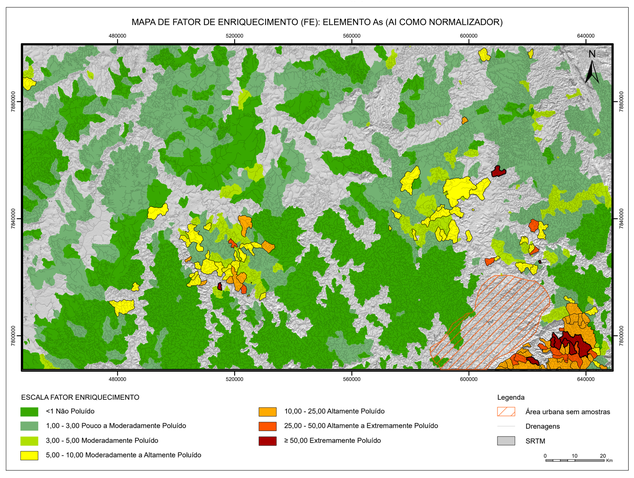
Referência Bibliográfica
QUEIROZ, S. F; 2023. Mapas de background geoquímico –MAD paras os elementos Al, As, Au, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sn, Sr, V, U e Zn. Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG). Belo Horizonte: 2023, 1 mapa colorido. Escala 1:850.000.

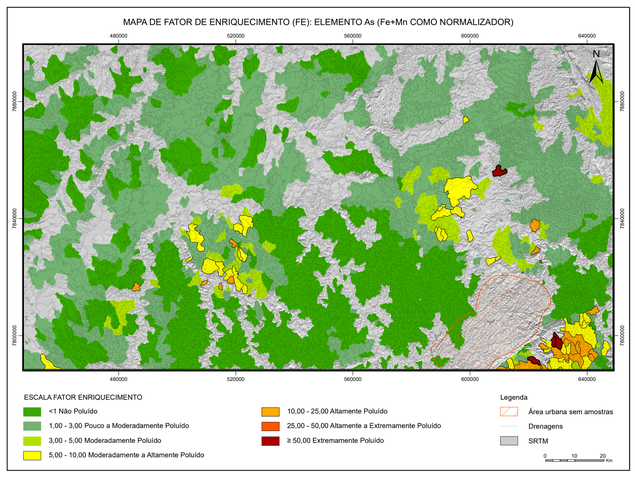
SGB CPRM SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

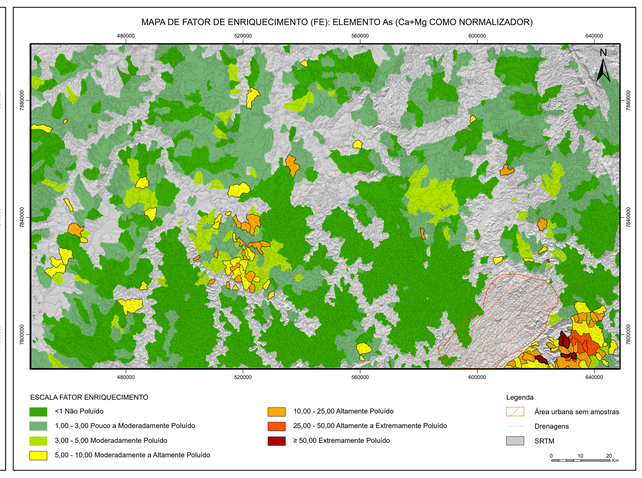
INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais Campus Bambuí

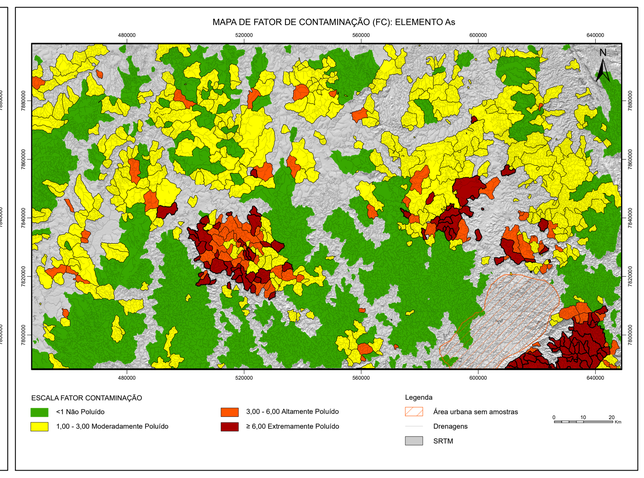
PRODUTO TÉCNICO: MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS (As, Cd, Co, Cu e Hg) - FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE) E FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC)

MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO As (ppm)

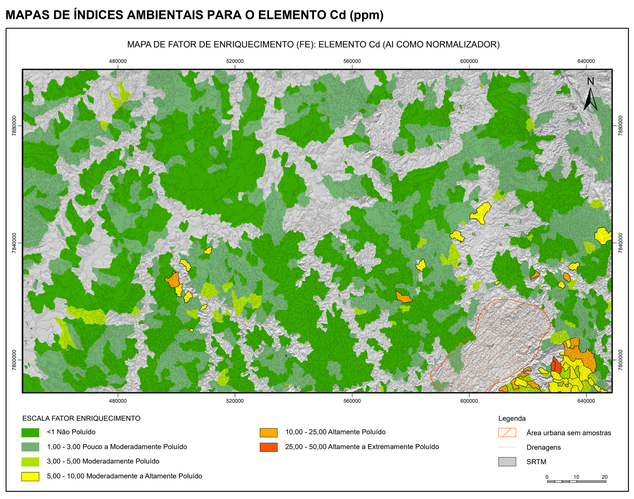


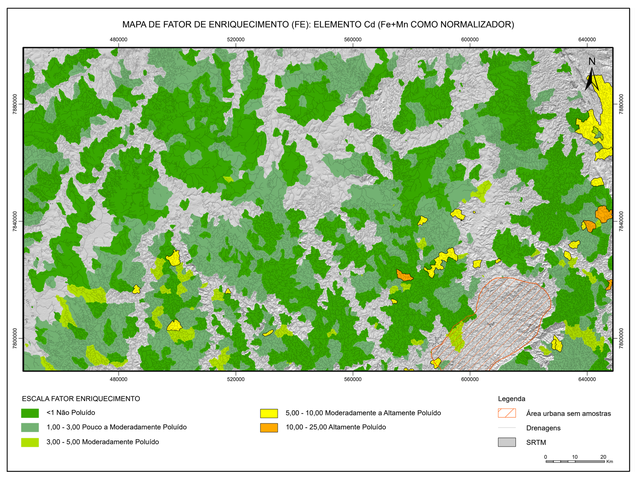


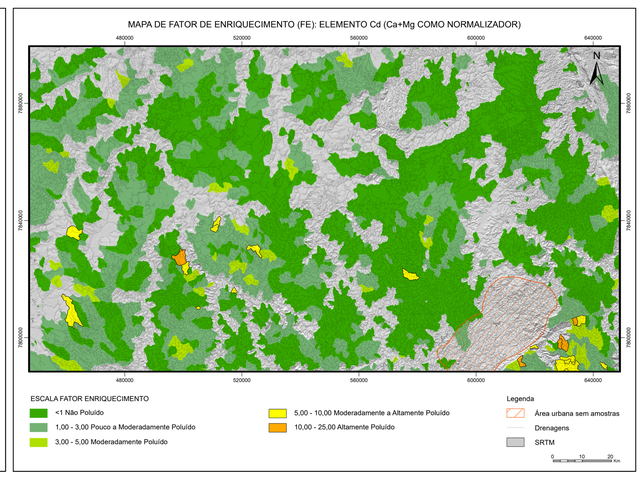


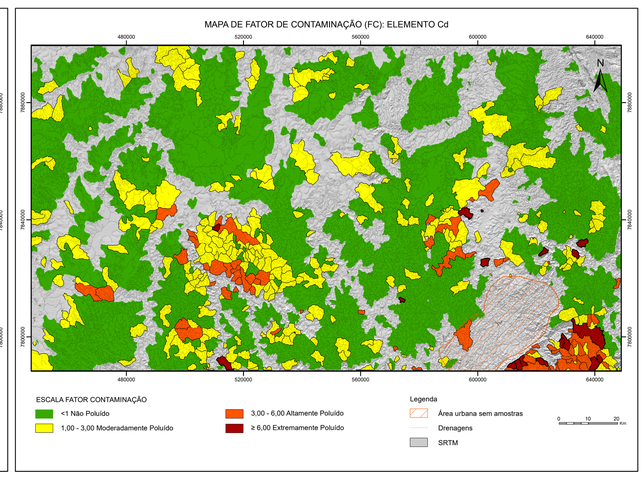


MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Cd (ppm)

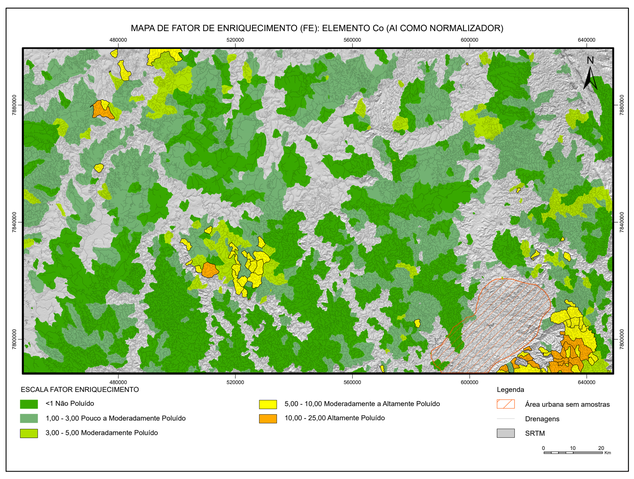


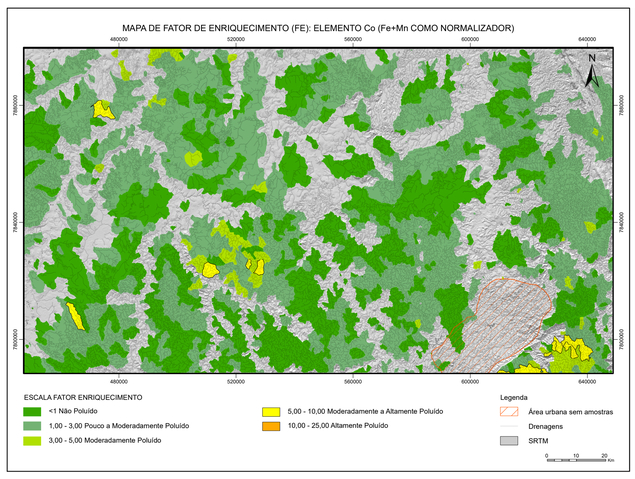


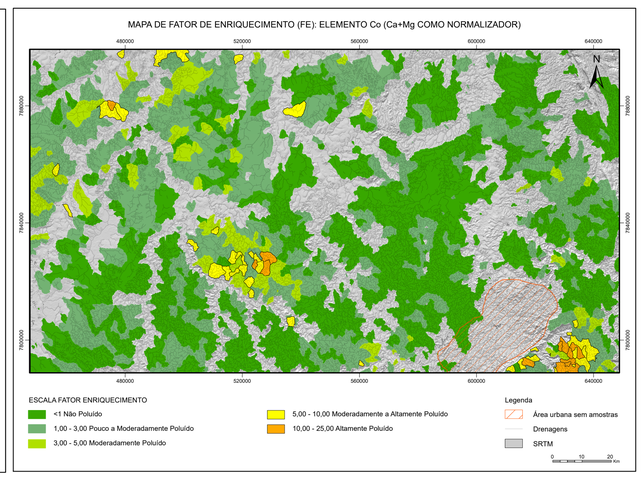


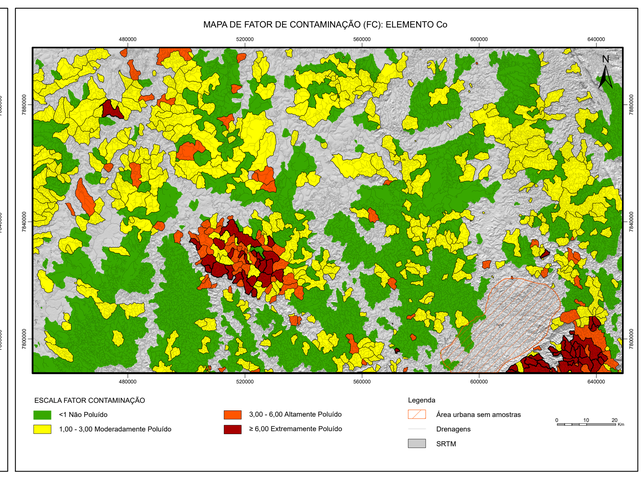


MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Co (ppm)

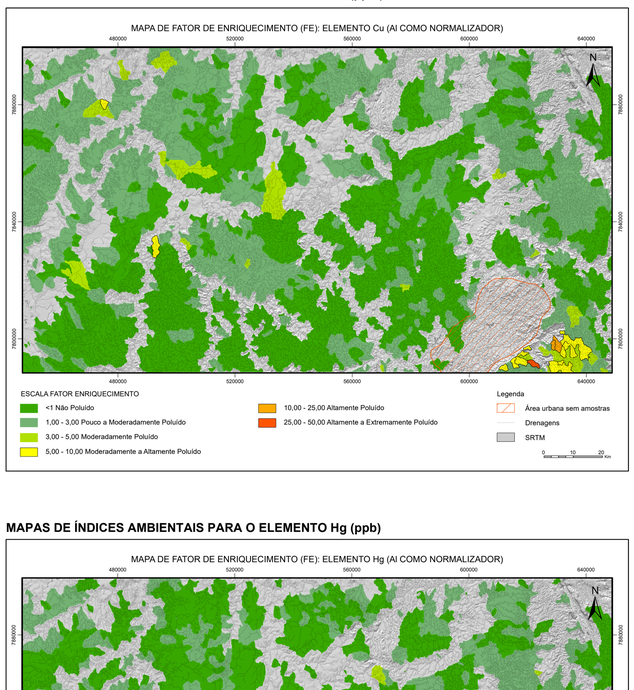


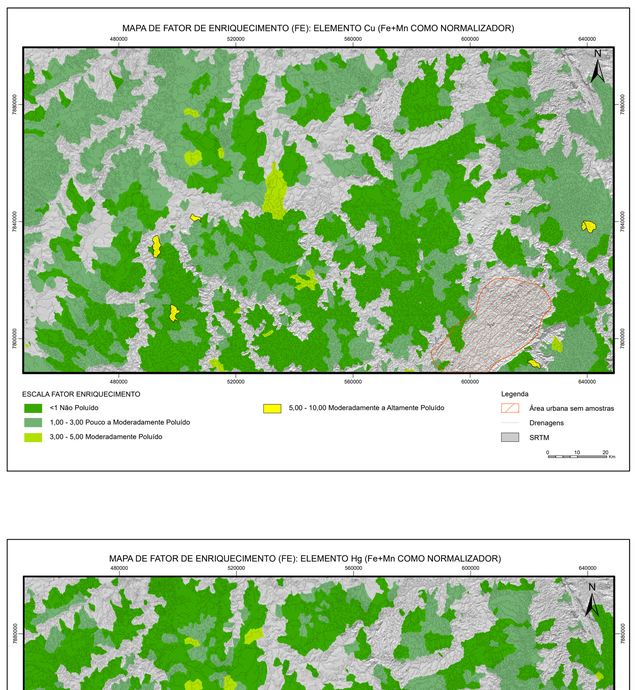


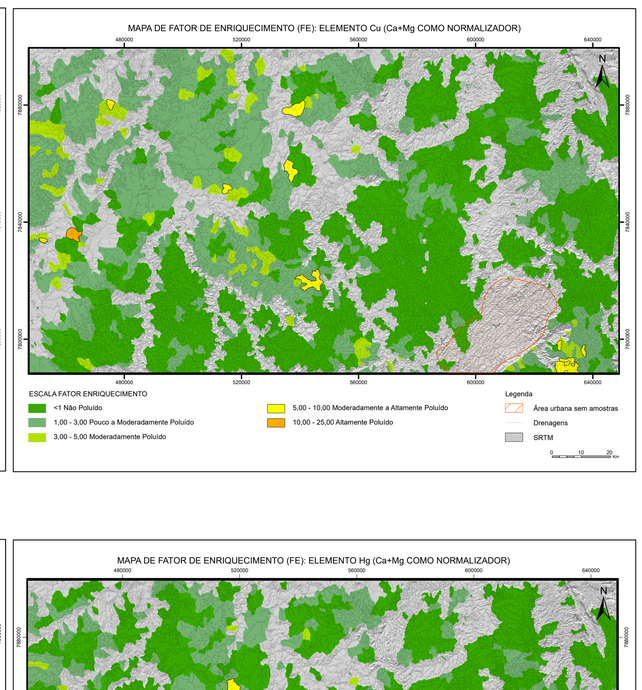


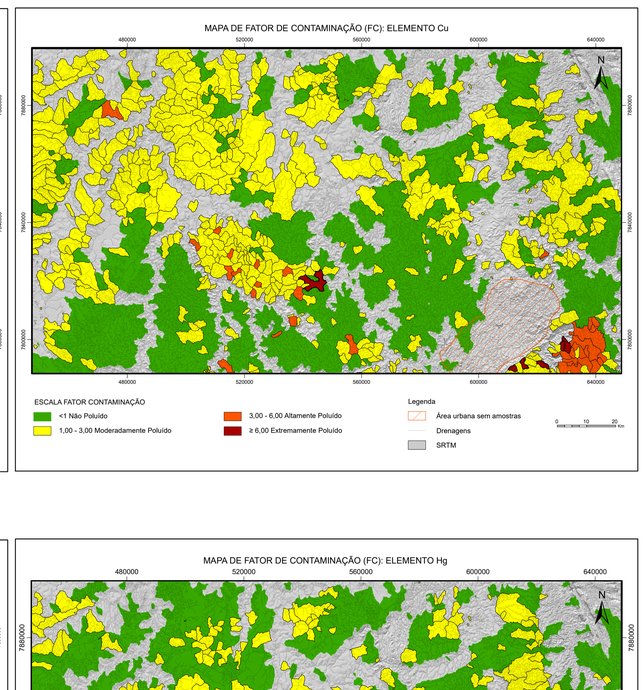


MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Cu (ppm)

