



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS**  
**PROGRAMA DINTER**



MARIO TAVARES DE OLIVEIRA CAVALCANTI NETO

**GEODISPONIBILIDADE DE METAIS PESADOS NA ÁREA DE  
CONFLUÊNCIA DOS RIOS PIRANHAS E SERIDÓ / RN**

Orientador:

Prof.<sup>o</sup>. Dr. José Dantas Neto

CAMPINA GRANDE  
2012

MARIO TAVARES DE OLIVEIRA CAVALCANTI NETO

**GEODISPONIBILIDADE DE METAIS PESADOS NA ÁREA DE  
CONFLUÊNCIA DOS RIOS PIRANHAS E SERIDÓ / RN**

Tese submetida à Coordenação do Curso  
Doutorado Temático em Recursos Naturais da  
Universidade Federal de Campina Grande/PB,  
em cumprimento às exigências para obtenção  
do grau de Doutor em Recursos Naturais.

**Área de Concentração:** Processos Ambientais.

**Linha de Pesquisa:** Saúde e Meio Ambiente

Orientador:

Prof.<sup>o</sup>. Dr. José Dantas Neto

CAMPINA GRANDE  
2012

C376g Cavalcanti Neto, Mario Tavares de Oliveira.  
Geodisponibilidade de metais pesados na área de confluência dos Rios Piranhas e Seridó / RN. / Mario Tavares de Oliveira Cavalcanti Neto. - Campina Grande - PB: [s.n], 2012.

156 f.

Orientador: Professor Dr. José Dantas Neto.

Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

1. Metais pesados - geodisponibilidade. 2. Recursos naturais. 3. Geodisponibilidade de metais. 4. Extração mineral. 5. Rio Piranhas - RN. 6. Rio Seridó - RN. 7. Geologia médica. 8. Mineração. 9. Confluência de rios - metais pesados. 10. Exploração mineral. 11. Sistemas de informações geográficas. 12. Metais geodisponíveis. I. Dantas Neto, José. II. Título.

CDU:622:55(043.3)

**Elaboração da Ficha Catalográfica:**

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

MARIO TAVARES DE OLIVEIRA CAVALCANTI NETO

**GEODISPONIBILIDADE DE METAIS PESADOS NA ÁREA DE  
CONFLUÊNCIA DOS RIOS PIRANHAS E SERIDÓ / RN**

**APROVADO EM:** 21 / 12 / 2012

---

Orientador – José Dantas Neto

---

Examinador Interno - Vera Lúcia Antunes de Lima

---

Examinador Interno – Gesinaldo Cândido Athaíde

---

Examinador Externo – Reinaldo Antônio Petta

---

Examinador Externo - Ione Rodrigues Diniz

## DEDICATÓRIA

À Deus que sempre me iluminou e apontou os caminhos da prosperidade, aos meus pais, Francisco de Assis Rocha Cavalcanti e Zeneide Luzia dos Santos Cavalcanti pela educação recebida, as minhas filhas Daliana, Daniella e Joyce, a meu filho Rafael e a minha enteada Beatriz Roxxana pela compreensão e a minha esposa Marcia Karina pela dedicação.

**“EM MEMORIA”**

Meu amigo, parceiro e irmão JOSÉ VILANIR  
DE SOUSA BRITO. Que Deus o tenha em sua  
companhia.

## AGRADECIMENTOS

Reservo esse espaço para expressar meus mais sinceros agradecimentos a todos àqueles e aquelas que direta ou indiretamente me ajudaram a concluir esta tese de doutoramento. Em particular agradeço:

Ao Programa DINTER e a CAPES, nas pessoas dos seus coordenadores, prof. Dr. VALDENILDO PEDRO DA SILVA e o prof. Dr. GESINALDO ATHAÍDE CÂNDIDO por possibilitarem a realização deste Doutorado em Recursos Naturais. Aos meus orientadores Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. MARIA SALLYDELÂNDIA SOBRAL DE FARIAS e o Prof<sup>º</sup>. Dr. JOSÉ DANTAS NETO pela orientação, paciência e estímulo. Aos professores do Departamento de Geologia da UFRN Prof. Dr. THOMAS FERREIRA DA COSTA CAMPOS e Prof. Dr. REINALDO ANTÔNIO PETTA, cujas orientações foram determinantes para a conclusão desta tese. Aos companheiros de DINTER, Cristina, Erica, Gerda, Adriana, Vanda, Leci, Júlio, Nelson, Luis Eduardo, Marcos, Roberto, Américo, Agripina e Milton que sempre me estimularam nessa difícil empreitada.

A São Bento Mineração S/A, subsidiária brasileira da empresa canadense Eldorado Gold Corp., na pessoa do seu Diretor Técnico, geólogo Dr. SERGIO PEREIRA e a empresa norte-rio-grandense EMPROGEO LTDA., pela disponibilização do Banco de Dados georreferenciados de sedimento de corrente, solo e rocha constantes nesta tese, base de todo o trabalho ora apresentado.

Ao IFRN, em especial a Pró-reitora de Pesquisa e Inovação, na pessoa do pró-reitor prof. JOSÉ YVAN PEREIRA LEITE pelo constante apoio quer na locação de bolsistas, quer no custeio de análise, nas ações e palavras de estímulo que revigorava a determinação dos alunos/professores da nossa instituição. Aos companheiros do Grupo de Pesquisa Mineral, na pessoa do professor Jossylúcio Jardell de Araújo e dos bolsistas Matheus Nobre da Silva e Yasmim pelo auxílio na coleta de dados de campo, extensivos a Evaneide do campus IFRN/Caicó.

A toda a minha família por compreender as ausências e pelo estímulo dado para conclusão desta tese de doutoramento, destaque para minhas filhas Daliana Medeiros Cavalcanti, que não mediu esforços para ajudar na tradução do Resumo, e para Joyce Mariella Medeiros Cavalcanti que deu o necessário suporte na condução dos projetos de pesquisas financiados pelo CNPq e FINEP, e a minha esposa Márcia Karina que me auxiliou nas correções.

## RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os Metais Pesados geodisponíveis na área de confluência dos Rios Piranhas e Seridó, nos municípios de Caicó, Timbaúba dos Batistas, Jardim de Piranhas e São Fernando, no Estado do Rio Grande do Norte. As amostras de sedimento de corrente, solo e rocha, foram analisadas de acordo com um pacote comercial do laboratório da SGS/Geosol que analisa por ICP - MS (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometre) 32 elementos (Ag, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Sc, Sr, Zn, Zr, Y, Co, Pb, Sb, V, Bi, Sn, W, La, B, Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P e Ti) e o ouro por fire assay / Absorção Atômica. As informações obtidas em cada um dos ambientes de coleta foram tratadas estatisticamente visando comparar os teores dos elementos em relação ao universo de dados e em relação aos parâmetros de qualidade estabelecidos por instituições nacionais e internacionais. Também foram tratados espacialmente, com auxílio de softwares de sistemas de informações geográficas (Arc Gis 9.3 e MapInfo 10), proporcionando a identificação das fontes de dispersão de metais associados aos locais de exploração mineral de ouro (garimpos de Anastácia, Tapera, Ponta de Serrra, Simpático, Caifás, Serra do Patos e Serra do Rodrigues), da qual a área foi objeto de exploração. Duas outras fontes de dispersão de metais merecem atenção especial, uma vez que não se constituem em locais de exploração garimpeira e podem representar a localização de um Depósito Mineral de ouro ainda não explorado. Este trabalho proporcionou a identificação de metais geodisponíveis em concentrações superiores àquelas recomendadas pelo CONAMA para sedimento através da Resolução 344 de 25 de março de 2004, tais como o As, Cd, Pb, Cr, Cu e Ni. No solo da área de Anastácia, Tapera e Ponta de Serra o As chega a 301 ppm o que é muito acima dos valores de referência. Os Metais Pesados Arsênio, Cádmio, Chumbo e Cromo, geodisponíveis na área de confluência dos rios Piranhas e Seridó, a partir dos garimpos de ouro, são causadores de malignidades, conforme apontado por diversos cientistas e organismos de saúde nacionais e internacionais e se constituem em justificativa suficiente para serem responsabilizados pela morte por câncer de 50% da população de São Fernando entre 50 e 65 anos de idade, uma vez que devem estar presentes em toda a cadeia biológica que depende, direta ou indiretamente, daquela bacia de captação.

**Palavras-Chave:** Geoquímica, Geodisponibilidade de Metais, Extração Mineral de ouro, saúde.



## ABSTRACT

The present work has the objective of identifying the geoavailable chemical elements in the confluence region of Rios Piranhas and Seridó, in the cities of Caicó, Timbaúba dos Batistas and São Fernando, located in the state of Rio Grande do Norte. The chain sediment, soil and rock samples were analyzed using a commercial kit from SGS/Geosol laboratories. The kit analyzes using ICP – MS (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer) 32 elements (Ag, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Sc, Sr, Zn, Zr, Y, Co, Pb, Sb, V, Bi, Sn, W, La, B, Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P and Ti) and the gold by fire assay / Atomic Absorption. The resulting information in each one of the collection environments was treated statistically aiming to compare the tenors of the elements in relation to the data universe and in relation to the quality parameters settled by national and international institutions. The same samples were also examined spatially, with the help of geographic information systems software (Arc Gis 9.3 and MapInfo 10), which proportioned the identification of the dispersion sources of metals associated with the places of mineral exploration of the gold mining being conducted in Anastacia, Tapera, Ponta de Serra, Simpático, Caifás, Serra dos Patos and Serra do Rodrigues (which was the object area of the exploration). Two other dispersion sources of metals deserve special attention, since they are not formed in places of mining exploration and might represent the location of a Mineral Deposit of gold not yet explored. The work identifies the geoavailable works in concentrations higher than those recommended by CONAMA for sediment through Resolution 344 of March 25<sup>th</sup> of 2004, chemicals such as: As, Cd, Pb, Cr, Cu and Ni. In the soil of Anastacia, Tapera and Ponta de Serra regions, the As reaches 301 ppm which is much higher than the reference values, calling special attention to health implications. Heavy metals Arsenic, Cadmium, Lead and Chrome, geoavailable in the confluence area of Piranhas river and Seridó, from the mining of gold, cause malignancies, as it's pointed from many national and international scientists and health organizations and form enough justify to be blamed for cancer death of 50% of São Fernando population, between 50 and 65 years old, once they might be present in all the biological chain that depends, direct or indirectly, on that catchment.

**Key words:** Geochemistry, Geoavailability of Metals, Mineral Extraction of gold, health.

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Extrato da Lista da CERCLA (2011) de Alguns Elementos Perigosos à Saúde Humana	17
QUADRO 2: Minerais formadores das rochas aflorantes na área entre Timbaúba dos Batista, Caicó e São Fernando/RN.	35
QUADRO 3: Planilha Utilizada para Registro das Informações Sobre a Coleta de Amostras.	39
QUADRO 4: Amostra por Domínios Homogêneos	46

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Minas brasileiras classificadas pela produção bruta de R.O.M. (ton/ano)	7
TABELA 2. Clarke (abundância normal) de alguns elementos químicos nas rochas da crosta terrestre	9
TABELA 3: Tabela periódica mostrando os elementos essenciais e os tóxicos	14
TABELA 4: Valores Orientadores para Solos Segundo a CETESB e o CONAMA	21
TABELA 5: Valores de Referência de Metais para os Diferentes Tipos de Água – Resolução CONAMA N° 357 de 17 de Março de 2005	22
TABELA 6: Valores de Metais Recomendados como Referência de Qualidade de Sedimentos pelo Wisconsin Department of Natural Resources (2003).	25
TABELA 7: Níveis de Classificação do Material a ser Dragado – Valores de Referência para Metais	26
TABELA 8: Variação anual de temperatura na Região de Caicó/RN	29
TABELA 9: Síntese do Perfil Geral dos Municípios da Área de Confluência dos Rios Piranhas e Seridó.	37
TABELA 10: Classificação de Correlação Linear	44
TABELA 11: Síntese Estatística dos Elementos Analisados em Sedimento de Corrente na área de confluência dos Rios Piranhas e Seridó/RN.	56
TABELA 12: Matriz de Correlação entre os Elementos As, Cd, Cr, Cu, Pb e Zn coletados em Sedimento de Corrente	58
TABELA 13: Média de Teor de Metais Pesados e Metais Preciosos por Domínio Homogêneo	59
TABELA 14: Frequência de ocorrência de teores acima dos valores de referência e da média mais um desvio padrão dos metais pesados nos 18 domínios levantados	62
TABELA 15: Síntese Estatística de Solos e os Valores de Referência da CETESB (SÃO PAULO, 2005) e Resolução CONAMA n° 420 de 28 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009)	73
TABELA 16: Matriz de Correlação dos Metais Analisados nas Amostras de Solos	74
TABELA 17: Síntese Estatística de Alguns Elementos Analisados nas Rochas	82
TABELA 18: Matriz de Correlação para Metais Pesados – Litogeoquímica Regional	83
TABELA 19: Síntese Estatística Para Alguns Elementos das Amostras Coletadas na Cava Principal do Garimpo Ponta de Serra	85
TABELA 20: Matriz de Correlação de Metais Pesados e Metais Preciosos na	

Cava Principal de Ponta de Serra	86
TABELA 21: Síntese Estatística para Metais Pesados e Metais Preciosos de Amostras Coletadas nas Trincheiras de Ponta de Serra	87
TABELA 22: Matriz de Correlação de Metais Pesados e Metais Preciosos presentes nas Rochas das Trincheiras de Ponta de Serra	88
TABELA 23: Alguns Metais Pesados por Amostra entre Tapera e Anastácia	89
TABELA 24: Teor de Alguns Metais Pesados por Amostra no Garimpo Serra dos Patos	91
TABELA 25: Teores de Alguns Metais Pesados por Amostra do Garimpo de Serra dos Rodrigues	92
TABELA 26: Teores de Alguns Metais Pesados em Encapinado	92
TABELA 27: Síntese Estatística das Amostragens Litogeoquímicas no Garimpo do Simpático	94
TABELA 28: Mortalidade proporcional (%) por faixa etária segundo grupo de causas no município de São Fernando/RN - cid10	95
TABELA 29: Recursos Físicos - Equipamentos Em Uso por Tipo de Estabelecimento segundo Município	96

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva Dose-Efeito.	15
Figura 2: Evolução dos elementos químicos das formas geodisponíveis para as biodisponíveis.	16
Figura 3: Abordagem Holística para avaliação da qualidade de sedimentos da Suíça.	26
Figura 4: Mapa de Localização da área de confluência dos Rios Piranhas e Seridó e dos garimpos de ouro em relação ao Brasil e ao Estado do Rio Grande do Norte.	28
Figura 5: Mapa Hipsométrico (Curvas de Nível de 20 m) da área de confluência dos Rios Piranhas e Seridó.	30
Figura 6: Imagem de Satélite com destaque para os açudes existentes na área de confluência dos Rios Piranhas e Seridó.	32
Figura 7: Mapa Geológico da Área entre Caicó e São Fernando. Coordenadas UTM, Datum SAD-69, Zona 24 (Ver também Anexo C).	34
Figura 8: Mapa dos Domínios Homogêneos e de localização das Amostras de Sedimento de Corrente.	45
Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade de Metais pesados em sedimento de corrente na área entre Caicó, São Fernando e Timbaúba dos Batistas.	50
Figura 9 a: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade de Arsênio mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.	51
Figura 9 b: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade do Cadmio mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.	51
Figura 9 c: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade do Chumbo mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.	52
Figura 9 d: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade do Cobre mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.	52
Figura 9 e: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade do Cromo mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.	53
Figura 9 f: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade do Níquel mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.	53
Figura 9 g: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade do Zinco mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.	54
Figura 10: Comparativo entre os teores médios por domínios e os valores de referência propostos pela Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004.	60
Figura 11: Comparativo entre os Valores Máximos e Desvio Padrão por domínios e os valores de referência propostos pela Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004.	61
Figura 12: Foto da cava principal do garimpo de Ponta de Serra.	64

Figura 13: Mapas da Geodisponibilidade de As, Ba, Cd, Pb, Ni, Zn, Co, Fe, Mo e V em Solo	65
Figura 13 a: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Arsênio em solo	66
Figura 13 b: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Bário em solo	66
Figura 13 c: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Cádmio em solo	67
Figura 13 d: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Chumbo em solo	67
Figura 13 e: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Cobre em solo	68
Figura 13 f: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Cromo em solo	68
Figura 13 g: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Cobalto em solo	69
Figura 13 h: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Ferro em solo.	69
Figura 13 i: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Molibdênio em solo	70
Figura 13 j: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Níquel em solo	70
Figura 13 l: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Vanádio em solo.	71
Figura 13 m: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Zinco em solo.	71
Figura 14: Mapas da Geodisponibilidade de Sb, As, Be, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Ni, Au, V e Zn, em Rochas da área de Confluência dos Rios Piranhas e Seridó.	75
Figura 14 a: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade de Antimônio em Rocha.	76
Figura 14 b: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade de Arsênio em Rocha.	76
Figura 14 c: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Berílio em Rocha.	77
Figura 14 d: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade de Cádmio em Rocha.	77

Figura 14 d: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Chumbo em Rocha.	78
Figura 14 e: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Cobalto em Rocha.	78
Figura 14 f: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Cobre em Rocha.	79
Figura 14 g: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Cromo em Rocha.	79
Figura 14 h: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Níquel em Rocha.	80
Figura 14 i: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Ouro em Rocha.	80
Figura 14 j: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Vanádio em Rocha.	81
Figura 14 l: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Zinco em Rocha.	81
Figura 15: Mapa da Cava principal do garimpo de Ponta de Serra.	84
Figura 16: Mapa de Localização das amostras de litogeoquímica na área de Tapera e Anastácia.	89
Figura 17: Mapa de Localização das amostras litogeoquímicas do garimpo Serra dos Patos.	90
Figura 18: Localização das amostras de litogeoquímicas do garimpo da Serra do Rodrigues	91
Figura 19: Mapa de localização das amostras litogeoquímicas no garimpo do Simpático	93
Figura 20: Detalhe da localização das amostras no garimpo do Simpático	93
Figura 21: Gráfico de Pizza da Proporção de Moradores de São Fernando abaixo da linha da pobreza e indigência – 2010	98

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATSRD	Agency for Toxic Substance and Disease Registry
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBERS	China-Brazil Earth-Resources Satellite
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
CERCLA	Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COGEOENVIRONMENT	Commission on Geological Sciences for Environmental Planning
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DATASUS	Departamento de informática do Sistema Único de Saúde do Brasil
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
EVA	Acidente Vascular Encefálico
IGCE	Instituto de Geociências e Ciências Exatas
IUGS	International Union of Geological Sciences
JORC	Joint Ore Reserves Committee
EPA	Environmental Protection Agency
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
MPE's	Micro e Pequenas Empresas
ONU	Organização das Nações Unidas
PGAGEM	Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica
PROIN	Programa de Apoio à Integração Graduação/Pós-Graduação
R.O.M.	Run of Mine
SIM	Situação da base de dados nacional
SGU	Geological Survey of Sweden
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
UNESP	Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
USEPA	United States Environmental Protection Agency
USGS	United State Geological Survey
UTM	Universal Translator Mercator
WHO	World Health Organization

### Símbolos Químicos

As = Arsênio; Al = Alumínio; Cu = Cobre; Cr = Cromo; Pb = Chumbo; Zn = Zinco; Cd = Cádmio; Ag = Prata; W = Tungstênio; Ti = Titânio; Sn = Estanho; Co = Cobalto; Sb = Antimônio; V = Vanádio; Mg = Magnésio; Y = Itrio; P = Fósforo; Bi = Bismuto; La = Lantânio; Ni = Níquel; Be = Berilo; Ta = tântalo; Li = Lítio; Co = Cobalto; Fe = Ferro; Sr = Estrôncio; S = Enxofre

### Unidades

dL = decilitro;  $\mu\text{g}/\text{dL}$  = Micrograma por decilitro; mg = miligrama; ppm = Porção por Milhão; ppb = Porção por Bilhão;  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  = miligrama por quilo;  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  = micrograma por litro;



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	1
<b>2 OBJETIVOS</b>	3
2.1 GERAL	3
2.2 ESPECÍFICOS	3
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b>	4
3.1 MEIO AMBIENTE	4
3.2 MINERAÇÃO	6
3.3 GEODISPONIBILIDADE DE METAIS	8
3.4 GEOLOGIA MÉDICA	12
3.5 VALORES NUMÉRICOS DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE	20
3.5.1 <b>Valores de Referência para Solo e Água</b>	21
3.5.2 <b>Valores de Referência para Sedimentos</b>	23
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	28
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	28
4.1.1 <b>Localização</b>	28
4.1.2 <b>Clima</b>	29
4.1.3 <b>Relevo e Hidrografia</b>	30
4.1.4 <b>Vegetação</b>	31
4.1.5 <b>Hidrografia</b>	31
4.1.6 <b>Geologia</b>	33
4.1.6 <b>Aspectos Sócios Econômicos</b>	36
4.2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	38
4.2.1 <b>Caracterização do solo, rocha, rejeitos e dos Sedimentos na área</b>	38
4.2.1.1 <i>Coleta de Amostras dos sedimentos ativos de corrente</i>	40
4.2.1.2 <i>Coleta de Amostras do Solo</i>	40
4.2.1.3 <i>Coleta de Amostras de Rochas</i>	41
4.2.2 <b>Tratamento das amostras</b>	41
4.2.3 <b>Análises Químicas</b>	42

4.2.4 Levantamento e mapeamento de geodisponibilidade de metais	43
4.2.5 Levantamento da incidência de doenças	47
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	49
5.1 GEODISPONIBILIDADE DE METAIS EM SEDIMENTO DE CORRENTE	49
5.1.1 Análise do Universo dos Dados	49
5.1.2 Síntese Estatística dos Metais em Sedimento de Corrente	55
5.1.3 Domínios Homogêneos da área de amostras de Sedimento de Corrente	58
5.1.4 – Comparação dos Valores Encontrados de Metais Pesados com os valores de Referência	59
5.2 GEODISPONIBILIDADE DE METAIS EM AMOSTRAS DE SOLOS	63
5.2.1 Análise do Universo dos Dados	63
5.2.2 – Síntese Estatística dos Metais no Solo e Comparação com os Valores de Referência	72
5.3 – GEODISPONIBILIDADE DE METAIS EM AMOSTRAS DE ROCHAS	75
5.3.1 Análise do Universo dos Dados Regionais	75
5.3.2 Síntese Estatística dos Metais presentes nas Rochas	82
5.3.3 Síntese Estatística da Geoquímica de Rocha por Garimpo	83
5.3.3.1 – <i>Garimpo de Ponta de Serra</i>	83
5.3.3.2 – <i>Garimpo Tapera / Anastácia</i>	88
5.3.3.3 – <i>Garimpo de Serra dos Patos</i>	90
5.3.3.4 – <i>Garimpo de Serra dos Rodrigues</i>	91
5.3.3.5 – <i>Encapinado</i>	92
5.3.3.6 – <i>Garimpo do Simpático</i>	93
5.4 INCIDÊNCIA DE DOENÇAS EM SÃO FERNANDO	95
5.4.1 Dados Gerais	95
5.4.2 Aplicação de Questionários	97
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	100
<b>7 RECOMENDAÇÕES</b>	103
<b>8 REFERÊNCIAS</b>	105
<b>10 ANEXOS</b>	117
10.1 ANEXO A: QUESTIONÁRIOS	117

10.1.1	Questionário Direcionado à População	117
10.1.2	Roteiro para Entrevista com os Responsáveis pela Saúde	118
10.1.3	Roteiro Direcionado aos Garimpeiros ou quem Vivenciou o Período de Garimpagem do Ouro	119
10.2	ANEXO B: MAPA GEOLÓGICO	120
10.3	ANEXO C:	122
10.3.1	Questionário Direcionado à População: Caracterização do Entrevistado	122
10.3.2	Questionário Direcionado à População: Respostas das Questões 01 à 05	124
10.3.3	Questionário Direcionado à População: Respostas das Questões 06 À 11	128
10.4	RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DO ROTEIRO PARA ENTREVISTA COM OS RESPONSÁVEIS PELA SAÚDE	132
10.5	ANEXO D	135

## 1 INTRODUÇÃO

A Mineração é a atividade relativa à extração e beneficiamento de minerais e rochas que remonta ao berço da civilização, sendo apontada como determinante para a sobrevivência da raça humana, de tal forma que definiu os períodos da pré-história em Idade da Pedra (Paleolítico, Mesolítico e Neolítico) e dos Metais (Cobre, Bronze e Ferro). É um termo genérico que engloba a garimpagem, a mineração ou garimpagem artesanal, a mineração ou garimpagem de pequena escala e a mineração industrial, uma vez que todas estas denominações se referem a particularidades da extração e beneficiamento mineral.

A questão ambiental entrou definitivamente na pauta da indústria mineral brasileira na segunda metade da década de oitenta com a vigência da Resolução 001/86 do (CONAMA) Conselho Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1986) e da Constituição Federal (BRASIL, 1988). A interferência de um empreendimento mineiro (ou qualquer outro) em uma área pode ocasionar alterações positivas e/ou negativas em uma ou várias características dos meios físico, biótico e social (Impactos Ambientais).

A geodisponibilidade de alguns elementos químicos numa área pode contribuir para inúmeras doenças devido ao seu excesso, ou a sua escassez, no corpo humano. Esses elementos estão geodisponíveis naturalmente nos minerais e rochas que integram a geodiversidade de uma área e/ou artificialmente através da intervenção antrópica. Os metais pesados podem entrar no ciclo geológico através de processos naturais físicos, químicos e/ou biológicos, podendo, por exemplo, ser lixiviados pelas águas meteóricas, se dispersando através do transporte pelo vento, águas superficiais e subterrâneas, infiltrando no solo, contaminando a vegetação, os animais, até chegar ao homem, muitas vezes biomagnificados provocando várias doenças. Os processos antrópicos têm na mineração um dos seus principais agentes de exposição e dispersão de metais, além da agricultura e das indústrias em geral.

O estudo da geodisponibilidade dos elementos químicos numa área é o objeto da Geoquímica Ambiental, enquanto as relações entre esses elementos e a saúde humana é o foco da Geologia Médica, alçada só recentemente a um ramo da ciência de caráter multi e interdisciplinar (10 anos). A importância dessas ciências pode ser atestada pela tutela de organismos internacionais como a (ONU) Organização das Nações Unidas e a (UNESCO) Organização para a Educação, a Ciência e a Cultura das Nações Unidas,

através do projeto nº 454 que reúne cientistas de todo o mundo (SELINUS, 2004). No Brasil, o governo patrocina o Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica – PGAGEM liderado pela (CPRM) Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil (SELINUS, 2005). No nordeste e particularmente no Rio Grande do Norte começam a surgir redes emergentes de pesquisa na área.

Os casos de intoxicação por metais se avolumam ao longo da história tendo repercussões mundiais aqueles de exposição ao Arsênio na Tailândia e em Bangladesh, expondo milhares de pessoas a doenças; do mercúrio em Minemata-Japão em 1953, responsável pela morte de 79 pessoas; os inúmeros casos de fluorose na China devido principalmente ao uso de carvão como combustível no interior daquele país, os vários casos de exposições à radioatividade natural e artificial como o da mina Caetité na Bahia, Caldas no sul de Minas Gerais, entre vários outros casos.

Na área de confluência dos rios Seridó e Piranhas, entre os municípios de Timbaúba dos Batista, Caicó, Jardim de Piranhas e São Fernando (RN), objeto deste estudo, nenhuma pesquisa na área de Geoquímica Ambiental e Geologia Médica foi realizada até o presente momento. Na área de geociências o foco dos trabalhos nesta área tem sido a geocronologia, petrologia, mapeamento geológico e a prospecção mineral, uma vez que contém mineralizações metálicas de ouro, tungstênio e bário que já foram exploradas artesanalmente por garimpeiros expondo ao meio ambiente esses metais e aqueles que com eles formam associações geoquímicas.

A diversidade dos elementos químicos geodisponíveis provém ainda das diferentes litologias, e seus minerais constituintes, que afloram na área e conta ainda com o incremento da ação antrópica através das atividades de extração e beneficiamento mineral que expuseram rejeitos de lavra e de processamento mineral ao ar livre colocando a saúde da população em risco e sendo, possivelmente, responsável pelo alto índice de câncer no município de São Fernando, o que motivou a realização desse trabalho.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

Avaliar a geodisponibilidade de Metais Pesados prejudiciais a saúde humana na área de confluência dos rios Piranhas e Seridó, entre os municípios de Timbaúba dos Batistas, Caicó, Jardim de Piranhas e São Fernando, no Estado do Rio Grande do Norte e comparar suas concentrações com os valores de referência apresentados em Resoluções e na literatura corrente.

### **2.2 ESPECÍFICOS**

- a) Caracterizar a geodisponibilidade de elementos químicos nos sedimentos de corrente, no solo e nas rochas da área;
- b) Determinar a composição química das fontes de contaminação de metais na área de confluência dos rios Piranhas e Seridó e os metais que se dispersaram a partir dessas fontes;
- c) Levantar e mapear a geodisponibilidade de Metais Pesados e comparar com valores de referência;
- d) Identificar a presença de Metais Pesados causadores de malignidades como aquelas responsáveis pela elevada incidência de câncer entre os habitantes de São Fernando;

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. MEIO AMBIENTE

O termo Degradação Ambiental<sup>1</sup>, possui uma conotação negativa e é empregado a qualquer alteração adversa da Qualidade Ambiental (SANCHEZ, 2008). Está relacionado à perda de alguma característica do meio ambiente. Johnson et al. (1997, p. 583), porém, restringem a Degradação Ambiental as causas artificiais, uma vez que, para esses autores, as causas naturais provocam apenas Mudanças Ambientais. Aqui nós incluímos estas como promotoras de Degradação Ambiental acrescentada da assertiva de Sanchez op. cit. que o estende a qualquer tipo de ambiente, tanto o natural como o construído. O Impacto Ambiental sempre se refere à resultante da implantação de um empreendimento em uma área.

Já o termo Passivo Ambiental é controvertido quanto a sua conotação. Inicialmente lhe foi vinculado um sentido negativo, pois as empresas que os possuem seriam aquelas que, de alguma forma, degradaram o meio ambiente e ainda não fizeram as inversões necessárias a sua Mitigação, Restauração, Reabilitação, Remediação ou Recuperação (senso URBANSKA et al. 1997). Tinoco e Kraemer (2004, p. 178) alegam que tais Passivos Ambientais podem ser oriundos de atitudes ambientalmente responsáveis para, dessa forma, se contrapor a negatividade com que o termo é vinculado. A vinculação à área degradada e não recuperada define bem o Passivo Ambiental independentemente da intenção do causador.

A atividade de Mineração é apontada como uma das principais causadoras de Degradação Ambiental (SANTOS e ARAÚJO 2010; SÁNCHEZ, 2008; FARIAS, 2002; BARRETO, 2003 entre outros). As principais alterações ambientais, grosso modo, foram listadas pela PROIN/CAPES e UNESP/IGCE (1999) como sendo: retirada da cobertura vegetal; alteração da superfície dos terrenos; aceleração da erosão; indução de escorregamentos; alteração de cursos d'água; produção de rejeitos; assoreamento de cursos d'água; potencialização de enchentes e inundações; interceptação do lençol freático; aumento da turbidez e de sólidos em suspensão nos corpos d'água receptores;

---

<sup>1</sup>O Inciso II do artigo 3º da [Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981](#) (Lei da Política Nacional de Meio Ambiente) define “Degradação da qualidade ambiental, como a alteração adversa das características do meio ambiente”. No Inciso III são listadas como as atividades causadoras da poluição e degradação da qualidade ambiental aquelas que prejudicam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, criadora de condições adversas às atividades sociais e econômicas, que afetem desfavoravelmente a biota e as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente e que lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

lançamento de fragmentos de rocha; sobrepressão do ar; propagação de vibrações no solo; aumento de partículas em suspensão no ar; aumento de ruídos, etc.

Figueiredo (2010) reconhece impactos ambientais negativos em todas as fases da Mineração desde a Prospecção e Pesquisa Mineral, passando pela Lavra (Extração) e pelo Beneficiamento e Refino de Minérios e, finalmente, o Fechamento da Mina. Na fase de Prospecção e Pesquisa Mineral, Figueiredo (2010) lista, entre outros, os impactos devido à abertura de trincheiras, poços de pesquisa, praças para equipamentos de sondagem, acessos para os equipamentos de geofísica, entre outros serviços típicos desta etapa causando alteração do cenário paisagístico, aceleração de processos erosivos, mudanças na fauna e flora.

Na fase de Lavra, além dos danos à vegetação e à paisagem promovidas pelas lavras a céu aberto são listados o rebaixamento do lençol freático, a exposição aos processos de oxidação de um grande volume de rochas (material exposto por decapeamento, pilhas de minério, rejeitos de run of mine, etc), drenagens ácidas (e suas inúmeras implicações), geração de pó e ruídos e a radioatividade.

Nas fases de beneficiamento e refino de minérios os impactos advindos das grandes áreas ocupadas pela disposição de pilhas de rejeitos, efeitos de substâncias indesejáveis nas águas superficiais e subterrâneas, solos e sedimentos, emissões na atmosfera “de SO<sub>2</sub> hidrocarbonetos, flúor e outras substâncias tóxicas podem ocorrer durante a fase de beneficiamento dos minérios e refino dos metais” (FIGUEIREDO 2010, p. 327). A última fase da mineração é a exaustão do Depósito Mineral e o consequente fechamento da mina acarretando várias demandas dos meios físicos, bióticos e sociais como aquelas citadas pelo “World Bank and International Finance Corporation Mining and Development” (2002), a denominada “Elements of Social Mitigation” (Elementos de Mitigação Social), onde se inclui o desemprego, a interrupção da geração de renda (PINHEIRO, 2008) e de toda uma dinâmica social propiciada pela atividade produtiva que se encerra. Acrescentam-se ainda àquelas citadas por Figueiredo (2010, p. 326): a perda e alteração de solos, liberação substâncias tóxicas para as drenagens a partir das minas, das bacias e pilhas de rejeitos, provável alteração das águas subterrâneas, da flora e faunas originais.



As MPE's e as Minerações Artesanais apresentam muito desses impactos listados para as Minerações Industriais, alguns acrescidos dos agravantes de falta de orientação técnica em todos os aspectos (extração, beneficiamento, acondicionamento de rejeitos etc.) o que potencializa os efeitos negativos do impacto ambiental. A degradação da área relativa à disposição de metais no meio ambiente acrescentando conteúdo metálico àquele naturalmente geodisponível, afetando tanto a saúde ocupacional como a da população do entorno até o limite da área de influência desses impactos.

### 3.2 MINERAÇÃO

Para entendermos os termos relativos à atividade de exploração mineral, iniciemos com o significado de Recurso Mineral, um Recurso Natural não renovável classificado, grosso modo, em metálico quando o objeto da exploração do mineral é um elemento químico, e não-metálico quando o interesse é numa propriedade física do mineral. É uma concentração de alguma substância mineral natural a qual, após estatisticamente medida, devidamente estudada segundo regras, métodos e ferramentas, recebe a denominação de Reserva Mineral (JORC CODE, 1999).

Depósito Mineral é todo e qualquer Recurso Mineral, enquanto Jazida Mineral é o Depósito Mineral que apresenta viabilidade técnica e econômica de exploração. Quando não o termo Ocorrência Mineral tem sido empregado para designar o Depósito Mineral. Essa exequibilidade é relativa uma vez que varia no tempo e no espaço segundo Maranhão (1983).

A Garimpagem, conforme definida por lei (Parágrafo Único do Artigo 1º da Lei Nº 7.805, de 18 de julho de 1989) e pelo Estatuto do Garimpeiro (Lei 11.685, de 02/06/08), dispensa os estudos prévios de Pesquisa Mineral<sup>2</sup> já iniciando as atividades de extração e beneficiamento mineral em bens minerais garimpáveis especificados pelo parágrafo primeiro do artigo 5º do Decreto Nº 98.812, de 9 de Janeiro de 1990. O uso predominante de equipamentos manuais e rudimentares, que anteriormente definia legalmente a garimpagem (Código de Mineração Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967), hoje é empregado para definir a Mineração Artesanal (ou Garimpagem

---

<sup>2</sup>O Código de Mineração no seu Artigo 14 (DNPM, 1991) conceitua a Pesquisa Mineral como sendo a “execução dos trabalhos necessários à definição da jazida, sua avaliação e a determinação da exequibilidade do seu aproveitamento econômico”.

Artesanal). A mineração de pequena escala é uma classificação relativa à quantidade de minério produzida, tendo sido classificada nos portes pequeno, médio e grande e em nove classes segundo a produção em toneladas de Run of Mine (NEVES & SILVA, 2007, p.2).

TABELA 1 – Minas brasileiras classificadas pela produção bruta de R.O.M. (ton/ano).

Portes das minas	Classes	Maior que	Menor ou igual a
Grandes	G2	3.000.000	
	G1	1.000.000	3.000.000
Medias	M4	500.000	1.000.000
	M3	300.000	500.000
	M2	150.000	300.000
	M1	100.000	150.000
Pequenas	P3	50.000	100.000
	P2	20.000	50.000
	P1	10.000	20.000

Fonte: NEVES & SILVA (2007, p. 2).

A receita bruta anual, nos termos estabelecidos pela Lei n. 9.841/99 nos Artigos 170 e 179 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), tem sido tentativamente utilizada para classificar as empresas quanto à escala de produção, como o fez Lima (2007), mas isso não reflete a realidade, tendo em vista a enorme diferença de preços entre as diferentes commodities minerais implicando que empresas com menor produção de um bem mineral mais valioso podem gerar receitas brutas anuais superiores a outras que tem uma grande produção de minério de baixo preço. No caso dos bens minerais metálicos o teor da jazida é outro aspecto a considerar, pois quanto maior o teor da substância útil na rocha que hospeda a mineralização menor será a quantidade de material a ser lavrada para se atingir uma determinada produção. O contrário ocorre com jazidas de baixo teor, como pode ser exemplificado pelas atividades de lavra da empresa Rio Paracatu Mineração S/A. Aquela classificação de Neves & Silva op. cit. apresentada na Tabela 1, portanto, atende as necessidades de classificação quanto ao porte de produção e lista, no Brasil, 2.641 minas legalizadas no ano de 2006, das quais 130 de grande porte, 625 de médio porte e 1.886 de pequeno porte, ou 71,4% do total. Destas 2.597 são mineração a céu aberto, 41 são subterrâneas e 3 mistas.

O Banco Mundial (2011) estima que a Mineração Artesanal e de Pequena Escala seja praticada em aproximadamente 50 países e justamente nas áreas mais pobres e sem muitas alternativas de obtenção de emprego e rendas, dela dependendo cerca de 100 milhões de pessoas das quais aproximadamente 1,5 milhão de crianças abaixo de 18

anos. Aquele banco apresenta uma ampla lista de commodities minerais exploradas pelos mineradores artesanais citando pedras preciosas, ouro, cobre, cobalto, coltan (columbita-tantalita), carvão e outros minerais industriais. Esse segmento, segundo Barreto (2003, p. 5) é responsável por 15 a 20% da produção mundial de minerais não combustíveis, 90% a 100% das pedras preciosas produzidas, 80% a 100% de diamantes (não incluídos os grandes produtores) e, no caso do ouro, de 50% a 100% em alguns países em desenvolvimento. Calcula-se, no mesmo estudo, que mais de 13 milhões de pessoas trabalham na MPE e que 80 a 100 milhões de pessoas dependem da mesma para subsistência (OIT, 1999). Essas informações traduzem em números a pujança e a importância social das (MPE's) Micro e Pequenas Empresas a nível mundial.

A informalidade é apresentada como típica da MPE atingindo, segundo Barreto (2003, p. 6), 90% das 10.000 minas de pequena escala brasileiras as quais geram de 250.000 a 100.000 empregos. Essa característica é ainda mais forte na Mineração Artesanal, bem como aquelas apontadas por Chaparro (2002) apud Barreto (2003, p. 8) para as MPE's, quais sejam: Intensa utilização de mão-de-obra; Conflitividade social e legal; Baixo desenvolvimento tecnológico; Deterioração ambiental; Geração de encadeamentos produtivos locais; Precárias condições de segurança e higiene e; Baixos custos de produção. Esses pontos são ainda mais pronunciados na Mineração Artesanal.

Por outro lado, a Mineração Industrial tem como características marcantes a formalidade, utilização intensiva de máquinas e equipamentos industriais, organização e estrutura empresarial, trabalhos de pesquisa e prospecção mineral antecedendo e acompanhando a Lavra, resultando na extração de minérios de uma Reserva Mineral, lavra metodológica conforme descrições de Germani (2002) e acompanhamento e supervisão por profissionais de nível superior que, em geral, gerenciam as atividades de pesquisa, lavra e tratamento de minérios. A formalidade favorece a fiscalização mineral e ambiental e o cumprimento da legislação inerente possibilitando ressaltar os impactos positivos e atenuar os negativos.

### 3.3 GEODISPONIBILIDADE DOS METAIS

A Geoquímica estuda os elementos químicos presentes na Geosfera<sup>3</sup>, seus processos de dispersão, associação e mobilidade. Esses processos são característicos dos elementos químicos relacionados, entre outros fatores, à abundância normal deles na

---

<sup>3</sup>Geosfera é “um conjunto integrado de diversos sub-sistemas como a litosfera, hidrosfera, biosfera, atmosfera e tecnosfera constituindo um sistema aberto e de grande complexidade” [...] (LICHT, 2001 p. 6)

crosta terrestre, também denominada de Clarke (tabela 2). Esses elementos, segundo Rose et al. 1979, podem estar aumentados naquelas rochas que naturalmente possuem teor alto de determinado elemento, denominada de metalotecte, como é o caso das rochas ultrabásicas ( $\text{SiO}_2 < 45\%$ ) em geral serem metalotectes de Cr, V e Ni, o granito da cassiterita (Sn), dos pegmatitos serem metalotectes do tântalo (Ta), berilo (Be), etc. Isso não quer dizer que essas rochas não possam ser Metalotectes de outros elementos químicos e nem que o único metalotecte desses elementos químicos são as rochas citadas.

TABELA 2. Clarke (abundância normal) de alguns elementos químicos nas rochas da crosta terrestre

<b>Elemento</b>	<b>Abundância em ppm</b>	<b>Elemento</b>	<b>Abundância em ppm</b>	<b>Elemento</b>	<b>Abundância em ppm</b>
Bromo	1,8	Cádmio	0,1	Cálcio	33000
Carbono	230	Cério	81	Césio	3
Chumbo	10	Cloro	130	Cobalto	25
Cobre	50	Cromo	100	Escânio	13
Estanho	50	Estrôncio	300	Flúor	600
Fósforo	900	Ferro	46500	Iodo	0,15
Lítio	30	Magnésio	17000	Manganês	1.000
Mercúrio	0,02	Molibdênio	0,15	Nióbio	20
Níquel	75	Ouro	0,003	Oxigênio	473000
Prata	0,05	Platina	0,0005	Potássio	250000
Rubídio	150	Selênio	0,1	Silício	291000
Sódio	25000	Tântalo	2	Titânio	4400
Thório	10	Tungstênio	1	Urânio	2,5
Vanádio	150	Zinco	2	Zircônio	150

Fonte: (ROSE et al, 1979)

A quantidade normal (Clarque) e a quantidade normal aumentada nos Metalotectes (também Clarke) nada têm a ver com as anomalias sob o ponto de vista econômico. Essas dependem de um fator de enriquecimento expresso em termos de teor de Corte (Cut-off) que leva em conta as variáveis econômicas de viabilidade de projetos industriais mineiros, custos operacionais, faturamento etc., as quais mudam constantemente na dependência do valor da commodity na bolsa, custos, políticas etc. Assim, um Depósito Mineral (e o seu teor de corte) pode ser viável economicamente em determinado momento, mas em outro não.

A dinâmica geológica, ou ciclo geoquímico, responsável pelo transporte e modificação dos elementos, hoje também explicada à luz da Tectônica de Placas,

envolve fusão, cristalização, erosão (intemperismo + transporte), dissolução, precipitação, vaporização e decaimento radioativo (ROSE et al. op. cit.), cada um definindo um ambiente cujas características de P, T, Eh, pH, entre outros parâmetros, regula a mobilidade e a permanência dos elementos químicos.

A superfície terrestre é o limite entre dois ambientes geoquímicos distintos (ROSE et al, 1979; e HAWKES e WEBB, 1962), sendo o profundo aquele onde predominam os processos magmáticos e metamórficos, sob condições de elevadas temperaturas e pressões, circulação restrita de fluidos e oxigênio livre pouco disponível. No ambiente superficial predominam os processos sedimentares (erosão, sedimentação, diagênese, dissolução, hidrólise e oxidação), caracterizado por baixas pressões e temperaturas, abundância de oxigênio livre e circulação de água, relacionando-se diretamente com a atmosfera, hidrosfera, biosfera, tecnosfera, a maioria dos processos biológicos e antrópicos.

A Dispersão é entendida como um processo que produz a distribuição ou a redistribuição de elementos por meio de agentes físicos, químicos e biológicos. A Mobilidade Geoquímica de um elemento químico pode ser definida como a facilidade de sua movimentação no ambiente (secundário ou primário) ou, de outra forma, é o valor do seu potencial iônico (quociente da carga iônica pelo raio iônico) implicando numa maior mobilidade para aqueles elementos mais solúveis (ex: Cu, Pb, Zn, Cd e Ag) e menor mobilidade para aqueles elementos menos solúveis (ex: W, Ti, Sn). Rose et al, (1979) alerta-nos que aqueles elementos com potenciais iônicos muito elevados combinam-se com o oxigênio e formam oxi-ânions solúveis ( $\text{PO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{MoO}_4^{2-}$ ). “Diferenças no estado de oxidação (valência) também resultam em mobilidades diferentes” (ROSE et al. 1979 e LICHT, 2001 p. 15).

Segundo Cavalcanti Nt. & Rocha da Rocha (2011), os Metalotectes podem ser encontrados com uma série de elementos químicos e/ou minerais que se caracterizam pela afinidade e por estarem juntos em determinados ambientes geológicos. Geoquimicamente os elementos podem ser agrupados de acordo com suas afinidades para formarem ligações químicas. Goldschmidt (1954) in Cavalcanti Nt. & Rocha da Rocha (2011, p. 11) classificou-os em: siderófilos (afinidade pelo ferro), calcófilos (afinidade pelo enxofre), Litófilos (afinidade pela sílica), Atmófilos (afinidade pelo oxigênio e presente na natureza na forma gasosa). Essa relação de afinidade entre os

elementos químicos possibilita a pesquisa de minerais mais raros. Assim, a Pesquisa Mineral enfoca o elemento mais abundante em Associação Geoquímica com aquele mais raro ou de dispersão mais restrita (CAVALCANTI NT & ROCHA DA ROCHA 2011, p. 12.). Este é o elemento farejador (pathfinder).

Durante o “Ciclo da Mineração no Nordeste” (década de 40 até meados dos anos 80) várias frentes de extração mineral foram abertas (PARAHYBA *et al* 2009), inclusive as intensas atividades de garimpagem de ouro entre os municípios de Caicó, Timbaúba dos Batista, Jardim de Piranhas e São Fernando, no Estado do Rio Grande do Norte, recorte geográfico deste trabalho. Sendo a legislação ambiental brasileira da segunda metade da década de 80, esta não alcançou as degradações pretéritas e, ainda que alcançassem, esbarrariam na impossibilidade de seu cumprimento pelos garimpeiros, uma vez que estes não tinham os recursos financeiros necessários à Mitigação, Restauração, Reabilitação, Remediação ou Recuperação (senso URBANSKA *et al. op. cit.*). Dessa forma as atividades de extração mineral no semiárido do RN, sem exceção, geraram um enorme Passivo Ambiental já consolidado. Este é um período marcado pela ausência de políticas mais efetivas que obrigassem a empresa e o empreendedor a recuperarem o Passivo Ambiental. Reflete a tendência do apogeu das políticas nacionais desenvolvimentistas (NEDER, 2001), seu posterior arrefecimento durante o período dos militares no poder e o pós-desenvolvimentismo neoliberal que afastava o Estado das atividades econômicas, especialmente suas regulamentações e fiscalização. A entrada em vigor da Resolução CONAMA 001/86, coincide com o fim do ciclo da mineração de minerais metálicos no semiárido do RN.

Por outro lado, a mineração representa uma atividade industrial que será sempre necessária para o bem-estar das sociedades, embora produza impactos ambientais significativos em todas as suas fases: prospecção e pesquisa, extração, beneficiamento, refino e fechamento de mina (MUNIZ e OLIVEIRA-FILHO, 2006; LICHT, 2005 entre outros). Na Mineração Artesanal somam-se outras questões que demandam análises mais complexas como aquelas de ordem social, uma vez que, grande parte dos garimpeiros é, na realidade, o sertanejo que busca na extração mineral uma alternativa de sobrevivência aos efeitos da seca. Sem recursos financeiros não são feitas as inversões em tecnologia, máquinas e equipamentos de mineração para se ter uma produção mais eficiente e atenuar a degradação ambiental, resultando em processos de

extração e processamento mineral por métodos inadequados (SOUSA, 1997 e BECKER, 1990), implicando em desperdícios de mais de 50% como aqueles contabilizados por Cavalcanti Nt e Brito (2009, p. 26). O elevado desperdício, devido à baixa taxa de recuperação, gera rejeitos ricos em conteúdos metálicos que poderiam ser re-aproveitados e, assim, se constituírem numa excelente oportunidade de negócio por se tratar de um depósito de cubagem fácil, de baixo custo de produção, uma vez que as etapas de extração e cominuição já foram realizadas pelos garimpeiros e reduzido risco de retorno do capital investido uma vez que as informações prévias à lavra e beneficiamento, propiciadas pela Pesquisa Mineral e a conseqüente obtenção de Reservas Minerais implicam na necessidade de investimento de poucos recursos financeiros. Esses tipos de Depósitos Minerais, denominados de Antropogênicos por Cavalcanti Nt & Brito (2009), têm características intrínsecas de comportamento que favorecem essas facilidades, como a tendência a homogeneização do teor e de regularidade estatística (baixo coeficiente de variação), também observada, via de regra, nos depósitos minerais secundários.

### 3.4 GEOLOGIA MÉDICA

A relação entre os elementos químicos que compõem as rochas, solos e os minerais com a saúde humana (e animal) não é nenhuma novidade, apesar de ganhar certa notoriedade nas últimas duas décadas. Por volta de 375 A.C., Hipócrates já descrevia a intoxicação em mineiros por chumbo. As populações inseridas em ambientes geológicos onde os elementos químicos ocorrem em concentrações altas ou muito baixas podem ser afetadas por doenças características associadas ao excesso ou à deficiência desses elementos (SELINUS, 2005 p. 2). O corpo humano é composto de muitos dos elementos químicos presentes na Tabela Periódica que interagem com órgãos humanos e com outros elementos formando as mais variadas substâncias, e desempenhando as mais variadas funções. Essas substâncias são formadas e consumidas a velocidades que variam de frações de segundos até anos, onde diversas variáveis estão envolvidas.

As plantas retiram do ar e da água os elementos C, O e o H. Os demais elementos essenciais ao seu crescimento (P, K, Ca, Mg, S, Zn, B, Fe, Mn, Mo, Co, Cl

entre outros) são geogênicos, ou seja, de origem geológica uma vez que as plantas retira-os das rochas e solos. Os elementos nutrientes são identificados, segundo LICHT (2001, p. 55) como macronutrientes primários (N, P, K), macronutrientes secundários (Ca, Mg, S) e micronutrientes (Fe, Mn, B, Co, Mo, Zn).

Outros autores incluem outros elementos entre os micronutrientes. Em função da essencialidade dos elementos para homens e animais, Selinus (2005, p. 3) apresenta uma classificação em principais elementos (cálcio, cloro, magnésio, fósforo, potássio, sódio e enxofre) e elementos-traço essenciais (cromo, cobalto, cobre, flúor, ferro, manganês, molibdênio, zinco e selênio). Os elementos que provavelmente não participam dos processos biológicos são chamados elementos não-essenciais e, frequentemente, apresentam propriedades perigosas, sendo listado como exemplo: o arsênio, o cádmio, o mercúrio e o chumbo (SELINUS, 2004 e SELINUS, 2005). Uma das mais utilizadas é a classificação nutricional dos elementos minerais que agrupa os elementos em: Macronutrientes (Macroelementos) essenciais: Ca, P, Na, K, Cl, Mg, S (necessários em quantidade de 100 mg/dia ou mais); Micronutrientes essenciais ou Oligoelementos: Fe, Cu, F, Co, Zn, Cr, Mn, I, Mo, Se (necessários em quantidades não superiores a 1 mg/dia); Micronutrientes possivelmente essenciais: Sn, Si, Va e Elementos contaminantes: Pb, Cd, Hg, As, Ba, Sr, B, Al, Li, Be, Rb, (CORTECCI, 2000).

Silva et al. (2005) elenca 25 elementos considerados essenciais ao adequado funcionamento do corpo humano, destacando o C e N, além do H e O formadores da água responsável por 60% da massa corporal. Os outros 21 elementos são classificados em macronutrientes em concentrações maiores que 0,1% da massa corporal (Ca, Cl, P, K, Na, S) e micronutrientes, com concentrações corpóreas abaixo de 0,1% (Mg, Si, Fe, F, Zn, Cu, Mn, Sn, I, Se, Ni, Mo, V, Cr, Co). A presença de alguns dos elementos não essenciais e a ausência, deficiência ou o excesso de micro e macronutrientes pode causar doenças, como por exemplo, arsenicose (As), hidrargirismo (Hg), berilose (Be), saturnismo (Pb), entre várias outras, e até serem letais. A questão da deficiência / excesso de elementos químicos (Figura 1) já tinha sido observada por Paracelsus (1493-1541) que anunciou a lei básica da toxicologia: *“Todas as substâncias são venenos; não há uma única que não o seja. A dose certa diferencia um veneno de um remédio”*. Singh



(2006) apresentou a tabela periódica mostrando os elementos essenciais e os tóxicos (ver tabela 3).

TABELA 3: Tabela periódica mostrando os elementos essenciais e os tóxicos

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

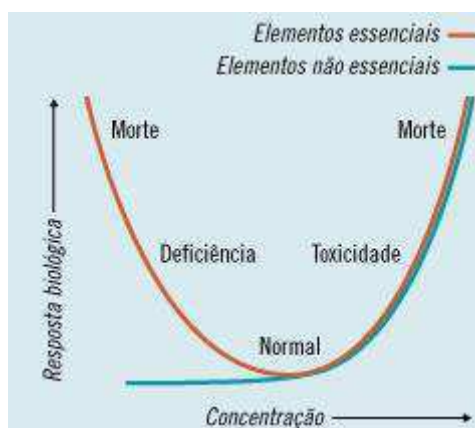
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	P	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

	Essencial
	Tóxico
	Essencial e Tóxico

Parcialmente compilado de Singh(2006, p. 13)

Essa relação entre saúde e elementos químicos disponíveis na geosfera é o campo de interesse da Geologia Médica. Selinus *op. cit.* define a Geologia Médica como a “ciência que estuda a influência de fatores geológicos ambientais e a saúde humana e dos animais”. A contribuição interdisciplinar é essencial, requer atuação de profissionais de diferentes áreas científicas, como geólogos, médicos, odontólogos, veterinários, toxicologistas, biólogos, geógrafos, químicos, agrônomos, sociólogos entre outros. Devido à importância dos fatores geológicos para a saúde, a comissão COGEOENVIRONMENT (Comissão das Ciências Geológicas para o Planejamento Ambiental) do IUGS (International Union of Geological Sciences), criou em 1996 o *International Working Group on Medical Geology* coordenado pelo *Geological Survey of Sweden*, SGU, com o principal objetivo de aumentar a consciência dessa questão entre os cientistas, especialistas médicos e o público em geral.

Figura 1: Curva Dose-Efeito.



Fonte: Selinus, 2005

Os principais autores desse novo ramo da ciência, Cheremisinoff & Graffa (1995), Selinus (2005), Selinus *et al.* (2005), Skinner & Berger (2003), Singh (2006), Figueiredo (2010), Light (2005), entre outros alertam sobre os pontos importantes a serem investigados na relação causa e efeitos entre as doenças e os elementos químicos:

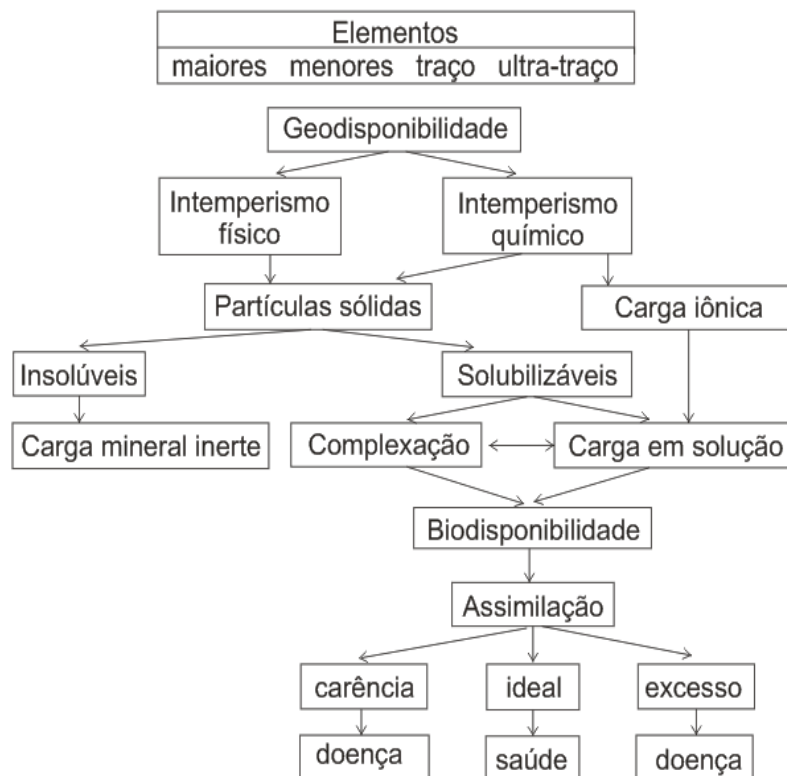
- (i) As fontes naturais e artificiais de elementos químicos;
- (ii) A exposição e a
- (iii) Biodisponibilidade (forma química adequada para ser assimilada pelos organismos).

As rochas e os minerais se constituem na fonte de elementos químicos geodisponíveis que naturalmente se tornam biodisponíveis, através dos mais variados processos geológicos (LICHT e ARIOLI, 2009), ou artificialmente pela ação antrópica (FIGUEIREDO, 2010). Essa evolução dos elementos químicos das formas geodisponíveis para as biodisponíveis está sintetizada na figura 2.

Os metais que participam das assinaturas geoquímicas dos principais tipos de depósitos de ouro do mundo são: As, Ag, Ba, Bi, Co, Cu, F, Fe, Hg, K, LREE (Light Rare Earth Elements), Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Sn, Te, Tl, U, W, Zn. Alguns destes são Macronutrientes Essenciais, outros Micronutrientes Essenciais (Oligoelementos) e Possivelmente Essenciais. A maioria, entretanto, está classificada como contaminante. Destes cabe destacar aqueles que possuem, comprovadamente através de inúmeros estudos, ação nociva à saúde humana, com destaque para o As, Pb, Co, U e Sb. Estão

comprovadas as relações entre o flúor e a fluorose dentária e esquelética; entre o iodo e desordens do funcionamento da glândula tiroide, como é o caso do bócio (THORNTON, 1993) e entre o arsênio e lesões e cancro da pele, como no caso de Bangladesh (NG et al., 2003).

Figura 2: Evolução dos elementos químicos das formas geodisponíveis para as biodisponíveis.



Fonte: LICHT & ARIOLI (2009, p. 14).

O Arsênio é um contaminante que leva de 10 a 20 anos para se manifestar, e o faz geralmente na forma de câncer conforme atestado por vários cientistas (NG et al. 2003, WHO, 2001, BORBA, 2002, FIGUEIREDO et al 2007, COSTA et al. 2010, RODRIGUES e MALAFAIA 2008 e 2010). Sua absorção depende, segundo Sakuma (2004) e ATSDR (2007 a), do estado nutricional do indivíduo, a dose ingerida e o tempo de exposição, como, de regra, para todo e qualquer agente tóxico. A exposição crônica ao As (principalmente nas formas inorgânicas trivalentes e pentavalentes) pode causar sérios problemas metabólicos às pessoas incluindo hiperqueratose, câncer de pele, câncer pulmonar, distúrbios do sistema nervoso, aumento da frequência de abortos espontâneos e outras doenças graves (ABERNATHY et al., 1997), hiper e hipopigmentação, ceratose, hipertensão, doenças cardiovasculares e diabetes (NG et al.

2003). É considerado o elemento químico mais perigoso de uma lista da Priority List of Hazardous Substances CERCLA (2007) - COMPREHENSIVE ENVIRONMENTAL RESPONSE, COMPENSATION AND LIABILITY ACT (ver Quadro 1), seguido pelo chumbo e pelo mercúrio. Atualmente, a concentração máxima permitida de As para águas potáveis é de 10 µg L<sup>-1</sup> (Portaria 518/2004-Ministério da Saúde) e para águas de superfície e subterrânea 10 µg L<sup>-1</sup> (Resolução 357/2005-CONAMA), valor este também indicado pela Organização Mundial da Saúde (FIGUEIREDO *et al.*, 2007). São inúmeros os exemplos de contaminação por As pela mineração como foi o caso em uma mina de cassiterita na Tailândia com concentrações de até 5000 µg L<sup>-1</sup> em águas subterrâneas e o famoso caso de contaminação por As em mais de 90% das águas de poços em Bangladesh (WHO 2001, ATSDR 2009) contaminando 42 milhões de pessoas (SMEDLEY e KINNIBURG, 2002).

QUADRO 1: Extrato da Lista da CERCLA (2011) de Alguns Elementos Perigosos à Saúde Humana.

RANK EM 2011	NOME DA SUBSTÂNCIA	TOTAL DE PONTOS	RANK EM 2007	CAS RN
1°	ARSENIO	1665,5	1°	007440-38-2
2°	CHUMBO	1529,1	2°	007439-92-1
3°	MERCÚRIO	1460,9	3°	007439-97-6
7°	CADMIO	1318,7	7°	007440-43-9
17°	CROMO HEXAVALENTE	1146,6	18°	018540-29-9
35°	CIANETO	1071,9	28°	000057-12-5
43°	BERÍLIO	1032,7	42°	007440-41-7
52°	COBALTO	1010,9	49°	007440-48-4
57°	NIQUEL	998,7	53°	007440-02-0
75°	ZINCO	919,1	74°	007440-66-6
78°	CROMO	897,5	77°	007440-47-3
24°	CHUMBO-210	805,1	125°	014255-04-0
125°	COBRE	804,7	128°	007440-50-8
126°	BÁRIO	804,7	109°	007440-39-3
140°	MANGANES	799,4	117°	007439-96-5
217°	PRATA	608,1	214°	007440-22-4

CAS RN =Chemical Abstracts Service Registration Numbers  
 FONTE: CERCLA (2011)

A prata, segundo Faust (1992), produz danos corrosivos do trato gastrointestinal, dor abdominal, diarreia, vômitos, choque, convulsões e morte. As intoxicações leves provocadas pelo bário (sulfato e carbonato) foram descritas pela ATSDR (2007 b) como náusea, vômito, diarreia, dor abdominal e as mais graves envolvem convulsão, arritmia, parestesia de membros superiores e inferiores e coma. O bismuto é usado para tratar a diarreia, azia, indigestão, úlcera e náuseas. O Antimônio (Sb), em doses elevadas causa câncer pulmonar, lesões hepáticas, distúrbios neurológicos, desidratação, irritabilidade, nefrite hemorrágica.

O Cobalto é um oligoelemento essencial presente na vitamina B12 e usado no tratamento de anemias, mas o excesso no organismo, segundo a ATSDR (2004), pode causar hipotireoidismo, asma brônquica e fibrose, bócio, e debilidade repentina das contrações cardíacas. Nas formas radioativas tanto o cobalto como o bismuto, além do próprio Urânio do qual o Bi participa da série de decaimento, tem seu efeito dependente da dose e do tempo de exposição sendo mencionado principalmente o câncer. O Oxigênio, essencial à respiração requer Ferro e Cobre para ser sintetizado nos glóbulos vermelhos do sangue. Concentrações elevadas de cobre são responsáveis por alterações do colesterol e triglicérides (STERN et al, 2007, 179). Em níveis normais de cobre, entre 70 a 140 ug/dL, é considerado essencial como vitaminas. Abaixo dessa faixa, a deficiência de Cu provoca anemia, osteoporose, irritabilidade, perda do paladar e associado indiretamente a distúrbios neurológicos / Alzheimer (STERN et al, 2007, 173) e a doença de Wilson.

Segundo Barceló-Batllori et al. 2005, o tungstênio sódico é um importante elemento contra a obesidade, mas causa problemas reprodutivos e a morte prematura de certos animais aquáticos. O Lítio (Li) é um eficiente elemento no tratamento da depressão e doenças psiquiátricas, mas pode ser danoso uma vez que desenvolve o hipotireoidismo (Massabni, 2011). O tálio foi usado no tratamento de micose, infecções e até mesmo a doença de artéria coronária. No entanto, o envenenamento por tálio pode causar inchaço e dor intensa nas pernas, bem como a insônia. Segundo Cunha et al. (2006, p 100), níveis de chumbo (Pb), no sangue de crianças, acima de 10mg de chumbo/dL e no de adulto acima 40 a 60 µg/dL provoca comprometimento do sistema nervoso central, cansaço, tonturas, dores nos músculos e problemas gastrointestinais, alterações mentais e neurológicas importantes. Massabni op. cit. afirma que o níquel se

acumula nos rins e no fígado e compromete o funcionamento desses órgãos, o vapor de o mercúrio pode provocar dores de cabeça, tremores, inflamação da bexiga e da vesícula e perda da memória e a falta de ferro causa anemia e geofagia (hábito de comer terra). A insuficiência do zinco retarda o crescimento, atrofia os testículos, além de causar escamação e rugosidade da pele, a letargia mental e também a geofagia. O zinco é essencial para o crescimento, para o desempenho sexual, para estimular o paladar, mas em altos níveis pode acarretar acidente vascular encefálico (EVA). Os minerais radioativos causam o desenvolvimento de tumores, leucemia, indução à mutações genéticas, malformações fetais, destruição de tecidos vivos, glândulas e órgãos do sistema reprodutivo.

Por não terem sido alcançados pelas políticas nacionais de meio ambiente, que tiveram início com a Constituição de 1988 (BRASIL, 1988) e com a Resolução do CONAMA 001/86, e devido à falta de recursos financeiros, tanto os garimpeiros como os empresários da mineração do RN deixaram um grande e variado Passivo Ambiental, a maioria já consolidado na década de 80. Em adição àqueles listados por Carvalho et al. (2005), destacamos os seguintes:

- (i) Cenário paisagístico, tanto em função das cavas como dos rejeitos expostos ao ar livre.
- (ii) O rejeito contém metais em concentrações que podem ser prejudiciais à saúde humana (metais pesados). Esses elementos químicos passam a integrar os ciclos geológicos naturais contaminando as águas superficiais e subterrâneas, o solo, a biota e as espécies que dela dependem para sobreviver, fundando uma relação ampla e complexa de ciclos de contaminações.
- (iii) Movimentação de solo, alterando as características iniciais pedogenéticas e, conseqüentemente, o suporte da biodiversidade da região.
- (iv) Geração de emprego e renda, onde diversos municípios têm forte dependência econômica e tributária dessa atividade, consoantes à Sánchez (2008). Não só o ente público, mas toda a população de certas cidades ou municípios, direta ou indiretamente, torna-se dependente dos recursos da atividade e não cria alternativas ou planos para o encerramento da mineração. Com a paralisação, vêm os problemas e os transtornos sociais.

(v) Utilização de água para concentração de minerais pesados e para a decantação.

A relação aproximada é: a quantidade de material a ser processada em metros cúbicos é aproximadamente a mesma em litros de água necessária para concentrar os minerais pesados. Numa região carente de água, como é o semiárido, a sua subtração do ser humano para fazer funcionar uma planta de tratamento mineral, pode soar como aviltante.

(vi) O desmatamento é uma pré-condição para que a atividade de lavra a céu aberto possa se desenvolver. No bioma caatinga, com áreas em adiantado processo de desertificação, os efeitos negativos do desmatamento são potencializados pela quebra de um ecossistema reconhecidamente frágil promovendo alterações no micro-clima, aceleração da desertificação, perda de representantes da flora e fauna.

(vii) Acentua as diferenças e fortalece o consequente processo de exclusão social.

### 3.5 VALORES NUMÉRICOS DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE

No que concerne à saúde humana, os teores anômalos dos elementos químicos são justamente aqueles que, a partir do qual, trazem problemas à saúde humana e animal. Com exceção das rochas, tanto o sedimento como o solo, elementos do meio-ambiente coletados e analisados neste trabalho, possuem valores de referência propostos por instituições ligadas à saúde humana e ambiental a nível nacional e internacional, entre as quais citamos a USEPA (United States Environment Protection Agency), CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), Department of Environment (Austrália), Wisconsin Department of Natural Resources, Florida Department of Environmental Protection, entre outras. A contribuição de cientistas da Geologia Médica, Toxicologia, Biologia etc., como Crane *et al.* (2000), MacDonald *et al.* (2003), Simpson *et al.* (2005), entre vários outros, foi determinante para o atual estágio do conhecimento e aceitação dos valores de referência propostos. Neste trabalho adotamos os teores apontados pelas instituições brasileiras para solo, águas superficiais e subterrâneas e apresentamos uma discussão quanto aos parâmetros de qualidade dos sedimentos, trazendo à baila a maioria das abordagens, os pontos polêmicos e uma avaliação destas proposições.

### 3.5.1 Valores de Referência para Solo e Água

Esses teores de referência, para os diferentes ambientes (água e solo principalmente), são estabelecidos ou propostos por instituições como a USEPA (USA), CONAMA (BRASIL, 2009), CETESB (SÃO PAULO, 2005) entre outras e também por cientistas da Geologia Médica, Toxicologia, Biologia etc.

TABELA 4: Valores Orientadores para Solos Segundo a CETESB e o CONAMA

Substância	Solos (mg.kg <sup>-1</sup> )					Águas
	Referên cia	Alerta <i>Preven ção</i>	Intervenção <i>Investigação</i>			Subt.(µg.l <sup>-1</sup> )
			Agrícola APMax	Resid.	Indust.	Intervenção
Alumínio	—	—	—	—	—	200 <sup>(2)</sup> <i>3.500</i>
Antimônio	<0,5 <i>E</i>	2,0	5,0	10,0	25	5 <sup>(1)</sup>
Arsênio	3,50 <i>E</i>	15	25 <i>35</i>	50 <i>55</i>	100 <i>150</i>	10 <sup>(1)</sup>
Bário	75 <i>E</i>	150	300	400 <i>500</i>	700 <i>750</i>	700 <sup>(1)</sup>
Boro	— <i>E</i>	—	—	—	—	500
Cádmio	<0,5 <i>E</i>	3 <i>1,3</i>	10 <i>3</i>	15 <i>8</i>	40 <i>20</i>	5 <sup>(1)</sup>
Chumbo	17 <i>E</i>	100 <i>72</i>	200 <i>180</i>	350 <i>300</i>	1200 <i>900</i>	10 <sup>(1)</sup>
Cobalto	13 <i>E</i>	25	40 <i>35</i>	80 <i>65</i>	100 <i>90</i>	30 <sup>(5)</sup> <i>70</i>
Cobre	35 <i>E</i>	60	100 <i>200</i>	500 <i>400</i>	700 <i>600</i>	2000 <sup>(1)</sup>
Cromo	40 <i>E</i>	75	300 <i>150</i>	700 <i>300</i>	1000 <i>400</i>	50 <sup>(1)</sup>
Ferro	— <i>E</i>	—	—	—	—	300 <sup>(2)</sup> <i>2.450</i>
Manganês	— <i>E</i>	—	—	—	—	100 <sup>(2)</sup> <i>400</i>
Mercúrio	0,05 <i>E</i>	0,5	2,5 <i>12</i>	5 <i>36</i>	25 <i>70</i>	1 <sup>(1)</sup>
Molibdênio	<25 <i>E</i>	30	50	100	120	250 <sup>(5)</sup> <i>70</i>
Níquel	13 <i>E</i>	30	50 <i>70</i>	200 <i>100</i>	300 <i>130</i>	50 <sup>(4)</sup> <i>20</i>
Nitrato	— <i>E</i>	—	—	—	—	10.000
Prata	0,25 <i>E</i>	2	25	50	100	50 <sup>(3)</sup>
Selênio	0,25 <i>E</i>	5	—	—	—	10 <sup>(1)</sup>
Vanádio	275 <i>E</i>	—	—	—	— <i>1000</i>	—
Zinco	60 <i>E</i>	300	500 <i>450</i>	1000	1500 <i>2000</i>	5000 <sup>(2)</sup> <i>1050</i>

Fonte: DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005.

Em vermelho e *itálico* as informações da Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Em preto referem-se aos parâmetros da CETESB - Decisão de Diretoria Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005 ou quando CETESB e CONAMA adotam o mesmo valor ou critério.

A nível nacional, os valores de referência foram determinados pela Resolução do CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009), apoiada naquela Decisão de Diretoria Nº 195-2005- E de 23 de novembro de 2005 CETESB (SÃO PAULO, 2005) e em organismos internacionais. Ambas as entidades estabeleceram uma hierarquia para os teores de metais em solo, sendo que a CETESB denominou-as: de Referência, Alerta e Intervenção considerando os casos de contaminação agrícola,



residencial e industrial.