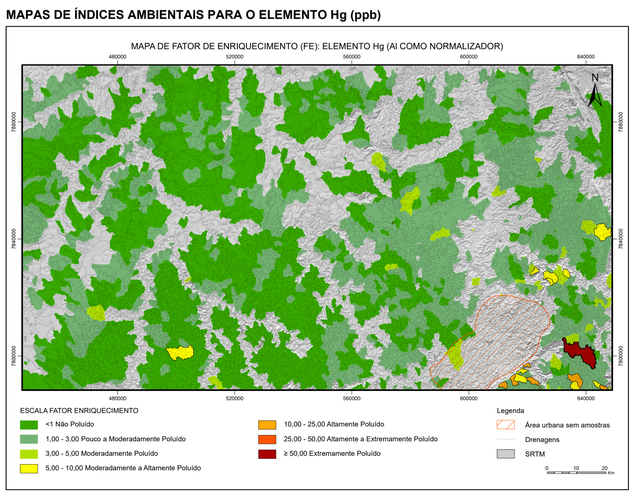


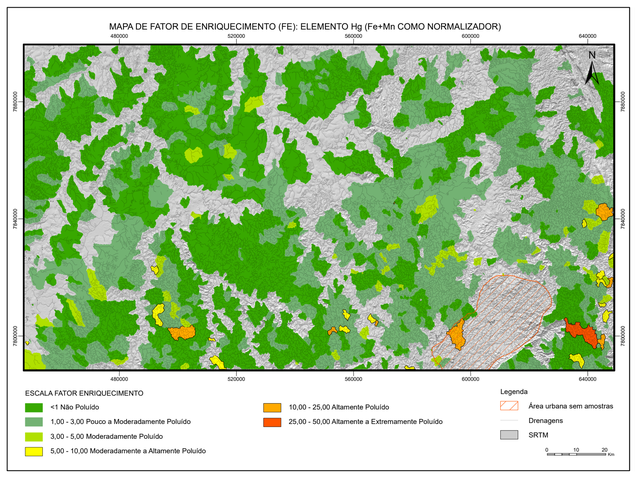


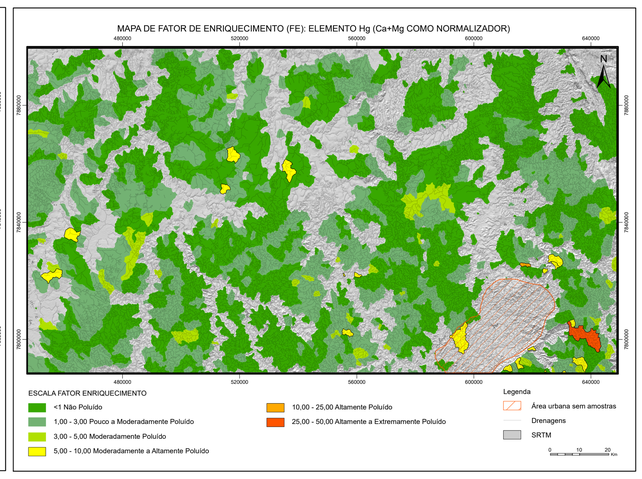


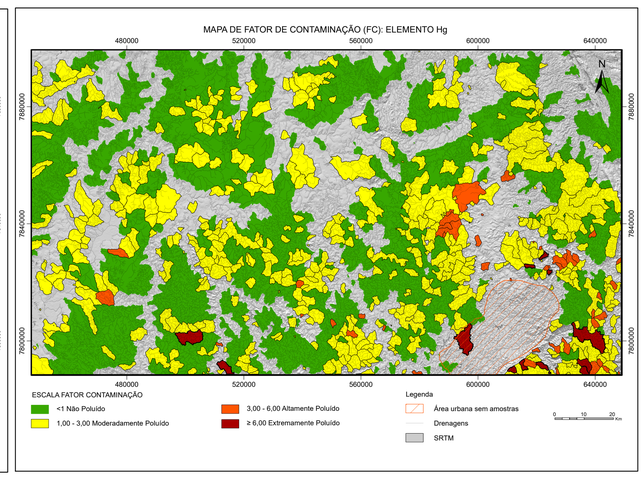


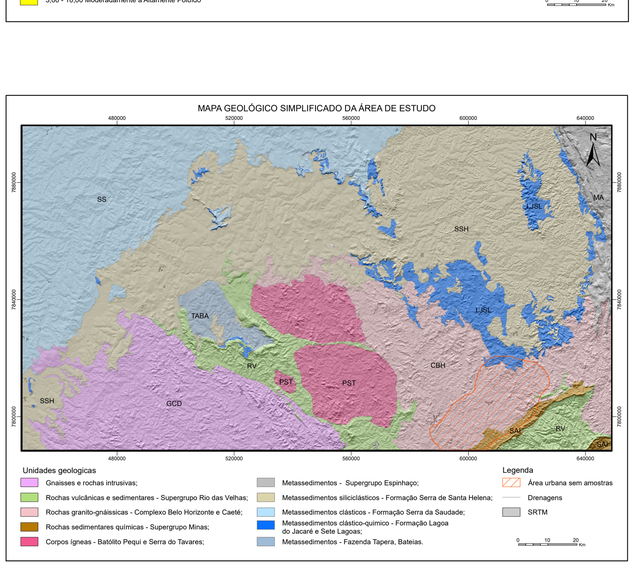
MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Hg (ppb)

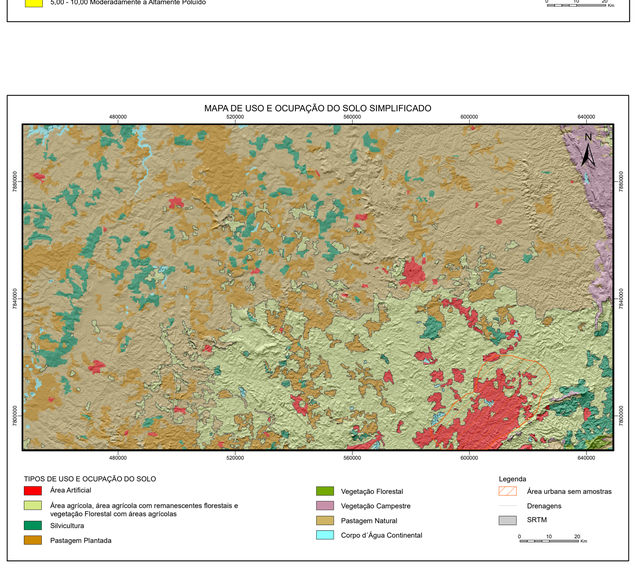






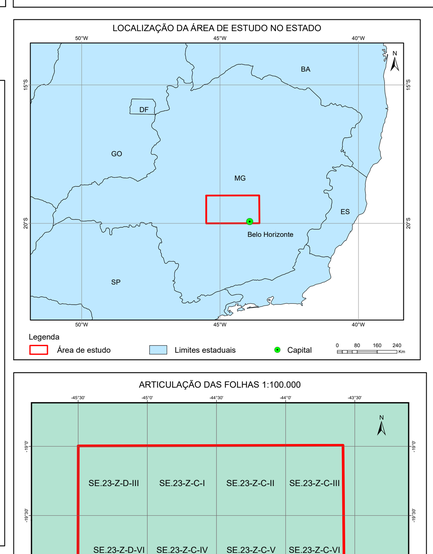






CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO

Fator de Enriquecimento (FE)		Fator de Contaminação (FC)	
Nível de Contaminação	Valores	Nível de Contaminação	Valores
Não Poluído	< 1,0	Não Poluído	<1,0
Pouco a Moderadamente Poluído	1,0-3,0		
Moderadamente Poluído	3,0-5,0	Moderadamente Poluído	1,0-3,0
Moderadamente a Altamente Poluído	5,0-10,0		
Altamente Poluído	10,0-25,0	Altamente Poluído	3,0-6,0
Altamente a Extremamente Poluído	25,0-50,0		
Extremamente Poluído	≥50	Extremamente Poluído	≥6



O produto técnico "MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS (As, Cd, Co, Cu e Hg) - FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE) E FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC)" foi realizado através da análise estatísticas e espacial de 10 elementos químicos potencialmente tóxicos (As, Cd, Co,Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, U e Zn) utilizando-se como valores de referência o *background* geoquímico obtido para área de estudo. Índices ambientais permitem quantificar o enriquecimento e empobrecimento desses elementos em diversas matrizes geológicas, no caso do estudo, na matriz sedimento. O objetivo apresentar espacialmente locais com riscos potenciais ao meio ambiente e a vida e permitir a partir destas informações o controle e mitigação deles elementos.

2022. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA

AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de

Minas Gerais (IFMG). Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte,

desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05

Caixa Postal 05 – Bambuí – MG - 38900-000 - www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG

Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ

Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ

Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Sabrina Ferreira de Queiroz

ORIENTADORES

Ariana Cristina Santos Almeida e Eduardo Duarte Marques

PARCERIA

Serviço Geológico do Brasil- SGB/CPRM. Superintendência Regional de Belo Horizonte.

PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO

Sabrina Ferreira de Queiroz e Márcio Ferreira Augusto
Consistência de pontos e geração das Bacias: EvertonAssunção Martins dos Santos;

Citação Bibliográfica
(QUEIROZ, 2023)

Referência Bibliográfica
QUEIROZ, S. F. 2023. Mapas de Índices Ambientais (As, Cd, Co, Cu E Hg) - Fator de Enriquecimento (Fe) e Fator de Contaminação (Fc). Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) Belo Horizonte: 2023, 1 mapa colorido. Escala 1:850.000.

MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS: FATOR DE ENRIQUECIMENTO E FATOR DE CONTAMINAÇÃO

0 20 40 60 80 100 Km

ESCALA 1:850.000

2023

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 45°WGr. acrescidas as constantes: 10.000Km e 500Km, respectivamente.
Datum horizontal: SIRGAS 2000
Declinação magnética do centro da folha em 2014: 22°03'10".

BASES CARTOGRÁFICAS

Mapa Geológico simplificado obtido através da compilação Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais é parte do PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil - Projeto Mapas Geológicos Estaduais, executado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM., escala 1:1.000.000, publicada em 2020 por SILVA, Marco Antônio da et. al

Mapa de Uso e Ocupação do solo simplificado obtido através da compilação do Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Mapa de Cobertura e Uso da Terra do Brasil de 2010. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html. Acesso em: 04/07/2022

BASE DE DADOS GEOQUÍMICAS

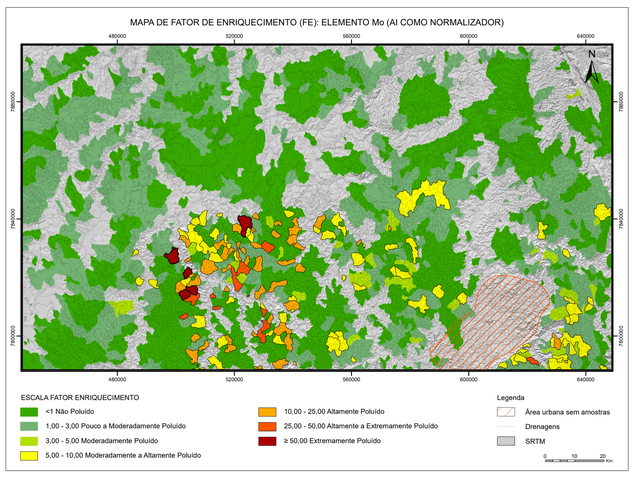
Base de dados geoquímicos compilado do projeto Geoquímica do Quadrilátero ferrífero e seu entorno executado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM., no período de 2008 a 2013.

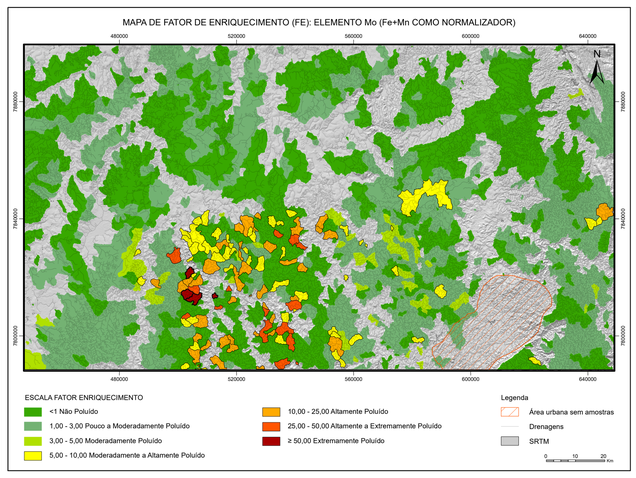
SGB SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

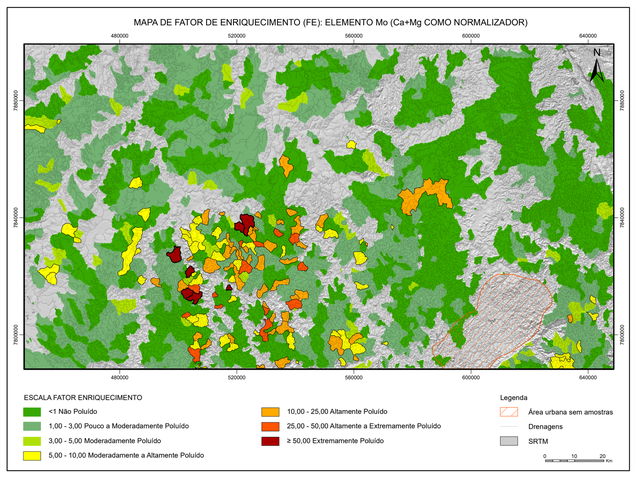
INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Bambuí

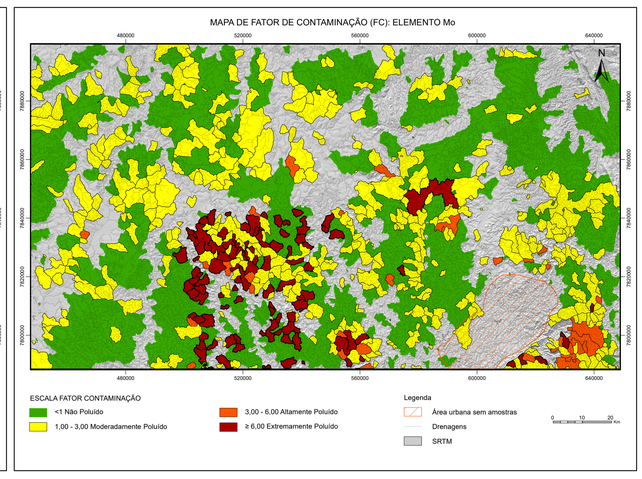
PRODUTO TÉCNICO: MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS (Mo, Ni, Pb, U e Zn) - FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE) E FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC)

MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Mo (ppm)

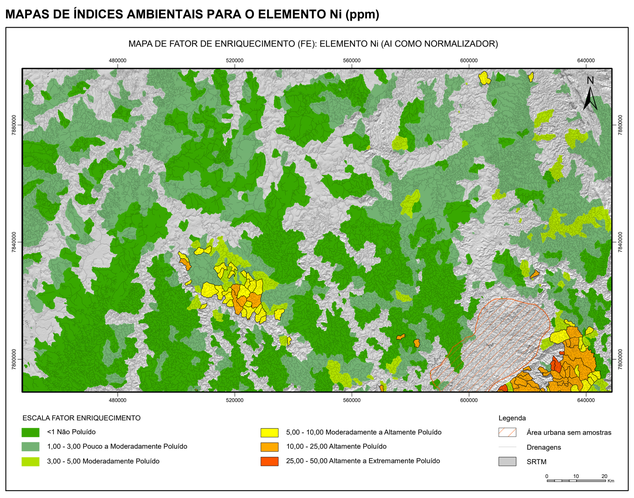


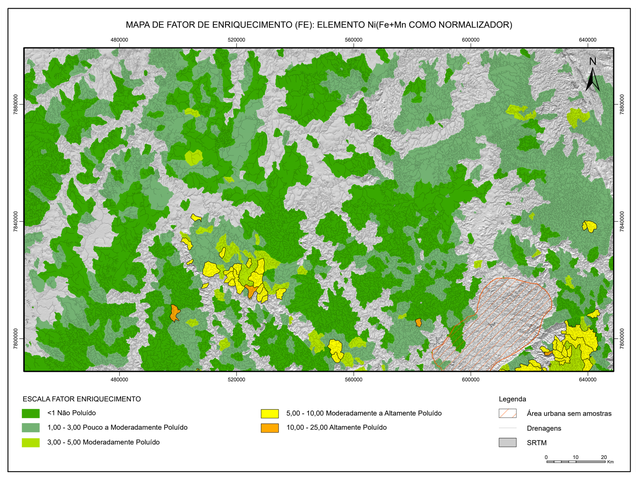


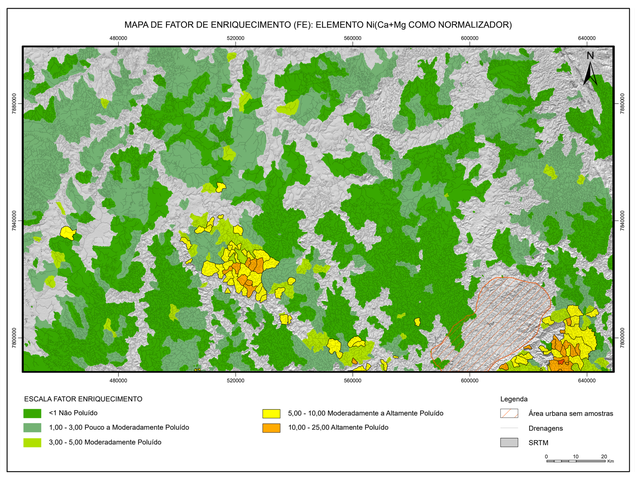


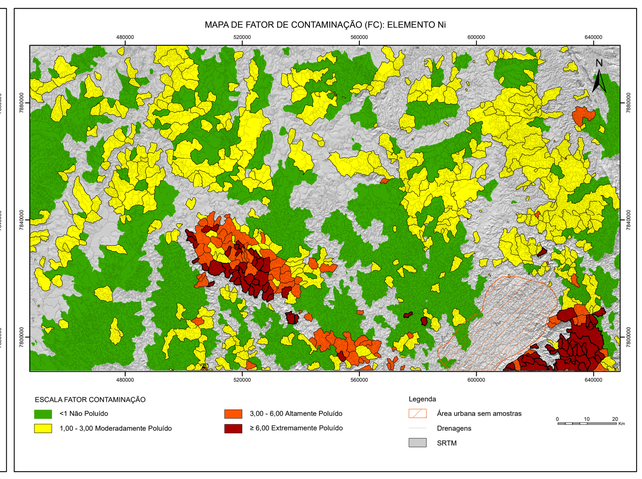


MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Ni (ppm)

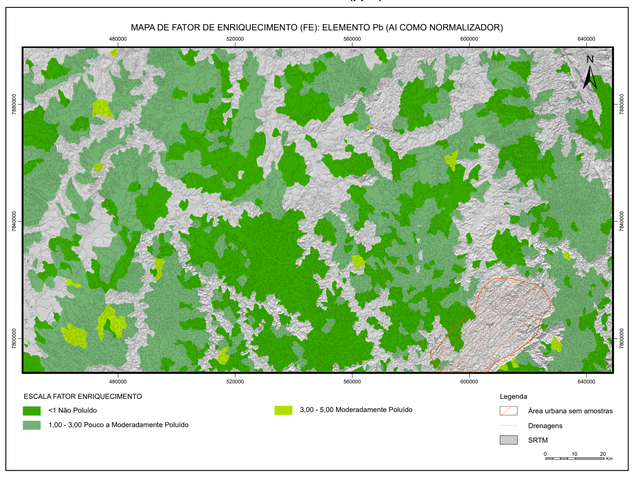


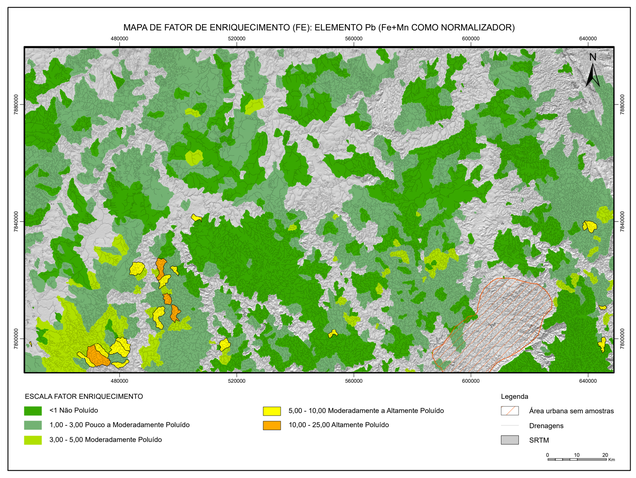


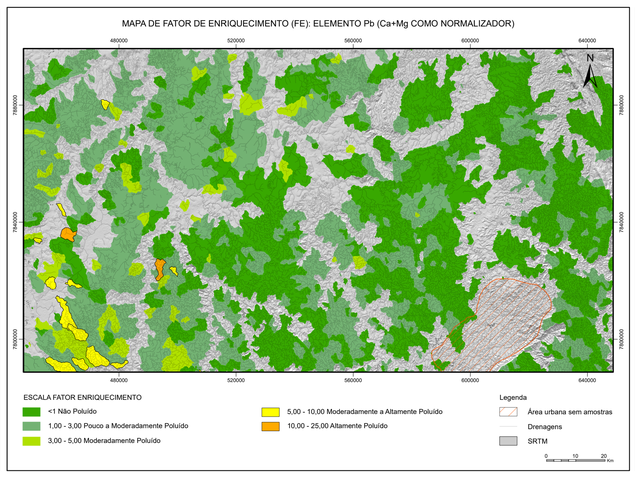


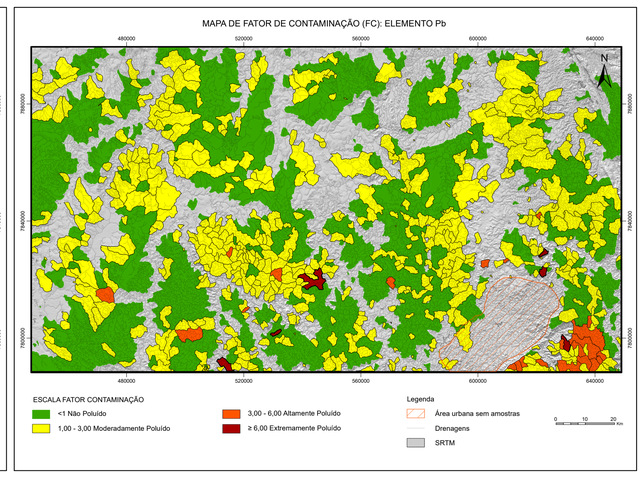


MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Pb (ppm)

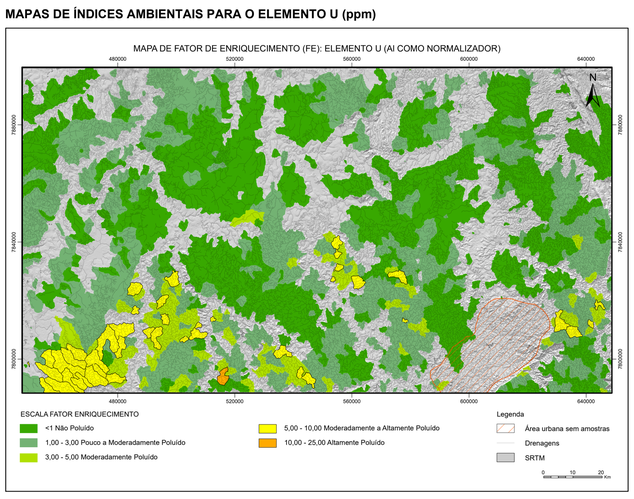


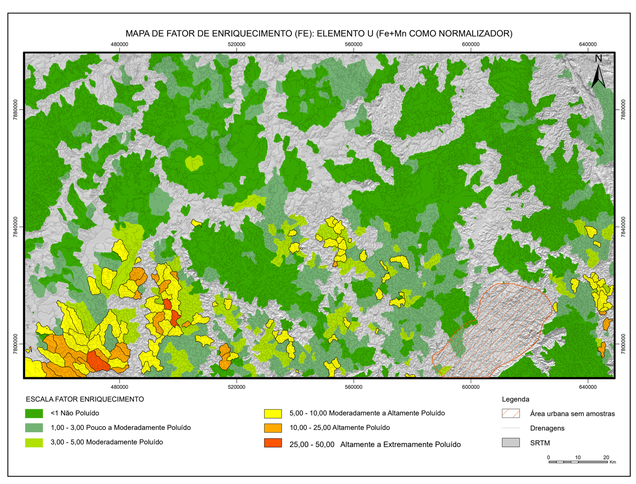


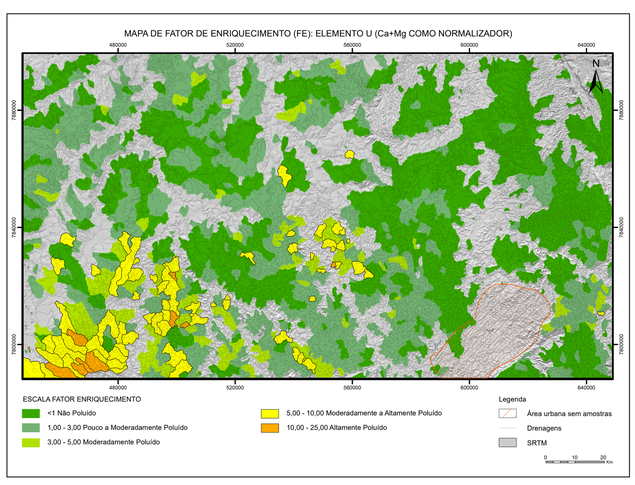


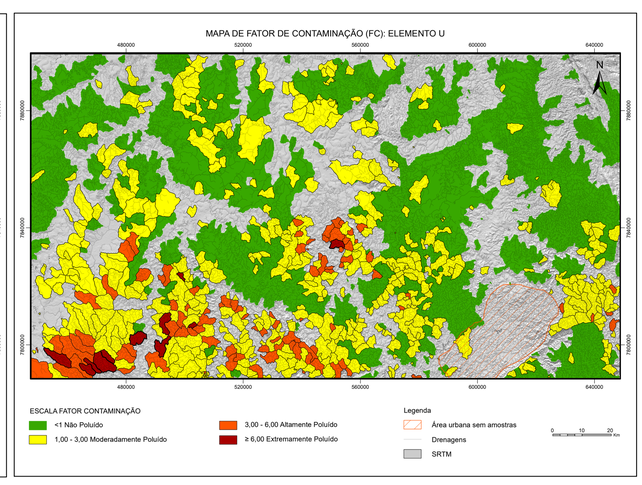


MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO U (ppm)

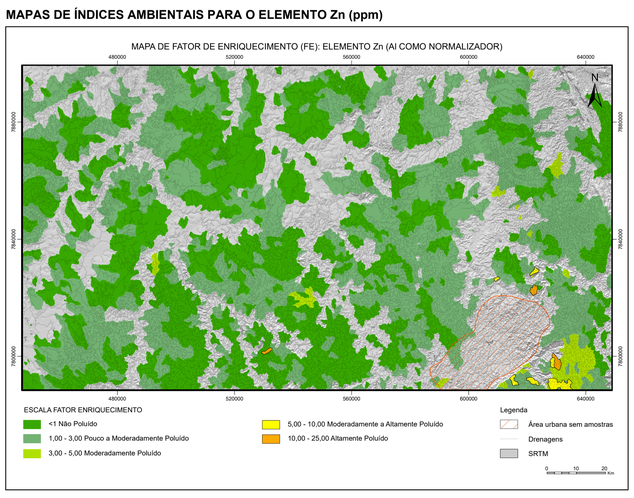


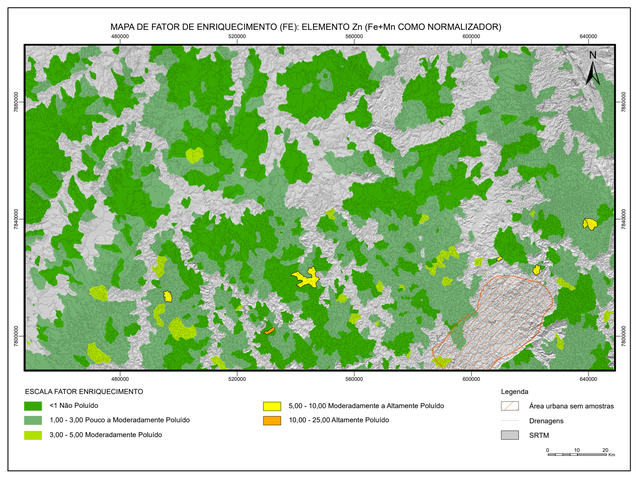


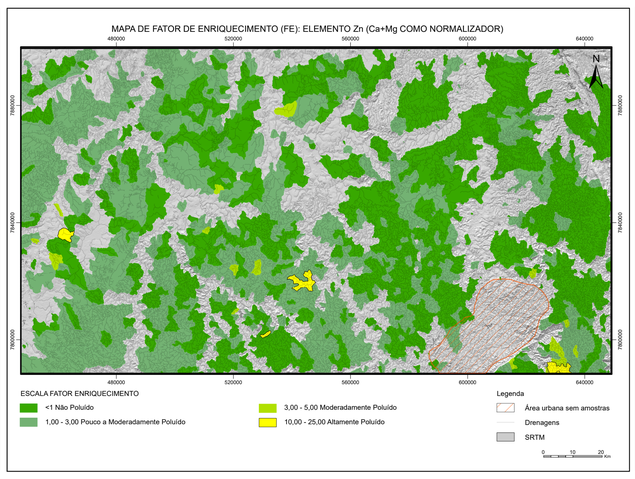


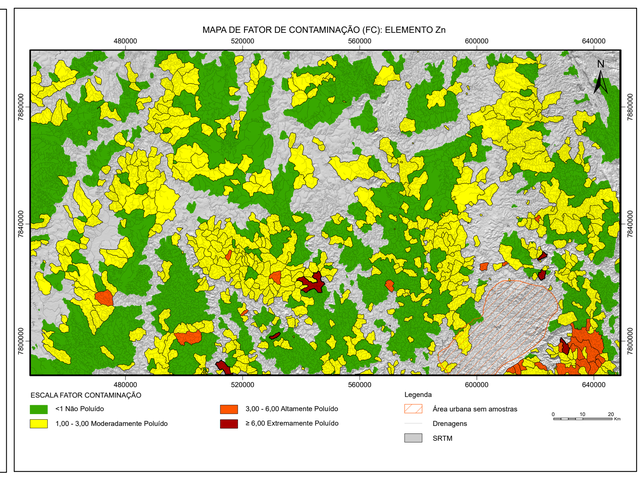


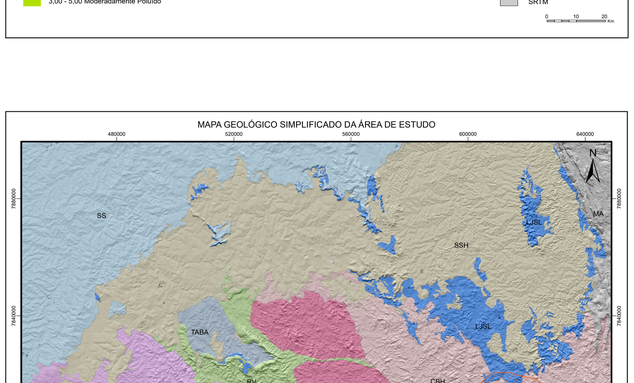
MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Zn (ppm)