TABELA 5: Valores de Referência de Metais para os Diferentes Tipos de Água – Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de Março de 2005

	T I - C 1	T III - C 3	T IV - C 1	T VI - C 2	T VII - C 1	T IX - C 2	T X - EFL.
Ag_ppm	0,01	0,05	0		0,005		0,1
As_ppm	0,01	0,03	0	0,069	0,01	0,069	0,5
Al_%	0,1	0,2	1,5		0,1		
B_ppm	0,5	0,75	5		0,5		5
Ba_ppm	0,7	1	1				5
Be_ppm	0,04	0,1		5,3 ppb		5,3ppb	
Ca_%							
Cd_ppm	0,001	0,01	0	0,04	0,005	0,04	0,2
Co_ppm	0,05	0,2					
Cr_ppm	0,05	0,05	0,1	1,1	0,05	1,1	0,5
Cu_ppm	0,009	0,01	0	7,8 ppb	0,005	7,8 ppb	1
Fe_%	0,3	5	0,3		0,3		15
K_%							
La_ppm							
Li_ppm	2,5	2,5					
Mg_%							
Mn_%							
Mn_ppm	0,1	0,5	0,1		0,1		1
Mo_ppm							
Na_%							
Na_ppm							
Ni_ppm	0,025	0,03	0	74 ppb	0,025	74,0 ppb	2
Pb_ppm	0,01	0,03	0	0,21	0,01	0,21	0,5
S_%							
Sc_ppm							
Sn_ppm							4
Sr_ppm							
V_ppm	0,1	0,1					
W_ppm							
Y_ppm							
Zn_ppm	0,18	5	0,1	0,12	0,09	0,12	5

FONTE: CONAMA Nº 357 de 17 de Março de 2005

Os teores sem indicação de unidade são dados em mg/L = ppm

M = Valor Máximo; T I - C 1 = Tabela I, Classe I; T III - C 3 = Tabela III, Classe 3; T IV - C 1: Tabela IV, Classe 4; T VI - C 2: Tabela VI, Classe 2; T VII - C 1= Tabela VII, Classe 1; T IX - C 2 = Tabela IX, Classe 2; T X EFL. = Tabela X, Efluentes;

O CONAMA classificou os limites para as ações de Prevenção e Investigação, equivalente as de Alerta e Intervenção da CETESB, sendo deixada para cada Estado brasileiro a definição dos limites de referência (E em vermelho e itálico na tabela 4). A

tabela 4 apresenta os valores de referência da CETESB em preto e do CONAMA na cor vermelha. Para as águas subterrâneas tanto a CETESB quanto o CONAMA consideraram somente os valores de intervenção. Quando ambas as entidades indicaram o mesmo valor de referência estes foram indicados na tabela 4 na cor preta.

Para as águas superficiais o CONAMA relacionou os teores máximos permitidos dos elementos químicos nos diferentes tipos e classes de água na Resolução nº 020 de 18 de junho de 1986, posteriormente atualizada pela Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Nestas o CONAMA classifica os corpos de água doce, salobra e salgada em função dos usos preponderantes atuais e futuros resultando em 13 (treze) classes de qualidade. A tabela 5 é uma síntese dos valores de referência para os teores máximos de metais permitidos para os diferentes tipos de corpos d'água.

### 3.5.2 Valores de Referência para Sedimentos

As Diretrizes para Avaliação da Qualidade de Sedimentos (Sediment Quality Guidelines - SQG) são controversas, pois são vários os critérios e abordagens adotados com os consequentes problemas de aplicabilidade. Mc Donald *et al.* (2000) e Mc Donald *et al.* (2003) afirmam que os SQG's utilizados nos EUA foram desenvolvidos segundo uma variedade de abordagens as quais dependem:

- a) dos receptores considerados (por ex: organismos que habitam sedimentos, vida selvagem ou saúde humana);
- b) do grau de proteção a ser proporcionada;
- c) da área geográfica para a qual se destinam os valores a serem aplicados (local, regional ou nacional);
- d) das utilizações previstas (por exemplo: ferramentas de triagem, objetivos de remediação, identificação de amostras tóxicas e não tóxicas, avaliação da bioacumulação);

Sugere-se também, a inclusão de uma quinta dependência que se refere ao tipo de ambiente, já que os SQG's servem de referência para sedimentos em águas doces, salobras e salgadas. Acredita-se que esta dependência não foi incluída no trabalho de MacDonald *et al.* (2003), pois o seu objetivo era o estabelecimento de Diretrizes para Avaliação Numérica da Qualidade de Sedimentos de Águas Interiores do Estado da Flórida, nas quais não estão aquelas salobras e nem as salgadas. Como neste trabalho os sedimentos foram coletados em leitos secos de rios, riachos e córregos intermitentes de

águas doces, abandonou-se quaisquer discussões que envolvam outros ambientes que não o de águas doces (freshwater). Procedimento idêntico foi tomado para as denominadas derivações biológicas, uma vez que as amostras coletadas tiveram como objetivo exclusivo a análise de elementos químicos.

Cada abordagem tem certas vantagens e limitações que influenciam no processo de aplicação da Avaliação da Qualidade de Sedimento. São reconhecidas, pelo menos, oito abordagens, cada uma considerando um ou outro enfoque diferente. Grosso modo as oito distintas abordagens de natureza teórica e empírica para SQG são as seguintes:

- i) Abordagem na Triagem do Nível de Concentração (SLCA - Screening Level Concentration Approach);
- ii) Abordagem na Faixa de Efeitos (ERA - Effects Range Approach);
- iii) Abordagem nos Efeitos de Nível (ELA - Effects Level Approach),
- iv) Abordagem no Limiar de Efeitos Aparente (AETA - Apparent Effects Threshold Approach);
- v) Abordagem no Particionamento de Equilíbrio (EqPA - Equilibrium Partitioning Approach);
- vi) Abordagem na Modelagem de Regressão Logística (LRMA - Logistic Regression Modeling Approach);
- vii) Abordagem Baseada no Consenso (CA - Consensus Approach) e,
- viii) Abordagem no Resíduo de Tecido (TRA - **T**issue **R**esidue **A**pproach).

Sendo possíveis algumas combinações entre duas ou mais das diferentes abordagens supra-apresentadas. Crane et al. 2000, posteriormente modificado por MacDonald *et al* 2000 e por MacDonald et al. (2003) apresentaram um quadro com os principais pontos fortes e limitações das diferentes abordagens.

MacDonald et al. (2000) apresentaram valores de referência para a qualidade de sedimentos visando à proteção de organismos que residem em sedimentos do Estado da Florida (USA), indicando aqueles teores cuja concentração situa-se no limiar entre os valores que não causam danos aos organismos residentes em sedimentos (TEC – Threshold Effect Concentration) e os que causam provável efeito negativo (PEC - Probable Effect Concentrations) nos organismos que vivem nos sedimentos daquele Estado norte-americano. Mais tarde, Wisconsin Department of Natural Resources (2003), baseado em MacDonald *et al.* (2000) e Mc Donald *et al.* 2003, apresentou quatro níveis de referência para a qualidade de sedimentos, do qual destacamos os

teores de metais. Para tanto aquele departamento sugeriu um parâmetro intermediário (MEC – Midpoint Effect Concentration) igual a media aritmética de TEC e PEC que reproduzimos na Tabela 6.

TABELA 6: Valores de Metais Recomendados como Referência de Qualidade de Sedimentos pelo Wisconsin Department of Natural Resources (2003).

Metal	mg/Kg (peso seco)							Fonte
	Nível 1 ≤ TEC	TEC	Nível 2 > TEC ≤ MEC	MEC	Nível 3 > MEC ≤ PEC	PEC	Nível 4 > PEC	
Antimônio	≤	2	> ≤	13,5	> ≤	25	>	NOAA (1991) <sup>1</sup>
Arsênio	≤	9,8	> ≤	21,4	> ≤	33	>	CBSQG (2000 a) <sup>2</sup>
Cádmio	≤	0,99	> ≤	3,0	> ≤	5,0	>	CBSQG (2000 a)
Cromo	≤	43	> ≤	76,5	> ≤	110	>	CBSQG (2000 a)
Cobre	≤	32	> ≤	91	> ≤	150	>	CBSQG (2000 a)
Ferro	≤	20.000	> ≤	30.000	> ≤	40.000	>	Ontario (1993)
Chumbo	≤	36	> ≤	83	> ≤	130	>	CBSQG (2000 a)
Manganês	≤	460	> ≤	780	> ≤	1.100	>	Ontario (1993)
Mercurio	≤	0,18	> ≤	0,64	> ≤	1,1	>	CBSQG (2000 a)
Níquel	≤	23	> ≤	36	> ≤	49	>	CBSQG (2000 a)
Prata	≤	1,6	> ≤	1,9	> ≤	2,2	>	BC (1999) <sup>4</sup>
Zinco	≤	120	> ≤	290	> ≤	460	>	CBSQG (2000 a)

TEC – Threshold Effect Concentration  
PEC - Probable Effect Concentrations)

A Resolução do CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004), estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, dentre os quais os teores limites de alguns metais presentes nos sedimentos de água doce e salgada (ver tabela 7), tomando por base os limites estabelecidos pelo “Canadian Council of Ministers of the Environment” (CCME, 2002) para arsênio, metais pesados e compostos orgânicos visando à proteção da vida aquática o qual foi construído a partir de MacDonald *et al.* (2000) e Mc Donald *et al.* (2003).

Esses mesmos valores de referência foram adotados pela Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004 (ver tabela 7) que estabelece os limites de teor de alguns metais para a avaliação da qualidade dos materiais a serem dragados em

sedimentos de água doce e salina/salobra. Na tabela 7 os valores de TEL correspondem, respectivamente, aos níveis 1 e 3 e os de PEL aos níveis 2 e 4.

TABELA 7: Níveis de Classificação do Material a ser Dragado – Valores de Referência para Metais

Poluentes		Níveis de classificação do material a ser dragado (em unidade de material seco)			
		Água Doce		Água salina/salobra	
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Metais pesados e arsênio (mg/kg)	Arsênio (As)	5,9 <sup>1</sup>	17 <sup>1</sup>	8,2 <sup>2</sup>	70 <sup>2</sup>
	Cádmio (Cd)	0,6 <sup>1</sup>	3,5 <sup>1</sup>	1,2 <sup>2</sup>	9,6 <sup>2</sup>
	Chumbo (Pb)	35 <sup>1</sup>	91,3 <sup>1</sup>	46,7 <sup>2</sup>	218 <sup>2</sup>
	Cobre (Cu)	35,7 <sup>1</sup>	197 <sup>1</sup>	34 <sup>2</sup>	270 <sup>2</sup>
	Cromo (Cr)	37,3 <sup>1</sup>	90 <sup>1</sup>	81 <sup>2</sup>	370 <sup>2</sup>
	Mercúrio (Hg)	0,17 <sup>1</sup>	0,486 <sup>1</sup>	0,15 <sup>2</sup>	0,71 <sup>2</sup>
	Níquel (Ni)	18 <sup>3</sup>	35,9 <sup>3</sup>	20,9 <sup>2</sup>	51,6 <sup>2</sup>
	Zinco (Zn)	123 <sup>1</sup>	315 <sup>1</sup>	150 <sup>2</sup>	410 <sup>2</sup>

Compilado da Resolução do CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004.

Uma abordagem holística para a avaliação da qualidade de sedimentos da Suíça e as possibilidades associadas de aplicações foi proposta por Flück et al. (2010), sintetizada na figura 3 a seguir.

Figura 3: Abordagem Holística para avaliação da qualidade de sedimentos da Suíça.



FONTE: FLÜCK et al. (2010).

Um aspecto fundamental, que tem sido negligenciado pela maioria das Abordagens, reside nas definições e classificações de Sedimentos. A maioria das Diretrizes para Avaliação da Qualidade de Sedimentos (SQG) “Sediment Quality

Guidelines” enfocam os denominados (SF) Sedimentos de Fundo, os quais, via de regra, englobam a porção dendrítica (areia, silte, argila), incluindo a parte ativa de corrente, os organismos bentônicos, enfim, todo o material de origem geogênica, biogênica e antropogênica que compõem o assoalho dos corpos d’água (rio, lagoa, oceano, açude etc.). Na maioria das abordagens de SQG’s são realizadas análises em amostras que são, na realidade, uma mistura das porções geogênicas, biogênicas e antropogênicas que compõem as amostras dos SF. Na análise dos resultados de laboratório dessas amostras o poder de bioacumulação de determinados metais pelas plantas e animais que compõem o SF tem sido negligenciado, implicando que essas informações podem refletir apenas efeitos pontuais, se prestando basicamente para verificar a presença de contaminantes em determinadas partes do fundo do corpo d’água objeto de estudo.

Quando o material coletado é exclusivamente o (SAC) Sedimento Ativo de Corrente, como é o caso deste trabalho, se tem por objetivo identificar a fonte dos metais (e demais elementos químicos) e, assim, delimitar corpos hospedeiros de mineralizações ou áreas de emissão de poluentes que alimentam a bacia de captação. Vistos de outra maneira se prestam também para verificar a extensão da dispersão de metais em uma Bacia de Drenagem. As amostras de SAC são coletadas exclusivamente no leito de drenagem ativo, ou seja, naquela porção onde os sedimentos estão sendo constantemente transportados (vide capítulo 4 Material e Métodos), daí serem chamados de Ativos. As amostras SAC são constituídas predominantemente de partículas e agregados minerais que são produzidas numa determinada área chamada de bacia de captação situada a montante do local de coleta (estação de amostragem). O efeito da bioacumulação no aumento do teor de alguns metais não é considerado nas amostras SAC, pois esta porção foi eliminada quando da coleta, conforme tradicionalmente é recomendado pelos geoquímicos. Esta eliminação é justificada uma vez que o objetivo precípuo deste tipo de amostragem é verificar a fonte de metais que se dispersaram na rede de drenagem.

As diferenças entre SAC e SF são sutis e a avaliação dos resultados têm implicações distintas em alguns aspectos e similares em outros. Os valores constantes na Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004 (Tabela 7), referem-se ao conteúdo químico em Sedimentos de Fundo, desconsiderando a bioacumulação e a biodisponibilidade. Portanto, os teores apresentados podem estar acrescidos em relação àqueles coletados em SAC em função da bioacumulação.

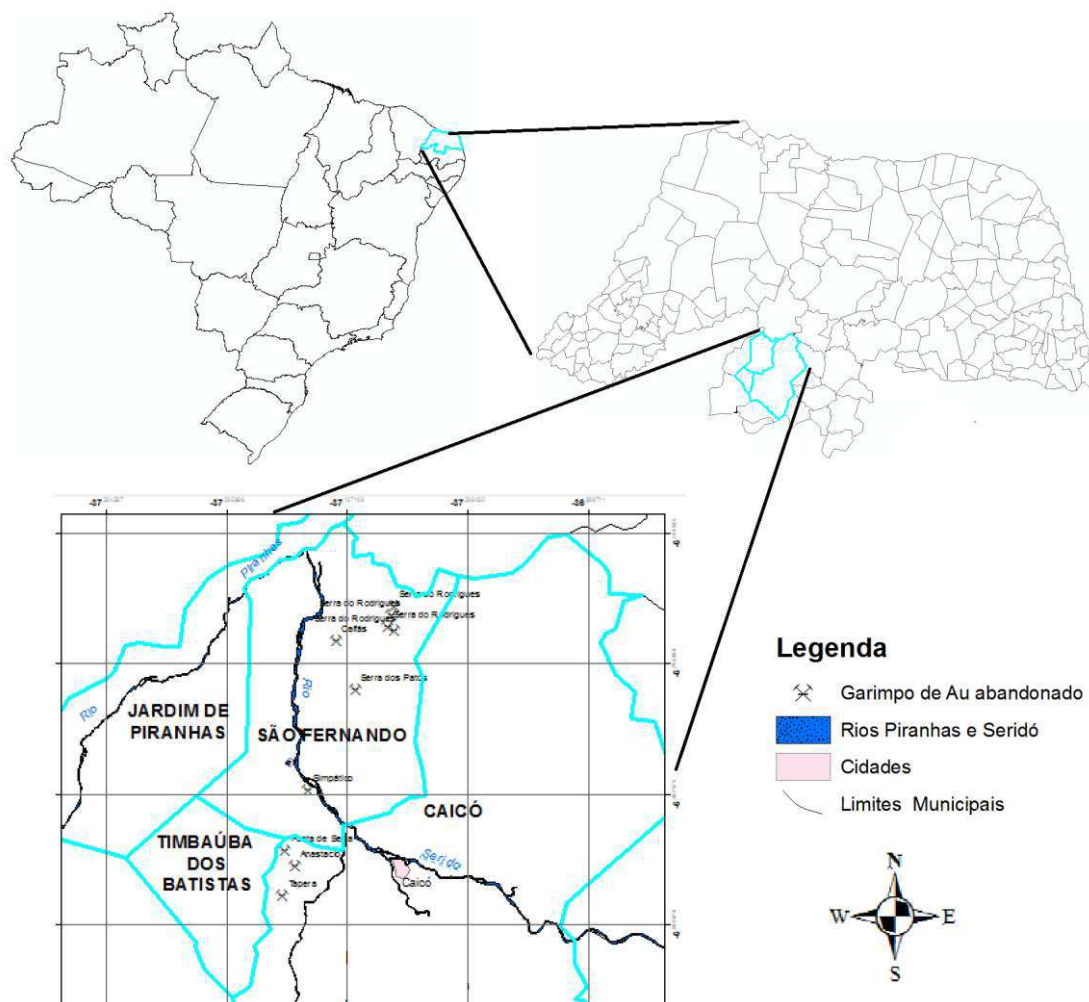
## 4 . MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

#### 4.1.1 - Localização

A área objeto deste Projeto está localizada na região de confluência dos rios Piranhas e Seridó, entre os municípios de Timbaúba dos Batista, Jardim de Piranhas, Caicó e São Fernando, no Estado do Rio Grande do Norte, na bacia hidrográfica do Piranhas-Açu, conforme ilustrado nas figura 4.

Figura 4: Mapa de Localização da área de confluência dos Rios Piranhas e Seridó e dos garimpos de ouro em relação ao Brasil e ao Estado do Rio Grande do Norte.



O acesso pode ser feito a partir da cidade de Natal pela BR 226 até a cidade de Currais Novos percorrendo-se 180 Km. A partir desta cidade tomou-se a BR 427 e após

cerca de 88 Km se atinge a cidade de Caicó. Foi necessário percorrer mais 20 Km na BR 427 em direção a Jardim de Seridó para se atingir o limite Leste da área objeto deste trabalho.

#### 4.1.2 Clima

A área entre os municípios de Timbaúba dos Batista, Jardim de Piranhas, Caicó e São Fernando, situa-se na meso região Central Potiguar, micro região do Seridó Ocidental, também chamada de região de Caicó onde, segundo Gausson, predomina o clima 3aTH, ou nordestino com seca acentuada, sete a oito meses secos por ano. Valadão et al (2010), realizaram um levantamento hídrico baseados no método de Thornthwaite e classificaram o clima das cidades de Caicó, São Fernando, Jardim de Piranhas e Timbaúba dos Batista como do tipo C1dB'3a', clima mesotérmico seco com excedente hídrico pequeno ou nulo. As precipitações pluviométricas médias anuais situam-se entre 500 e 800 mm, estação chuvosa irregular, cujas precipitações são mais frequentes no período que vai de fevereiro a maio. A variação de temperatura está demonstrada no Tabela 8 para o ano base de 2011.

TABELA 8: Variação anual de temperatura na Região de Caicó/RN

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ano
Temperatura máxima registrada (°C)	39	38	39	37	36	36	35	35	38	37	38	38	39
Temperatura máxima média (°C)	33	31	31	30	30	29	30	31	32	34	34	34	31
Temperatura mínima média (°C)	21	22	21	20	18	17	16	16	17	21	21	21	18
Precipitação (mm)	51					50,8	15,2	3	15,5	10,3	20,3	22,9	716

FONTE: INMET (2012)

A área tem sido motivo de preocupação devido ao favorecimento de processos de desertificação agravado pelo desmatamento indiscriminado.





Os “inselbergs” foram preservados do processo erosivo e são constituídos das rochas mais resistentes à erosão. As maiores expressões, na área estudada, são: a Serra dos Patos, a Serra do Cavalcante, a Serra Selada e a Serra do Rodrigues, onde se encontram as cotas máximas de 344 metros de altura em relação ao nível médio do mar.

O peneplano característico da “Depressão Sertaneja” se deve a bacia de captação dos Rios Seridó e Piranhas que atravessam a área. São vários córregos e riachos intermitentes que apresentam cotas mínimas de até 120 m nos seus leitos. O mapa hipsométrico da área de confluência dos Rios Piranhas e Seridó representa a conformação do relevo.

#### **4.1.4 Vegetação**

A vegetação é típica da caatinga cujas principais características são: o porte arbustivo, com galhos retorcidos e raízes profundas e a perda das folhas nos períodos de estiagem, predomínio de cactáceas e bromélias.

A disponibilidade hídrica é responsabilizada pela variação desta vegetação em todas as escalas, desde regional à local, nos aspectos relativos à densidade e ao porte das plantas. Estas podem ser percebidas na área dos municípios de Caicó, Jardim de Piranhas, Timbaúba dos Batistas e São Fernando, onde no leito dos rios Piranhas e Seridó se encontram espécies arbóreas e frondosas (aroeira, angico e juazeiro), enquanto nos tabuleiros os tipos de pequeno porte, arbustivos (mandacaru, maniçoba, mufumbo, marmeleiro, xique-xique e favela) e em menor densidade. Essa variação pode ser observada também, segundo Amorim et al. (2005), a poucas dezenas de metros em função “da maior ou menor disponibilidade hídrica”.

O desmatamento da vegetação de caatinga na área deste trabalho tem ocasionado o surgimento de processos de desertificação, notadamente no município de Caicó mapeada como “Situação Muito Grave” (RN, 2005).

#### **4.1.5 Hidrografia**

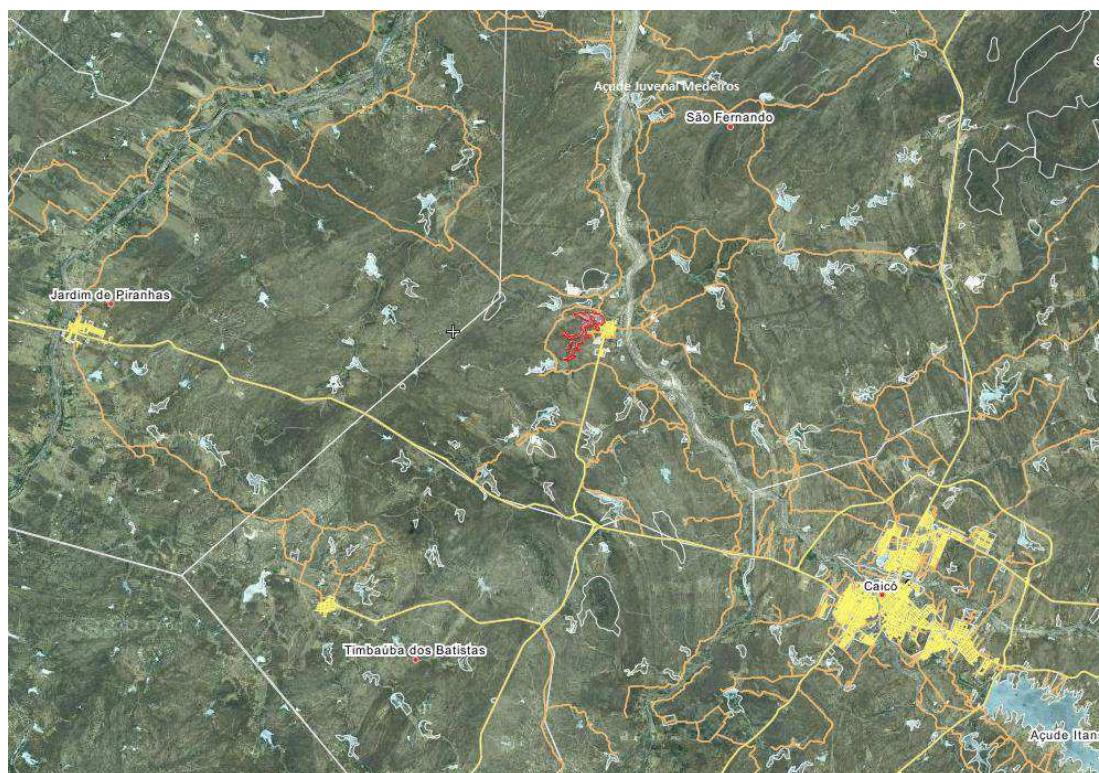
Num ponto de confluência a Norte / Noroeste da área deste Projeto de Tese, o Rio Piranhas recebe as águas do Seridó para formarem o Rio Açu, constituindo-se numa das principais Bacias Hidrográficas do Estado do Rio Grande do Norte. Essas águas são

barradas a Norte pela barragem Armando Ribeiro Gonçalves, com 2,4 bilhões de metros cúbicos, entre os municípios de São Rafael e Assu, o maior reservatório de água da região. Outro importante manancial é o açude Itans 81.750.000,00 metros cúbicos de água, situado a sudoeste da área desta tese de doutorado, que recebe as águas do rio Barra Nova afluente do rio Seridó.

Dentro da área trabalhada nesta tese a água é disponibilizada por açudes, barreiros e poços tubulares explorando os sistemas de aquíferos do cristalino, nos quais a água se acumula graças a sistemas de falhas e fraturas na rocha, e alguns do tipo amazonas localizados no leito de rios, no denominado sistema de aquífero aluvião. A CPRM, através do “Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea”, disponibiliza no site <http://www.cprm.gov.br> as informações dos poços existentes na região.

O maior manancial de água, na área restrita aos trabalhos desenvolvidos nessa tese, é aquele representado pelo Açude Público Juvenal Medeiros, ou Açude de São Fernando. Dezenas de outros açudes e barreiros menores, com capacidade de até 100.000 m<sup>3</sup>, são identificados na área e retratados na figura 6.

Figura 6: Imagem de Satélite com destaque para os açudes existentes na área de confluência dos Rios Piranhas e Seridó.



FONTE: Google Earth e <http://wikimapia.org/#lat=-6.3699793&lon=-37.2179757&z=12&l=9&m=b>

O déficit do balanço hídrico é bastante elevado, sendo mencionados valores iguais à zero (RN, 2005), apesar de a área possuir diversos córregos e riachos que suprem os rios principais e que conferem a área um padrão de drenagem dendrítica, quando observado em satélite e fotografias aéreas, localmente retangular.

A figura 8 apresenta a localização das estações de coleta de sedimento de corrente, mas que também retrata o padrão de drenagem da área de confluência dos rios Seridó e Piranhas.

#### **4.1.6 Geologia**

O Mapa Geológico da área em epígrafe (Figura 7) foi obtido dos relatórios de graduação do curso de Geologia da UFRN (SILVA, 1997 e MARQUES, 1994), dissertação de Mestrado de Trindade (2000) e da Tese de Doutorado de Luiz Silva (2000). Toma por base também o Mapa Geológico do RN elaborado pela CPRM (ANGELIN et al. 2007 a e b), Relatório de Atividades da São Bento Mineração S/A (DANTAS, 2005) e da Mineração Ecuror Ltda (apud LUIZ SILVA op. cit.).

O Mapa Geológico, utilizado neste trabalho, além das fontes informadas no parágrafo anterior, contaram com interpretações, utilizando o programa ER Mapper, de Imagens de Satélite da série CBERS e LANDSAT, observações de campo, entre outras fontes objeto de pesquisa.

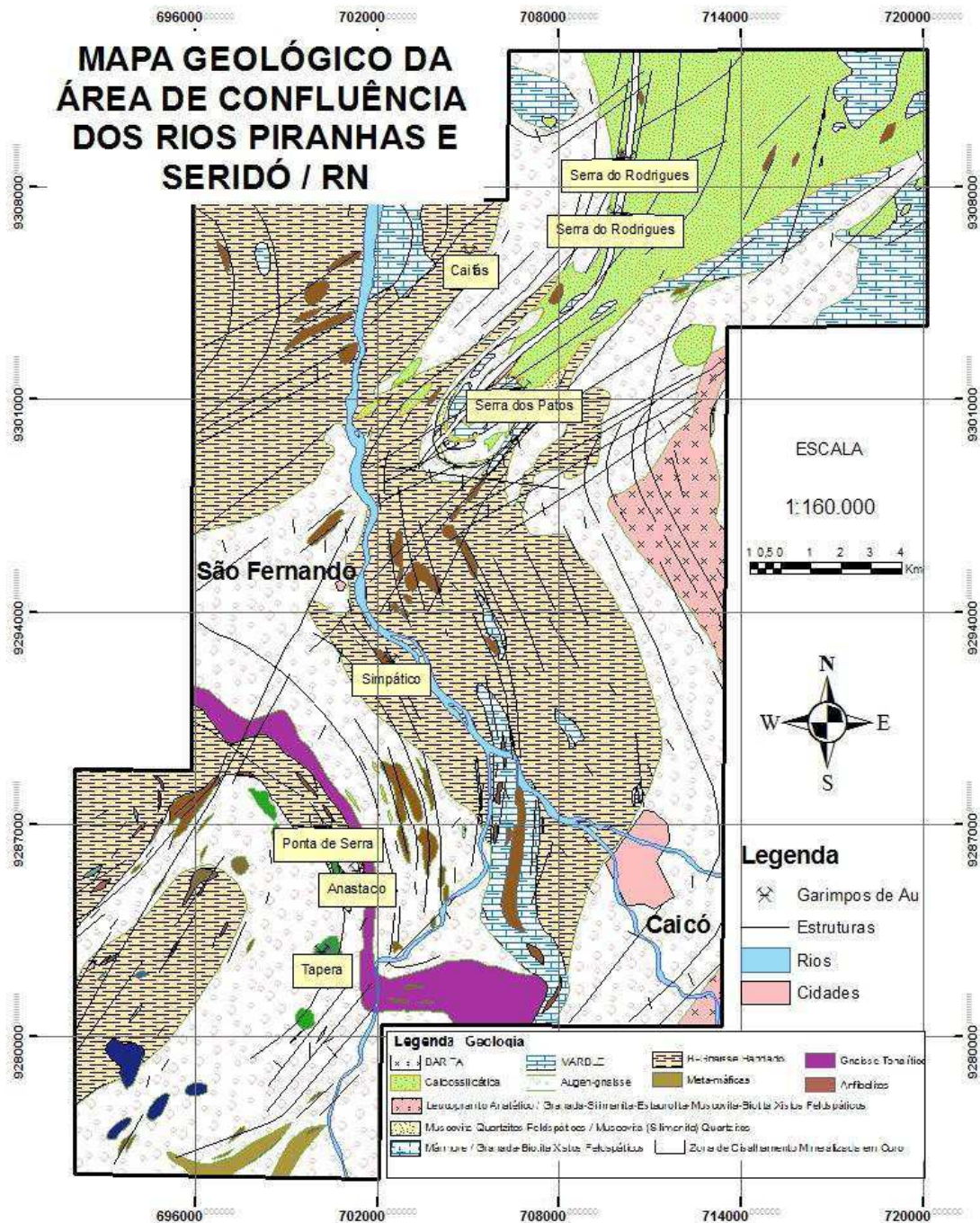
Na área afloram rochas do cristalino datadas, segundo Angelim et al. 2006, do Proterozóico Inferior (2,1 a 1,8 bilhões de anos) constituindo o Grupo Caicó (Complexo Gnáissico-Migmatítico também denominado Complexo Caicó) e do Proterozóico Superior (650-550 Milhões de anos) representada pelas litologias do Grupo Seridó (figura 7). Esse conjunto foi afetado por zona de cisalhamento tardia responsável pelas mineralizações auríferas (LUIZ SILVA, 2000). São encontrados ainda diques de diabásio de idade Terciária (~ 250 Milhões de anos) relacionadas aos estágios precoces de abertura do Atlântico Sul e, encerrando o quadro geológico, eluviões (englobando os todos os solos de tabuleiro) e aluviões do Quaternário restritas aos leitos de rios e riachos.

A zona de cisalhamento é a feição mais importante do ponto de vista econômico, pois é responsável pelas ocorrências de ouro (LUIZ SILVA op cit). As rochas afetadas por ela foram modificadas para tipos denominados milonitos e as alterações



hidrotermais resultam tipos argilitos avançados, veios de quartzo ( $\pm$  plagioclásio  $\pm$  sillimanita  $\pm$  caulim) mineralizados em ouro, pirita (arseno-pirita) e minérios de ferro (hematita e magnetita).

Figura 7: Mapa Geológico da Área entre Caicó e São Fernando. Coordenadas UTM, Datum SAD-69, Zona 24 (Ver também Anexo C).



Baseado em Luiz Silva (2000)

O Complexo Caicó compreende, de um modo geral, ortognaisses de composição tonalítica, granodiorítica e granítica. Nos tipos tonalíticos predomina o plagioclásio (60%), tendo ainda quartzo (20%), biotita (15%) e os 5% restantes de k-feldspato, óxido de ferro, muscovita, anfibólio (hornblenda ??), epidoto e apatita segundo Luiz Silva *op. cite* Angelim 2006 a e b. As demais litologias têm a mesma mineralogia básica, porém com maior ou menor enriquecimento de quartzo, plagioclásio e K-feldspato de modo a formar granodioritos e granitos. As demais rochas mapeadas e suas mineralogias estão sumariamente listadas no Quadro 2.

QUADRO 2: Minerais formadores das rochas aflorantes na área entre Timbaúba dos Batista, Jardim de Piranhas, Caicó e São Fernando/RN

ROCHAS MAPEADAS	MINERAIS FORMADORES DE ROCHA
Biotita, hornblenda gnaisses (indiferenciadas)	50% de biotita, 20% de hornblenda, 20% de plagioclásio, 10% de quartzo, além de traços de diopsídio, epidoto, muscovita e óxido de ferro.
Meta-básica	os piroxênios (40% - diopsídio ?), plagioclásio mais cálcicos (25%), anfibóleos (20% - actinolita-tremolita), serpentina com variações a asbestos (5%), clorita (2%), epidoto (2%), garnierita (~1%) e traços de quartzo, óxido de ferro e manganês.
Biotita-gnaisses, com variações a xistos diversificados	biotita (45%), plagioclásio (30%), quartzo (15%), anfibólio provavelmente hornblenda (10%) e traços de muscovita, epidoto e óxido de ferro. Variações a tipos sem hornblenda e mais ricos em biotita são comuns
Mármore	calcita (80%) , mica branca (15% - flogopita ?), anfiboleos (série tremolita-actinolita - 5%), traços de grafite, epidoto e diopsídio.
Calciossilicáticasnematobranoblásticas	anfibóleos (60% - hornblenda ?), plagioclásio (30%) e quartzo (10%), com traços de epidoto e diopsídio.
Calciossilicáticasgranoblásticas	diopsídio (40%), granada/grossulária (25%), epidoto (20%), vesuvianita (15%) e traços de óxido de ferro, clorita, calcita, scheelita e molibdenita. A pirita e calcopirita são ocasionais, porém atingem proporções localizadas de cerca de 1%.
Veio de quartzo	quartzo (50 a 90%), muscovita (40% a 10%), plagioclásio (~20%), óxido de ferro (3%) e sillimanita (1%)e traços de óxido de ferro, óxido de manganês, pirita, calcopirita, malaquita e ouro. A alteração intempérica do plagioclásio resulta em tipos caulíníticos.

Fonte: Baseado nas descrições de Angelim et al., 2006, Luiz Silva (2000) e Dantas (2005)

No topo da coluna lito-estratigráfica aparecem coluviões e aluviões, respectivamente do terciário e do quaternário, além de Sedimentos Antropogênicos Recentes. A importância de enfatizar essas litologias na coluna estratigráfica da área reside no fato das mesmas terem sido objeto de exploração garimpeira para extração de Au. Os coluviões representam o solo de tabuleiro, alteração “in situ” das rochas cristalinas subjacentes, de coloração cinza escura a creme. As aluviões são sedimentos encontrados no leito de rios, riachos e córregos da área, sendo mais ricos aqueles

situados nas proximidades da rocha fonte. Os Sedimentos Antropogênicos são os rejeitos dos garimpeiros, aqui representado por rejeitos do desmonte de rocha (“Bota-fora”) e os “tailings” ou rejeitos do processamento mineral.

#### **4.1.6 Aspectos Sócio Econômicos**

O município de Caicó é o mais antigo, mais populoso e de maior renda entre aqueles que compõem a microrregião do Seridó Ocidental ou a microrregião de Caicó, quais sejam: Ipueira, Jardim de Piranhas, São Fernando, São João do Sabugi, Serra Negra do Norte e Timbaúba dos Batistas, destes apenas São João do Sabugi e Serra Negra do Norte não foram abrangidos nesse trabalho.