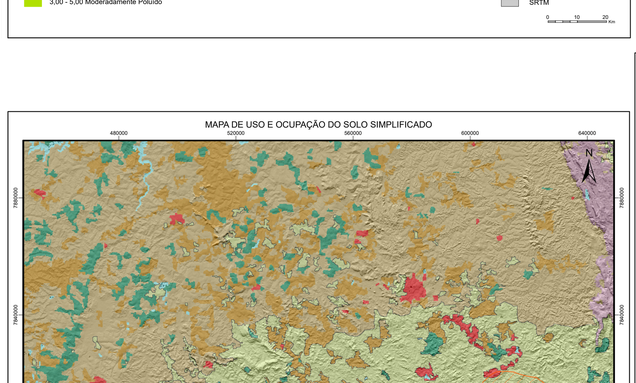


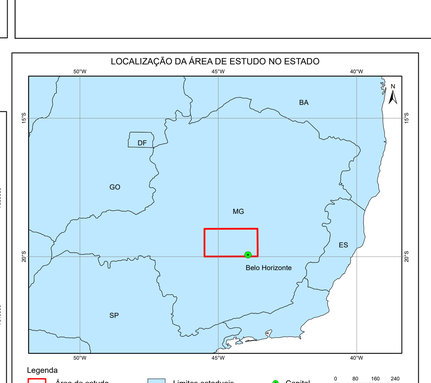


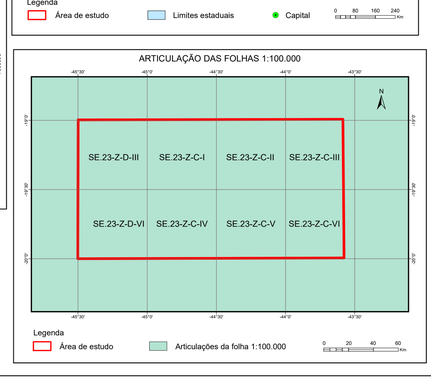












CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO

Fator de Enriquecimento (FE)		Fator de Contaminação (FC)	
Nível de Contaminação	Valores	Nível de Contaminação	Valores
Não Poluído	< 1,0	Não Poluído	<1,0
Pouco a Moderadamente Poluído	1,0-3,0		
Moderadamente Poluído	3,0-5,0	Moderadamente Poluído	1,0-3,0
Moderadamente a Altamente Poluído	5,0-10,0		
Altamente Poluído	10,0-25,0	Altamente Poluído	3,0-6,0
Altamente a Extremamente Poluído	25,0-50,0		
Extremamente Poluído	≥50	Extremamente Poluído	≥6

O produto técnico "MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS (Mo, Ni, Pb, U e Zn) - FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE) E FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC) " foi realizado através da análise estatísticas e espacial de 10 elementos químicos potencialmente tóxicos (As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, U e Zn) utilizando-se como valores de referência o *background* geoquímico obtido para área de estudo. Índices ambientais permitem quantificar o enriquecimento e empobrecimento desses elementos em diversas matrizes geológicas, no caso do estudo, na matriz sedimento. O objetivo apresentar espacialmente locais com riscos potenciais ao meio ambiente e a vida e permitir a partir destas informações o controle e mitigação deles elementos.

2022. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA

AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de

Minas Gerais (IFMG). Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte,

desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05

Caixa Postal 05 – Bambuí – MG - 38900-000 - www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG

Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ

Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ

Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Sabrina Ferreira de Queiroz

ORIENTADORES

Ariana Cristina Santos Almeida e Eduardo Duarte Marques

PARCERIA

Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM. Superintendência Regional de Belo Horizonte.

PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO

Sabrina Ferreira de Queiroz e Márcio Ferreira Augusto
Consistência de pontos e geração das Bacias: Everton Assunção Martins dos Santos;

Citação Bibliográfica
(QUEIROZ, 2023)

Referência Bibliográfica
QUEIROZ, S. F; 2023. Mapas de Índices Ambientais (Mo, Ni, Pb, U e Zn) - Fator de Enriquecimento (Fe) e Fator de Contaminação (Fc). Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG). Belo Horizonte: 2023, 1 mapa colorido. Escala 1:850.000.

MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS: FATOR DE ENRIQUECIMENTO E FATOR DE CONTAMINAÇÃO

0 20 40 60 80 100 Km

ESCALA 1:850.000

2023

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 45°WGr.
acrescidas as constantes: 10.000Km e 500Km, respectivamente.
Datum horizontal: SIRGAS 2000
Declinação magnética do centro da folha em 2014: 22°03'10".

BASES CARTOGRÁFICAS

Mapa Geológico simplificado obtido através da compilação Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais é parte do PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL, Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil - Projeto Mapas Geológicos Estaduais, executado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM., escala 1:1.000.000, publicada em 2020 por SILVA, Márcio Antônio da et. al. et. al.

Mapa de Uso e Ocupação do solo simplificado obtido através da compilação do Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Mapa de Cobertura e Uso da Terra do Brasil de 2010. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html. Acesso em: 04/07/2022

BASE DE DADOS GEOQUÍMICAS

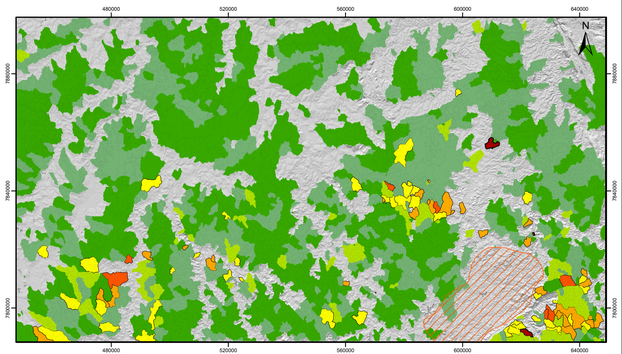
Base de dados geoquímicos compilado do projeto Geoquímica do Quadrilátero ferrífero e seu entorno executado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM., no período de 2008 a 2013.

INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Bambuí

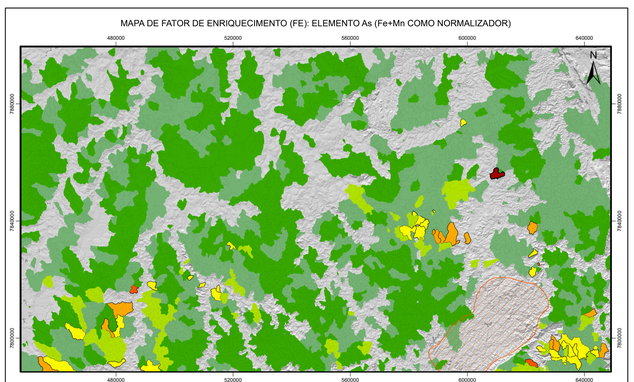
PRODUTO TÉCNICO: MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS (As, Cd, Co, Cu e Hg) FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE) E FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC) CONSIDERANDO OS VALORES DE REFERÊNCIA POR UNIDADE GEOLÓGICA

MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO As (ppm)

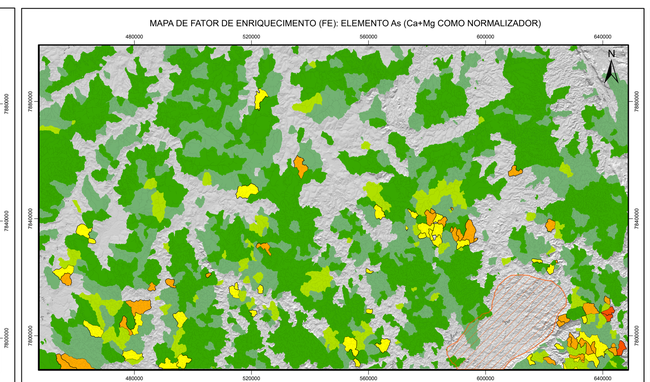
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO As (Al COMO NORMALIZADOR)



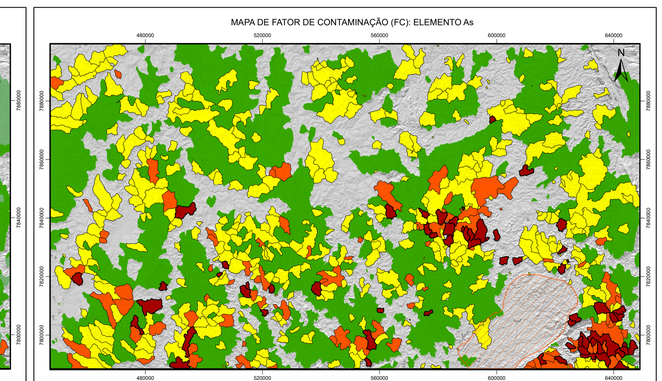
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO As (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)



MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO As (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)

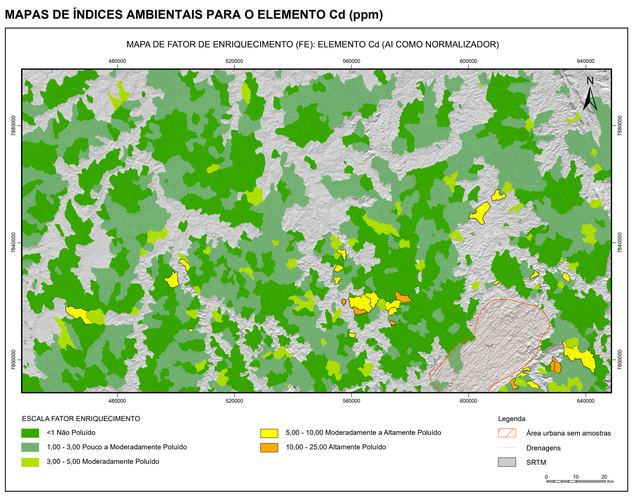


MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO As

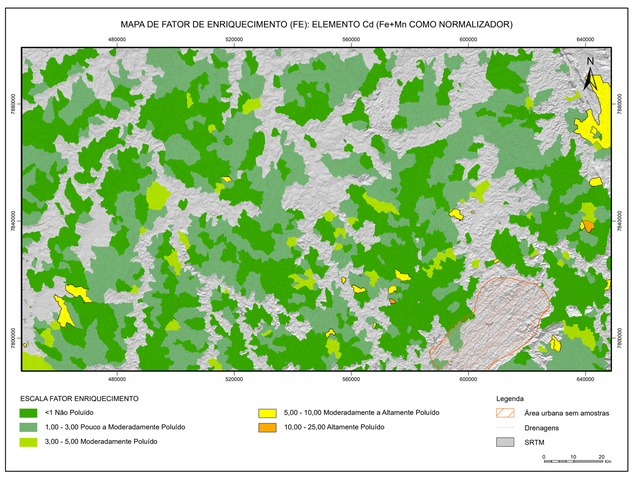


MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Cd (ppm)

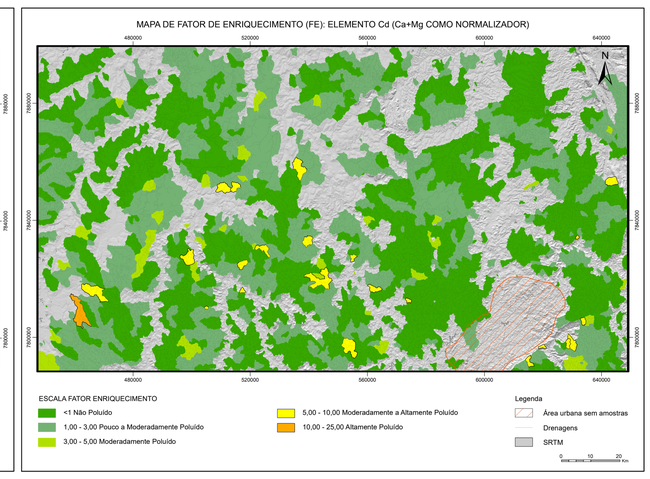
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cd (Al COMO NORMALIZADOR)



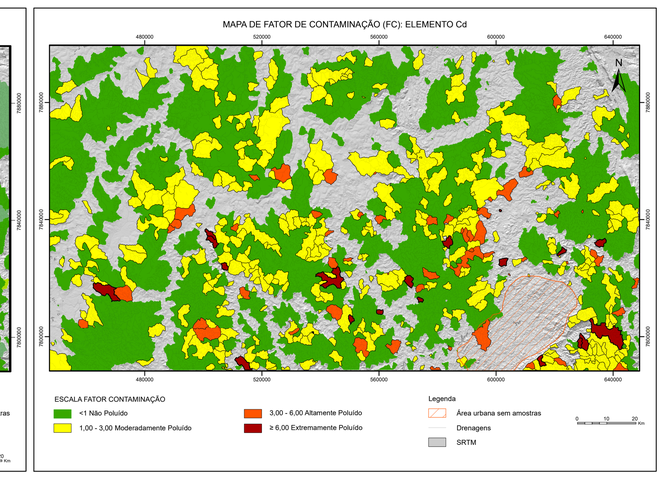
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cd (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)



MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cd (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)

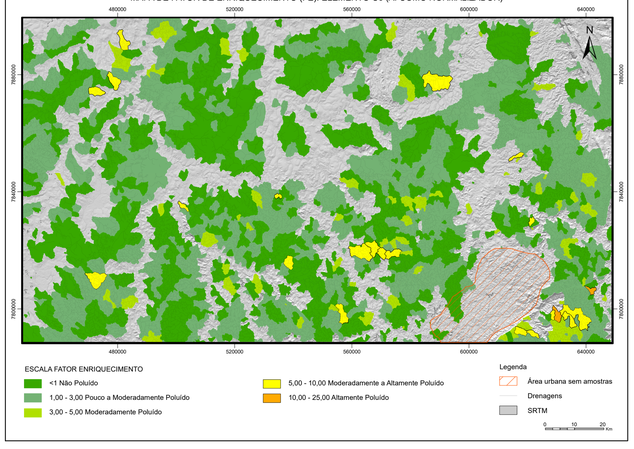


MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Cd

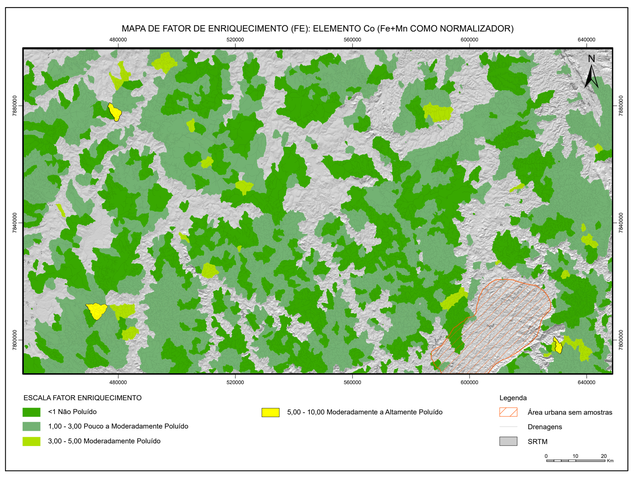


MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Co (ppm)

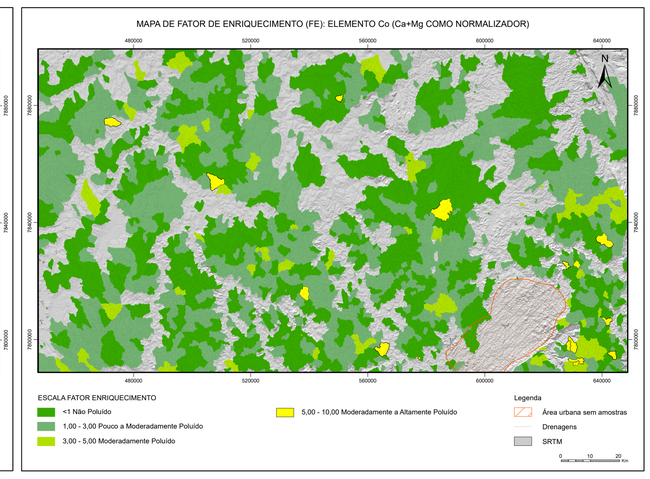
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Co (Al COMO NORMALIZADOR)