Segundo BRASIL (2005), o município de Caicó foi criado por Ordem Régia de 22 de julho de 1766 com o nome de Vila Nova do Príncipe, sendo chamado de Seridó pelo Decreto Estadual nº 12, de 01 de fevereiro de 1890 e Caicó pelo Decreto Estadual nº 33, de 7 de julho de 1890. Os demais municípios foram desmembrados de Caicó ao longo do século XX (ver Tabela 9). Historicamente, a cultura algodoeira e a bovinocultura formavam a base da economia desta área que foi substituída por outras atividades econômicas. As razões apontadas pelos pesquisadores são muitas para o ocaso das atividades econômicas tradicionais. No caso da cultura do algodão arbóreo de fibra longa, segundo BRASIL (2004) a sua quase extinção se deve aos fatores aliados de “abertura comercial nacional para a importação de algodão, a praga do bicudo (*Anthonomus grandis*), a concorrência da produção do sudeste do país, a sua substituição por fios sintéticos” e a baixa tecnologia empregada e baixa viabilidade econômica do tipo mocó produzido no Seridó nordestino. Já a bovinocultura teve sua economia impactada negativamente devido a constante redução das terras de pastoril entre herdeiros inviabilizando a criação. A falta de água para manutenção dos rebanhos em função dos constantes períodos de estiagem, aliada a falta de pastos, resultaram no quadro de declínio da atividade. Desse período sobrevivem a tradicional carne-de-sol de Caicó, queijos de manteiga e de coalho.

A busca por atividades alternativas e geradoras de renda modificou o perfil econômico dos municípios do Seridó Ocidental. Atualmente, a indústria têxtil, no seu segmento de confecções, tem destacado papel na economia dos municípios do Seridó Ocidental, sobressaindo-se os bordados reconhecidos mundialmente pela sua qualidade,

a fabricação de bonés, camisas e redes. Esta base industrial é diretamente responsável pelo índice de IDH elevado dos municípios aqui enfocados. Caicó tem o maior IDH do interior do nordeste e o 3º do Estado do Rio Grande do Norte, seguido de São João do Sabugi em 8º lugar e Timbaúba dos Batistas em 11º. Os municípios de Jardim de Piranhas em 30º lugar e São Fernando em 35º, têm IDH considerado médio pela ONU.

A mineração, tema desta tese, teve uma importância menor na área em epígrafe. São registradas atividades de mineração artesanal e garimpagem de scheelita, ouro, berilo e barita. É desta microrregião a segunda mina de scheelita descoberta no Nordeste (Quixerê). O mármore, explorado artesanalmente para fabricação da cal, e o granito, industrialmente para produção de brita utilizada na construção civil, merecem registro.

TABELA 9: Síntese do Perfil Geral dos Municípios da Área de Confluência dos Rios Piranhas e Seridó.

	<b>Caicó</b>	<b>Timbaúba dos Batistas</b>	<b>São Fernando</b>	<b>Jardim de Piranhas</b>
Data de instalação	Ano de 1788	Ano de 1962	Ano de 1958	Ano de 1948
População(*)	62.727 hab.	2.295 hab.	3.401 hab.	13.511 hab.
População Estimativa 2012	63.571 hab.	2.312 hab.	3.427 hab.	13.735 hab.
Crescimento anual da população 2000-2010	0,96 %	0,47 %	0,50%	1,20 %
Natalidade 2010	743 nascidos vivos	18 nascidos vivos	50 nascidos vivos	178 nascidos vivos
Urbanização 2010	91.61 %	75.29 %	67,54%	78.44 %
IDH - 2000	0,756	0,719	0,664	0,675
Índice de Gini - 2010	56,20	36,84	44,94	46,07
Área	1.229 km <sup>2</sup>	136 km <sup>2</sup>	404 km <sup>2</sup>	331 km <sup>2</sup>
Densidade Demográfica - 2010	51,04 hab./km <sup>2</sup>	16,94 hab./km <sup>2</sup>	8,41 hab./km <sup>2</sup>	40,86 hab./km <sup>2</sup>
Padroeiro(a)	N. S. de Santana 26/07	São Severino primeiros dias de dezembro	N. S. do Patrocínio 16/11	N. S. dos Aflitos 15 / 09

FONTE: <http://www.portalodm.com.br/relatorios/rm/>



As festas dos padroeiros e padroeiras (ver Tabela 9) são as manifestações culturais mais importantes dos municípios enfocados nesta tese. A festa de Santana, em Caicó, foi considerada Patrimônio Nacional pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – Iphan em 31 de Julho de 2011. As bordadeiras de Caicó e Timbaúba dos Batistas são também apontadas como manifestação cultural de reconhecimento nacional. Secundariamente, o carnaval de Caicó e de Jardim de Piranhas reúne multidões de participantes e a corrida de jegues em Timbaúba dos Batistas e Jardim de Piranhas.

## 4.2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### 4.2.1 Caracterização do solo, da rocha, dos rejeitos e dos Sedimentos na área.

A metodologia de coleta e preparação das amostras para análises seguiu o manual de procedimentos da São Bento Mineração S/A e de sua sucedânea a Unamgen Mineração e Metalurgia S.A., empresas financiadoras dos trabalhos de campo, transporte de amostras e análises químicas. Esta metodologia é também conhecida como método QA/QC (Assurance Control / Quality Control ou Garantia de qualidade / Controle de qualidade), o qual é baseado nas recomendações da USEPA (1995), do Serviço geológico dos Estados Unidos contidos em Barker (1997), Hammarstrom *et al* (2003), Shelton (1994), Shelton & Capel (1994) e em práticas de coletas de empresas de prospecção e pesquisa mineral descritas por Bond (2008), Bloom (2002) entre vários outros.

Uma planilha padrão foi utilizada para anotação das informações de cada estação de amostragem (ver Quadro 4), a qual foi preenchida concomitantemente a coleta. Entre as informações que constam no Quadro, tem-se o número identificador da amostra (Sample), o nome do amostrador (Sampler), a discriminação do tipo de amostra (se sedimento de corrente, ou solo, ou rocha, ou rejeito), a data de coleta (Sampling Date). Como a empresa São Bento Mineração S/A trabalha em todo o território nacional a informação da zona geodésica (Quadrante) é fundamental, além das coordenadas de localização da coleta em UTM (Universal Translator Mercator), datum SAD 69 (South American Datum) que é o datum oficial do Brasil atualmente, que foram obtidas com GPS tipo 60 Csx da GARMIM. As informações sobre o Estado (State), Município

(Municipality) e Localidade (Locality) subsidiaram aquelas obtidas com GPS. Em Description o amostrador descreveu o material coletado (cor, granulometria, mineralogia, textura e estrutura). Informou ainda o local de coleta e o ambiente do seu entorno. Esses dados, acrescidos da informação sobre a presença de matéria orgânica, foram de fundamental utilidade na ulterior interpretação das análises químicas que preenchidas no Quadro após a entrega dos resultados pelo laboratório.

QUADRO 4: Planilha Utilizada para Registro das Informações Sobre a Coleta de Amostras

Amostra	Tipo amostra		Amostrador				Data da amostragem		Quadrante	UTM_E	UTM_N	Estado	Município	Localidade		Descrição			
Au	Au	Ag	As	Al	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	La	Li	Mg	Mn
ppb	g/t	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%	%
Mn	Mo	Na	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Sn	Sr	Ti	V	W	Y	Zn	Zr		
ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		

Fonte: Dantas (2005)

Todas as amostras foram condicionadas em sacos plásticos apropriados e rigorosamente identificadas dentro e fora do saco. Visando o controle de qualidade Qa/Qc para testar a acurácia e a precisão do laboratório, a cada vinte amostras foi coletada uma amostra duplicata, uma “amostra padrão” e uma “amostra branca”. A amostra duplicata é coletada no mesmo local da amostra regular e serve para medir a precisão do laboratório, uma vez que se esperará que esta apresente o mesmo teor da amostra regular. A amostra padrão é uma amostra cujos teores já são conhecidos, pois já foram analisados em diferentes laboratórios. Ela é inserida no lote de amostras, pois, espera-se, que o laboratório apresente os mesmos resultados já conhecidos para os elementos daquela amostra padrão. Assim, testa-se a acurácia do laboratório. A amostra em branco é aquela que o teor do elemento pesquisado é zero. Este elemento geralmente é aquele objeto do interesse econômico da empresa, no caso desta área, o ouro. Caso o laboratório apresentasse algum teor deste material tinha-se caracterizado um caso de contaminação e a confiabilidade dos procedimentos do laboratório estaria colocada em dúvida.

Os procedimentos de coleta para cada tipo de amostra, onde cabíveis, seguiram as normas de amostragens relacionadas pelo CETEM in Góes et al. (2004), por Lins (2003) e as Normas N024 da (RMMG) Rede Metrológica de Minas Gerais. De um

modo geral, as amostras foram coletadas como amostras compostas, ou seja, em uma pequena área ao redor do ponto de estação e não apenas em um local pontual. Desta forma se tem uma maior representatividade da área.

Finalmente, foram selecionadas amostras para descrição petrográfica microscópica visando identificar minerais e verificar, na bibliografia, sua composição química visando uma checagem com os resultados de laboratório e a possível presença de metais prejudiciais à saúde humana.

#### 4.2.1.1 *Coleta de Amostras dos sedimentos ativos de corrente*

Foram coletadas 432 amostras de sedimento de corrente nos leitos ativos de rios e riachos, predominantemente os materiais que estavam em movimento nos sistemas de drenagem da micro Bacia Hidrográfica dos rios Seridó e Piranhas. Preferencialmente as amostras foram coletadas na confluência das drenagens e ao longo da extensão da drenagem de modo que a equidistância entre as amostras não superasse 500 m, conforme demonstrado no mapa da figura 8.

Com uma régua de plástico foi retirada a parte de superfície composta ou influenciada por matéria orgânica e, com uma pá de plástico ou com as mãos se coletou pelo menos 1 litro do sedimento ativo de corrente (apenas dele).

Especial atenção foi tomada quanto à profundidade, uma vez que esse tipo de amostra tem a função de revelar a composição química de uma região a montante do local de coleta na bacia de captação e o aprofundamento pode fornecer uma informação restrita ao ponto de amostragem.

#### 4.2.1.2 *Coleta de Amostras do Solo*

Foram coletadas 364 amostras de solos na região entre Ponta de Serra e Tapera, não sendo estendida para toda a área devido à decisão de focar na amostragem de rocha em regiões de anomalia para confirmar a procedência do metal anômalo.

Foi dada prioridade à coleta do horizonte B quando esse foi reconhecido de maneira indubitável, já que a região do sertão de Caicó se caracteriza por solos pouco espessos como é típico da região semi-árida. No caso de inexistência daquele horizonte

de solo, foi coletada amostra de todo o perfil de solo com o cuidado de se remover a parte superficial com matéria orgânica, uma vez que esta poderá influir no resultado, já que algumas plantas e animais podem biomagnificar algum elemento químico.

#### 4.2.1.3 *Coleta de Amostras de Rochas*

Foram coletadas 226 amostras de rocha na área, compondo o que denominamos de litogeoquímica regional. Foram coletadas ainda 792 amostras ao longo de trincheiras abertas pela São Bento Mineração S/A na região de Ponta de Serra, 340 amostras de canal nas cavas do Simpático e sendo 103 nos garimpos de Ponta de Serra e 237 nas escavações do Simpático. Essas amostras de rocha foram coletadas para confirmar a fonte dispersão de metais na drenagem da área.

As amostras de minério (rocha que hospeda a mineralização aurífera) foram coletadas segundo canaletas perpendiculares à direção da rocha, ou seja, paralelamente à sua espessura verdadeira. Essas canaletas (channel sample) foram abertas com marreta e pixote de ferro e com uma largura mínima de 10 cm, e profundidade mínima de 0,5 cm e comprimento variável na dependência da espessura da rocha. Algumas coletas foram realizadas nas cavas garimpeiras, enquanto outras foram coletadas em trincheiras abertas manualmente (com pás e picaretas) por equipe de braçais contratada pela São Bento Mineração S/A, que abriu as trincheiras perpendicularmente ao “trend” regional.

As rochas de dimensões regionais foram amostradas em pedaços (chip sample) levando em consideração um volume mínimo de 1 litro de material e uma porção areal que fosse representativa de toda a exposição. Esse mesmo procedimento foi adotado para a coleta de amostras da litogeoquímica regional.

Todas as amostras passaram por procedimentos de limpeza do local de coleta, remoção de toda a superfície intemperizada, bem como de impurezas do solo e matéria orgânica, de modo que só a rocha sã fosse coletada.

#### 4.2.2 **Tratamento das amostras**

Todas as amostras foram moídas e peneiradas até atingir a escala de 200 mesh. Em seguida foram homogeneizadas e divididas em duas alíquotas, sendo uma transportada para análise química e a outra condicionada como contra-amostra para

quaisquer eventualidades. Após cada moagem e peneiramento os equipamentos foram limpos de modo a não contaminar a amostra seguinte.

Algumas amostras, entretanto, foram concentradas manualmente com auxílio de uma bateia visando aumentar o teor dos minerais mais pesados (metais) e, assim, tornar sua identificação mais fácil, contribuindo, desta forma, para a verificação da qualidade do equipamento de análise, pois este tem que identificar os elementos pesados presentes em maior quantidade na amostra uma vez que sofreram processo de concentração gravimétrica tendo, assim, aumentado sua quantidade relativa. Com isso procurou-se prestar uma contribuição ao modelo QA/QC, uma vez que, se não todos, pelo menos a maioria dos elementos pesados estiveram presentes nesta amostra de concentrado de bateia. O material coletado foi pesado, moído e concentrado sendo este peso anotado numa planilha do Microsoft Excel. O resultado da concentração foi secado em estufa em temperatura amena para evitar a fuga do arsênio pela evaporação e novamente foi pesado. A homogeneização e a retirada de uma alíquota para ser analisada em laboratório é procedimento padrão a todas as amostras, mas neste caso essa fração que foi transportada para laboratório foi pesada e esse peso foi anotado naquela planilha eletrônica do Excel apresentada na Tabela 9 para que fosse possível realizar os cálculos para obtenção do teor “*in situ*”.

#### 4.2.3 Análises Químicas

A maioria das amostras foi enviada, prioritariamente, ao laboratório da SGS/Geosol situado a Rodovia MG 010, Km 24,5, bairro Angicos, CEP: 33.200 000, Vespasiano/MG. Algumas amostras foram enviadas para ALS Chemex no Canadá, situada à Brooksbank Avenue, North Vancouver, BC V7J 2CI, phone 604 984 0218. Cada uma das amostras sofreu processo de digestão por água régia (3:1). Os processos de análises seguiram as determinações do pacote comercial desses laboratórios, sendo a análise multielementar por (ICP - MS) “Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometre” para 32 elementos e a análise do ouro por fire assay e Absorção Atômica.

Segundo o pacote comercial dos laboratórios da GEOSOL e ALS Chemex foram analisados os seguintes elementos, nas unidades e limites de detecção informados a seguir: Ag, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Sc, Sr, Zn, Zr, Y na escala de ppm (porção por milhão) sendo o limite inferior de detecção de 1 ppm; Co, Pb, Sb, V em ppm e limite inferior de detecção de 3 ppm; Bi, Sn, W, La e B também na escala de ppm e com

limite inferior de detecção de 10 ppm; e Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P e Ti na escala de percentagem com limite de detecção de 0,01%. O Limite superior de detecção para todos os elementos mencionados foi 5.000 ppm. As conversões entre as unidades levou em consideração que 10.000 ppm é igual a 1%,  $1 \text{ ppm} = 1 \text{ g/ton} = 1 \text{ mg/Kg}^{-1}$ .

A análise do ouro por fire-assay foi do tipo quantitativa pelo qual o metal foi separado por fusão em meio redutor, dissolvido em água régia (3:1 ou seja 3 quantidades de HCl para uma de ácido nítrico) e o teor determinado por Absorção Atômica. O limite de detecção foi de 5 (ppb) porção por bilhão para uma alíquota de 30 gramas e de 3 ppb para uma alíquota de 50 gramas.

#### 4.2.4 Levantamento e mapeamento de geodisponibilidade de metais

Todos os dados de análises químicas foram modelados estatisticamente, geoprocessados e gridados visando identificar, em mapa, os elementos anômalos e os locais de anomalia para estabelecer as relações daqueles metais considerados prejudiciais à saúde com a geologia, habitação e culturas. A diversidade de fontes de metais pode ser observada a partir do estudo da rede de drenagem no software Global Mapper versão 11 através do modelo digital do terreno (SRTM) Shuttle Radar Topography Mission, referência SB-24-Z-B, e de imagens de satélite CBERS 2 que possibilitou o estudo do modelo tridimensional do terreno, da distribuição da rede de drenagem, da altimetria e do fluxo de escoamento das águas superficiais e forneceu os subsídios para interpretação da fonte dos metais que se dispersaram na bacia hídrica naquela região. O divisor d'águas delimita, do lado oeste da linha, as drenagens que alimentam o rio Piranhas e a leste as drenagens que alimentam o rio Seridó. A distribuição de frequência multimodal veio a confirmar a multiplicidade de fontes, o que foi corroborado pela Matriz de Correlação de Pearson (Tabela 10).

Ambos os parâmetros estatísticos foram tratados no software STATISTICA versão 8.0. Nesse programa e no Excel foram calculados ainda os dados básicos estatísticos de valores máximos e mínimos, média ( $\bar{X}$ ), desvio padrão ( $\sigma$ ), coeficiente de variação e diagrama de correlação para estabelecer as associações/assinaturas geoquímicas dos elementos geodisponíveis na área. O cálculo da média mais um desvio padrão ( $\bar{X} + \sigma$ ) foi efetuado para determinar os valores de limiar, background e anomalia.

TABELA 10: Classificação de Correlação Linear

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	CONVENÇÕES	CORRELAÇÃO
$r = 1$	1	Perfeita Positiva
$0,8 \leq r < 1$	0,7	Forte Positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	0,6	Moderada Positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	0,3	Fraca Positiva
$0 \leq r < 0,1$	0,01	Ínfima Positiva
$r = 0$	0	Nula
$-0,1 < r < 0$	-0,1	Ínfima Negativa
$-0,5 < r \leq -0,1$	-0,3	Fraca Negativa
$-0,8 < r \leq -0,5$	-0,6	Moderada Negativa
$-1 < r \leq -0,8$	-0,7	Forte Negativa
$r = -1$	-1	Perfeita Negativa

Fonte: Santos (2007)

Para tratar os dados de sedimento de corrente oriundos de uma mesma fonte de emissão de metais, a rede de drenagem foi dividida em domínios baseado no fluxo de escoamento dos rios e riachos a partir daqueles estudos das imagens SRTM em Global Mapper já mencionados. Dessa forma foram encontrados 18 Domínios Homogêneos (ver Figura 8 e Quadro 5), a partir dos quais foram repetidos aqueles cálculos estatísticos básicos.

As comparações envolveram os elementos químicos analisados os valores de referência estabelecidos por instituições como EPA, CETESB, ATSDR, USGS entre outras.

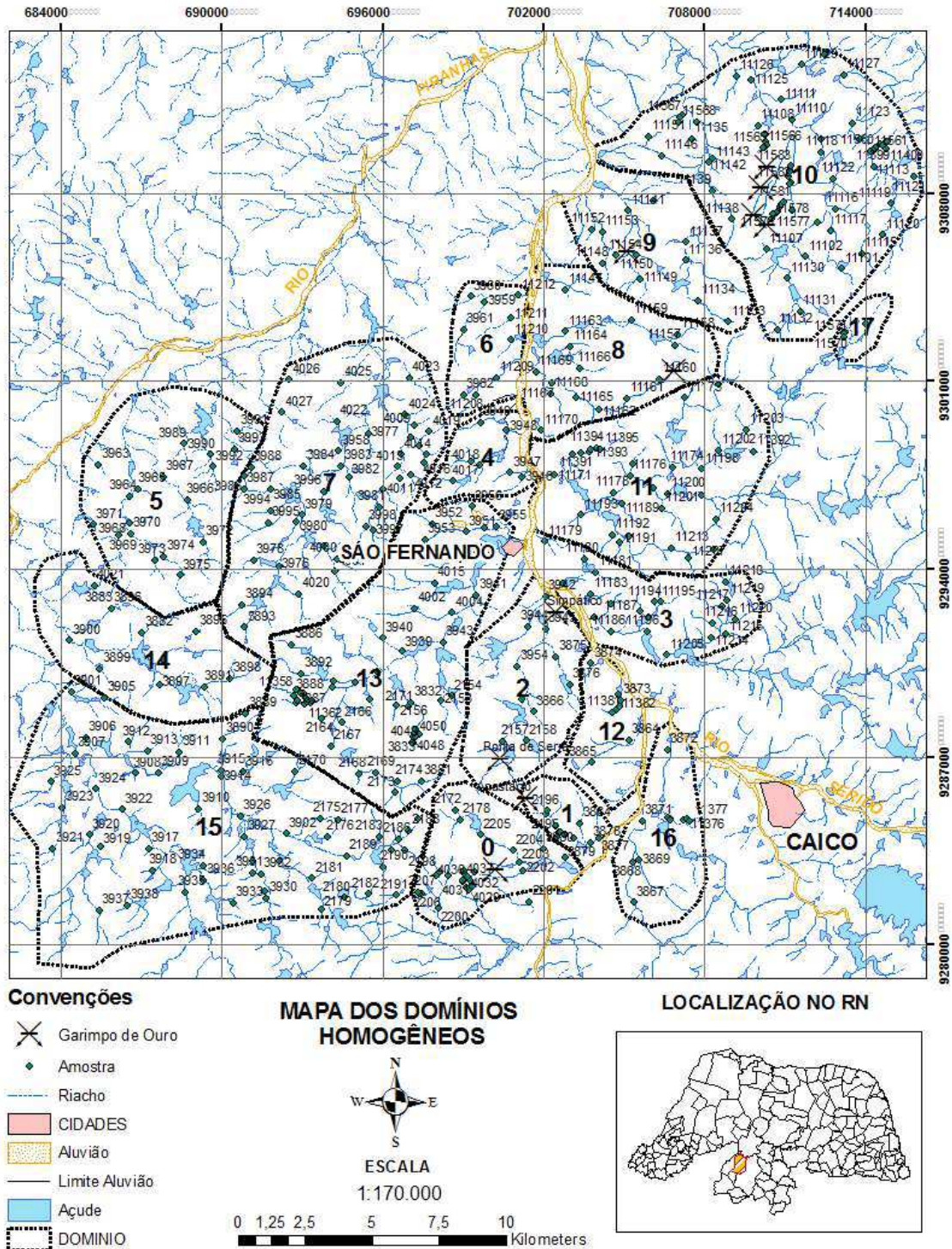
Paralelamente às coletas de amostras, foi realizada uma checagem do Mapa Geológico que foi construído a partir das informações dos trabalhos prévios descritos em 3.1. O procedimento básico foi o de conferir o traçado dos contatos das unidades litológicas, localização de feições e estruturas geológicas, garimpos e ocorrências minerais. Como para cada litologia mapeável foi criado um “layer”, as modificações existentes foram inseridas imediatamente no campo, de modo que ao término desta fase as linhas gerais do mapa estejam concluídas.

Foi utilizado o método “zoom”, segundo o qual cada exposição de rocha (afloramento) foi inicialmente analisada numa escala maior e, em seguida, progressivamente se procedeu às observações de detalhe até ao nível do microscópico quando foi o caso de dúvidas com respeito a identificação de um mineral. Um banco de



dados com informações de cada afloramento visitado e suas coordenadas de localização foi elaborado no Microsoft Access.

Figura 8: Mapa dos Domínios Homogêneos e de localização das Amostras de Sedimento de Corrente.



FONTE: Cavalcanti Nt (2012)



QUADRO 5: Amostras por Domínios Homogêneos em Sedimento de Corrente

<b>DOMÍNIOS</b>	<b>AMOSTRAS</b>
0	2207, 2206, 2192, 2200, 4029, 4030, 2199, 4028, 4031, 4035, 4032, 4037, 4036, 4034, 4033, 2200, 2194, 2198, 2193, 2172, 2178, 2205, 2204, 2203, 2202, 3880, 3879
1	3877, 3878, 3884, 2195, 2196, 2197, 11383, 11384, 11385, 11386, 11387, 11388,
2	2157, 2158, 2159, 3866, 3875, 3876, 3942, 3944, 3945, 3954
3	11180, 11181, 11182, 11183, 11184, 11185, 11186, 11187, 11188, 11220, 11205, 11214, 11215, 11216, 11217, 11218, 11219, 11194, 11195, 11196, 11179
4	4016, 4017, 4018, 3946, 3947, 3948, 3949
5	3963, 3964, 3965, 3966, 3967, 3968, 3969, 3970, 3971, 3972, 3973, 3974, 3975, 3989, 3990, 3991, 3992, 3993,
6	3962, 11208, 11209, 11210, 3961, 3959, 3960, 11212, 11211
7	3893, 3894, 3957, 3958, 3976, 3977, 3978, 3979, 3980, 3981, 3982, 3983, 3984, 3985, 3986, 3987, 3988, 3994, 3995, 3996, 3997, 3998, 3999, 4000, 4001, 4005, 4006, 4007, 4008, 4009, 4011, 4012, 4013, 4014, 4019, 4020, 4022, 4023, 4024, 4025, 4026, 4027
8	11147, 11157, 11158, 11159, 11160, 11161, 11162, 11163, 11164, 11165, 11166, 11167, 11168, 11169, 11170,
9	11133, 11134, 11136, 11137, 11140, 11141, 11148, 11149, 11150, 11152, 11153, 11154.
10	11101, 11102, 11103, 11104, 11105, 11106, 11108, 11109, 11110, 11111, 11112, 11113, 11114, 11115, 11116, 11117, 11118, 11119, 11120, 11121, 11122, 11123, 11124, 11125, 11126, 11127, 11128, 11129, 11130, 11131, 11132, 11135, 11138, 11139, 11400, 11142, 11143, 11144, 11145, 11146, 11151, 11560, 11561, 11562, 11563, 11564, 11565, 11126, 11567, 11568, 11396, 11397, 11398, 11399, 11558, 11559, 11572, 11573, 11574, 11575, 11576, 11577, 11578, 11579, 11580, 11581, 11582, 11583
11	11171, 11172, 11173, 11174, 11175, 11176, 11177, 11178, 11189, 11190, 11191, 11192, 11193, 11197, 11198, 11199, 11200, 11201, 11202, 11203, 11204, 11206, 11207, 11213, 11389, 11391, 11392, 11393, 11394, 11395
12	3864, 3865, 3873, 3874, 11378, 11379, 11380, 11381, 11382
13	2153, 2154, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2173, 2174, 3881, 3885, 3892, 3886, 3939, 3940, 3943, 4002, 4004, 4015, 3941, 4010, 3953, 3952, 3951, 3955, 3956, 3950, 3888, 11363, 11364, 3887, 11361, 11362, 11359, 11360, 11365, 11367, 11368, 11370, 11351, 11352, 11353, 11354, 11355, 11356, 11357, 11358, 4048, 4049, 3833, 4050, 11249, 11250, 2171, 3832, 2156
14	4021, 3883, 3896, 3900, 3899, 3897, 3882, 3904, 3895, 3898, 3891
15	3901, 3905, 3906, 3907, 3925, 3921, 3923, 3924, 3912, 3913, 3908, 3922, 3920, 3919, 3937, 3938, 3917, 3909, 3911, 3918, 3935, 3936, 3934, 3933, 3910, 3914, 3915, 3890, 3889, 3916, 3926, 3927, 3928, 3931, 3932, 3929, 3930, 2180, 2191, 2181, 2182, 3903, 2170, 2175, 2177, 2176, 3902, 2183, 2189, 2187, 2188, 2186, 2185, 2184, 2179,
16	3867, 3868, 3869, 3872, 3871, 3870, 11371, 11372, 11374, 11375, 11376, 11377
17	11571, 11570, 11155, 11569, 11156

Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

A modelagem foi geoprocessada no software Geosoft Oasis Montaj versão 6.4.2 e sua extensão Geochemistry que efetua o QA/QC, permite a análise geoquímica de eventos múltiplos através de histogramas interativos e plotagem de dispersão. Os mapas de gridagem gerados a partir desse soft (arquivos de extensão ers) podem ser acessados pela maioria dos programas de (SIG/GIS) Sistema de Informações Geográficas / Geographic Information System e Desktop Mapping, sendo aqui utilizado o ArcGs versão 9.3. Foi ainda confeccionado mapas de símbolos para a visualização espacial dos teores dos elementos analisados e de localização das estações de amostragem dos sedimentos de fundo de drenagem, gráficos correlacionando às estações de amostragem e os teores dos metais pesados e elementos tóxicos. A integração entre os mapas de teores de cada um dos elementos químicos e a geologia, e/ou à atividade antrópica, entre outras possibilidades, foram facilitadas com o uso integrado de ferramentas dos softwares ArcGis versão 9.3, MapInfo 10 / Discover 5.0 e Global Mapper versão 11.

#### **4.2.5 Levantamento da incidência de doenças**

Foi aplicado um questionário impresso (Anexo A e C) em uma amostra da população do município de São Fernando (38 pessoas) nos dias 8 e 9 de maio de 2012, tanto no meio rural quanto no urbano, visando conhecer o perfil das pessoas e comprovar a alta incidência de câncer e suas possíveis relações com as atividades garimpeiras de ouro, especialmente as relações laborais e espaciais.

O pessoal que trabalha com saúde (Postos, Hospital, Secretarias etc.) e aqueles que trabalharam na garimpagem tiveram uma abordagem diferenciada, com questões mais específicas. Nestes casos foi elaborado um “check list” com os temas objeto de abordagem que foram mencionados durante as entrevistas e que contemplarão, por exemplo: o tempo e a localização da residência no horizonte de até 20 anos.

Foi realizada ainda uma busca nos arquivos da Secretaria Municipal de Saúde do município de São Fernando e pesquisas bibliográficas, tendo em vista que esta região fica à jusante das principais ocorrências de garimpos. Foram procedidas visitas junto a Secretaria de Saúde de Caicó, uma vez que o Hospital Regional daquele município recebe os pacientes das cidades do Seridó, incluindo São Fernando.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 GEODISPONIBILIDADE DE METAIS EM SEDIMENTO DE CORRENTE

#### 5.1.1 – Análise do Universo dos Dados

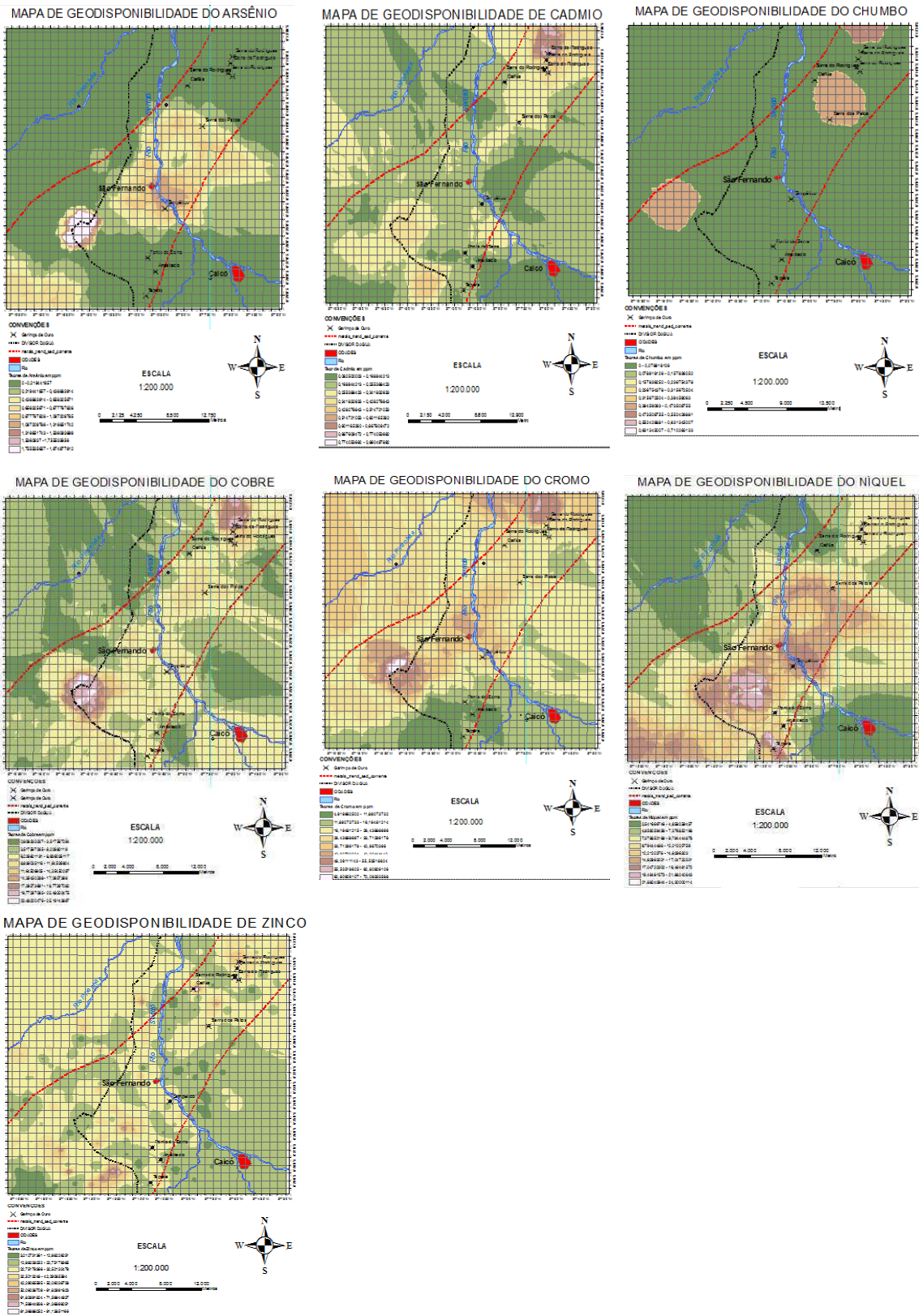
Os mapas das figuras 9 mostram a distribuição geográfica das concentrações dos metais pesados mais perigosos à saúde humana. Estes mapas, denominados Mapas da Geodisponibilidade de Metais Pesados na área de confluência dos Rios Piranhas e Seridó, atestam que as principais concentrações são coincidentes com as regiões de antigas exploração garimpeira de ouro, considerando que cada elemento possui uma dispersão diferente em função do pH, regime de fluxo, entre outros fatores.

Outras regiões não associadas com nenhuma atividade mineral conhecida foram identificadas neste trabalho. Uma das áreas de anomalias mais conspícua é aquela cujo centro é definido pela coordenada UTM\_E 692.000 e UTM\_N 9.290.000, na localidade de Sitio Velho, na área do divisor d'águas da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas a Oeste e Seridó a Leste, onde foram identificadas anomalias de Cr, Cu, Cd, As e Ni. Outras áreas anômalas igualmente não associadas a nenhuma atividade mineral estão localizadas a W de Tapera na localidade de Encapinado.

Os teores mais elevados de Arsênio definem um “trend” NE/SW passando pela sede de São Fernando e abrangendo os garimpos de Simpático, Serra dos Patos e Sítio Velho, na localidade denominada de Sítio Velho. Todas essas fontes de emissão de arsênio situam-se a montante da cidade de São Fernando, compondo a rede de drenagem que supre o açude que abastece a população urbana, cenário este que, por si só, demanda preocupação e um estudo pormenorizado para se verificar a existência deste elemento nas águas que suprem os habitantes daquela cidade.

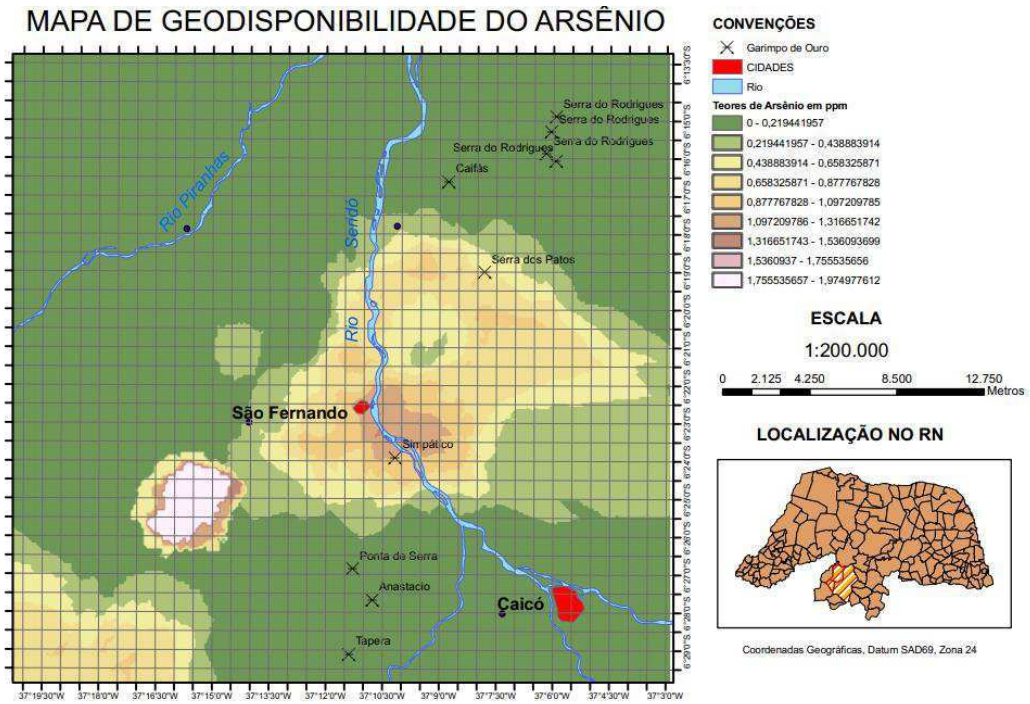
A maior anomalia de cádmio é na área dos garimpos da Serra do Rodrigues. Valores menores foram observados em Serra dos Patos, a Oeste de Tapera, nas proximidades das coordenadas UTM\_E 895.755 e UTM\_N 9.283.470 e outra, merecedora de registro devido à presença de arsênio associado, em Sítio Velho (UTM\_E 692.000 e UTM\_N 9.290.000), reforçando a necessidade de uma investigação detalhada.

Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade de Metais pesados em sedimento de corrente na área entre Caicó, São Fernando e Timbaúba dos Batistas.



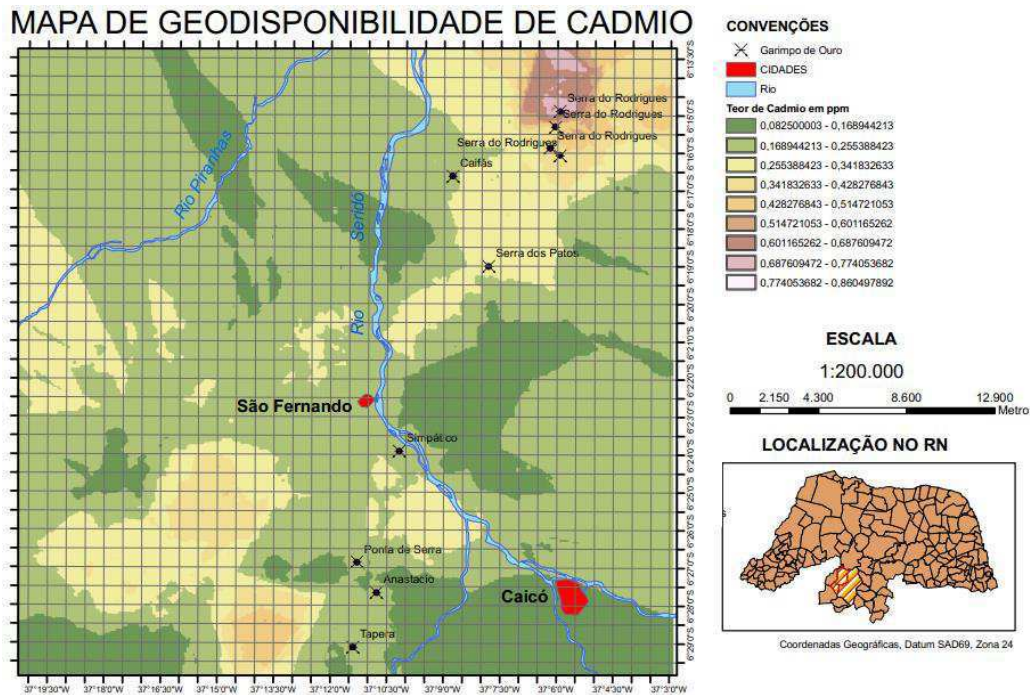
Fonte: Cavalcanti Nt. (2012)

Figura 9 a: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade de Arsênio mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.



FONTE: Cavalcanti Nt (2012)

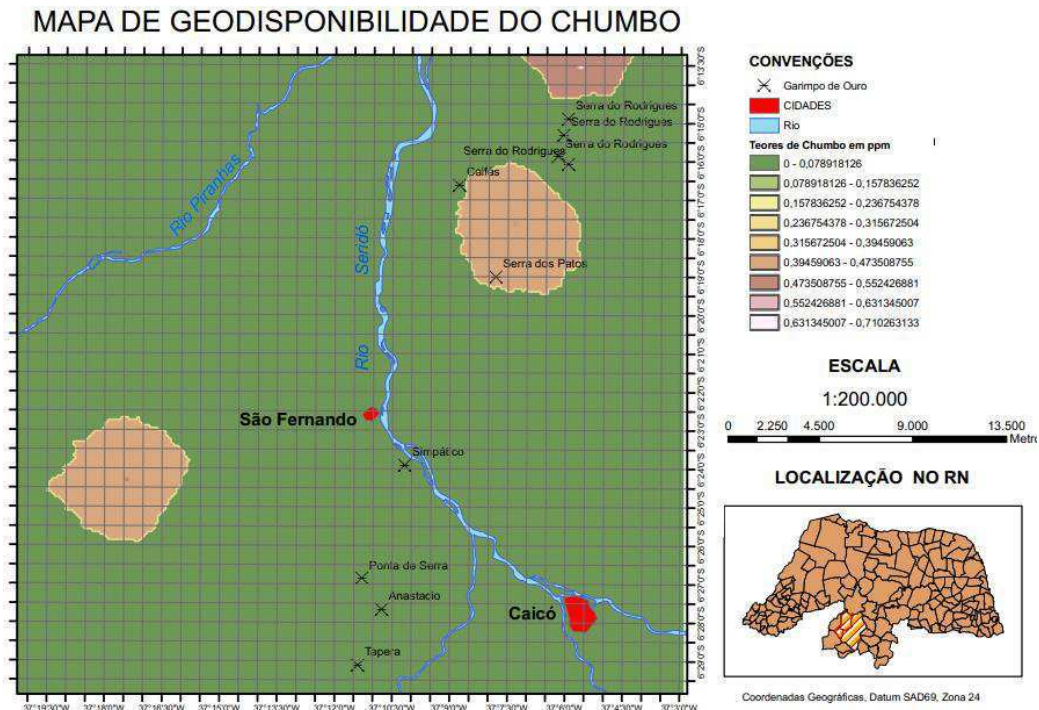
Figura 9 b: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade do Cadmio mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.



FONTE: Cavalcanti Nt (2012)

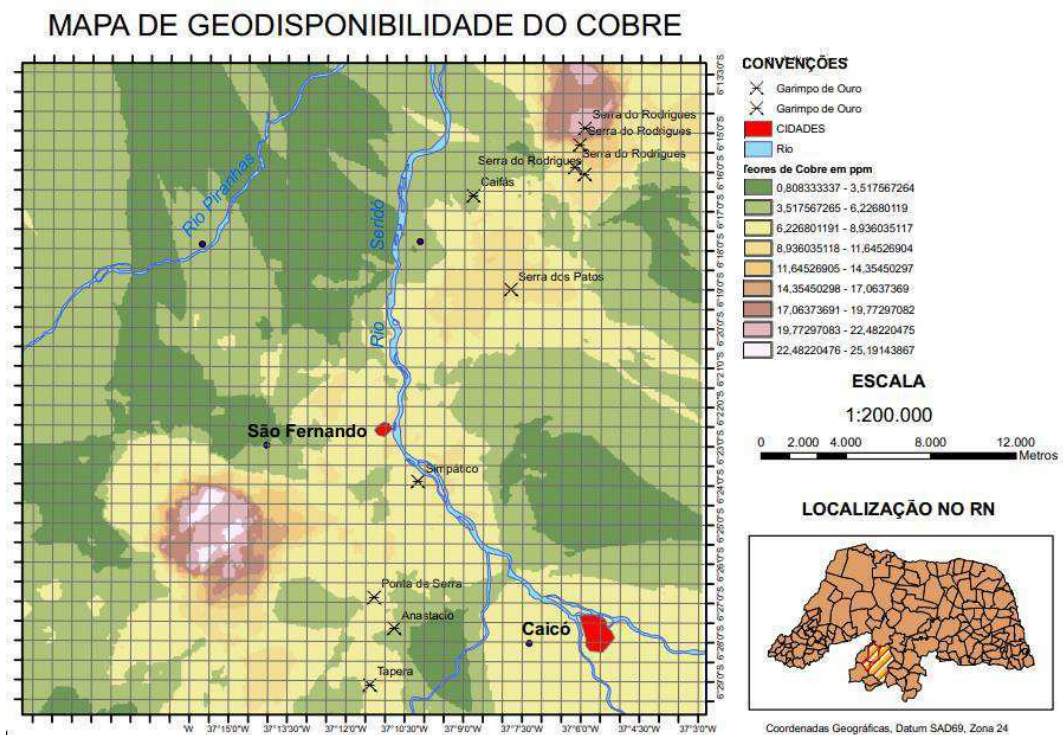


Figura 9 c: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade do Chumbo mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.



FONTE: Cavalcanti Nt (2012)

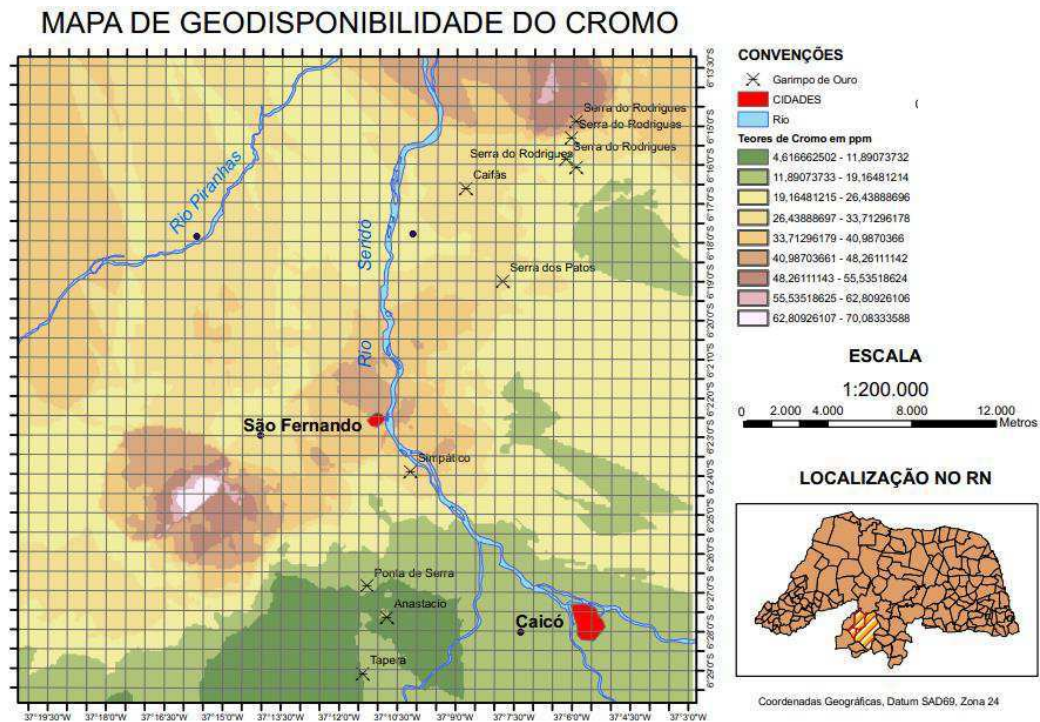
Figura 9 d: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade do Cobre mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.



FONTE: Cavalcanti Nt (2012)

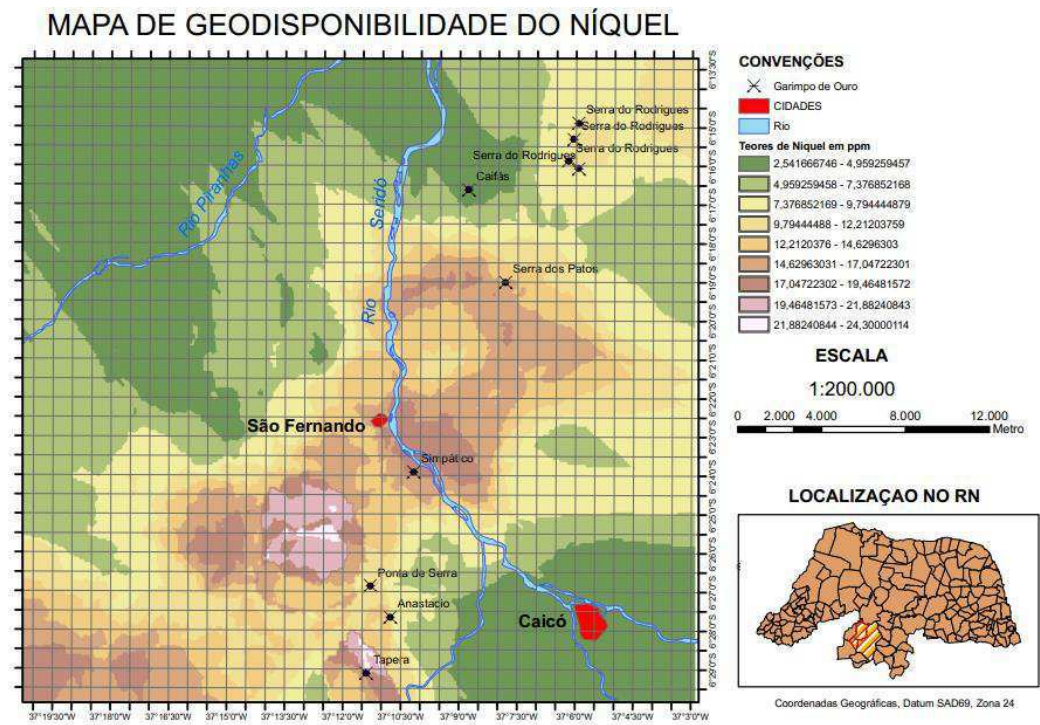


Figura 9 e: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade do Cromo mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.



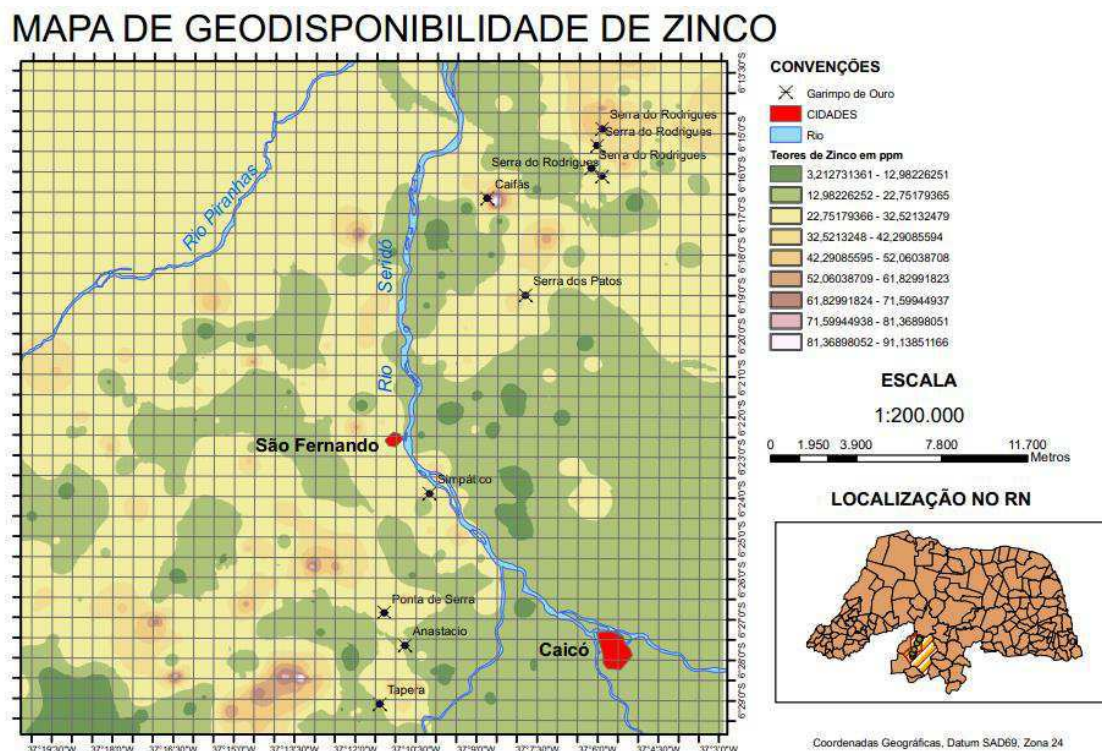
FONTE: Cavalcanti Nt (2012)

Figura 9 f: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade do Níquel mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.



FONTE: Cavalcanti Nt (2012)

Figura 9 g: Ampliação de parte da Figura 9: Mapa de Geodisponibilidade do Zinco mostrando os locais onde esse elemento está mais concentrado.



FONTE: Cavalcanti Nt (2012)

O chumbo é anômalo a norte dos garimpos de Serra do Rodrigues, entre Caifás e Serra dos Patos e na porção Oeste da área, nas vizinhanças daquela anomalia de arsênio mencionada anteriormente. Contudo, devido à sua imobilidade (o Pb é imóvel ou de baixa mobilidade sob condições de oxidação e em meio ácido a alcalino – caso da área do Seridó norte-riograndense), o Pb ficou circunscrito a área de emissão não chegando à sede do município pela dispersão através rede de drenagem. Já o cobre tem duas regiões bem definidas de fortes anomalias, sendo uma na Serra dos Rodrigues e a outra em Sítio Velho. Valores menores de Cu são observados na cidade de São Fernando e nos garimpos de Caifás, Simpató, Serra dos Patos, Ponta de Serra, Tapera e Anastácia, sugerindo que o cobre está associado às mineralizações auríferas.

O cromo ocupa uma área bastante abrangente que pode ser devido a alta dispersão do elemento (pouco provável) e a presença do metal em rochas de expressão regional. As maiores anomalias estão nos garimpos de Serra dos Rodrigues, na sede de São Fernando, em Sítio Velho e no garimpo do Simpató. Já o níquel apresenta uma



faixa anômala constatada desde a localidade de Sítio Velho, passando pela cidade de São Fernando, Simpático e Serra dos Patos. Outros dois pontos de forte anomalia de Ni são identificados no canto SW do mapa e em Tapera.

A característica principal do mapa de anomalias do zinco é a presença de vários pontos de anomalias máximas distribuídos por quase toda a área sem definir regiões como os demais metais aqui enfatizados. Destacamos, todavia, os pontos anômalos a W de Tapera em Encampinado, nas proximidades da cidade de São Fernando, em Caifás e na Serra do Rodrigues.

Os metais Al, Ba, Be, B, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mn, Pb, S, Sn, Sr, W, Y e Zr e, secundariamente, a Ag, P, Ni e Zn apresentam anomalias coincidentes com as vizinhanças das coordenadas UTM\_E 711.100 e UTM\_N 9.308.100 onde situam-se as ocorrências de ouro de Serra dos Rodrigues, no extremo NE da área e entre Ponta de Serra e Tapera. Em Simpático, além das mencionadas anomalias foram encontrados teores acima da média dos elementos Co e Ba.

A anomalia de Sítio Velho, além dos metais já mencionados, apresenta forte anomalia de Ba, Zr, W, Mg, Li, Y, P, Co, Fe, Sr, Sn, S e fraca a média de La. Outra área de anomalias de Ba, V, W, Na, Fe, Sn, La, Co, Sc, P, foi delimitada a Oeste de Tapera sem que nenhuma atividade de extração mineral tenha sido registrada. Também sem nenhuma associação com a garimpagem registramos uma anomalia de La e Y a Leste do mapa e outra a Oeste do Mapa, nas proximidades da sede de Jardim de Piranhas. O Alumínio apresenta uma faixa anômala que vai de Encapinado (696.037 UTM\_E e 9.283.784 UTM\_N) à Sítio Velho (UTM\_E 692.000 e UTM\_N 9.290.000).

### **5.1.2 Síntese Estatística dos Metais em Sedimento de Corrente**

A síntese estatística do universo das 432 amostras de Sedimento de Corrente coletadas está apresentada na Tabela 11. Apenas o bismuto, o antimônio e o titânio apresentaram todos os teores abaixo do limite de detecção e, por isso, não foram incluídos nessas sínteses. Os restantes dos elementos apresentaram pelo menos algum teor entre acima do limite inferior e abaixo do limite superior de detecção.

TABELA 11: Síntese Estatística dos Metais Analisados em Sedimento de Corrente na área de confluência dos Rios Piranhas e Seridó/RN.

	m	M	$\bar{X}$	$\sigma$	Coef. de Variação (%)	$\bar{X} + \sigma$
Au_ppb	0	2553	18,479	147,74	799,50	166,2
Ag_ppm	0	1,9	0,028	0,1989	704,41	0,227
As_ppm	0	8	0,270	0,749	277,19	1,019
Al_%	0	2,8	0,971	0,6632	68,32	1,634
B_ppm	0	10	0,023	0,48057	2076,05	0,504
Ba_ppm	6,7	440	77,322	61,789	79,91	139,1
Be_ppm	0	1,4	0,019	0,1456	785,97	0,164
Ca_%	0	2	0,134	0,1466	109,38	0,281
Cd_ppm	0	1,1	0,003	0,05286	2076,05	0,055
Co_ppm	0	31	7,692	5,3574	69,65	13,05
Cr_ppm	1,5	217	27,464	21,3914	77,89	48,86
Cu_ppm	0	66	8,037	9,7198	120,94	17,76
Fe_%	0,16	4,5	1,491	0,7191	48,22	2,21
K_%	0,03	1,4	0,264	0,198	74,91	0,462
La_ppm	0	105	18,248	13,5727	74,38	31,82
Li_ppm	1,3	43	9,272	6,8716	74,12	16,14
Mg_%	0,02	1,4	0,340	0,2171	63,89	0,557
Mn_%	0	0,14	0,023	0,0203	88,32	0,043
Mn_ppm	0	2,3	0,043	0,2425	563,17	0,286
Mo_ppm	0	0,39	0,008	0,0242	313,12	0,032
Na_%	0	78	14,201	12,109	85,27	26,31
Na_ppm	0	0,68	0,031	0,0405	132,06	0,071
Ni_ppm	0	109	10,556	9,05728	85,80	19,61
Pb_ppm	0	6,2	0,038	0,4612	1200,19	0,5
S_%	0	14	1,732	2,7258	157,36	4,458
Sc_ppm	2,5	104	13,851	8,52903	61,58	22,38
Sn_ppm	0	0,19	0,056	0,0289	51,44	0,085
Sr_ppm	5,1	185	30,386	18,4822	60,82	48,87
V_ppm	1,7	24	6,556	3,689	56,27	10,25
W_ppm	2,8	94	25,970	14,946	57,55	40,92
Y_ppm	0	12	1,915	1,492	77,92	3,407
Zn_ppm	0	94	25,034	15,289	61,07	40,32
Zr_ppm	0	12	1,826	1,4831	81,22	3,309

m = valor mínimo; M = Valor Máximo;  $\sigma$  = Desvio Padrão;  $\bar{X}$  = Média

Fonte: Cavalcanti Nt. (2012)

Praticamente todos os elementos apresentam uma distribuição de frequência do tipo multimodal, refletindo o aporte de fontes variadas de metais, conforme foi constatado pelos mapas de gridagem gerados (Figura 9 a até Figura 9 g), os quais apresentaram diferentes áreas anômalas, identificadas como fonte de emissão dos

metais, áreas essas citadas nominalmente a seguir: (i) Serra do Rodrigues/Caifás, (ii) Serra dos Patos; (iii) Simpático, (iv) Ponta de Serra /Anastácia e Tapera, (v) Sítio Velho, (vi) Encapinado, (vii) sede de São Fernando, (viii) Leste do mapa e (xi) W do mapa. Outro indicador de múltiplas fontes de aporte de metais ao sistema hídrico amostrado foi a Matriz de Correlação de Pearson, utilizada para verificar a existência e o grau de relação entre variáveis, cujos resultados, para a maioria dos elementos analisados, foi uma correlação fraca. Essa Matriz admite valores “r” entre  $-1$  e  $+1$ , onde, nesses limites, a correlação é perfeita negativa ou positivamente, enquanto valores próximos a zero indicam fraca correlação, sendo estabelecido por Santos op. cit. (2007).

Assim, elementos que tradicionalmente aparecem em associação geoquímica em depósitos auríferos, apresentam correlações fraca, nula ou ínfima quando os dados das 432 amostras são analisados conjuntamente. A correlação entre ouro e a prata é 0,16 ressaltando ser esta a maior correlação do ouro entre todos os elementos analisados. Com o arsênio e o cobre, que são elementos que tradicionalmente formam associação geoquímica com o Au, a correlação foi praticamente inexistente, respectivamente 0,04 e 0,06.

As correlações do tipo Forte Positiva ( $0,8 \leq r < 1$ ) foram encontradas entre os seguintes elementos: La e V, Fe e Ba, Ca e P, Cr e Na, K e Sn, Sn e Mg, V e La, W e Sn, Cu e Na ( $r = 0,79$ ). O Fe se correlaciona positivamente forte ( $r > 0,8$ ) com o Mg, o Sr e o W e o Mg com o K, Sn, Sr, Fe e K. Destacam-se entre as correlações forte positivas o Zn e W e o Zr e Y respectivamente  $r = 0,92$  e  $r = 0,93$ . Essas fortes correlações podem ser também constatadas pela coincidência geográfica de áreas de fortes anomalias como ocorre entre o Zn e W e o Zr e Y na Serra do Rodrigues e na área entre Encapinado (696.037 UTM\_E e 9.283.784 UTM\_N) e Sítio Velho (UTM\_E 692.000 e UTM\_N 9.290.000).

Entre os Metais Pesados analisados neste trabalho (Tabela 12), convém destacar a correlação forte positiva entre o Cu e o Cr ( $r = 0,75$ ) e as correlações fracas positivas entre Cu, Cr e Zn. Essas correlações, bem como aquelas com  $r > 0,80$  anteriormente citadas define uma faixa de anomalias multi - elementos de direção NE-SW.

TABELA 12: Matriz de Correlação entre os Elementos As, Cd, Cr, Cu, Pb e Zn coletados em Sedimento de Corrente

	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
As	1,00	-0,02	0,23	0,24	-0,03	0,05
Cd	-0,02	1,00	0,11	0,19	-0,00	-0,08
Cr	0,23	0,11	1,00	0,75	0,05	0,39
Cu	0,24	0,19	0,75	1,00	0,07	0,43
Pb	-0,03	-0,00	0,05	0,07	1,00	0,11
Zn	0,05	-0,08	0,39	0,43	0,11	1,00

Cálculos realizados no software Statistica versão 8.0.  
Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

### 5.1.3 – Domínios Homogêneos da área de amostras de Sedimento de Corrente

A análise do universo das amostras coletadas revela uma distribuição multimodal para a maioria dos elementos e uma correlação muito baixa entre os principais metais investigados neste trabalho. Isso se deve ao fato de o universo das amostras coletadas refletirem diferentes fontes de contaminação, conforme se confirma também pela análise do fluxo direcional da rede de drenagem, altimetria, imagem SRTM referência SB-24-Z-B, imagens de satélite CBERS e interpretação tridimensional do modelo digital do terreno. Exceção para aquelas anomalias cujos elementos apresentaram forte correlação positiva ( $r > 0,80$ ).

Para tratar o conjunto de amostras oriundas de uma mesma fonte de contaminação, dividimos a área em domínios a partir daquelas ferramentas de sensoriamento remoto e análises mencionadas no parágrafo anterior. Dessa forma a área foi dividida em 18 domínios, conforme demonstrado na figura 9 e listadas no Quadro 3 as amostras correspondentes a cada um dos 18 domínios.

Nesses 18 Domínios convém destacar que o cádmio só está presente acima do limite inferior de detecção no Domínio 13, a prata nos domínios 10 e 12 e o arsênio nos domínios 2, 3, 4, 7, 8, 11, 13 e 15. O ouro está ausente ou abaixo do limite de detecção nos domínios 4, 6, 9 e 14 e o chumbo nos domínios 13, 14, 15, 16 e 17 (Tabela 13).

TABELA 13: Média de Teor de Metais Pesados e Metais Preciosos por Domínio Homogêneo

	Au	Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	S	W	Zn
Domínio 0	61	0	0	0	3,9	8,3	5,4	1,2	12,7	12,7	1,53	21,1	21,1
Domínio 1	95,7	0,5	0	0	4,6	8,6	3,6	1,1	6,9	7,0	0	14,7	14,6
Domínio 2	3,6	0	1,9	0	5,3	15,5	6,3	1,2	11,0	11,1	2,4	23,9	23,9
Domínio 3	3,9	0	1,5	0	8,4	28,0	5,6	1,1	12,6	12,8	1,8	18,9	18,8
Domínio 4	0	0	1,8	0	9,8	40,1	5,1	1,5	11,3	11,3	1,7	26,1	26,1
Domínio 5	3,3	0	0	0	10,2	31,3	4,5	1,4	5,5	5,5	1,6	27,5	27,5
Domínio 6	0	0	0	0	10,3	23,1	3,2	1,2	7,2	7,4	1,4	28,1	28,1
Domínio 7	3,5	0	2,5	0	9,1	33,3	5,9	1,3	5,8	5,9	1,6	23,6	23,6
Domínio 8	2,8	0	1,3	0	8,5	30,8	9,1	1,4	16,3	16,3	1,8	21,8	21,8
Domínio 9	0	0	0	0	5,4	30,3	7,2	1,6	4,5	4,7	2,5	29,1	29,1
Domínio 10	51,3	0,5	0	0	8,1	34,8	9,8	1,7	8,4	8,5	2,3	31,7	31,6
Domínio 11	5,7	0	1,3	0	7,9	24,5	5,9	1,2	14,1	14,1	1,3	18,4	18,4
Domínio 12	18,7	1,1	0	0	7,8	17,7	8,4	1,4	8,2	8,3	1,7	25,2	25,2
Domínio 13	10,6	0	0,6	0,02	10,1	39,2	16,1	2,0	16,2	0	4,4	31,5	25,5
Domínio 14	0	0	0	0	4,1	19,4	1,2	1,2	7,4	0	0,7	23,4	23,4
Domínio 15	1,5	0	0,4	0	6,0	18,3	6,5	1,5	13,0	0	2,7	29,2	29,1
Domínio 16	17,3	0	0	0	5,7	18,2	7,7	1,2	3,5	0	0,6	15,0	14,9
Domínio 17	35,4	0	0	0	4,8	20,8	5,1	1,4	5,0	0	0	25,0	25,0

Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

Merecedora de destaque é a Correlação fortemente positiva entre o W e Zn em todos os domínios, como pode ser observado, ainda que parcialmente, pelas médias aritméticas de teores de alguns elementos listadas por domínio Tabela 13. Essa forte correlação também pode ser observada entre o Chumbo e o Níquel do domínio 0 ao domínio 12, uma vez que nos demais domínios o Pb está ausente ou abaixo do limite de detecção. Essas fortes correlações sugerem uma associação geoquímica entre esses elementos e que cada domínio se constitui numa fonte única de suprimento de metais para a bacia de captação.

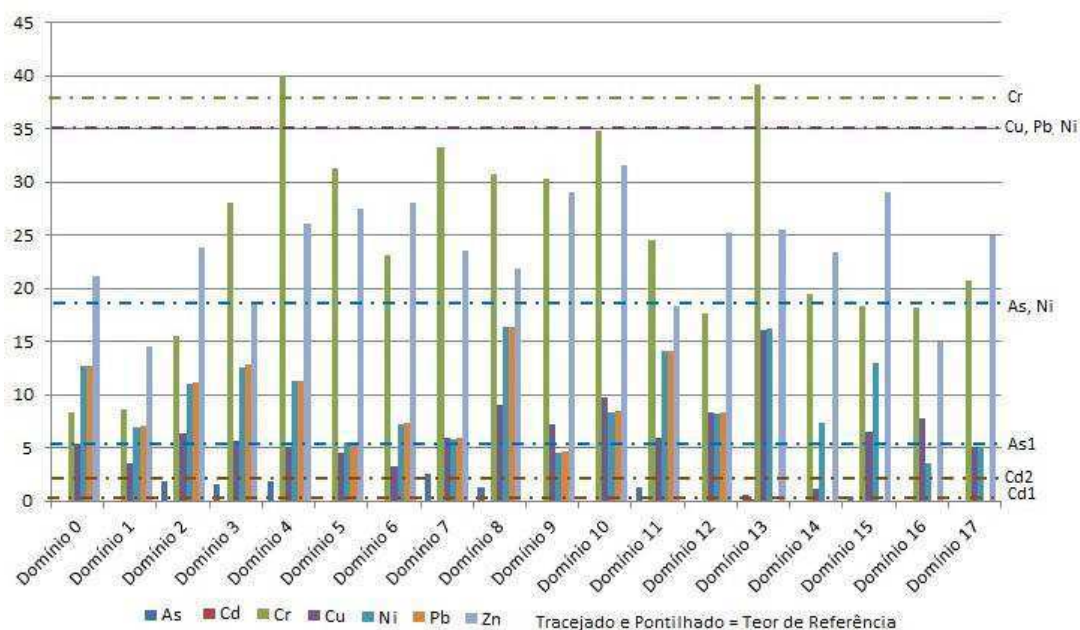
#### 5.1.4 – Comparação dos Valores Encontrados de Metais Pesados com os valores de Referência

A verificação da qualidade dos sedimentos da área foi realizada através da comparação com os valores de referência determinados pela Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004) e ilustrado abaixo no gráfico da figura

10. Os traços coloridos contínuos e mais grossos referem-se à média dos teores dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Ni e Pb e Zn. As linhas alternadas, tracejadas e pontilhadas, referem-se aos valores de referência dos metais para água doce, acrescido dos números 1 e 2 referentes aos níveis 1 e 2 (quando os teores situam-se na escala do gráfico), conforme estabelecido na resolução do CONAMA N° 344 supramencionada. O zinco não está incluído, pois o valor mínimo de referência, 123 mg/Kg, situa-se fora dos valores abrangidos pelo gráfico, denotando que nenhum elemento teve teor médio que atingisse tais valores. O Cr, Cu e Pb estão representados no gráfico apenas com respeito ao nível 1, pois os valores relativos ao nível 2 fogem da escala do gráfico.

De modo geral todas as médias dos elementos estão abaixo dos valores de referências, exceto o cromo nos domínios 4 e 13.

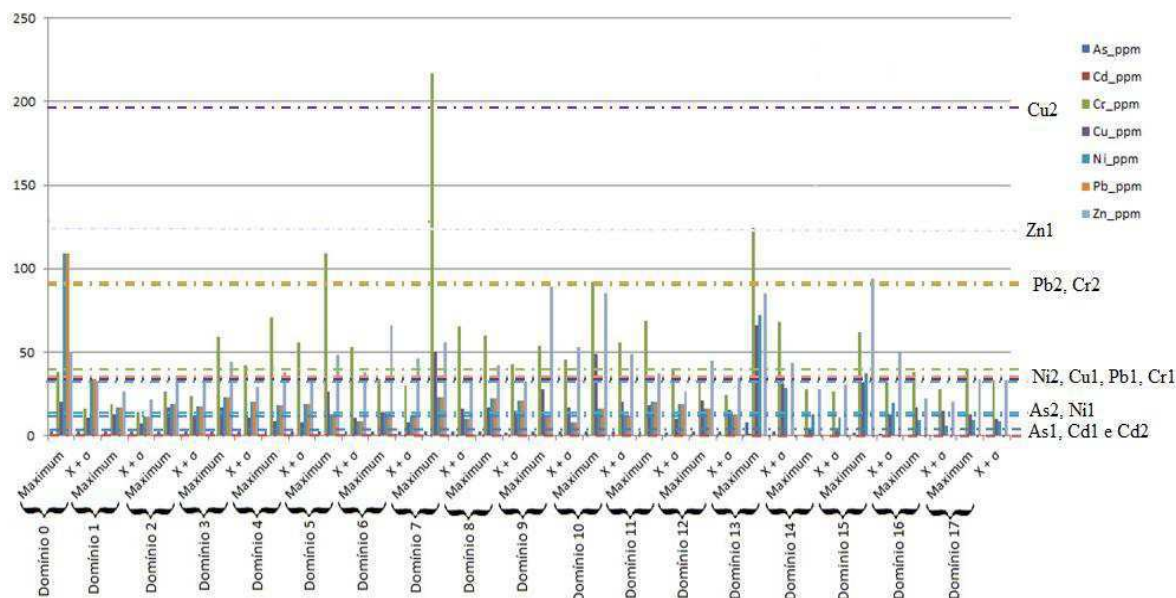
Figura 10: Comparativo entre os teores médios por domínios e os valores de referência propostos pela Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

Na figura 11 é possível compararmos, em gráfico, os valores de teores máximos e os teores acima da média aritmética mais um desvio padrão ( $X + \sigma$ ) com os valores de referência em cada um dos 18 domínios. Ressalta aos olhos que os teores máximos e  $X + \sigma$  de cromo são mais elevados que os de referência do nível 1 em quase todos os domínios e são maiores que o nível 2 nos domínios 5, 7 e 13.