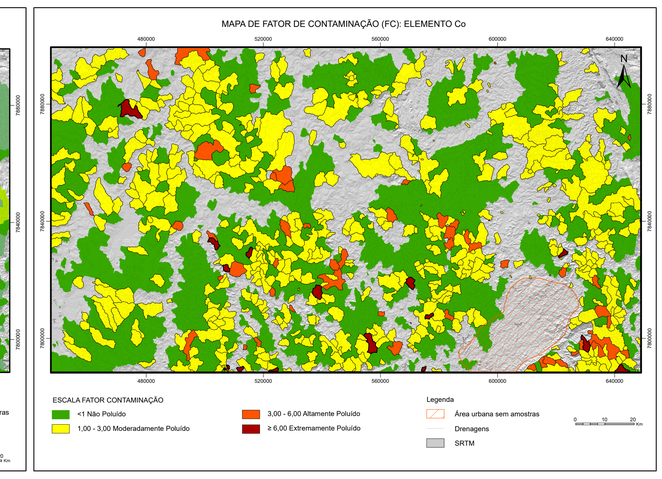
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Co (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)



MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Co (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)

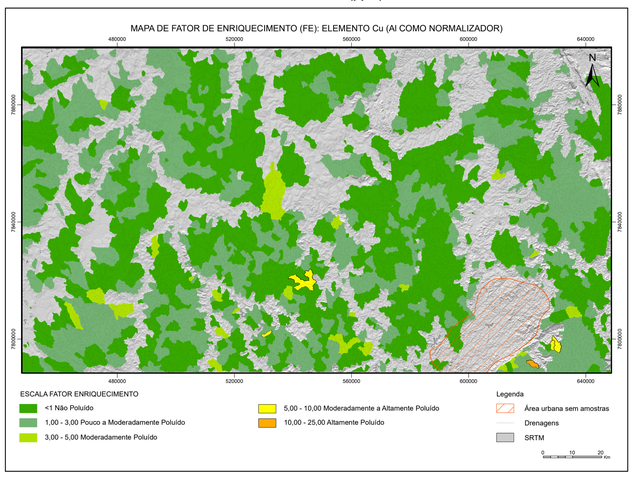


MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Co

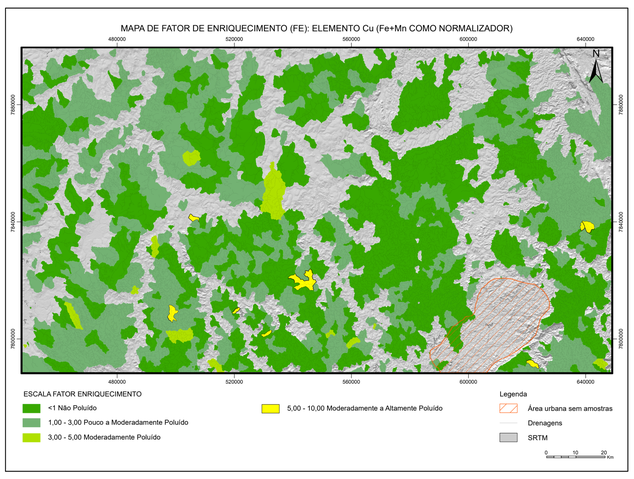


MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Cu (ppm)

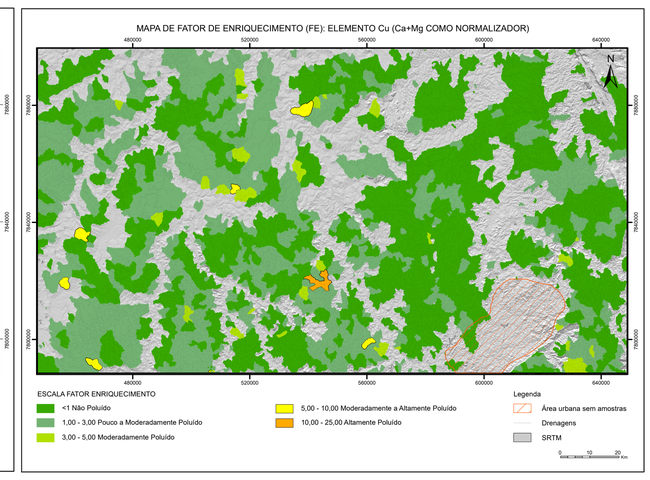
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cu (Al COMO NORMALIZADOR)



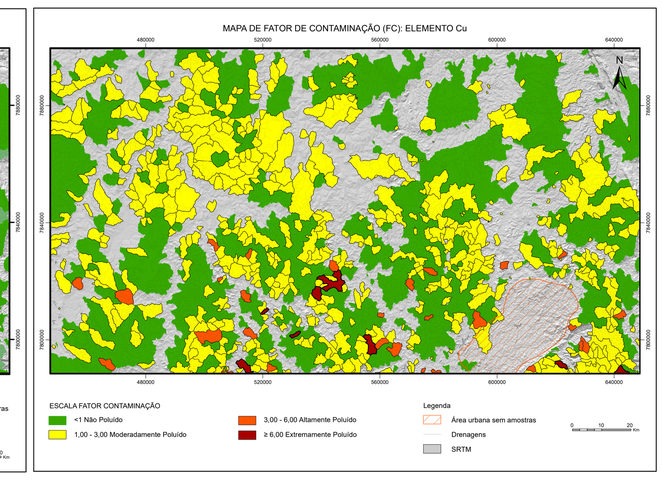
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cu (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)



MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Cu (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)

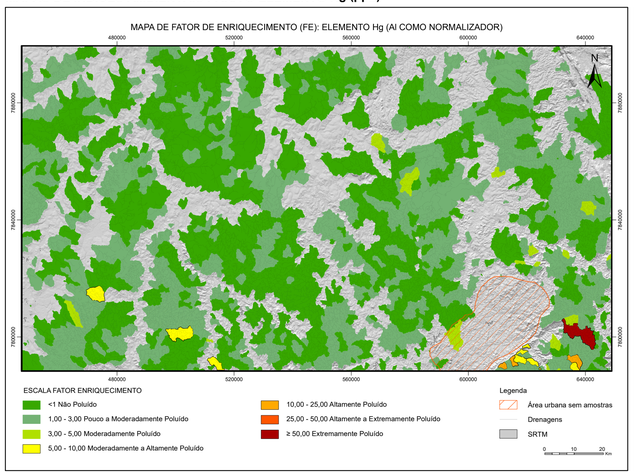


MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Cu

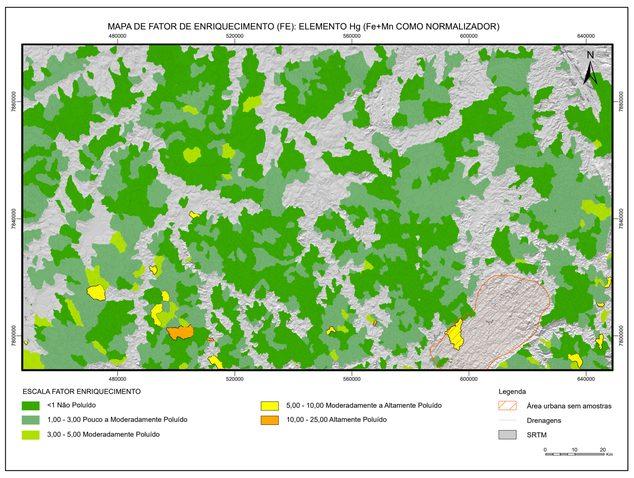


MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Hg (ppb)

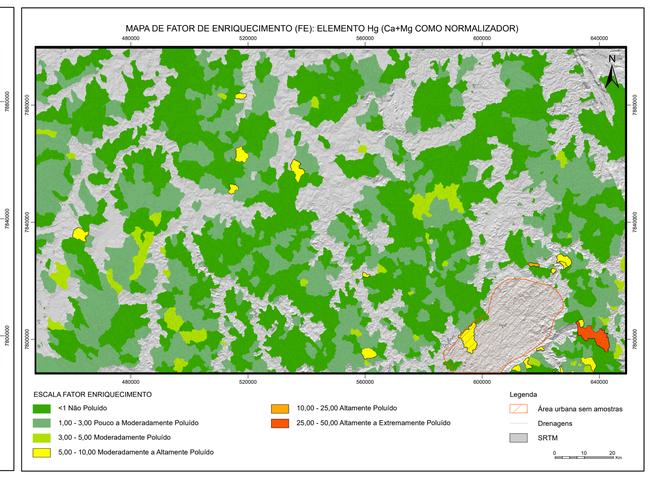
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Hg (Al COMO NORMALIZADOR)



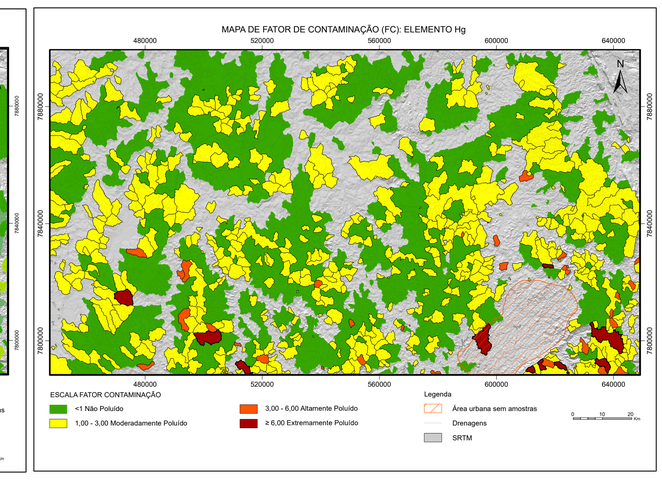
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Hg (Fe+Mn COMO NORMALIZADOR)



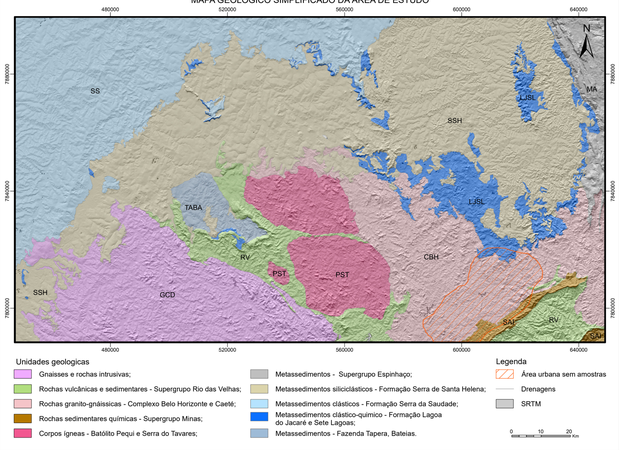
MAPA DE FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE): ELEMENTO Hg (Ca+Mg COMO NORMALIZADOR)



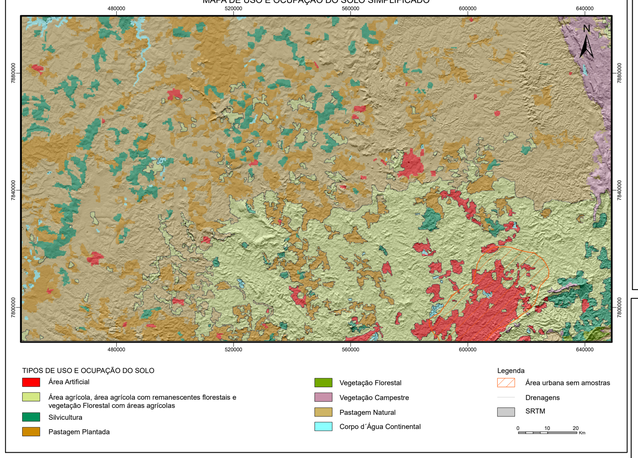
MAPA DE FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC): ELEMENTO Hg



MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DA ÁREA DE ESTUDO



MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO SIMPLIFICADO



CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO

Fator de Enriquecimento (FE)		Fator de Contaminação (FC)	
Nível de Contaminação	Valores	Nível de Contaminação	Valores
Não Poluído	< 1,0	Não Poluído	<1,0
Pouco a Moderadamente Poluído	1,0-3,0		
Moderadamente Poluído	3,0-5,0	Moderadamente Poluído	1,0-3,0
Moderadamente a Altamente Poluído	5,0-10,0		
Altamente Poluído	10,0-25,0	Altamente Poluído	3,0-6,0
Altamente a Extremamente Poluído	25,0-50,0		
Extremamente Poluído	≥50	Extremamente Poluído	≥6

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS 1:100.000

O produto técnico "MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS (As, Cd, Co, Cu e Hg) - FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE) E FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC) CONSIDERANDO OS VALORES DE REFERÊNCIA POR UNIDADE GEOLÓGICA" foi realizado através da análise estatísticas e espacial de 10 elementos químicos potencialmente tóxicos (As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, U e Zn) utilizando-se como valores de referência o *background* geoquímico obtido para área de estudo. Índices ambientais permitem quantificar o enriquecimento e empobrecimento desses elementos em diversas matrizes geológicas, no caso do estudo, na matriz sedimento. O objetivo apresentar espacialmente locais com riscos potenciais ao meio ambiente e a vida e permitir a par tir destas informações o controle e mitigação deles elementos.

2022. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA

AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG).

Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte, desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05

Caixa Postal 05 – Bambuí – MG - 38900-000 - www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG

Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS -GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ

Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ

Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Sabrina Ferreira de Queiroz

ORIENTADORES

Ariana Cristina Santos Almeida e Eduardo Duarte Marques

PARCERIA

Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM. Superintendência Regional de Belo Horizonte.

PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO

Sabrina Ferreira de Queiroz e Márcio Ferreira Augusto
Consistência de pontos e geração das Bacias: Everton Assunção Martins dos Santos;

Citação Bibliográfica
(QUEIROZ, 2023)

Referência Bibliográfica
QUEIROZ, S. F; 2023. Mapas de Índices Ambientais (As, Cd, Co, Cu E Hg) - Fator de Enriquecimento (Fe) e Fator de Contaminação (Fc) considerando os valores de referência por unidade geológica. Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG). Belo Horizonte: 2023, 1 mapa colorido. Escala 1:850.000.

MAPAS ÍNDICES AMBIENTAIS - FATOR DE ENRIQUECIMENTO E CONTAMINAÇÃO CONSIDERANDO OS VALORES DE REFERÊNCIA POR UNIDADE GEOLÓGICA

0 20 40 60 80 100 Km

ESCALA 1:850.000

2023

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 45°WGr.
acrescidas as constantes: 10.000Km e 500Km, respectivamente.
Datum horizontal: SIRGAS 2000
Declinação magnética do centro da folha em 2014: 22°03'10".

BASES CARTOGRÁFICAS

Mapa Geológico simplificado obtido através da compilação Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais é parte do PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL, Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil - Projeto Mapas Geológicos Estaduais, executado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM., escala 1:1.000.000, publicada em 2020 por SILVA, Márcio Antônio da et. al.

Mapa de Uso e Ocupação do solo simplificado obtido através da compilação do Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Mapa de Cobertura e Uso da Terra do Brasil de 2010. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html. Acesso em: 04/07/2022

BASE DE DADOS GEOQUÍMICAS

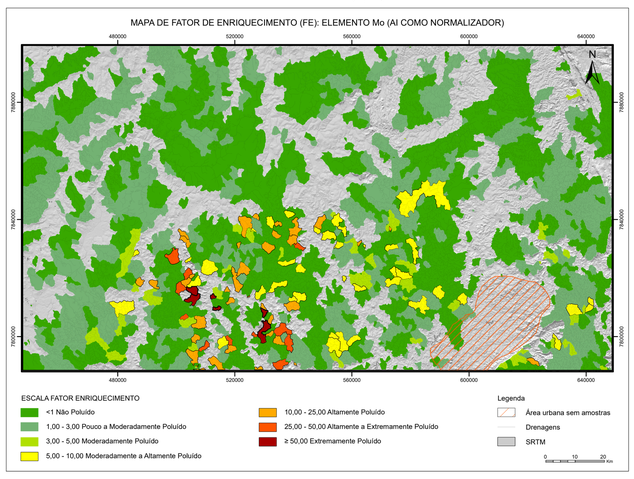
Base de dados geoquímicos compilado do projeto Geoquímica do Quadrilátero ferrífero e seu entorno executado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM., no período de 2008 a 2013.

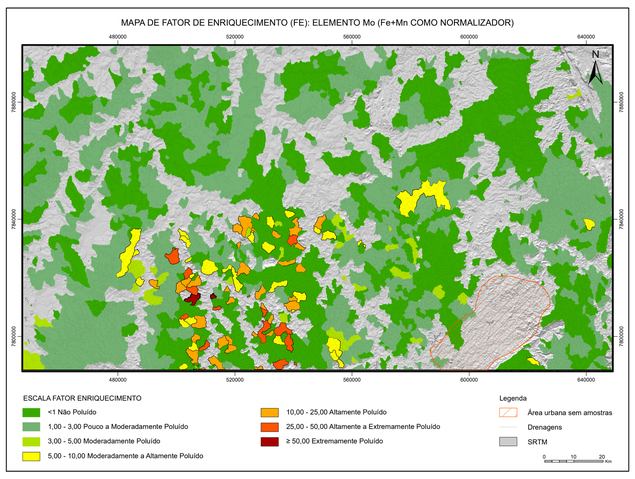
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

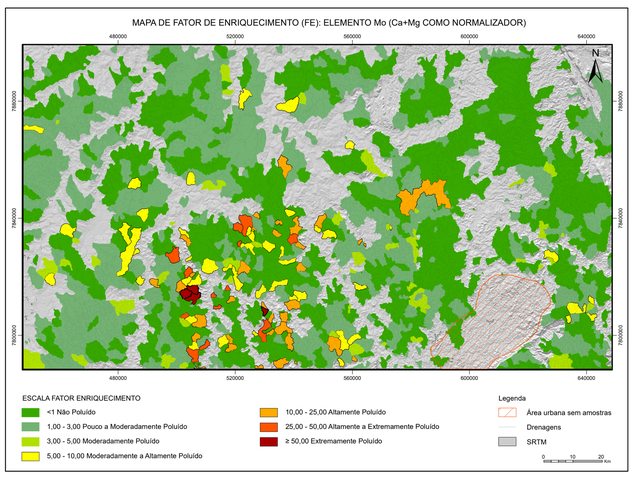
INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Bambuí

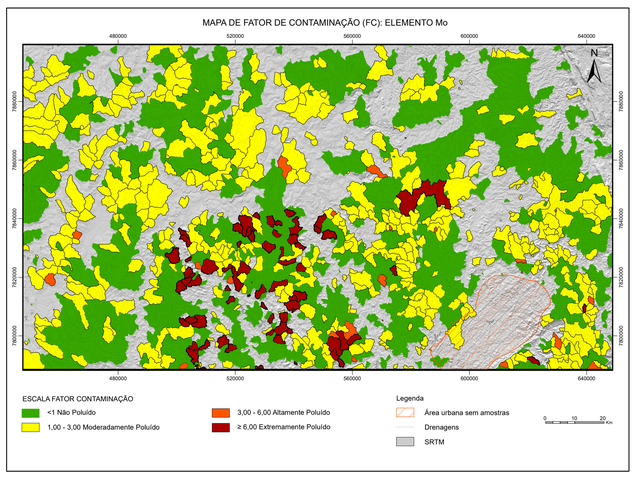
PRODUTO TÉCNICO: MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS (Mo, Ni, Pb, U e Zn) FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE) E FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC) CONSIDERANDO OS VALORES DE REFERÊNCIA POR UNIDADE GEOLÓGICA

MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Mo (ppm)

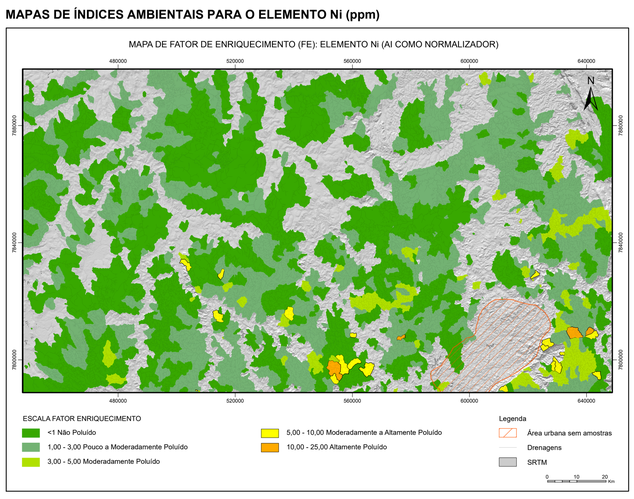


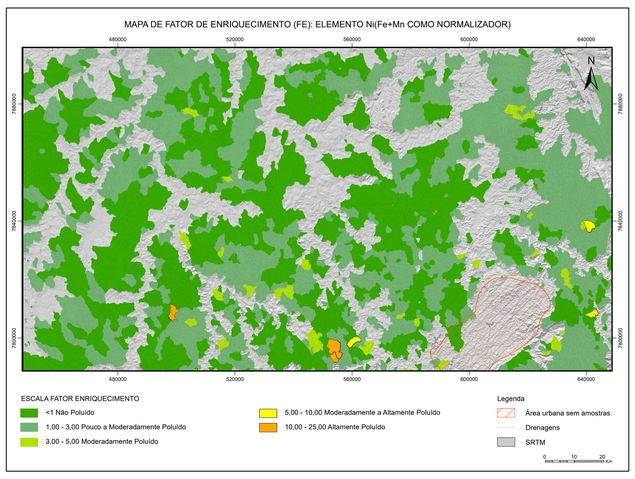


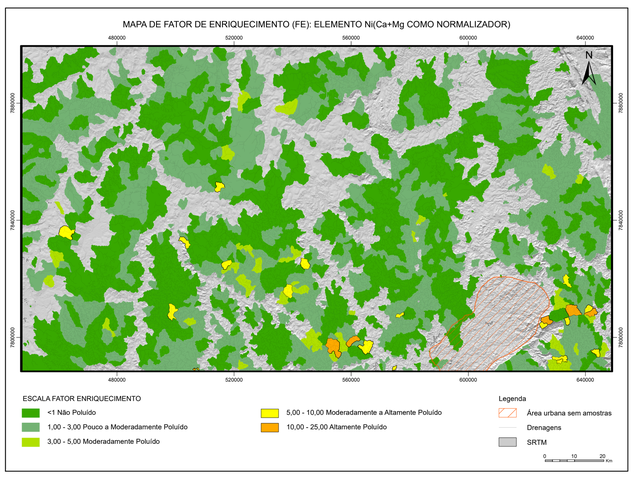


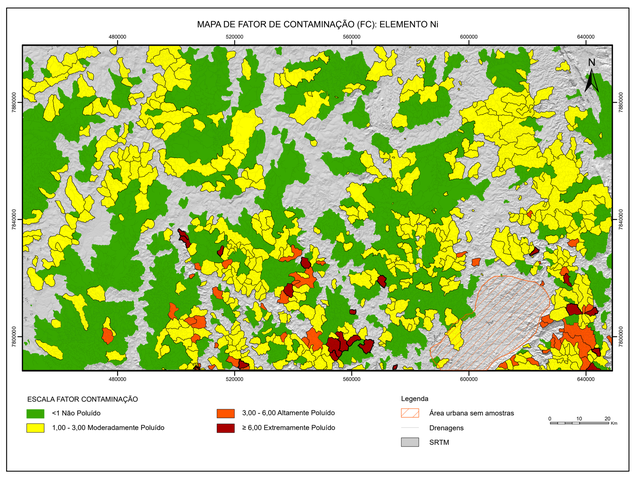


MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Ni (ppm)

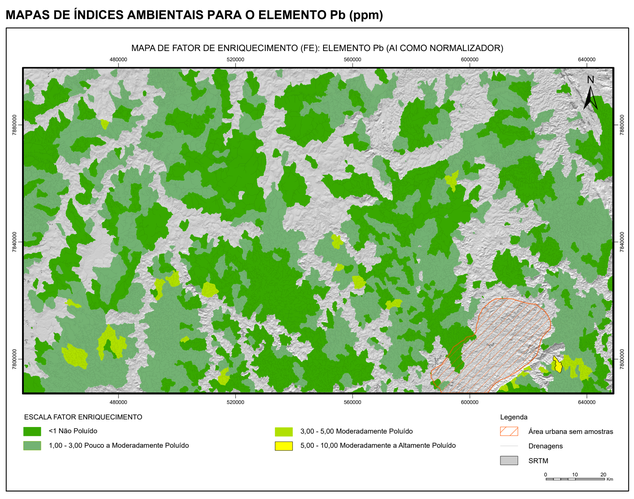


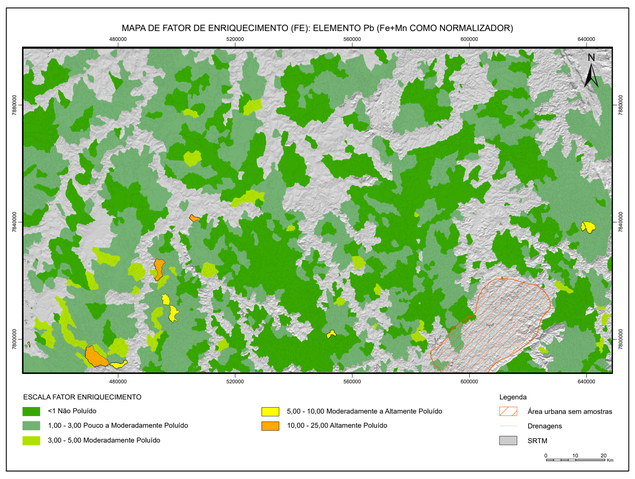


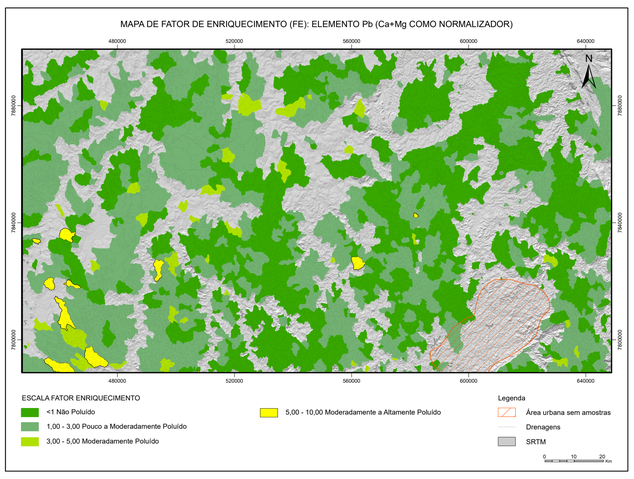


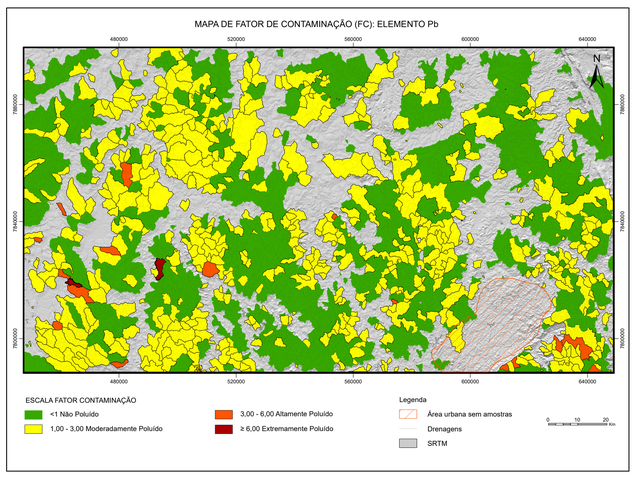


MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Pb (ppm)

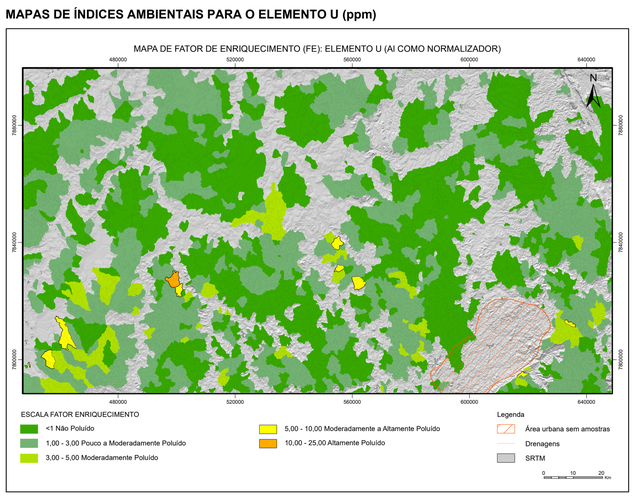


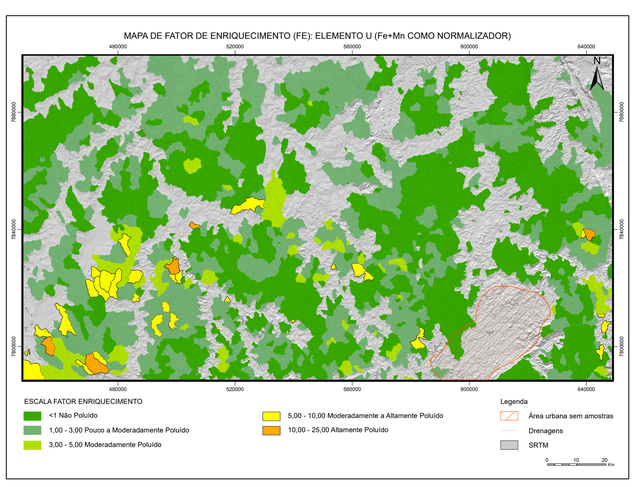


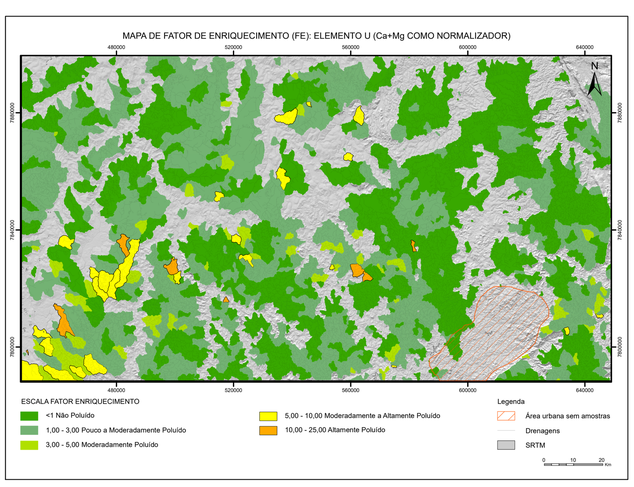


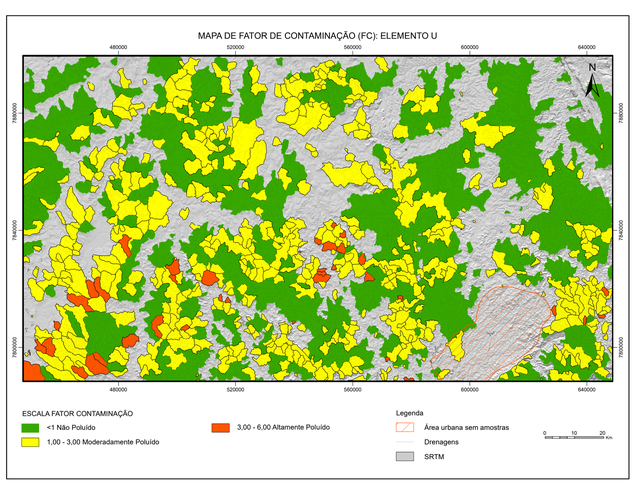


MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO U (ppm)