Figura 11: Comparativo entre os Valores Máximos e Desvio Padrão por domínios e os valores de referência propostos pela Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

A tabela 14, que lista a frequência de ocorrência de teores acima dos valores de referência e da média mais um desvio padrão ( $X + \sigma$ ) em cada um dos 18 domínios, corrobora com o gráfico da figura 11. Quando a comparação é feita com os valores de referência do nível 1 estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004, tomados a partir do TEC (Threshold Effect Concentration), limiar a partir do qual o teor passa a ser preocupante à saúde. De outra forma podemos afirmar que nos casos em que os teores estejam acima dos valores de referência, o sedimento possui quantidades preocupantes do metal em questão. Este é o caso do arsênio que apresenta 3 dados de teor acima do valor de referência no domínio 13, configurando aquela área como bastante preocupante. Somando-se a isto se incluiu, apesar dos cuidados tomados com a amostragem, transporte e análises, as questões peculiares do arsênio, que exigem cuidados especiais, sem os quais os teores de As são facilmente subdimensionados.

TABELA 14: Frequência de ocorrência de teores acima dos valores de referência e da média mais um desvio padrão dos metais pesados nos 18 domínios levantados

D		As_ppm	Cd_ppm	Cr_ppm	Cu_ppm	Ni_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm
0	FREQ>REF	0	0	1	0	4	2	0
0	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	3	3	3	2	4
1	FREQ>REF	0	0	0	0	0	0	0
1	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	2	1	2	2	2
2	FREQ>REF	0	0	0	0	3	0	0
2	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	2	2	3	3	2
3	FREQ>REF	0	0	6	0	7	0	0
3	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	4	3	1	4	3
4	FREQ>REF	0	0	3	0	2	0	0
4	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	1	2	0	0	1
5	FREQ>REF	0	0	4	0	0	0	0
5	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	1	2	3	3	3
6	FREQ>REF	0	0	0	0	0	0	0
6	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	2	1	2	2	1
7	FREQ>REF	0	0	6	1	1	0	0
7	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	2	5	3	3	5
8	FREQ>REF	0	0	3	0	7	0	0
8	FREQ>X+ $\sigma$	3	0	2	4	1	2	3
9	FREQ>REF	0	0	5	0	0	0	0
9	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	3	2	2	2	2
10	FREQ>REF	0	0	24	3	0	0	0
10	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	10	9	7	7	7
11	FREQ>REF	0	0	6	0	7	0	0
11	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	6	4	3	3	6
12	FREQ>REF	0	0	0	0	0	0	0
12	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	1	1	3	2	1
13	FREQ>REF	3	1	26	9	22	0	0
13	FREQ>X+ $\sigma$	3	1	11	9	3	0	10
14	FREQ>REF	0	0	0	0	0	0	0
14	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	0	0	1	0	0
15	FREQ>REF	0	0	4	0	11	0	0
15	FREQ>X+ $\sigma$	10	0	9	7	6	0	6
16	FREQ>REF	0	0	1	0	0	0	0
16	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	3	3	1	0	3
17	FREQ>REF	0	0	1	0	0	0	0
17	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	1	1	1	0	1

D = Domínio Homogêneo; FREQ = Frequência Absoluta (número de vezes em que uma determinada variável assume um valor); REF = Valor de Referência estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004; X+  $\sigma$  = Média mais um Desvio Padrão.

Fonte: Cavalcanti Nt (2012).



Os valores anômalos em relação à população de dados de cada domínio são aqueles acima da  $X + \sigma$ . Em alguns casos essas anomalias não são preocupantes em relação à saúde, pois estão abaixo daqueles de referência estabelecidos pela resolução do CONAMA nº 344, conforme a maioria dos casos segundo registrado na tabela 14. Em outros, todavia, o valor  $X + \sigma$  é maior que o valor de referência e, assim, a frequência de dados acima do valor de referência é maior que a frequência de dados acima do valor de referência, como é o caso do Ni nos domínios 0, 3, 4, 8, 11, 13 e 15 e do Cr nos domínios 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 e 13. O níquel tem 90 teores acima do valor de referência, ocorrendo este fato em 13 dos 18 domínios. Já o cromo tem 64 teores acima do nível 1 de referência, tendo este fato se repetido em 9 dos 18 domínios. O Cu encontra-se acima da referência nos domínios 7, 10 e 13, o Pb só tem teor acima da referência no domínio 0 e o Cd só tem teor acima da referência no domínio 13.

O Zinco é o único elemento que se manteve abaixo do nível de referência indicado pela Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004 em todos os domínios.

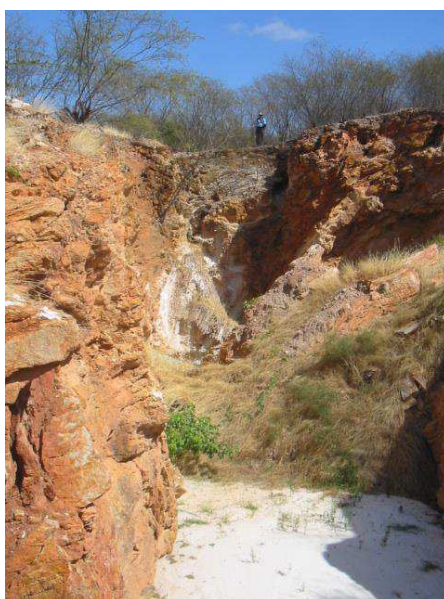
## 5.2 – GEODISPONIBILIDADE DE METAIS EM AMOSTRAS DE SOLOS

### 5.2.1 – Análise do Universo dos Dados

A amostragem de solo foi realizada em uma única área abrangendo os garimpos de Ponta de Serra, Anastácia e Tapera, não tendo sido procedida nas demais regiões devido a sua pequena espessura, razão pela qual se decidiu amostrar diretamente as rochas. Nesta área os garimpeiros extraíram ouro do solo numa área de aproximadamente 24 Km<sup>2</sup> e deixaram uma média de 0,05 g/ton de Au, resultados esses obtidos de 364 amostras coletadas da maneira descrita no capítulo 4.

A área onde se situa esse solo está delimitada aproximadamente pelas coordenadas UTM\_E 698.000 e 702.000 e UTM\_N 9.284.000 e 9.288.000. Foram executadas 7 linhas de amostragem de direção NE/SW seguindo uma malha geral de 450m x 15 m, exceto duas linhas em Ponta de Serra que foram executadas imediatamente a montante e a jusante da cava garimpeira (Figura 12).

Figura 12: Foto da cava principal do garimpo de Ponta de Serra



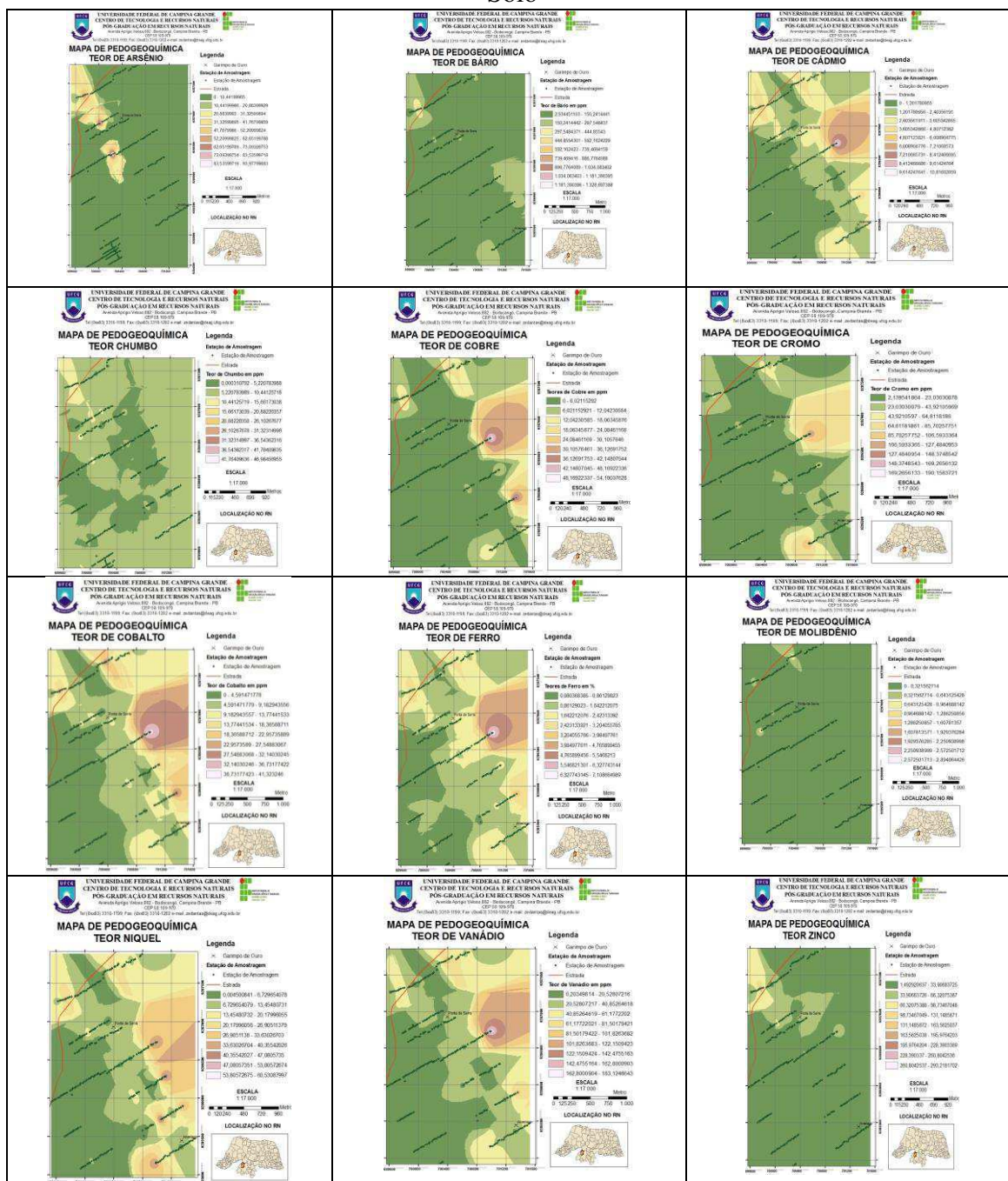
Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

Aqui a comparação com os valores de referência se dá entre os elementos contemplados pela Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009) e, quando esta não prever, se utilizará dos parâmetros da CETESB - Decisão de Diretoria Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005 (SÃO PAULO, 2005). Os mencionados elementos são o Antimônio (Sb), Arsênio (As), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Prata (Ag), Selênio (Se), Vanádio (V) e Zinco (Zn). Desses o Sb e a Ag apresentaram teores abaixo do limite de detecção e, portanto, não terá o mapa de gridagem de teor apresentado aqui. O Se e o Hg não foram analisados, pois não estavam contemplados entre os elementos do pacote comercial do laboratório da Geosol/Lakefield.

O arsênio exibe teores anômalos em relação a  $X + \sigma$  na primeira e segunda linha contadas de NW para SE, estendendo-se com valores mais baixos na terceira linha de coleta de amostra. Essa zona anômala supre de As os riachos das Várzeas, Cavalcante e do Angico, drenagens estas situadas a montante da sede de São Fernando. Importante notar que as anomalias definidas pelos sedimentos de corrente, não reconheceu valores anômalos de arsênio oriundos deste local, mas principalmente daquele de Sitio Velho, do Simpático e da Serra dos Patos, denunciando os cuidados específicos que se deve ter com esse elemento.

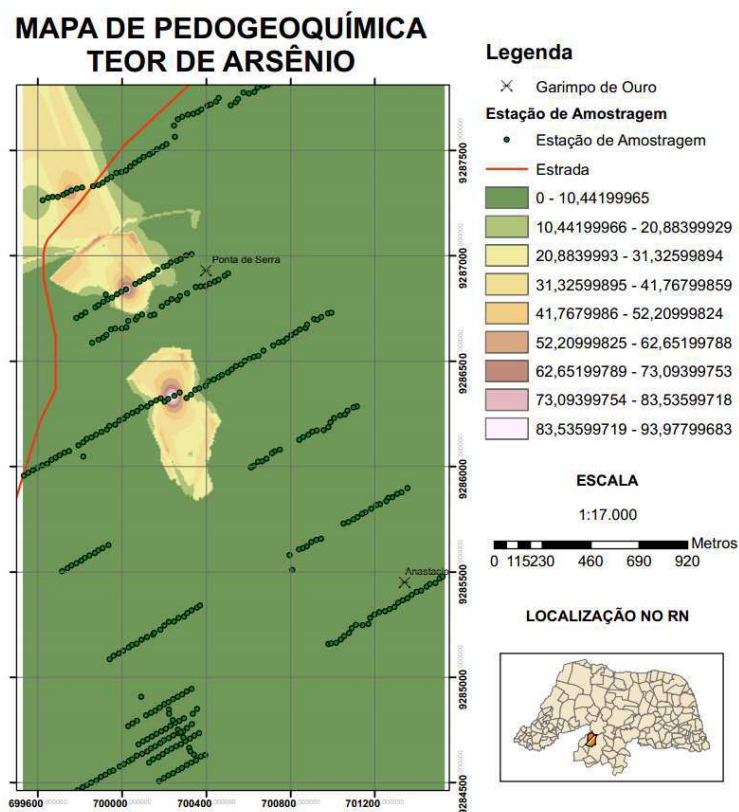
Os elementos As, Cd, Cu, Cr, Ni, Co, Fe e o V mostraram anomalias em relação a  $X + \sigma$  na terceira linha de amostragem contada de NW para SE (Figura 13). As anomalias de cádmio e de níquel mostram uma coincidência quando se compara os mapas gridados de teor de sedimento de corrente e o de solo, já o zinco e o cobre apresentam pequena coincidência. O molibdênio apresenta fraca anomalia na porção norte, coincidindo com umas ocorrências de scheelita trabalhadas pelos garimpeiros na década de setenta.

Figura 13: Mapas de Geodisponibilidade de As, Ba, Cd, Pb, Ni, Zn, Co, Fe, Mo e V em Solo



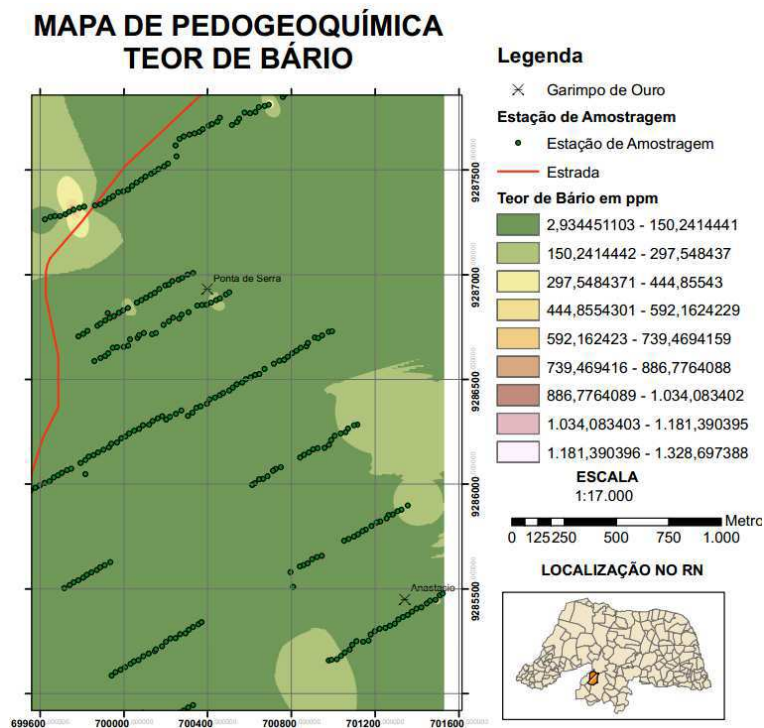
Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

Figura 13 a: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Arsênio em solo



Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

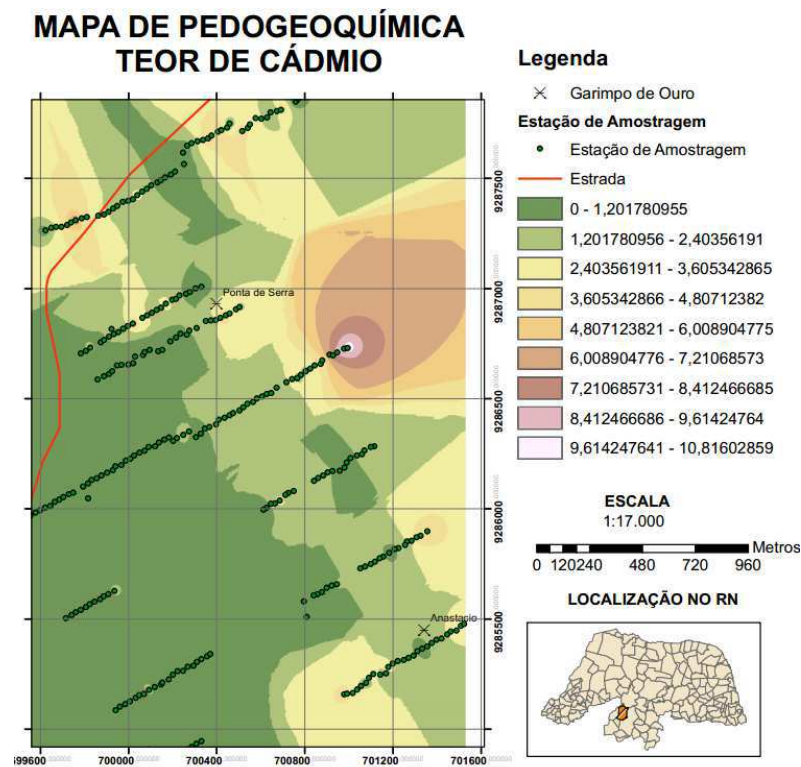
Figura 13 b: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Bário em solo



Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

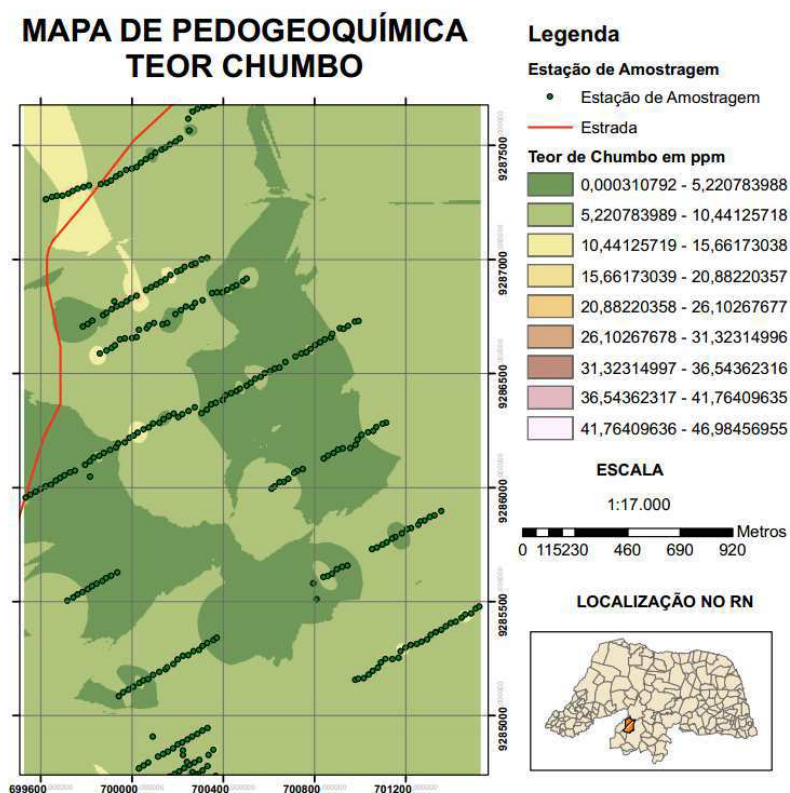


Figura 13 c: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Cádmio em solo



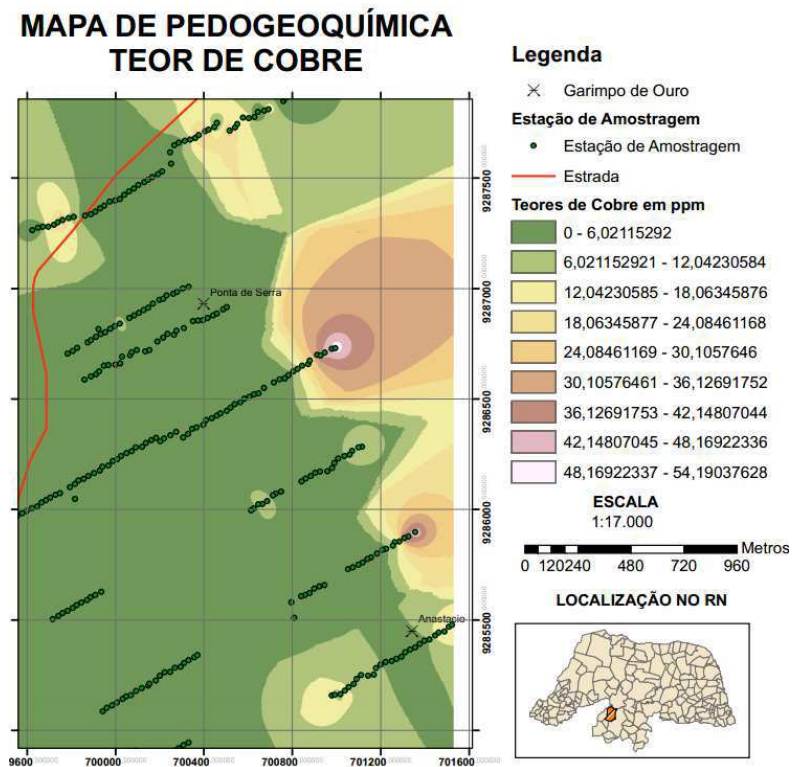
Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

Figura 13 d: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Chumbo em solo



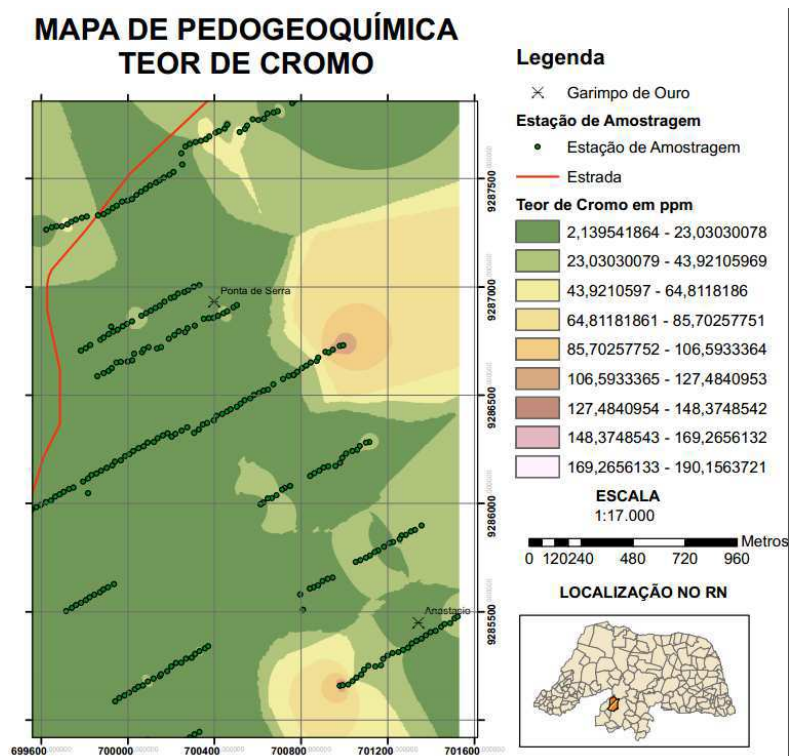
Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

Figura 13 e: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Cobre em solo



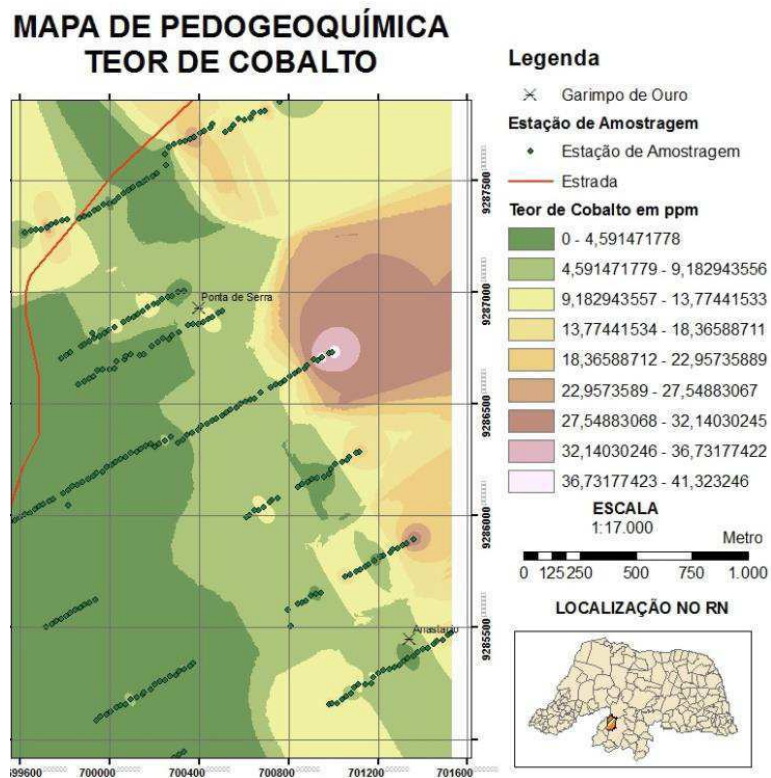
Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

Figura 13 f: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Cromo em solo



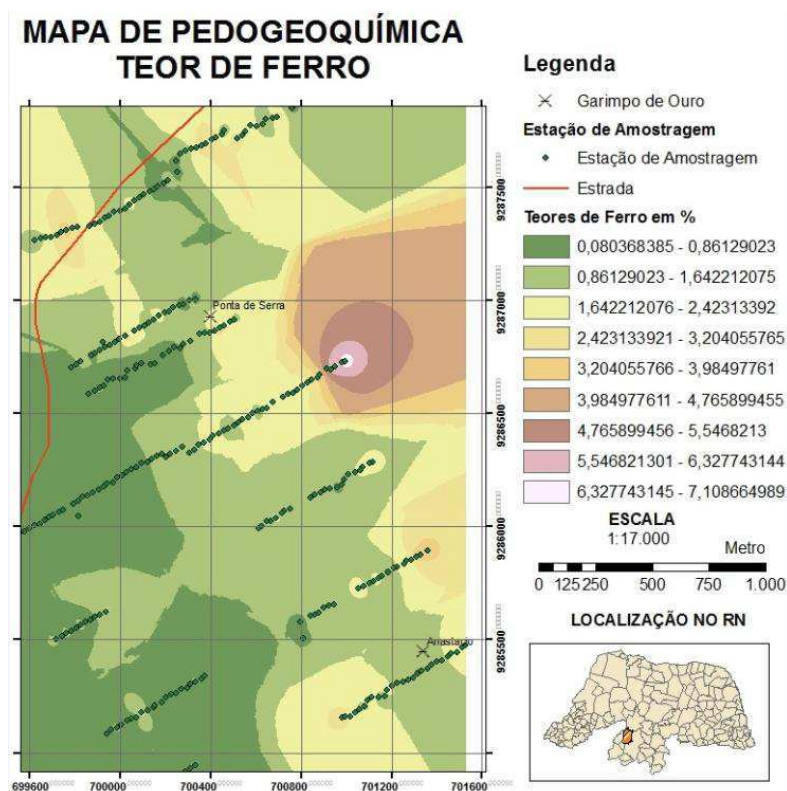
Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

Figura 13 g: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Cobalto em solo



Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

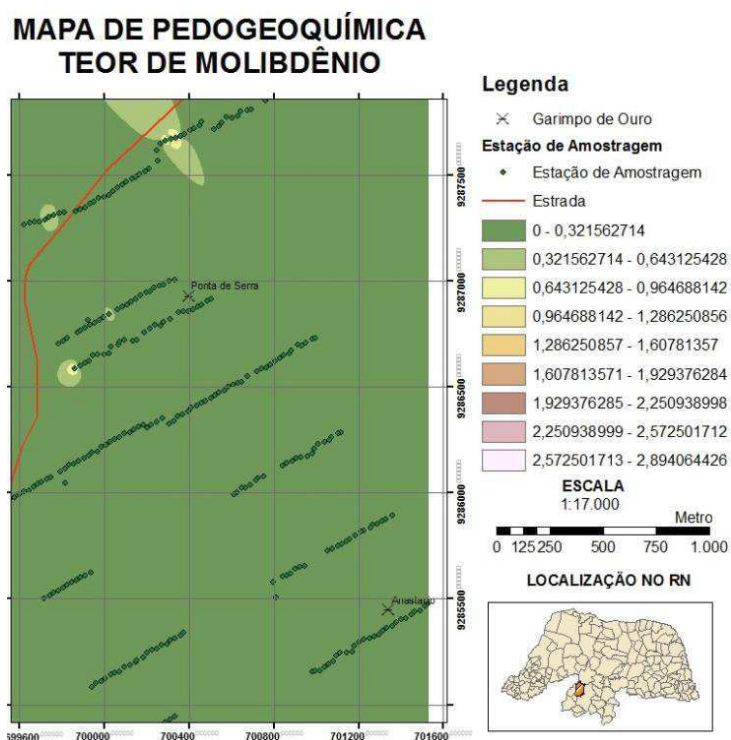
Figura 13 h: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Ferro em solo.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

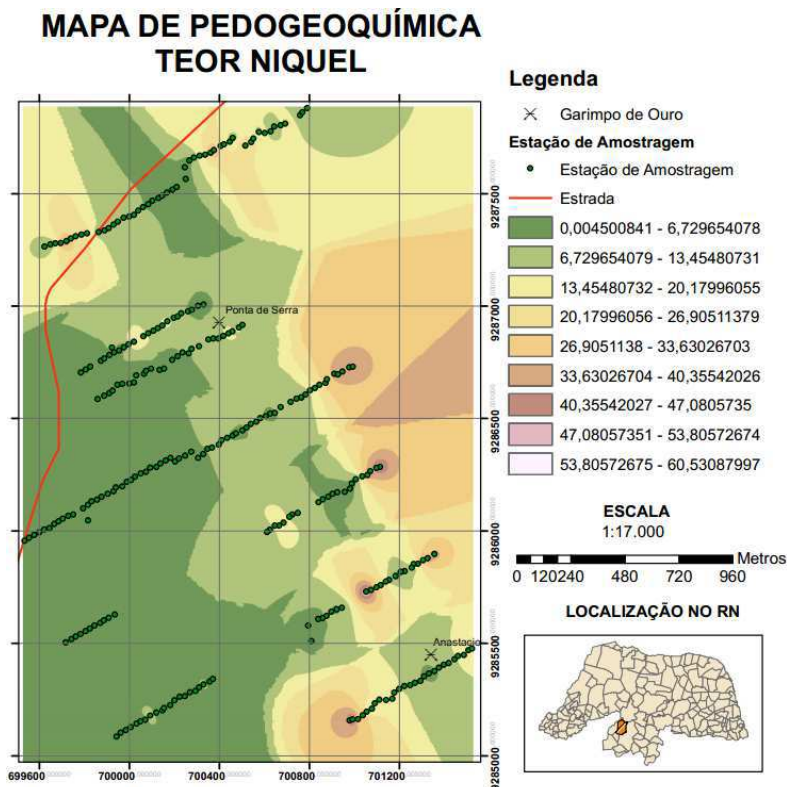


Figura 13 i: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Molibdênio em solo.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

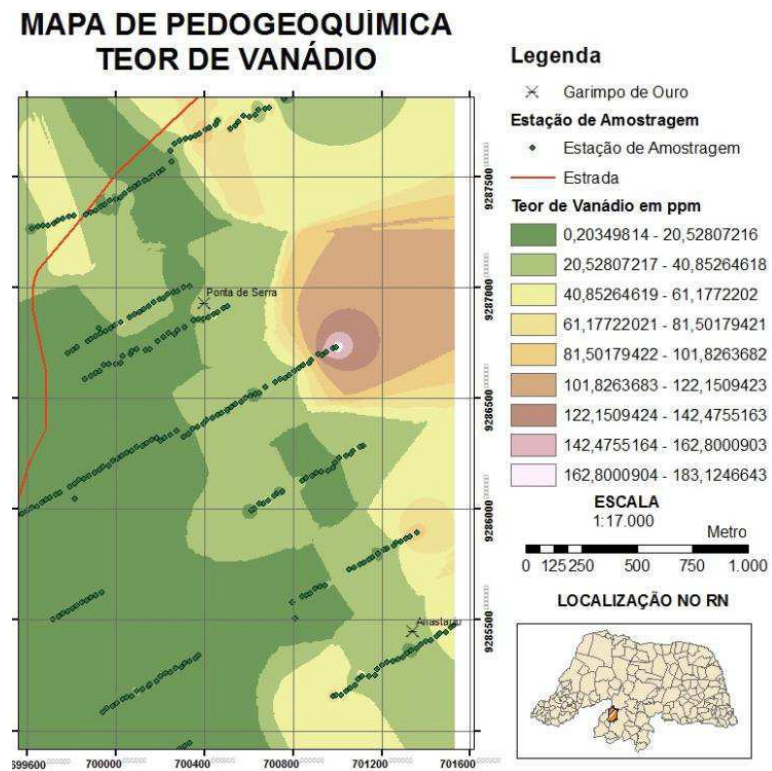
Figura 13 j: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Níquel em solo.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

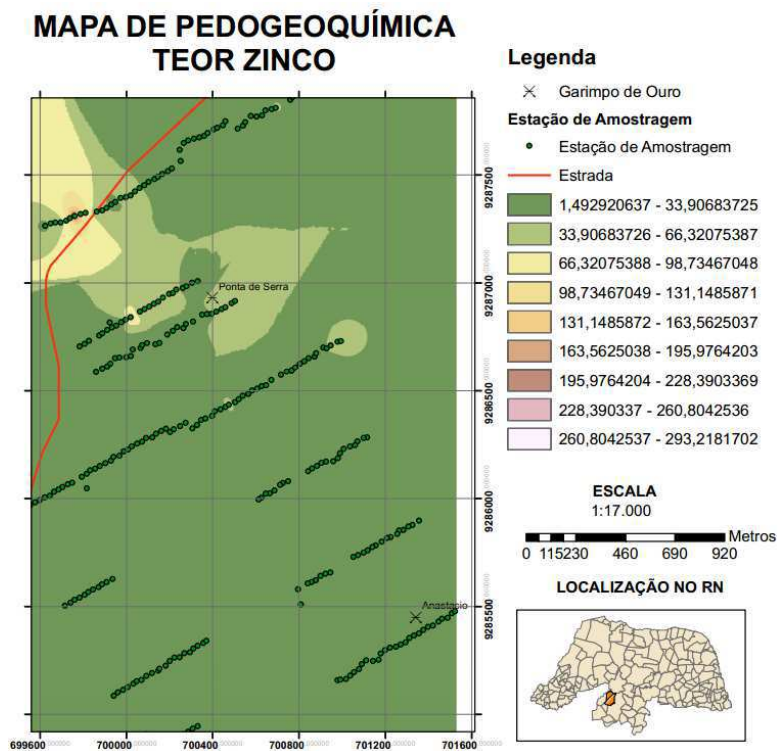


Figura 13 l: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Vanádio em solo.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

Figura 13 m: Mapa da Figura 13 Ampliado: Geodisponibilidade de Zinco em solo.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

### 5.2.2 – Síntese Estatística dos Metais no Solo e Comparação com os Valores de Referência

O teor anômalo mais preocupante é o relativo ao As, cujo valor máximo é de 301 ppm (ver Tabela 15), o que é muito acima dos valores de referência e daqueles apontados pelo CONAMA nº 420 como de intervenção e pela CETESB (SÃO PAULO, 2005) como de investigação/intervenção, considerando todos os ambientes abrangidos pela Resolução: agrícola, residencial e industrial, merecendo especial atenção quanto as implicações à saúde. O subdimensionamento do teor, característico das análises do arsênio devido à sua baixa temperatura de evaporação, é um aspecto que vem a agravar ainda mais o problema da presença do arsênio na área, pois ela pode ser muito maior que aquela quantificada. O Bário também se apresenta com teores máximos acima de todos aqueles estabelecidos como de referência devido aos diversos garimpos de barita existentes na área. As menções na literatura sobre as consequências à saúde devido ao excesso de Ba são menos alarmantes que aquelas relatadas para o arsênio.

O cádmio, com máximo de 11 ppm supera os limites de referência, prevenção/alerta, e aqueles de Intervenção / Investigação nos ambientes agrícola e residencial ficando abaixo apenas daquele estabelecido para solos receptores de material industrial que é de 20 ppm. O cromo e o cobalto superam os teores de referência, prevenção e aqueles de Intervenção / Investigação no ambiente agrícola, enquanto o valor máximo de Cu supera apenas o de referência estabelecido pela CETESB. O Pb e o Zn estão acima dos valores de referência e de prevenção enquanto o Ni está acima apenas do valor indicado como de referencia pela CETESB e pela Resolução do CONAMA nº 420.