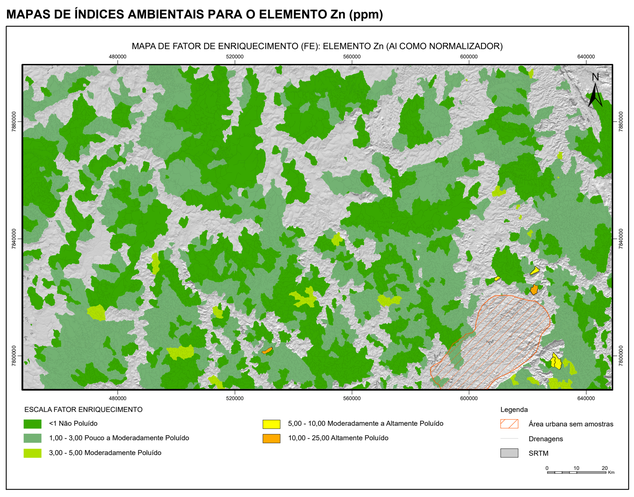


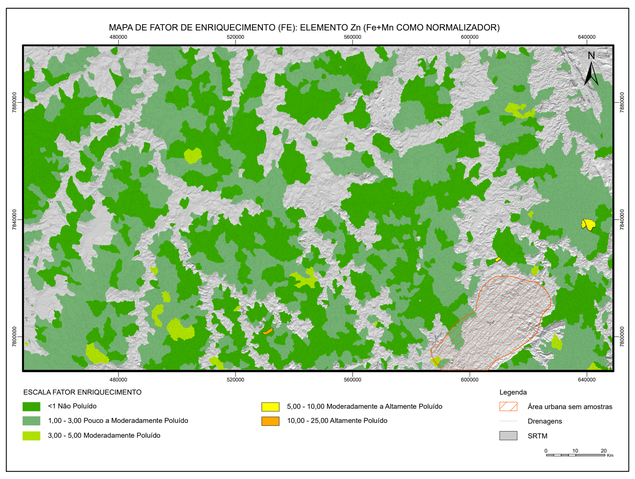


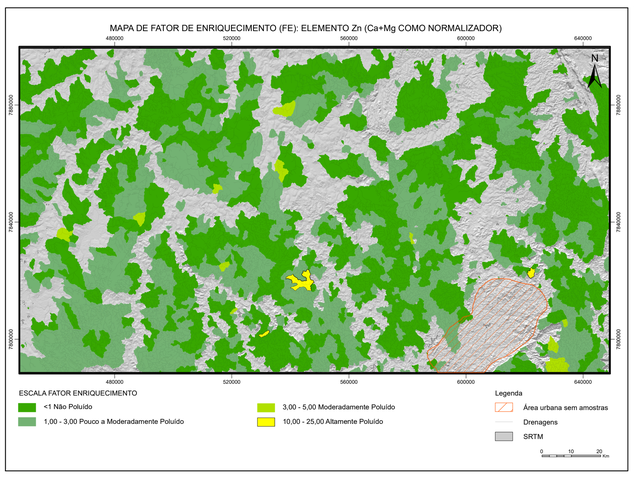


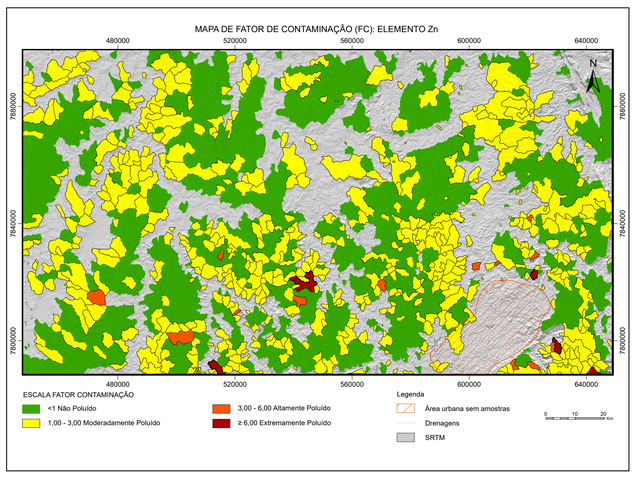


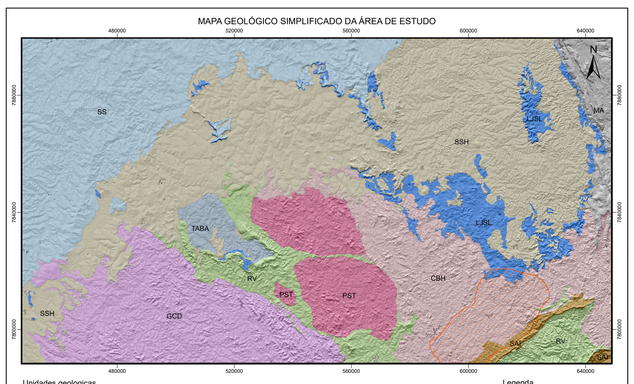
MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA O ELEMENTO Zn (ppm)

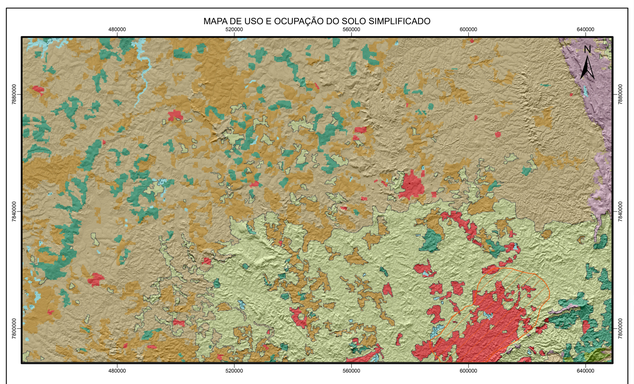








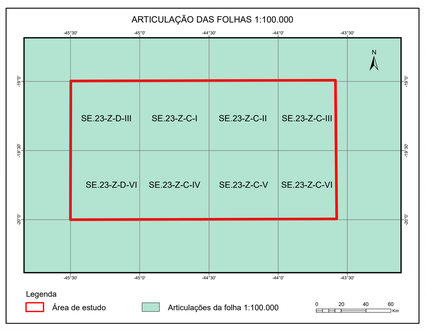




CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO

Fator de Enriquecimento (FE) Nível de Contaminação	Valores	Fator de Contaminação (FC) Nível de Contaminação	Valores
Não Poluído	< 1,0	Não Poluído	<1,0
Pouco a Moderadamente Poluído	1,0-3,0		
Moderadamente Poluído	3,0-5,0	Moderadamente Poluído	1,0-3,0
Moderadamente a Altamente Poluído	5,0-10,0		
Altamente Poluído	10,0-25,0	Altamente Poluído	3,0-6,0
Altamente a Extremamente Poluído	25,0-50,0		
Extremamente Poluído	≥50	Extremamente Poluído	≥6





O produto técnico "MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS (Mo, Ni, Pb, U e Zn) - FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE) E FATOR DE CONTAMINAÇÃO (FC) CONSIDERANDO OS VALORES DE REFERÊNCIA POR UNIDADE GEOLÓGICA" foi realizado através da análise estatísticas e espacial de 10 elementos químicos potencialmente tóxicos (As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, U e Zn) utilizando-se como valores de referência o *background* geoquímico obtido para área de estudo. Índices ambientais permitem quantificar o enriquecimento e empobrecimento desses elementos em diversas matrizes geológicas, no caso do estudo, na matriz sedimento. O objetivo apresentar espacialmente locais com riscos potenciais ao meio ambiente e a vida e permitir a partir destas informações o controle e mitigação deles elementos.

2022. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA

AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de

Minas Gerais (IFMG). Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte,

desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05

Caixa Postal 05 – Bambuí – MG - 38900-000 - www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG

Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ

Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ

Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Sabrina Ferreira de Queiroz

ORIENTADORES

Ariana Cristina Santos Almeida e Eduardo Duarte Marques

PARCERIA

Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM. Superintendência Regional de Belo Horizonte.

PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO

Sabrina Ferreira de Queiroz e Márcio Ferreira Augusto
Consistência de pontos e geração das Bacias: Everton Assunção Martins dos Santos;

Citação Bibliográfica
(QUEIROZ, 2023)

Referência Bibliográfica
QUEIROZ, S. F; 2023. Mapas de Índices Ambientais (Mo, Ni, Pb, U e Zn) - Fator de Enriquecimento (Fe) e Fator de Contaminação (Fc) considerando os valores de referência por unidade geológica. Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG). Belo Horizonte: 2023, 1 mapa colorido. Escala 1:850.000.

MAPAS ÍNDICES AMBIENTAIS - FATOR DE ENRIQUECIMENTO E CONTAMINAÇÃO CONSIDERANDO OS VALORES DE REFERÊNCIA POR UNIDADE GEOLÓGICA

0 20 40 60 80 100 Km

ESCALA 1:850.000

2023

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 45°WGr.
acrescidas as constantes: 10.000Km e 500Km, respectivamente.
Datum horizontal: SIRGAS 2000
Declinação magnética do centro da folha em 2014: 22°03'10".

BASES CARTOGRÁFICAS

Mapa Geológico simplificado obtido através da compilação Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais é parte do PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL, Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil - Projeto Mapas Geológicos Estaduais, executado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM., escala 1:1.000.000, publicada em 2020 por SILVA, Márcio Antônio da et. al.

Mapa de Uso e Ocupação do solo simplificado obtido através da compilação do Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Mapa de Cobertura e Uso da Terra do Brasil de 2010. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html. Acesso em: 04/07/2022

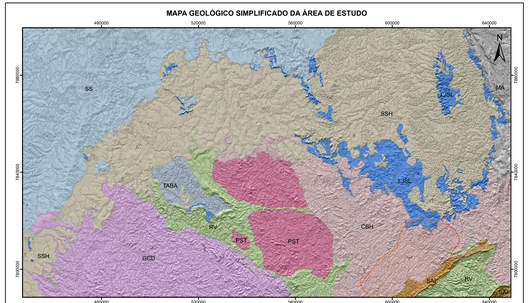
BASE DE DADOS GEOQUÍMICAS

Base de dados geoquímicos compilado do projeto Geoquímica do Quadrilátero ferrífero e seu entorno executado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM., no período de 2008 a 2013.

INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Bambuí

PRODUTO TÉCNICO: MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS - RISCO ECOLÓGICO (RE), GRAU DE CONTAMINAÇÃO MODIFICADO (GCm) E ÍNDICES DE POLUIÇÃO (PLI)

MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DA ÁREA DE ESTUDO



Unidades geologicas

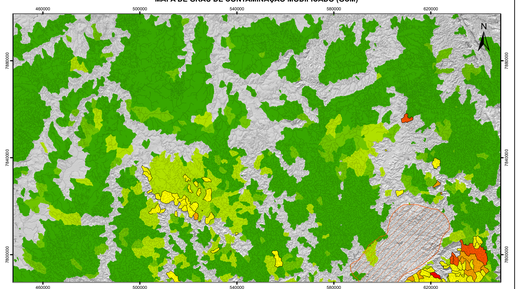
- Gnaisses e rochas intrusivas;
- Rochas vulcânicas e sedimentares - Supergrupo Rio das Velhas;
- Rochas granito-gnáissicas - Complexo Belo Horizonte e Caeté;
- Rochas sedimentares químicas - Supergrupo Minas;
- Corpos ígneas - Batólito Pequi e Serra do Tavares;
- Metassedimentos - Supergrupo Espinhaço;
- Metassedimentos siliciclásticos - Formação Serra de Santa Helena;
- Metassedimentos clásticos - Formação Serra da Saudade;
- Metassedimentos clástico-químico - Formação Lagoa do Jacaré e Sete Lagoas;
- Metassedimentos - Fazenda Tapera, Bateias.

Legenda

- Área urbana sem amostras
- Drenagens
- SRTM

0 5 10 15 20 Km

MAPA DE GRAU DE CONTAMINAÇÃO MODIFICADO (GCM)



ESCALA DO GRAU DE CONTAMINAÇÃO MODIFICADO (GCm)

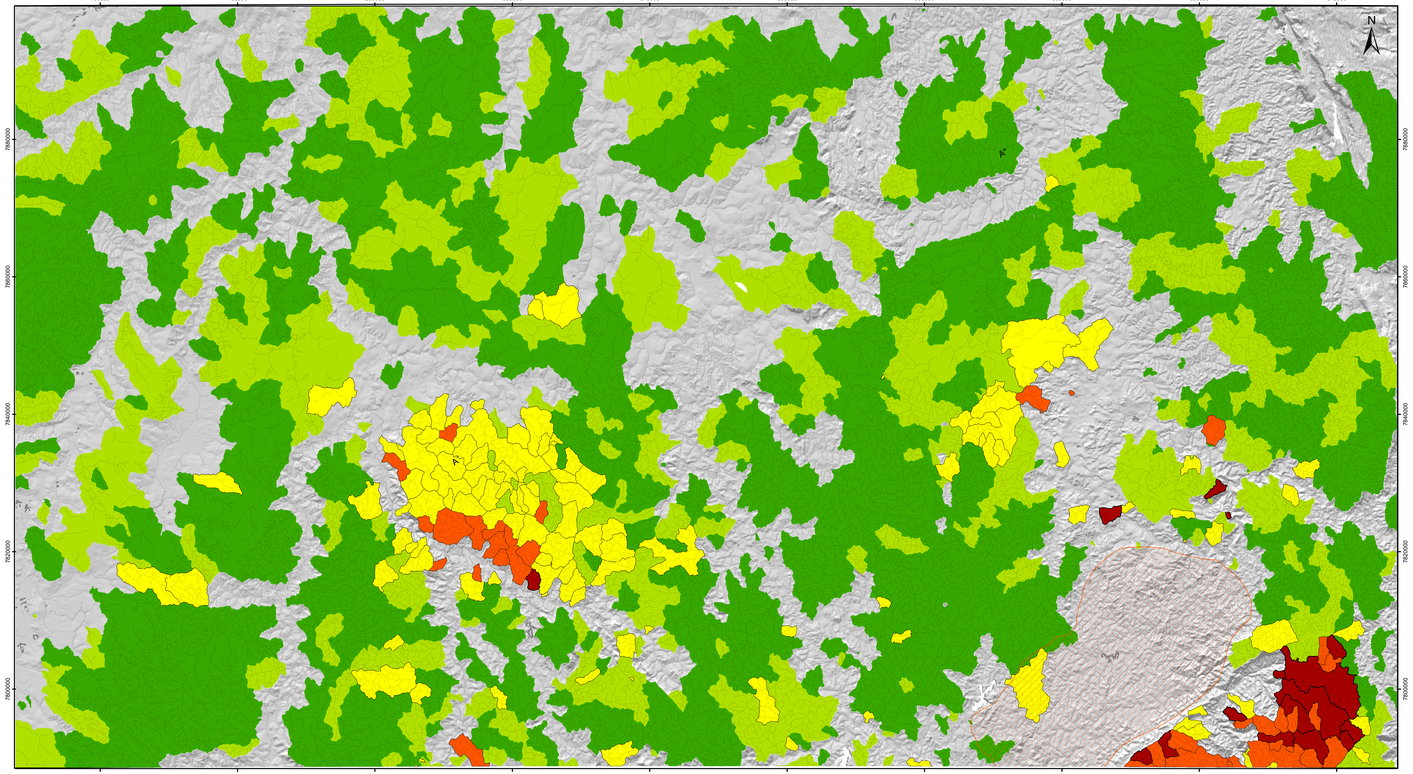
- < 1,50 Não Poluído
- 1,50 - 2,00 Pouco a Moderadamente Poluído
- 2,00 - 4,00 Moderadamente Poluído
- 4,00 - 8,00 Moderadamente a Altamente Poluído
- 8,00 - 16,00 Altamente Poluído
- 16,00 - 32,00 Altamente a Extremamente Poluído
- > 32,00 Extremamente Poluído

Legenda

- Área urbana sem amostras
- Drenagens
- SRTM

0 5 10 15 20 Km

MAPA DE RISCO ECOLÓGICO (RE)



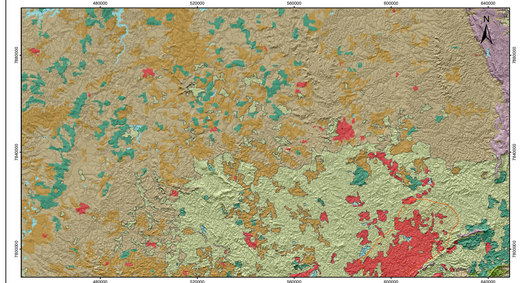
ESCALA RISCO ECOLÓGICO (RE)

- < 90 Risco Extremamente baixo
- 90 - 180 Baixo Risco
- 180 - 360 Risco Moderado
- 360 - 600 Alto Risco
- > 600 Risco Extremo

Legenda

- Área urbana sem amostras
- Drenagens
- SRTM

MAPA DE USO DE OCUPAÇÃO DO SOLO SIMPLIFICADO



TIPOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

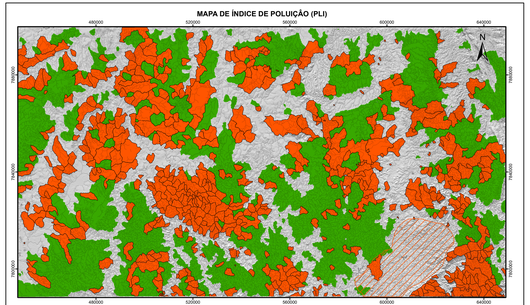
- Área Artificial
- Área agrícola, área agrícola com remanescentes florestais e vegetação Florestal com áreas agrícolas
- Silvicultura
- Pastagem Plantada
- Vegetação Florestal
- Vegetação Campestre
- Pastagem Natural
- Corpo d´Água Continental

Legenda

- Área urbana sem amostras
- Drenagens
- SRTM

0 5 10 20 Km

MAPA DE ÍNDICE DE POLUIÇÃO (PLI)



ESCALA DE ÍNDICE DE POLUIÇÃO (PLI)

- < 1,00 Não Poluído
- > 1,00 Poluído

Legenda

- Área urbana sem amostras
- Drenagens
- SRTM

0 5 10 20 Km

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO

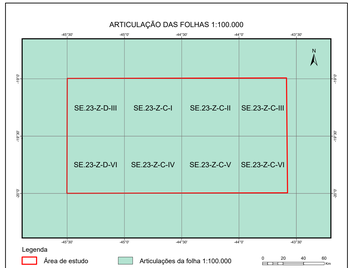


Legenda

- Área de estudo
- Limites estaduais
- Capital

0 80 160 240 Km

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS 1:100.000



Legenda

- Área de estudo
- Articulações da folha 1:100.000

0 20 40 60 Km

CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO

Grau de Contaminação modificado (GCm)		Índice de Poluição (GCm)		Risco Ecológico Potencial (RE)	
Nível de Contaminação	Valores	Nível de Contaminação	Valores	Nível de Contaminação	Valores
Não Poluído	< 1,5	Não Poluído	<1,0	Extremamente baixo Risco	<90
Pouco a Moderadamente Poluído	1,5-2	Poluído	>1,0	Baixo Risco	90-180
Moderadamente Poluído	2-4			Risco Moderado	180-360
Moderadamente a Altamente Poluído	4-8			Alto Risco	360-600
Altamente Poluído	8-16			Risco Extremo	>600
Altamente a Extremamente Poluído	16-32				
Extremamente Poluído	>32				

BASES CARTOGRÁFICAS

Mapa Geológico simplificado obtido através da compilação Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais é parte do PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL, Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil - Projeto Mapas Geológicos Estaduais, executado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM., escala 1:1.000.000, publicada em 2020 por SILVA, Márcio Antônio da et. al.

Mapa de Uso e Ocupação do solo simplificado obtido através da compilação do Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Mapa de Cobertura e Uso da Terra do Brasil de 2010. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html. Acesso em: 04/07/2022

BASE DE DADOS GEOQUÍMICAS

Base de dados geoquímicos compilado do projeto Geoquímica do Quadrilátero ferrífero e seu entorno executado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM., no período de 2008 a 2013.

O produto técnico "MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS - RISCO ECOLÓGICO (RE), GRAU DE CONTAMINAÇÃO MODIFICADO (GCm) E ÍNDICES DE POLUIÇÃO (PLI)" foi realizado através da análise estatísticas e espacial de 10 elementos químicos potencialmente tóxicos (As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, U e Zn) utilizando-se como valores de referência o *background* geoquímico obtido para área de estudo. Índices ambientais permitem quantificar o enriquecimento e empobrecimento desses elementos em diversas matrizes geológicas, no caso do estudo, na matriz sedimento. O objetivo apresentar espacialmente locais com riscos potenciais ao meio ambiente e a vida e permitir a partir destas informações o controle e mitigação deles elementos.

2022. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA

AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de

Minas Gerais (IFMG). Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte,

desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05

Caixa Postal 05 – Bambuí – MG - 38900-000 - www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG

Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ

Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ

Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Sabrina Ferreira de Queiroz

ORIENTADORES

Ariana Cristina Santos Almeida e Eduardo Duarte Marques

PARCERIA

Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM. Superintendência Regional de Belo Horizonte.

PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO

Sabrina Ferreira de Queiroz e Márcio Ferreira Augusto
Consistência de pontos e geração das Bacias: Everton Assunção Martins dos Santos;

Citação Bibliográfica
(QUEIROZ, 2023)

Referência Bibliográfica
QUEIROZ, S. F; 2023. Mapas de Índices ambientais - risco ecológico (RE), Grau de contaminação modificado (GCm) E Índices de poluição (PLI). Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG). Belo Horizonte: 2023, 1 mapa colorido. Escala 1:300.000.

MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS - RISCO ECOLÓGICO (RE), GRAU DE CONTAMINAÇÃO MODIFICADO (GCm) E ÍNDICES DE POLUIÇÃO (PLI)

ESCALA 1:300.000

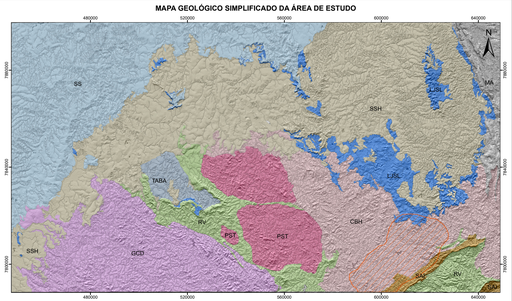
2023

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 45°WGr.
acrescidas as constantes: 10.000Km e 500Km, respectivamente.
Datum horizontal: SIRGAS 2000
Declinação magnética do centro da folha em 2014: 22°03'10".

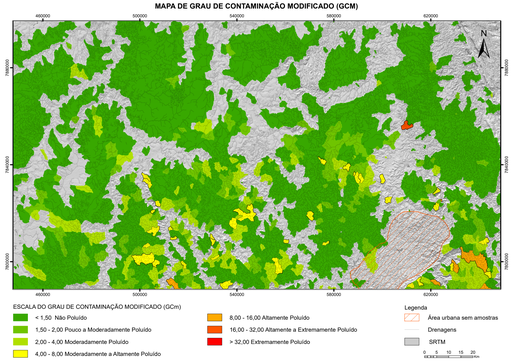
0 25 50 Km

PRODUTO TÉCNICO: MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS - RISCO ECOLÓGICO (RE), GRAU DE CONTAMINAÇÃO MODIFICADO (GCm) E ÍNDICES DE POLUIÇÃO (PLI) CONSIDERANDO OS VALORES DE REFERÊNCIA POR UNIDADE GEOLÓGICA

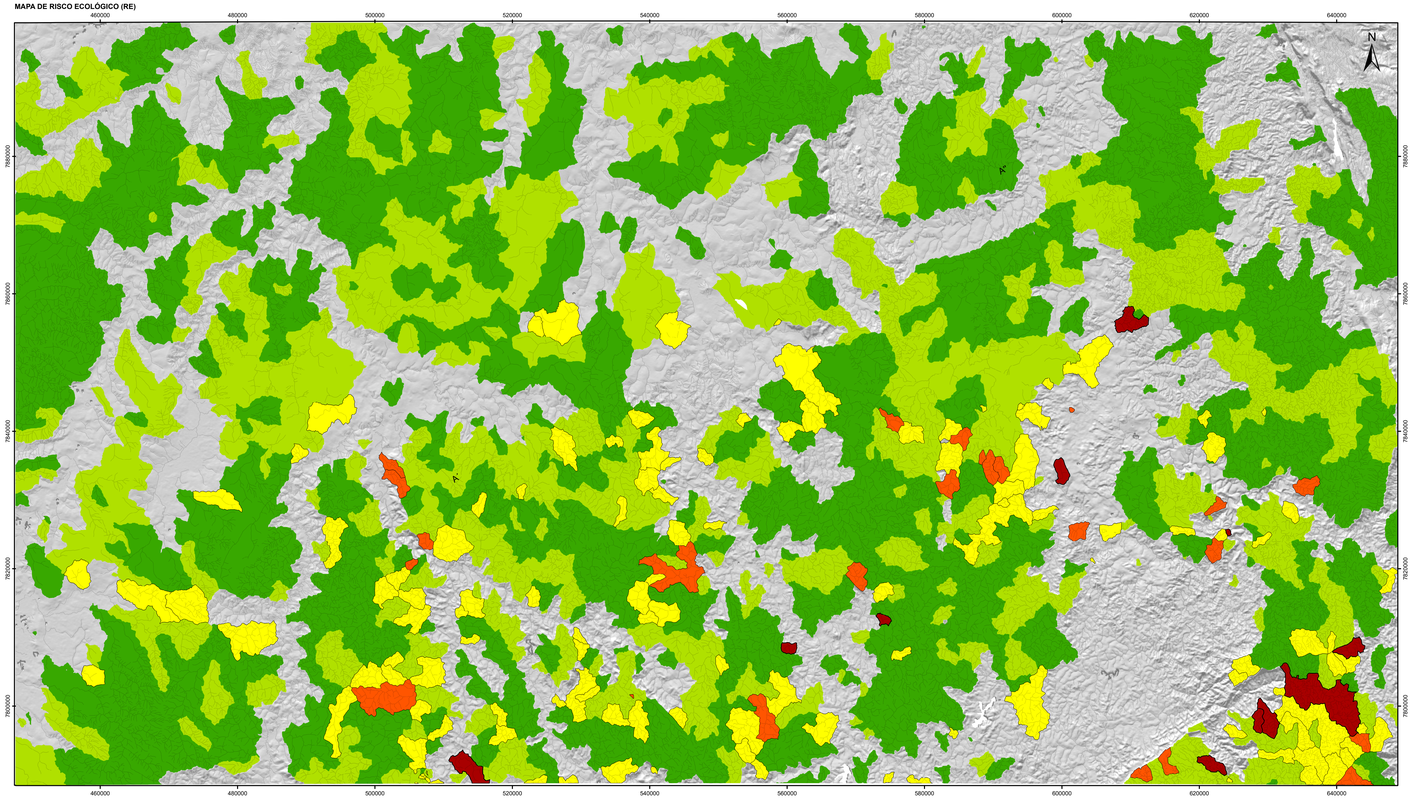
MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DA ÁREA DE ESTUDO



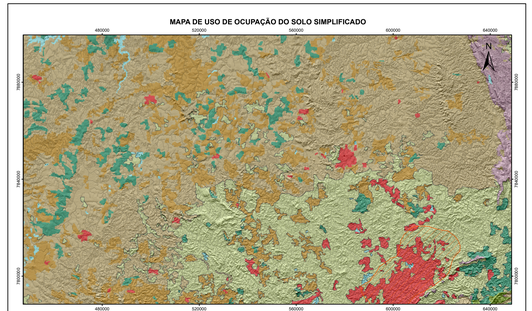
MAPA DE GRAU DE CONTAMINAÇÃO MODIFICADO (GCM)



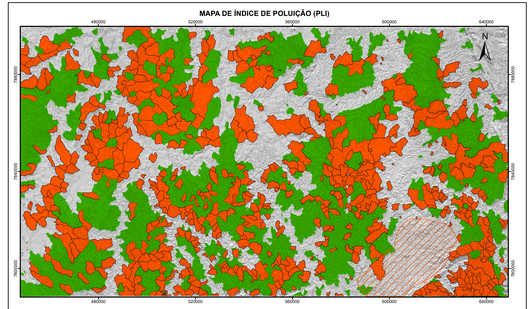
MAPA DE RISCO ECOLÓGICO (RE)



MAPA DE USO DE OCUPAÇÃO DO SOLO SIMPLIFICADO



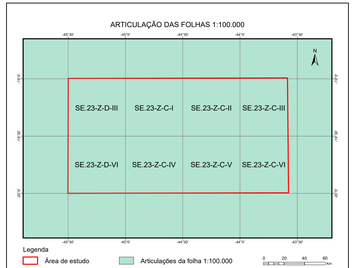
MAPA DE ÍNDICE DE POLUIÇÃO (PLI)



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO



ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS 1:100.000



CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO

Grau de Contaminação modificado (GCm)		Índice de Poluição (GCm)		Risco Ecológico Potencial (RE)	
Nível de Contaminação	Valores	Nível de Contaminação	Valores	Nível de Contaminação	Valores
Não Poluído	< 1,5	Não Poluído	<1,0	Extremamente baixo Risco	<90
Pouco a Moderadamente Poluído	1,5-2	Poluído	>1,0	Baixo Risco	90-180
Moderadamente Poluído	2-4			Risco Moderado	180-360
Moderadamente a Altamente Poluído	4-8			Alto Risco	360-600
Altamente Poluído	8-16			Risco Extremo	>600
Altamente a Extremamente Poluído	16-32				
Extremamente Poluído	>32				

BASES CARTOGRÁFICAS

Mapa Geológico simplificado obtido através da compilação Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais é parte do PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL, Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil - Projeto Mapas Geológicos Estaduais, executado pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM., escala 1:1.000.000, publicada em 2020 por SILVA, Márcio Antônio da et. al.

Mapa de Uso e Ocupação do solo simplificado obtido através da compilação do Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Mapa de Cobertura e Uso da Terra do Brasil de 2010. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html. Acesso em: 04/07/2022

BASE DE DADOS GEOQUÍMICAS

Base de dados geoquímicos compilado do projeto Geoquímica do Quadrilátero ferrífero e seu entorno executado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM., no período de 2008 a 2013.

O produto técnico "MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS - RISCO ECOLÓGICO (RE), GRAU DE CONTAMINAÇÃO MODIFICADO (GCm) E ÍNDICES DE POLUIÇÃO (PLI) CONSIDERANDO OS VALORES DE REFERÊNCIA POR UNIDADE GEOLÓGICA" foi realizado através da análise estatísticas e espacial de 10 elementos químicos potencialmente tóxicos (As, Cd, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, U e Zn) utilizando-se como valores de referência o *background* geoquímico obtido para área de estudo. Índices ambientais permitem quantificar o enriquecimento e empobrecimento desses elementos em diversas matrizes geológicas, no caso do estudo, na matriz sedimento. O objetivo apresentar espacialmente locais com riscos potenciais ao meio ambiente e a vida e permitir a partir destas informações o controle e mitigação deles elementos.

2022. MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA AMBIENTAL (MPSTA) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG). Não há direitos reservados. A reprodução está autorizada, no todo ou em parte, desde que a obra original seja devidamente referenciada.

INFORMAÇÕES E CONTATOS

IFMG/BAMBUÍ – Fazenda Varginha – Rodovia Bambuí/Medeiros – Km 05

Caixa Postal 05 – Bambuí – MG - 38900-000 - www.bambui.ifmg.edu.br

REITOR DO IFMG

Kléber Gonçalves Glória

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Fernando Gomes Braga

DIRETOR GERAL DO IFMG – BAMBUÍ

Rafael Bastos Teixeira

COORDENADOR DO MPSTA – BAMBUÍ

Gustavo Augusto Lacorte

AUTORES

Sabrina Ferreira de Queiroz

ORIENTADORES

Ariana Cristina Santos Almeida e Eduardo Duarte Marques

PARCERIA

Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM. Superintendência Regional de Belo Horizonte.

PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO

Sabrina Ferreira de Queiroz e Márcio Ferreira Augusto
Consistência de pontos e geração das Bacias: Everton Assunção Martins dos Santos;

Citação Bibliográfica
(QUEIROZ, 2023)

Referência Bibliográfica
QUEIROZ, S. F; 2023. Mapas de índices ambientais - risco ecológico (RE), Grau de contaminação modificado (GCm) E índices de poluição (PLI) considerando os valores de referência por unidade geológica. Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG). Belo Horizonte: 2023, 1 mapa colorido. Escala 1:300.000.

PRODUTO TÉCNICO: MAPAS DE ÍNDICES AMBIENTAIS - RISCO ECOLÓGICO (RE), GRAU DE CONTAMINAÇÃO MODIFICADO (GCm) E ÍNDICES DE POLUIÇÃO (PLI) CONSIDERANDO OS VALORES DE REFERÊNCIA POR UNIDADE GEOLÓGICA

0 25 50 Km

ESCALA 1:300.000

2023

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 45°WGr.
acrescidas as constantes: 10.000Km e 500Km, respectivamente.
Datum horizontal: SIRGAS 2000
Declinação magnética do centro da folha em 2014: 22°03'10".

SGB Serviço Geológico do Brasil

INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Bambuí