Os valores máximos do Vanádio e do Ferro estão abaixo do valor de referência. O molibdênio poderia se juntar ao V e Fe como elementos disponíveis em quantidades ínfimas, mas, no entanto, a indicação do valor de referência abaixo de 25 pode abranger o valor máximo encontrado para o Mo.

TABELA 15: Síntese Estatística de Solos e os Valores de Referência da CETESB (SÃO PAULO, 2005) e Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009)

	Mín	Máx	Média	Desvio Padrão	Coef. de variação	X + $\sigma$	REFER.	Prevenção	Agrícola	Resid.	Industrial
As ppm	0	301	3,96	25,11	634	3,96	3,5	15	35	55	150
Ba ppm	2,9	1415	59,2	96,4	163	59,2	75	150	300	500	750
Cd ppm	0	11	1,27	1,72	135	1,36	<0,5	1,3	3	8	20
Co ppm	0	44	5,51	7,83	142	7,24	13	25	35	65	90
Cr ppm	1,9	196	15,7	20,7	132	23,5	17	72	180	300	900
Cu ppm	0	55	3,47	8,86	255	24,2	35	60	200	400	600
Fe %	0,07	7,2	1,21	1,02	84	10,1	16 (*)	—	—	—	—
Mo ppm	0	2,9	0,04	0,26	686	0,08	<25	30	50	100	120
Ni ppm	0	62	8,63	10,5	122	8,66	40	75	150	300	400
Pb ppm	0	48	6,64	4,34	65	6,66	13	30	70	100	130
V ppm	0	186	21,9	25,9	118	21,9	275	—	—	—	1000
Zn ppm	1,3	309	21,4	23,2	108	25,3	60	300	450	1000	2000

Fonte: Cavalcanti Nt (2012).

Para o estudo das correlações (ver Tabela 16) incluímos o ouro para oportunizar comparações de associações geoquímicas com depósitos auríferos conhecidos internacionalmente. A matriz de correlação, baseada nas 364 amostras coletadas, revelou que a maioria dos elementos considerados como referência para solo está em correlação positiva com o ouro, a exceção do molibdênio. O ouro possui correlação Forte Positiva ( $0,8 \leq r < 1$ ) com o As, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V e o Zn.

Correlações Perfeita Positiva ( $r=1,0$ ) puderam ser observadas entre o Co com o Ni e o Pb, o Cd com o Fe, o Cr com o Ni e o Cr com o V e o Zn. O cobalto ainda apresenta altíssima correlação ( $r=0,99$ ) com Cr, Cu, V e Zn. Depósitos auríferos associados com Pb, Ni, Cr, Cu Zn e Co são conhecidos em associações Vulcano-sedimentares contendo mineralizações de platinóide e paládio. Na área em epígrafe os depósitos de ouro são epigenéticos, hidrotermalitos, ligados a veios e exsudações de quartzos enriquecidas em sulfetos, mas o protólito, a partir do qual os veios foram gerados, podem ser compatíveis com as associações Vulcano-sedimentares, uma vez que esses tipos de associações litológicas afloram na área.

TABELA 16: Matriz de Correlação dos Metais Analisados nas Amostras de Solos

	Au ppb	As ppm	Ba ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fe %	Mo ppm	Ni ppm	Pb ppm	V ppm	Zn ppm
Au ppb	1,00	0,94	0,98	0,61	0,82	0,86	0,81	0,59	-0,10	0,83	0,81	0,87	0,86
As ppm	0,94	1,00	0,96	0,78	0,91	0,92	0,92	0,77	0,11	0,90	0,90	0,91	0,91
Ba ppm	0,98	0,96	1,00	0,68	0,91	0,94	0,89	0,67	-0,09	0,92	0,90	0,94	0,94
Cd ppm	0,61	0,78	0,68	1,00	0,87	0,80	0,91	1,00	0,58	0,83	0,85	0,79	0,79
Co ppm	0,82	0,91	0,91	0,87	1,00	0,99	0,99	0,85	0,11	1,00	1,00	0,99	0,99
Cr ppm	0,86	0,92	0,94	0,80	0,99	1,00	0,97	0,78	-0,01	1,00	0,99	1,00	1,00
Cu ppm	0,81	0,92	0,89	0,91	0,99	0,97	1,00	0,90	0,21	0,99	0,99	0,97	0,97
Fe %	0,59	0,77	0,67	1,00	0,85	0,78	0,90	1,00	0,61	0,82	0,84	0,77	0,77
Mo ppm	-0,10	0,11	-0,09	0,58	0,11	-0,01	0,21	0,61	1,00	0,05	0,09	-0,03	-0,02
Ni ppm	0,83	0,90	0,92	0,83	1,00	1,00	0,99	0,82	0,05	1,00	1,00	1,00	1,00
Pb ppm	0,81	0,90	0,90	0,85	1,00	0,99	0,99	0,84	0,09	1,00	1,00	0,99	0,99
V ppm	0,87	0,91	0,94	0,79	0,99	1,00	0,97	0,77	-0,03	1,00	0,99	1,00	1,00
Zn ppm	0,86	0,91	0,94	0,79	0,99	1,00	0,97	0,77	-0,02	1,00	0,99	1,00	1,00

Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

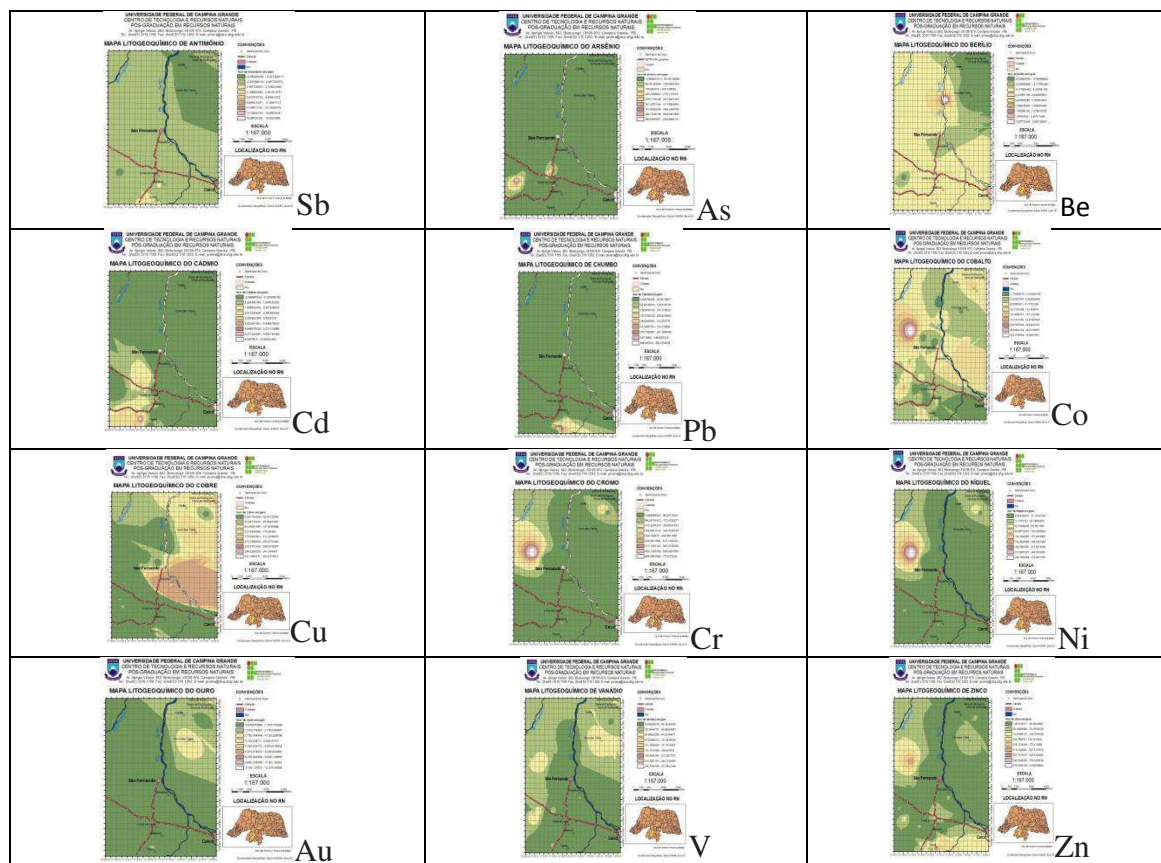
As correlações positivas do ferro com todos os elementos revelam a multiplicidade de fontes, uma vez que são identificados vários minerais presentes nas rochas desta área que possuem o Fe (biotita, arsenopirita, magnetita etc). Os sulfetos podem conter Fe, além de Au, Cu, As, Ni, Pb, Zn, Ba, etc. A correlação Forte Positiva ( $0,8 \leq r < 1$ ) do ferro com o cobre pode ser devido a presença de calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) e com o Co, Ni e Pb devido a relação dos sulfetos de Ni e Fe como a milerita e pentlandita ( $\text{FeNi}_9\text{S}_8$ ), associando-se com o cobalto e o arsênio (cobaltita =  $\text{CoAsS}$ ) no complexo de minerais sulfetados presentes no depósito aurífero de Ponta de Serra, Anastácia e Tapera.

## 5.3 – GEODISPONIBILIDADE DE METAIS EM AMOSTRAS DE ROCHAS

### 5.3.1 Análise do Universo dos Dados Regionais

As anomalias litgeoquímicas regionais da maioria dos metais são aproximadamente coincidentes com aquelas já identificadas pela amostragem de sedimento de corrente, com destaque para os locais onde foram realizadas as atividades de garimpagem de ouro. Essa coincidência espacial dos elementos metálicos é indicativa da baixa mobilidade (figura 14) dos elementos na área estudada. Incluiu-se na figura 14 a gridagem de alguns elementos não detectados nas análises de sedimento de corrente e solo, como o berílio que causa doenças como a berilose e o antimônio causador de câncer pulmonar, lesões hepáticas, distúrbios neurológicos, desidratação, irritabilidade e nefrite hemorrágica. O Be apresentou uma distribuição regionalizada com maior incidência numa área a Oeste da Serra dos Patos sem nenhuma atividade de extração mineral catalogada no local. A anomalia de Sb é coincidente com o entorno do garimpo de Tapera e Anastácia associado com as rochas encaixantes da mineralização aurífera.

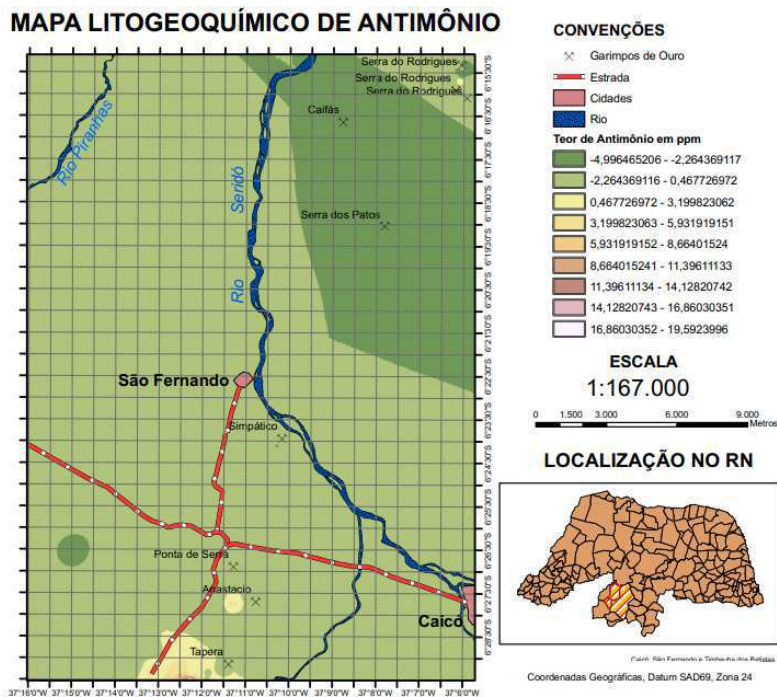
Figura 14: Mapas de Geodisponibilidade de Sb, As, Be, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Ni, Au, V e Zn, em Rochas da área de Confluência dos Rios Piranhas e Seridó.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

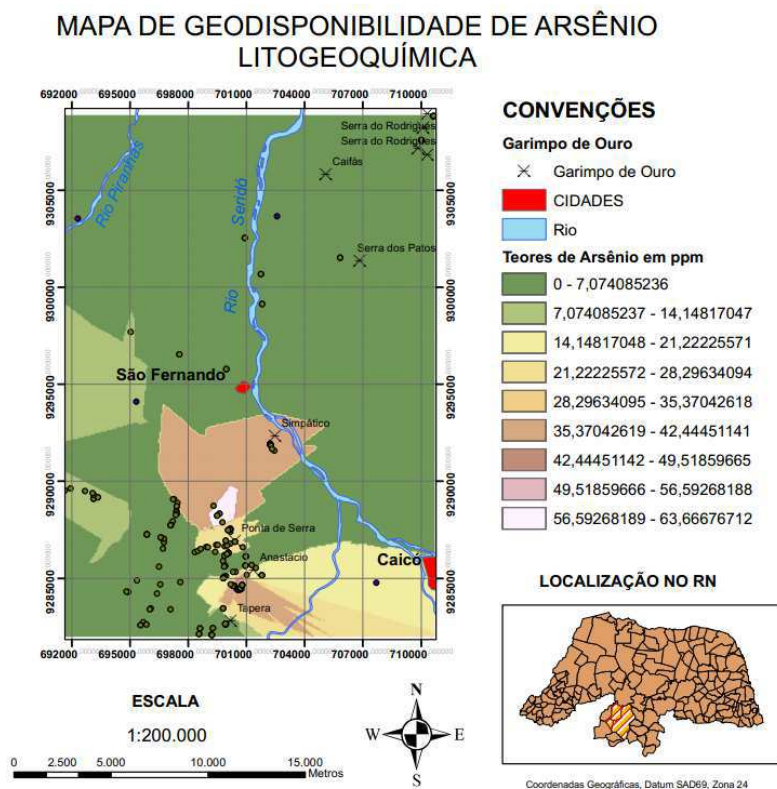


Figura 14 a: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade de Antimônio em Rocha.



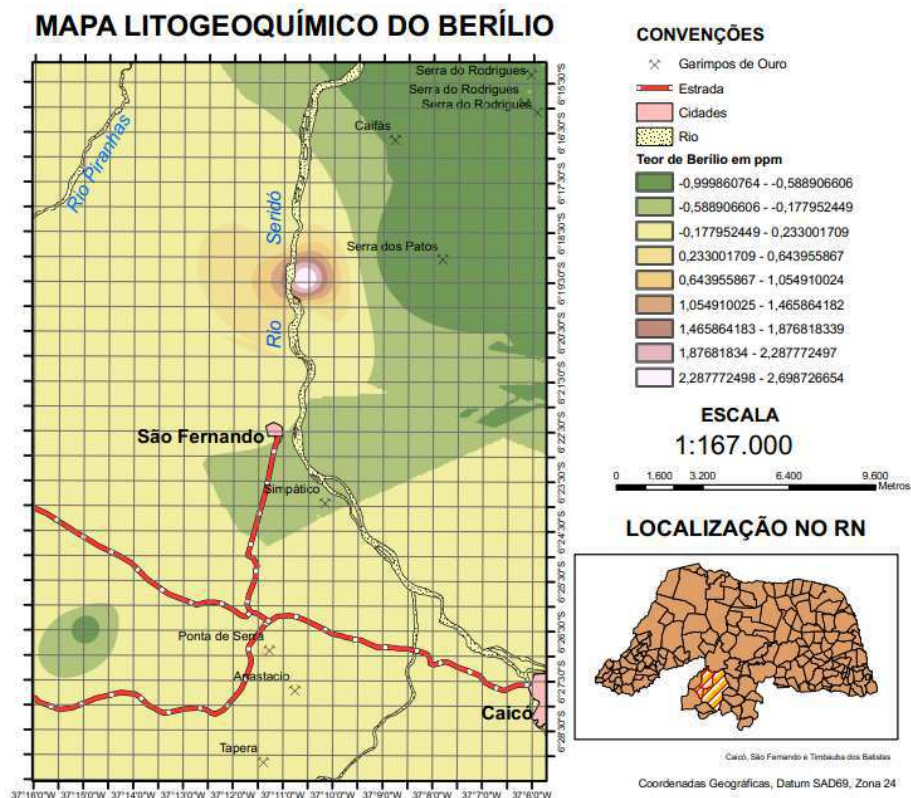
Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

Figura 14 b: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade de Arsênio em Rocha.



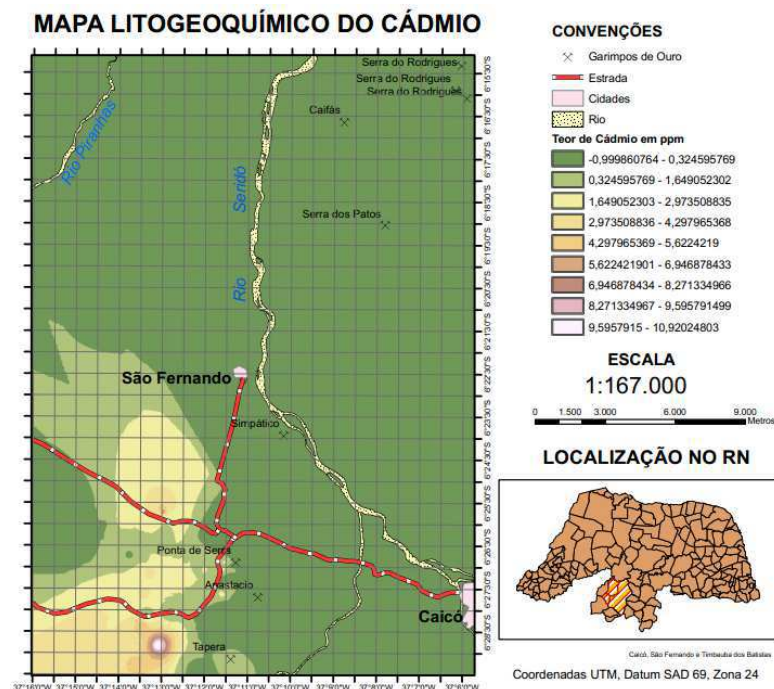
Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

Figura 14 c: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Berílio em Rocha.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

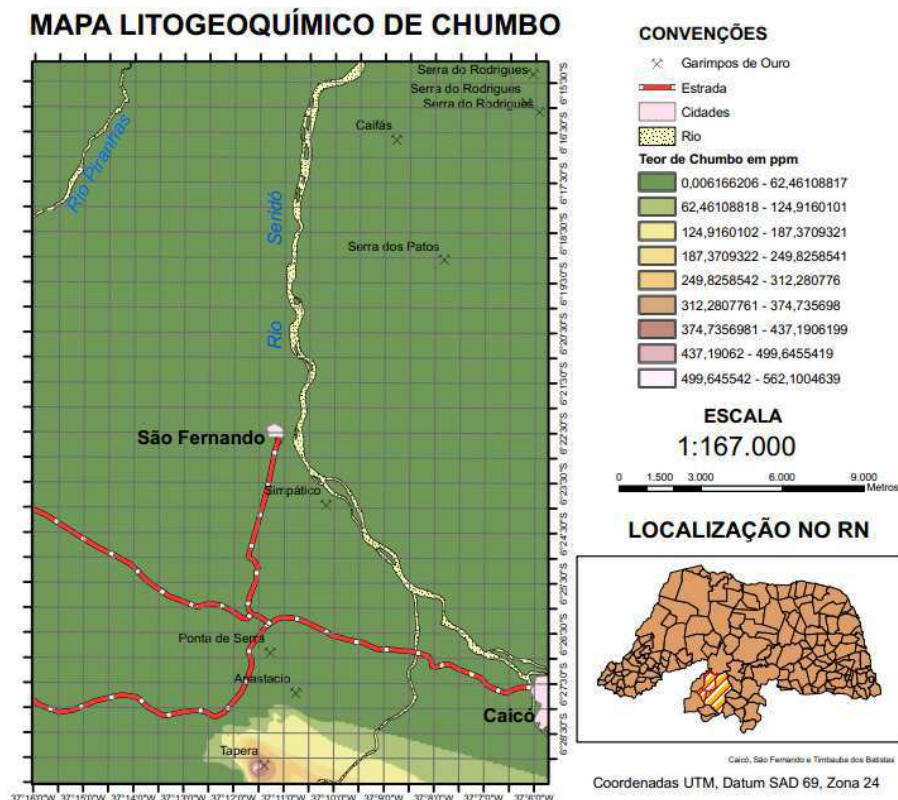
Figura 14 d: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade de Cádmio em Rocha.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

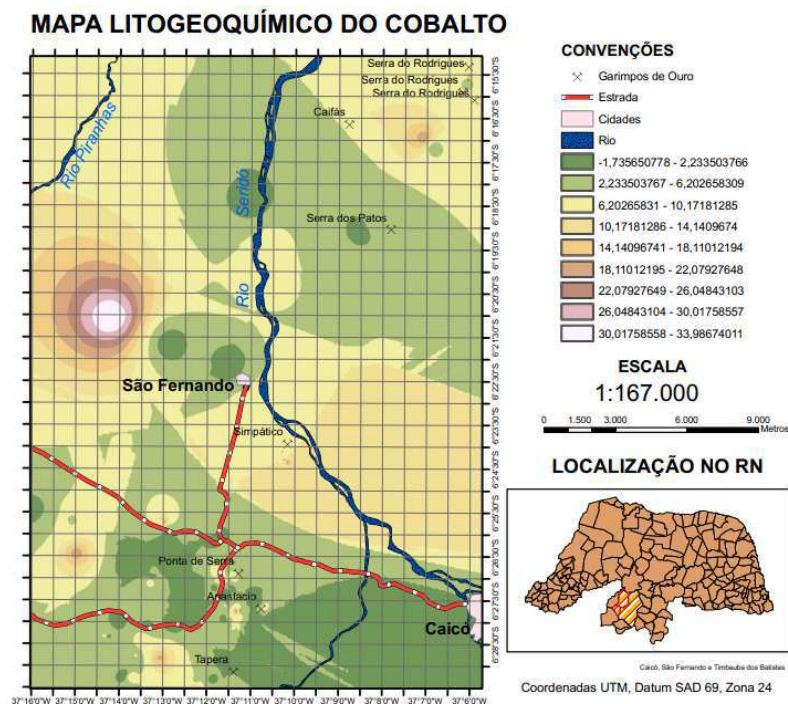


Figura 14 d: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Chumbo em Rocha.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

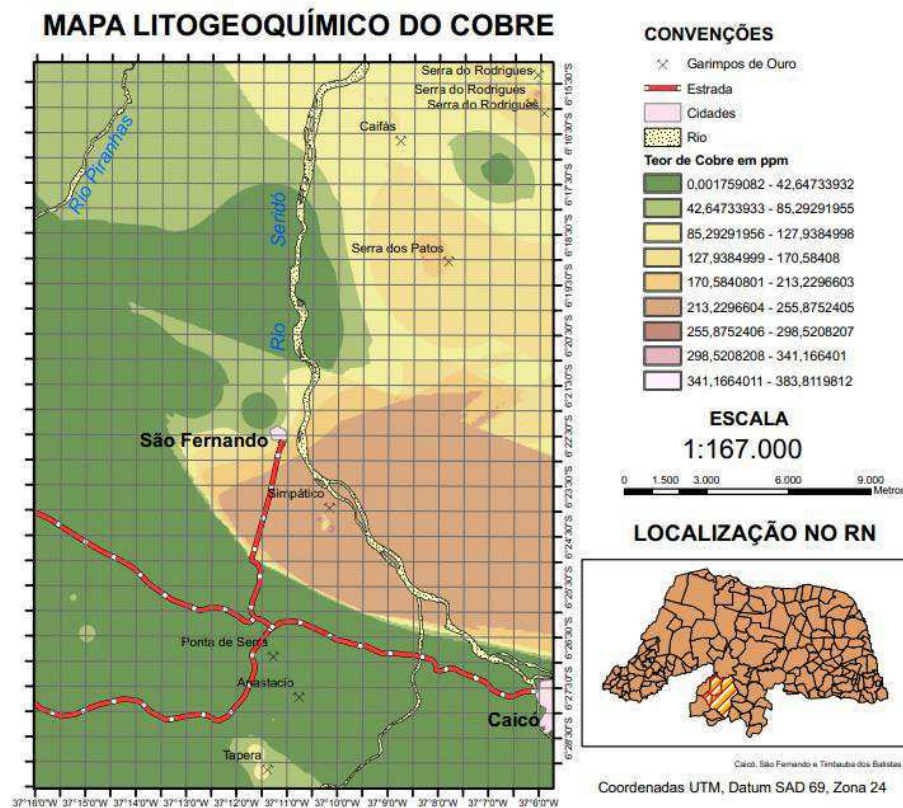
Figura 14 e: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Cobalto em Rocha.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

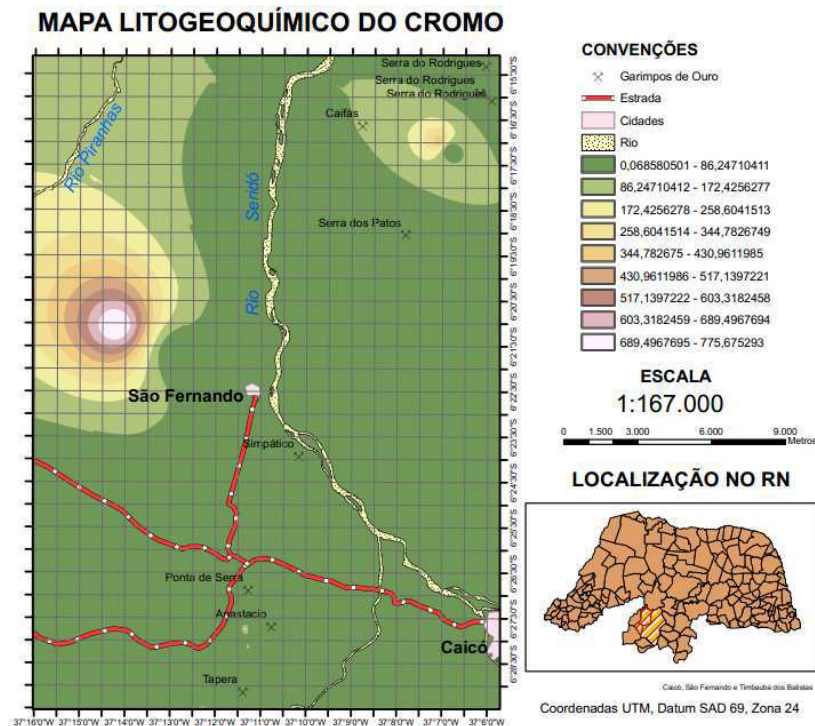


Figura 14 f: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Cobre em Rocha.



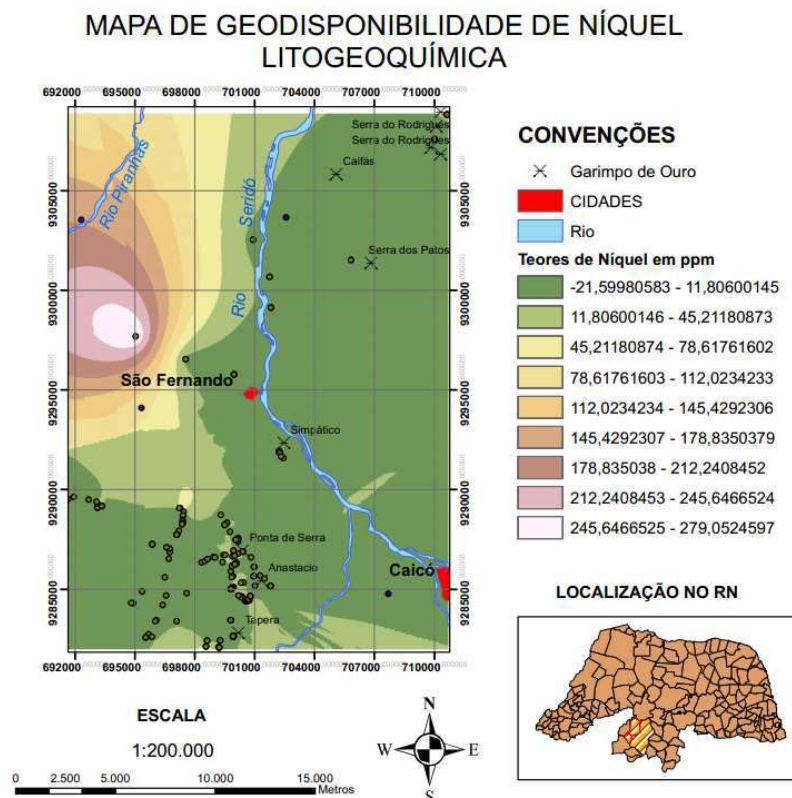
Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

Figura 14 g: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Cromo em Rocha.



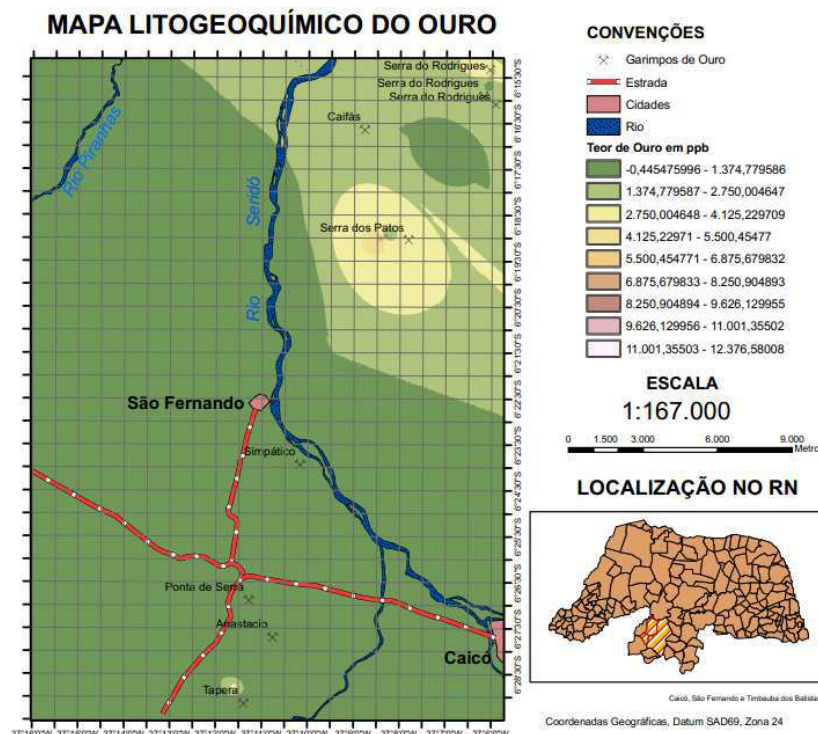
Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

Figura 14 h: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Níquel em Rocha.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

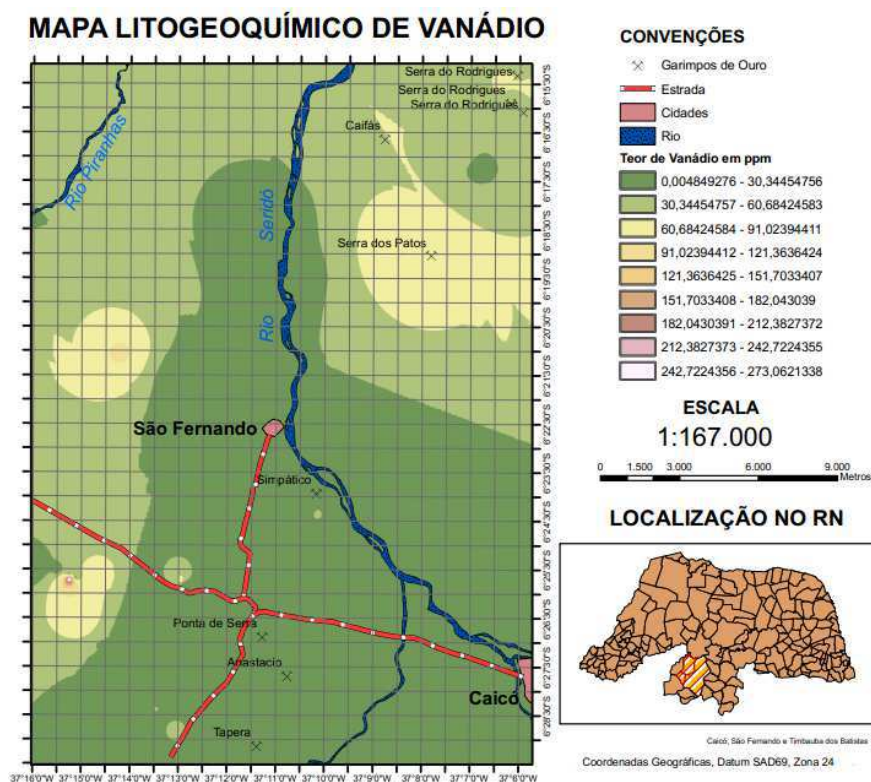
Figura 14 i: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Ouro em Rocha.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

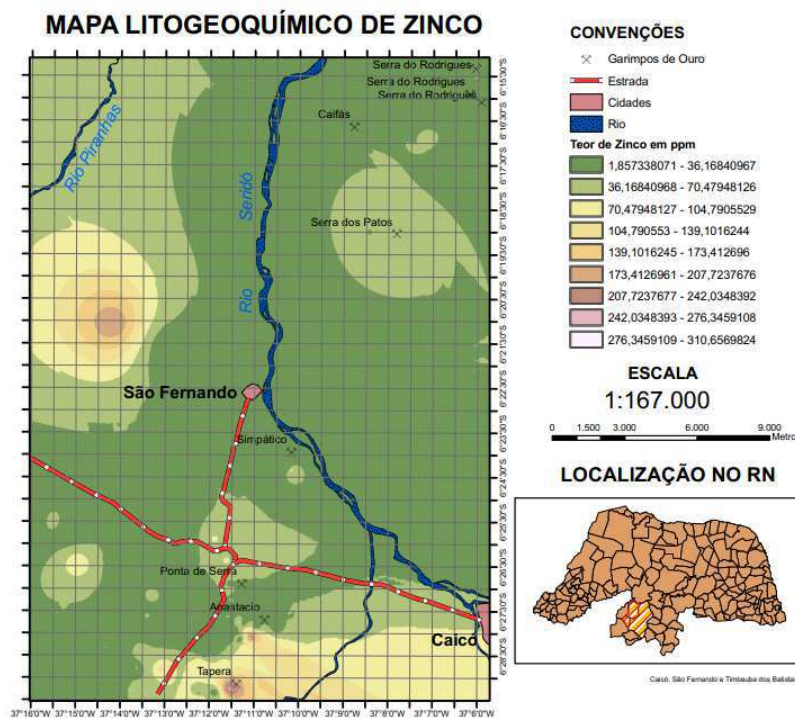


Figura 14 j: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Vanádio em Rocha.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

Figura 14 l: Mapa Ampliado da Figura 14: Geodisponibilidade do Zinco em Rocha.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

Na porção Oeste do mapa, sem quaisquer relações com os garimpos catalogados, existe uma coincidência entre os elementos Co, Cr, Ni e Zn associação esta já detectada pela Matriz de Correlação. Outros locais não encontram respaldo naquela matriz como é o caso dos elementos Sb, Cd, Cu e Pb que apresentam altas concentrações coincidentes nos arredores de Tapera.

### 5.3.2 Síntese Estatística dos Metais presentes nas Rochas

As amostras foram coletadas aleatoriamente ao longo da área de interesse. Como não existem valores de referência para as rochas, uma vez que essas são as fontes primárias de elementos químicos e suas concentrações são dependentes unicamente de condições naturais, a comparação aqui foi restrita aos valores da média mais um desvio padrão (Tabela 17).

TABELA 17: Síntese Estatística de Alguns Elementos Analisados nas Rochas

Metais	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	$\bar{X} + \sigma$
Au_ppb	0	95325	804,95	6795,32	844	7600,27
Ag_ppm	0	48	0,86	4,83	559	5,69
As_ppm	0	500	14,34	61,39	428	75,73
Cd_ppm	0	11	0,56	1,46	258	2,02
Co_ppm	0	39	3,92	6,24	159	10,16
Cr_ppm	0	776	19,48	61,04	313	80,52
Cu_ppm	0	795	34,59	89,28	258	123,87
Ni_ppm	0	280	8,66	22,47	26	31,13
Pb_ppm	0	3507	75,1	337,65	45	412,75
Sb_ppm	0	20	0,12	1,42	1183	1,54
Sr_ppm	0	303	22,56	39,45	175	62,01
V_ppm	0	299	14,12	28,32	201	42,44
W_ppm	0	22	0,1	1,51	1459	1,61
Zn_ppm	1,2	557	55,16	82,46	149	137,62

Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

Os teores de As, Cd, Cr, Co, Cu, Pb etc. no ambiente primário reflete as anomalias encontradas em solo e sedimento de corrente, apesar de não ser regra a

correspondência entre esses ambientes, uma vez que o ambiente secundário pode promover a concentração de um elemento através de processos naturais geogênicos amplificados pelas atividades antropogênicas já identificadas neste trabalho. Da tabela 18 podemos extrair informações de domínio público internacional como o alto coeficiente de variação do ouro em função de sua raridade e distribuição errática ao longo do corpo de minério.

O trabalho regional revelou a presença de associações geoquímicas importantes e características de depósitos minerais “World Class”, como a forte correlação positiva entre Au, Ag, e As, além de outras mais de cunho regional entre o ouro e o Ba e Au + Cd. A tabela 18 mostra a Matriz de Correlação dos principais elementos analisados.

TABELA 18: Matriz de Correlação para Metais Pesados – Litogeoquímica Regional

	Au_ g/ton	Ag_ ppm	As_ ppm	Ba_ ppm	Cd_ ppm	Co_ ppm	Cr_ ppm	Cu_ ppm	Fe_%	Mo_ ppm	Ni_ ppm	Pb_ ppm	V_ ppm	Zn_ ppm
Au_g/ton	1,00	0,91	0,73	0,86	0,80	0,59	0,32	0,26	0,70	0,74	0,52	-0,05	0,47	0,36
Ag_ppm	0,91	1,00	0,32	0,17	0,96	0,75	0,40	0,34	0,88	0,81	0,63	-0,06	0,59	0,47
As_ppm	0,25	0,32	1,00	0,98	0,17	0,59	0,98	1,00	0,49	0,67	0,77	0,82	0,78	0,92
Ba_ppm	0,13	0,17	0,98	1,00	0,05	0,41	0,92	0,96	0,31	0,50	0,61	0,92	0,63	0,81
Cd_ppm	0,80	0,96	0,17	0,05	1,00	0,62	0,23	0,18	0,80	0,65	0,45	-0,11	0,41	0,30
Co_ppm	0,59	0,75	0,59	0,41	0,62	1,00	0,72	0,64	0,96	0,96	0,96	0,04	0,95	0,85
Cr_ppm	0,32	0,40	0,98	0,92	0,23	0,72	1,00	0,99	0,60	0,78	0,87	0,70	0,88	0,97
Cu_pm	0,26	0,34	1,00	0,96	0,18	0,64	0,99	1,00	0,53	0,71	0,81	0,77	0,82	0,94
Fe_%	0,70	0,88	0,49	0,31	0,80	0,96	0,60	0,53	1,00	0,93	0,87	-0,03	0,85	0,73
Mo_ppm	0,74	0,81	0,67	0,50	0,65	0,96	0,78	0,71	0,93	1,00	0,96	0,16	0,94	0,86
Ni_ppm	0,52	0,63	0,77	0,61	0,45	0,96	0,87	0,81	0,87	0,96	1,00	0,26	1,00	0,95
Pb_ppm	-0,99	-0,06	0,82	0,92	-0,11	0,04	0,70	0,77	-0,03	0,16	0,26	1,00	0,28	0,53
V_ppm	0,47	0,59	0,78	0,63	0,41	0,95	0,88	0,82	0,85	0,94	1,00	0,28	1,00	0,96
Zn_ppm	0,36	0,47	0,92	0,81	0,30	0,85	0,97	0,94	0,73	0,86	0,95	0,53	0,96	1,00

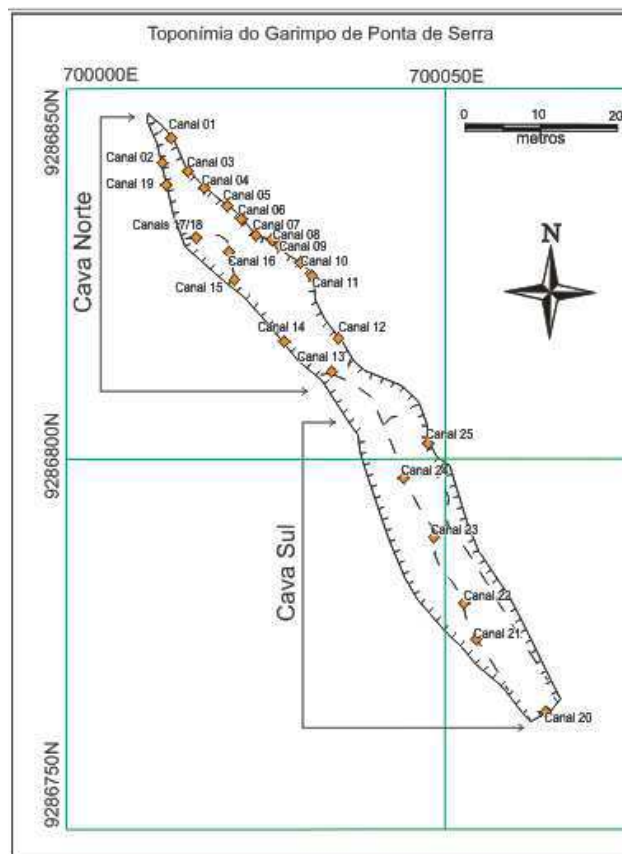
Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

### 5.3.3 Síntese Estatística da Geoquímica de Rocha por Garimpo

#### 5.3.3.1 – Garimpo de Ponta de Serra

O garimpo de Ponta de Serra é uma cava de 67,10 m de extensão e profundidade variada, sendo a maior de 6,0 m na porção mais a sul da cava.

Figura 15: Mapa da Cava principal do garimpo de Ponta de Serra.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

Entre os elementos apresentados na tabela 19 o coeficiente de variação mais elevado é do tungstênio seguido pela prata. A rocha tradicional hospedeira do tungstênio na área (escarnito) não está presente na cava principal, tendo o elemento sido detectado provavelmente devido a forte zona de cisalhamento em cujos planos percolaram fluidos mineralizantes enriquecidos em W e outros elementos, mas que se depositaram naquela tradicional hospedeira (metalotect). Assim, nas demais rochas, como o caso daquelas contidas na cava principal de Ponta de Serra, ficou apenas o registro da passagem do metal. Por outro lado, o ouro está hospedado aqui em veios e filetes de quartzo estando mais abundante, nesta cava, que o tungstênio, arsênio e outros metais. Destaca-se também o desvio padrão do Arsênio, seguido do ouro Pb e Zn.

Dos elementos prejudiciais é de chamar atenção os valores relativamente elevados de Arsênio e Chumbo que têm teores máximos respectivamente de 8.473 ppm e 2.089 ppm. O material rejeitado pelos garimpeiros e a exposição de rochas à superfície contribuiu para a dispersão desses metais na área.

TABELA 19: Síntese Estatística Para Alguns Elementos das Amostras Coletadas na Cava Principal do Garimpo Ponta de Serra

Metais	m	M	$\bar{X}$	$\sigma$	Coef. de Variação (%)	$\bar{X} + \sigma$
Au ppb	0	2557	283,44	469,57	165,671	753,01
Ag ppm	0	4,7	0,0718	0,499	695,241	0,5708
As ppm	58	8473	617,61	1186	192,032	1803,61
Cd ppm	0	37	2,89	4,5	155,901	7,39
Co ppm	0	34	17,3	6,1	35,224	23,4
Cr ppm	5,6	98	39,4	18	45,753	57,4
Cu ppm	0	290	44,1	60,86	137,978	104,96
Ni ppm	0	51	22,9	10,4	45,484	33,3
Pb ppm	4,8	2089	55,218	259,59	470,108	314,808
Sr ppm	7,3	236	34,67	36,48	105,224	71,15
V ppm	9,5	153	61,83	22,8	36,874	84,63
W ppm	0	17	0,301	2,16	717,511	2,461
Zn ppm	45	498	193,5	81,82	42,293	275,32

m = valor mínimo; M = Valor Máximo;  $\sigma$  = Desvio Padrão;  $\bar{X}$  = Média  
 Fonte: Cavalcanti Nt. (2012)

Na matriz de correlação (tabela 20) algumas relações clássicas não foram confirmadas como o Au e Ag e o Au e As, não incluindo o Bi pois o mesmo não foi analisado para as amostras coletadas na cava principal. As principais associações geoquímicas identificadas, se tomarmos as correlações como indicador definitivo, foram o Ni – Co - Cr – W, V – Ag e o Pb - Co – Cr – V. Dessas possibilidades de associação geoquímica chama-nos a atenção a possível inclusão do tungstênio em uma associação tipicamente de afinidade básica entre o Ni-Co-Cr onde o W está fortemente correlacionado ( $r > 0,8$ ) com o Ni e o Cr.

O arsênio, elemento mais perigoso a saúde humana segundo lista da Priority List of Hazardous Substances (CERCLA, 2007) da Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act, apresenta as maiores correlações com o Au, Cd, Cu e Zn todos com r entre 0,40 e 0,48 denotando uma correlação Fraca Positiva.

TABELA 20: Matriz de Correlação de Metais Pesados e Metais Preciosos na Cava Principal de Ponta de Serra

	Au ppb	Ag ppm	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Ni ppm	Pb ppm	V ppm	W ppm	Zn ppm	Zr ppm
Au ppb	1,00	0,24	0,40	0,48	-0,03	-0,07	0,47	-0,06	0,26	-0,02	0,05	0,40	-0,06
Ag ppm	0,24	1,00	0,38	0,16	0,03	-0,10	0,35	-0,10	<b>0,91</b>	-0,09	0,58	0,46	0,17
As ppm	0,40	0,38	1,00	0,46	-0,21	-0,18	0,56	-0,25	0,49	-0,16	0,06	0,30	0,26
Cd ppm	0,48	0,16	0,46	1,00	0,06	0,07	0,45	0,02	0,03	0,16	-0,05	0,46	-0,35
Co ppm	-0,03	0,03	-0,21	0,06	1,00	0,60	0,04	<b>0,79</b>	-0,01	0,61	-0,02	0,20	-0,21
Cr ppm	-0,07	-0,10	-0,18	0,07	0,60	1,00	0,00	<b>0,88</b>	-0,15	<b>0,95</b>	-0,10	0,13	-0,47
Cu ppm	0,47	0,35	0,56	0,45	0,04	0,00	1,00	0,02	0,43	0,03	0,11	0,60	0,01
Ni ppm	0,19	0,37	0,63	0,21	0,22	0,29	0,59	0,20	0,53	0,36	0,14	0,46	0,13
Pb ppm	-0,06	-0,10	-0,25	0,02	<b>0,79</b>	<b>0,88</b>	0,02	1,00	-0,13	<b>0,85</b>	-0,09	0,17	-0,37
V ppm	0,26	<b>0,91</b>	0,49	0,03	-0,01	-0,15	0,43	-0,13	1,00	-0,14	0,49	0,48	0,27
W ppm	-0,02	-0,09	-0,16	0,16	0,61	<b>0,95</b>	0,03	<b>0,85</b>	-0,14	1,00	-0,09	0,20	-0,50
Zn ppm	0,40	0,46	0,30	0,46	0,20	0,13	0,60	0,17	0,48	0,20	0,20	1,00	-0,07

Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

As 11 trincheiras foram abertas no intuito de verificar a continuidade do corpo hospedeiro da mineralização, razão pela qual poderemos tratar todas as amostras conjuntamente, pois todas elas foram coletadas no mesmo ambiente geológico.

A Síntese Estatística (Tabela 21) foi realizada apenas para as 779 amostras analisadas para multi-elementos onde o As aparece como o elemento com maior Desvio Padrão e Variância, em concordância ao que já havia sido determinado das análises na cava principal, seguido pelo ouro e o zinco. O cádmio apresenta os menores valores. O maior coeficiente de variação, variável estatística que define a regularidade de um elemento no depósito mineral, foi registrado no Bismuto (27,9%), seguido do tungstênio (21,1%).



TABELA 21: Síntese Estatística para Metais Pesados e Metais Preciosos de Amostras Coletadas nas Trincheiras de Ponta de Serra.

Metais	m	M	$\bar{X}$	$\sigma$	Coef. de Variação (%)	$\bar{X} + \sigma$
Au ppb	0	2153	19,142	97,743	510,609	116,885
As ppm	0	4091	17,956	160,77	895,314	178,726
Be ppm	0	3,3	0,192	0,525	273,229	0,717
Bi ppm	0	33	0,0424	1,18	2791,057	1,2224
Cd ppm	0	1,9	0,0062	0,102	1628,076	0,1082
Co ppm	0	41	8,22	7,09	86,21	15,31
Cr ppm	0	435	22,67	45,46	200,505	68,13
Cu ppm	0	233	13,16	18,75	142,448	31,91
Ni ppm	0	200	12,13	21,21	174,827	33,34
Pb ppm	0	700	15,79	30,44	192,729	46,23
Sb ppm	0	17	0,0361	0,671	1859,401	0,7071
V ppm	0	142	23,2	23,93	103,124	47,13
W ppm	0	25	0,0462	0,978	2116,556	1,0242
Zn ppm	3,4	1557	73,333	89,154	121,574	162,487

m = valor mínimo; M = Valor Máximo;  $\sigma$  = Desvio Padrão;  $\bar{X}$  = Média  
 Fonte: Cavalcanti Nt. (2012)

As correlações positivas fortes ( $r > 0.8$ ) ocorreram entre uns poucos elementos e em concordância com o que já tinha sido detectado pelas amostragens de sedimento de corrente e solo entre Cr-Co-Ni  $\pm$  Fe e V. O tungstênio não aparece na Tabela 22, pois não apresenta correlações fortes com nenhum elemento, sendo a maior ( $r = 0,6$ ) com o zinco e, assim, não confirmando aquela associação básica sugerida nas análises das amostras coletadas na cava principal.

Aqui o ouro e o arsênio não apresentaram os mesmos resultados da litogeoquímica regional, indicando correlação nula ( $r = 0,03$ ). Outro ponto observado diz respeito a participação do Pb nas associações com aqueles elementos já citados, estando aqui presente no máximo como uma correlação Fraca Positiva com o Cu.

TABELA 22: Matriz de Correlação de Metais Pesados e Metais Preciosos presentes nas Rochas das Trincheiras de Ponta de Serra

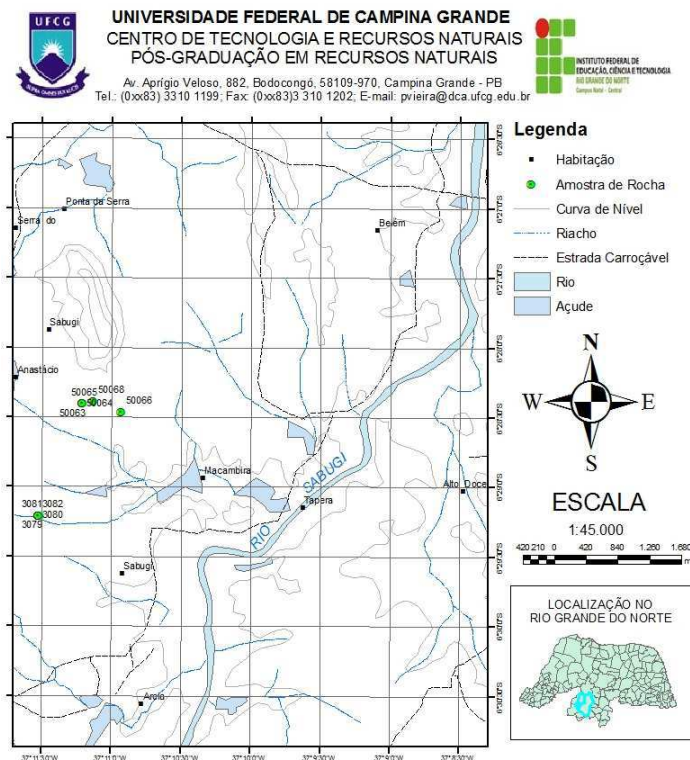
	Au_ ppb	As ppm	Be ppm	Bi ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fe %	Ni ppm	Pb ppm	Sb ppm	V ppm	Zn ppm
Au ppb	1,00	0,03	0,06	0,03	0,00	-0,04	-0,04	0,08	0,04	-0,04	0,06	-0,01	-0,03	0,11
As ppm	0,03	1,00	-0,04	0,00	-0,01	0,05	0,03	0,34	0,17	0,05	0,19	0,01	0,10	0,18
Be ppm	0,06	-0,04	1,00	-0,01	0,12	0,11	0,10	-0,04	-0,04	0,12	0,01	-0,02	-0,06	-0,04
Bi ppm	0,03	0,00	-0,01	1,00	0,00	-0,04	-0,01	0,05	0,07	-0,02	0,02	0,00	-0,03	-0,03
Cd ppm	0,00	-0,01	0,12	0,00	1,00	0,11	0,23	0,01	0,09	0,15	0,00	0,00	0,09	0,13
Co ppm	-0,04	0,05	0,11	-0,04	0,11	1,00	0,68	0,41	0,74	0,74	0,08	0,17	0,83	0,38
Cr ppm	-0,04	0,03	0,10	-0,01	0,23	0,68	1,00	0,17	0,50	0,91	0,00	0,18	0,58	0,27
Cu ppm	0,08	0,34	-0,04	0,05	0,01	0,41	0,17	1,00	0,53	0,27	0,26	0,06	0,53	0,33
Fe %	0,04	0,17	-0,04	0,07	0,09	0,74	0,50	0,53	1,00	0,54	0,07	0,10	0,87	0,48
Ni ppm	-0,04	0,05	0,12	-0,02	0,15	0,74	0,91	0,27	0,54	1,00	0,04	0,34	0,63	0,31
Pb ppm	0,06	0,19	0,01	0,02	0,00	0,08	0,00	0,26	0,07	0,04	1,00	0,03	0,09	0,28
Sb ppm	-0,01	0,01	-0,02	0,00	0,00	0,17	0,18	0,06	0,10	0,34	0,03	1,00	0,11	0,04
V ppm	-0,03	0,10	-0,06	-0,03	0,09	0,83	0,58	0,53	0,87	0,63	0,09	0,11	1,00	0,47
Zn ppm	0,11	0,18	-0,04	-0,03	0,13	0,38	0,27	0,33	0,48	0,31	0,28	0,04	0,47	1,00

Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

### 5.3.3.2 – Garimpo Tapera / Anastácia

As amostras coletadas na área de Tapera não revelou de arsênio (resultados abaixo do limite de detecção). Os teores máximos daqueles elementos prejudiciais a saúde humana são 20 ppm para o Cd, 211 ppm para o Co e 170 ppm para o Pb (comparar com a Tabela 23).

Figura 16: Mapa de Localização das amostras de litogeoquímica na área de Tapera e Anastácia



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

TABELA 23: Teor de Metais Pesados por Amostra entre Tapera e Anastácia

Amostra	Au ppb	Ag ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
2750	0,00	1,70	17,00	59,00	0,00	2,90	0,03	9,00	17,00
2806	0,00	1,50	5,90	9,60	0,00	1,90	0,03	6,30	15,00
2807	0,00	1,70	8,50	16,00	0,00	2,40	0,02	7,80	18,00
2808	0,00	0,58	5,10	7,80	0,00	0,76	0,04	2,50	3,50
2809	0,00	1,40	6,30	47,00	0,00	1,80	0,03	6,10	11,00
2810	0,00	1,80	6,80	42,00	0,00	2,40	0,04	7,80	27,00
2811	0,00	1,50	5,60	47,00	0,00	2,20	0,04	6,30	11,00
2812	0,00	1,30	5,40	9,40	0,00	1,90	0,04	5,20	10,00
3078	0,00	0,38	20,00	211,00	0,00	> 15	0,02	4,70	38,00
3079	0,00	0,40	10,00	177,00	0,00	8,00	0,00	3,60	18,00
3080	0,00	0,49	15,00	150,00	0,00	6,90	0,00	2,90	16,00
3081	0,00	0,86	3,10	37,00	0,00	1,10	0,04	7,20	5,40
3082	0,00	0,86	5,30	194,00	0,00	2,70	0,04	3,50	5,90
50062	173,00	0,00	1,30	0,00	8,30	25,00	4,30	83,00	122,00
50063	1189,00	0,00	0,00	0,00	9,20	12,00	3,20	95,00	61,00
50064	410,00	0,00	0,00	0,00	9,40	11,00	2,90	91,00	110,00
50065	228,00	0,00	1,20	0,00	6,70	13,00	4,30	170,00	112,00
50066	19,00	0,00	1,50	3,90	20,00	6,70	9,50	6,90	102,00
50068	59,00	0,00	0,00	0,00	7,30	14,00	4,00	18,00	44,00

Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

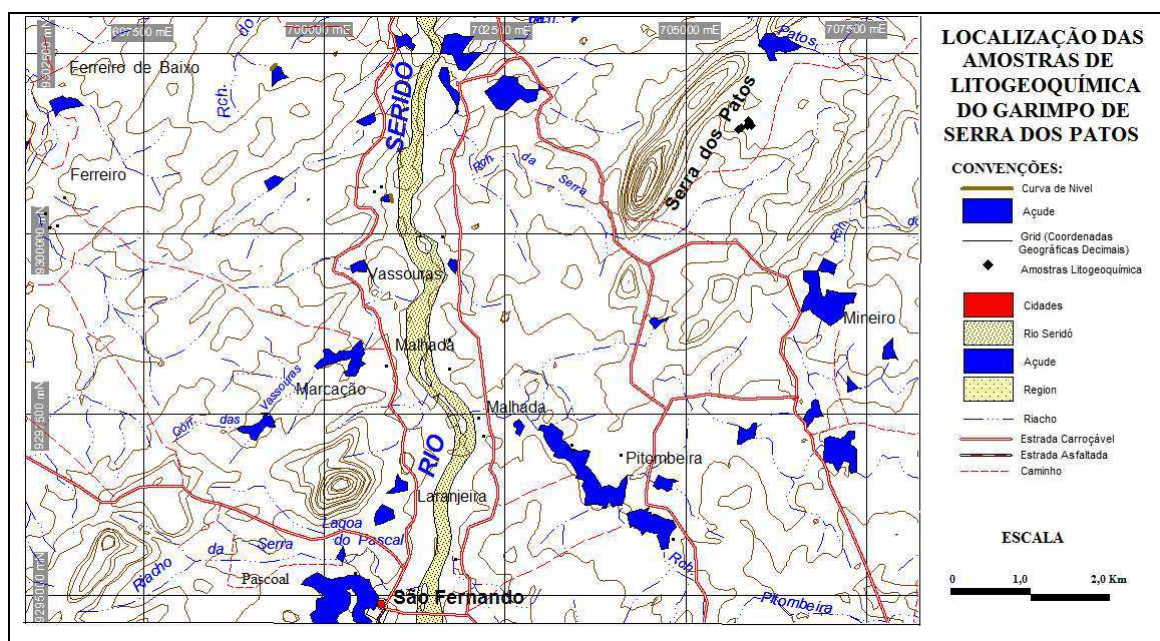
Os estudos de correlação e as sínteses estatísticas não serão apresentados aqui uma vez que apenas 19 amostras foram coletadas e quaisquer parâmetros advindos deste pequeno universo de dados não tem significado algum.

A localização das amostras está indicada na figura 16. As amostras com teor mais elevado de ouro, chumbo e níquel mais próximas da localidade de Anastácia, onde se encontram diversas cavas garimpeiras.

### 5.3.3.3 – Garimpo de Serra dos Patos

Na Serra dos Patos foram coletadas 14 amostras de rochas (ver figura 17) aproveitando serviços subterrâneos abertos pelos garimpeiros, trincheiras abertas por uma empresa de prospecção e pesquisa mineral e afloramentos naturais.

Figura 17: Mapa de Localização das amostras litogeoquímicas do garimpo Serra dos Patos.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

Os teores de prata estão abaixo do limite de detecção e, por este motivo, não estar relacionado na Tabela 24 a seguir. O ferro elevado já havia sido revelado ao exame macroscópico, durante os trabalhos de campo, onde a rocha hospedeira (veio de quartzo) contem minerais de ferro visíveis a olho nu, provavelmente produto da alteração de sulfetos de ferro e cobre. É comum a associação do ouro com sulfetos e, a lixiviação natural do enxofre que se dispersa facilmente no ambiente secundário deixando o ouro livre e observável a olho nu.

Os teores mais elevados dos elementos pesados prejudiciais a saúde humana são devido ao arsênio (21 ppm), cádmio (4,5 ppm), cobalto (15 ppm), cromo (63 ppm), Cobre (398 ppm), Níquel (50 ppm) e chumbo (81 ppm). Esses elementos se dispersaram ao longo da rede de drenagem.

TABELA 24: Teor de Alguns Metais Pesados por Amostra no Garimpo Serra dos Patos

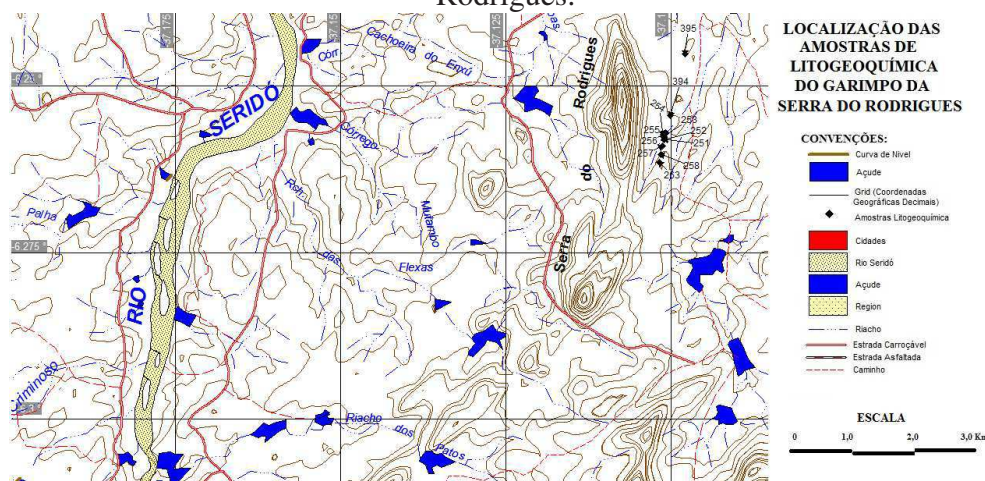
Amostra	Au ppb	As ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fe%	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
50069	1862,00	0,00	2,90	0,00	44,00	54,00	10,90	14,00	20,00	52,00
50070	627,00	0,00	4,50	10,00	63,00	115,00	15,00	50,00	25,00	148,00
50071	389,00	0,00	1,80	0,00	21,00	138,00	6,70	8,10	11,00	42,00
50072	242,00	0,00	1,20	0,00	20,00	49,00	4,40	8,00	81,00	51,00
50073	802,00	0,00	2,60	0,00	34,00	103,00	11,30	6,40	54,00	30,00
50074	1373,00	0,00	2,10	3,80	49,00	231,00	6,80	19,00	14,00	64,00
275	251,00	-5,00	-1,00	15,00	62,00	352,00	8,90	22,00	27,00	45,00
276	1109,00	21,00	-1,00	-3,00	53,00	171,00	9,10	1,30	65,00	30,00
277	1078,00	-5,00	-1,00	-3,00	14,00	55,00	3,50	1,40	37,00	4,50
278	289,00	-5,00	-1,00	-3,00	10,00	39,00	5,30	1,60	7,90	56,00
279	345,00	-5,00	-1,00	6,80	49,00	398,00	9,40	13,00	30,00	89,00
280	1607,00 14949,0	-5,00	-1,00	4,00	63,00	144,00	7,60	10,00	20,00	29,00
281	0	7,00	-1,00	-3,00	11,00	119,00	8,80	3,80	-3,00	28,00
282	512,00	10,00	-1,00	3,40	33,00	191,00	4,90	4,70	37,00	24,00

Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

#### 5.3.3.4 – Garimpo de Serra dos Rodrigues

O garimpo localizado na Serra do Rodrigues é aquele que se situa na porção mais a Norte da sequência de garimpos que exploravam o ouro da faixa entre Timbaúba dos Batistas, Caicó e São Fernando (figura 18).

Figura 18: Localização das amostras de litogeoquímicas do garimpo da Serra do Rodrigues.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)



Os teores de ouro são bastante elevados e, segundo informações obtidas por entrevistas na área, o garimpo de Serra do Rodrigues foi um dos que mais produziram ouro. O titular do Alvará de Pesquisa não permitiu o acesso irrestrito à área, razão pela qual só foi possível coletar 9 (nove) amostras, uma das quais com 13 g/ton de ouro, coincidentemente esta amostra foi a que apresentou maior teor de arsênio (Tabela 25).

TABELA 25: Teores de Alguns Metais Pesados por Amostra do Garimpo de Serra dos Rodrigues

Amostra	Au	As	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
251	13204,00	13,00	13,00	72,00	61,00	5,80	40,00	14,00	18,00
252	1665,00	-5,00	-3,00	44,00	116,00	8,10	6,50	3,60	16,00
253	8292,00	-5,00	-3,00	32,00	87,00	6,40	1,50	8,80	11,00
254	91,00	5,00	17,00	58,00	56,00	4,30	54,00	15,00	14,00
255	891,00	7,00	3,20	32,00	112,00	6,30	3,40	-3,00	14,00
256	788,00	6,00	5,20	29,00	180,00	3,80	12,00	-3,00	5,60
257	47,00	-5,00	38,00	81,00	41,00	6,50	136,00	20,00	63,00
258	833,00	-5,00	-3,00	65,00	162,00	8,70	5,40	11,00	24,00
263	637,00	8,00	5,80	32,00	439,00	4,40	6,30	3,10	8,60

Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

Os teores mais elevados dos elementos pesados prejudiciais a saúde humana são devido ao arsênio (13 ppm), cobalto (38 pm), cromo (81 ppm), Cobre (439 ppm), Níquel (136 ppm) e chumbo (20 ppm).

### 5.3.3.5 – Encapinado

Uma única amostra de rocha foi coletada na área de Encapinado a W do Garimpo de Tapera. A prata e o cádmio não estão presentes ou estão presentes em quantidades abaixo do limite de detecção (Tabela 26). Chama atenção o altíssimo teor de arsênio provavelmente consagrando aqui a associação deste metal com o ouro e tipificando o local como uma das fontes primárias de dispersão de metais pesados na área.

TABELA 26: Teores de Alguns Metais Pesados em Encapinado

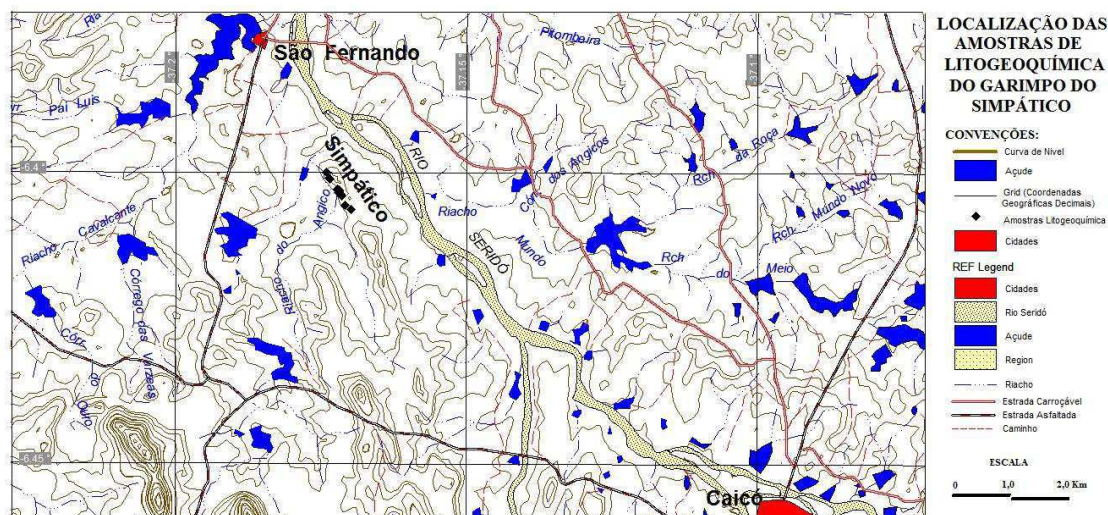
Sample	Au	As	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
250	180,00	630,00	20,00	83,00	49,00	3,70	36,00	18,00	100,00

Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

### 5.3.3.6 – Garimpo do Simpático

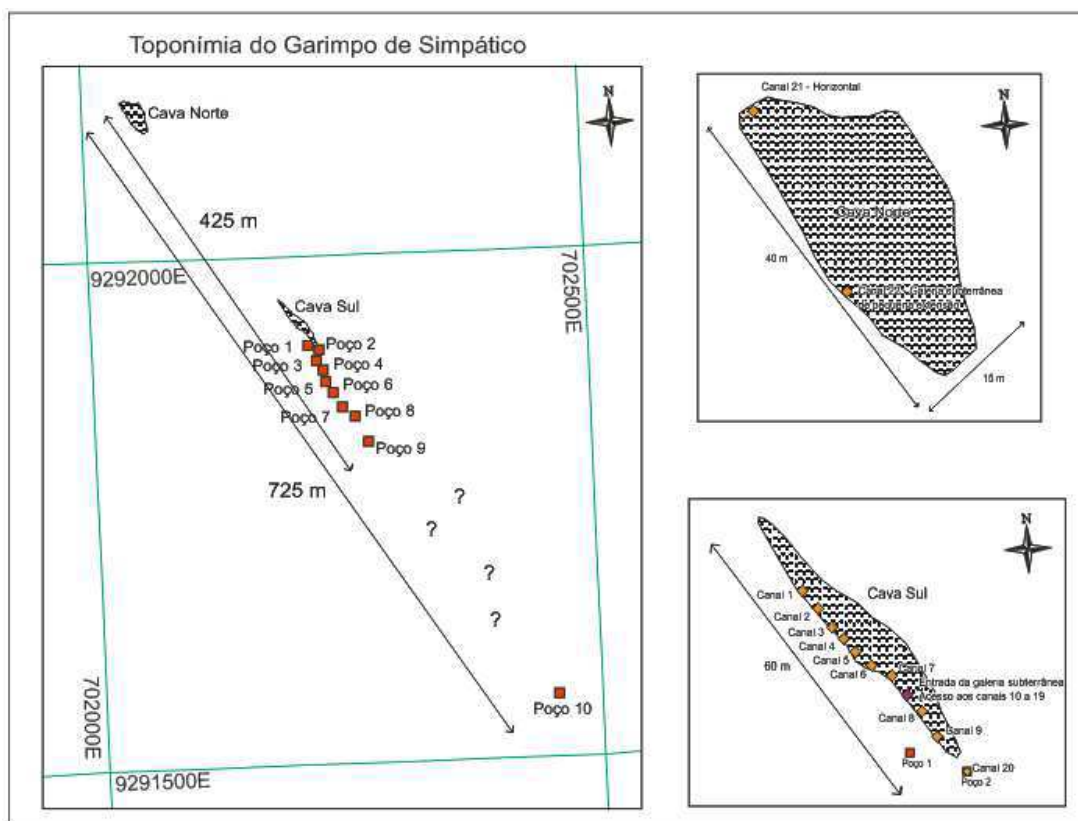
O garimpo do Simpático está localizado nas intermediações da sede de São Fernando (figura 19), na margem direita do Rio Seridó, sendo facilmente acessado por estrada carroçável.

Figura 19: Mapa de localização das amostras litogeoquímicas no garimpo do Simpático.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

Figura 20: Detalhe da localização das amostras no garimpo do Simpático.



Fonte: Cavalcanti Nt (2012)

As amostras foram coletadas ao longo da cava principal, identificada no mapa da figura 20 como Cava Sul.

A rocha hospedeira da mineralização aurífera sofreu intenso processo de alteração hidrotermal argilítica avançada e muscovitização, tendo como encaixante muscovitas quartzitos a muscovita, sericita, quartzo xistos. A rocha tenra favorece o desmonte manual e mecânico, facilitado os trabalhos de lavra e o intemperismo natural dessas rochas e a conseqüente dispersão dos elementos químicos no ambiente secundário. A observação da drenagem regional indica que os elementos químicos presentes no garimpo do Simpático se dispersaram ao longo do Rio Seridó, mas não alcançaram o açude de São Fernando.

Os metais prejudiciais a saúde humana estão presentes em quantidades modestas (Tabela 27), como é o caso do arsênio cujo teor máximo presente na rocha foi de 24 ppm, Bi (596 ppm) e o cobre (843 ppm).

TABELA 27: Síntese Estatística das Amostragens Litogeoquímicas no Garimpo do Simpático

Metais	m	M	$\bar{X}$	$\sigma$	Coef. de Variação (%)	$\bar{X} + \sigma$
Au ppb	0	10538	804,03	1426,82	1,77459	2230,85
Ag ppm	0	1,7	0,0189	0,1691	8,9034	0,188
As ppm	0	24	0,4494	2,1236	4,7243	2,573
Bi ppm	0	596	33,941	72,801	2,1449	106,742
Co ppm	0	48	2,4751	6,3077	2,5484	8,7828
Cr ppm	0	229	5,7852	16,196	2,7995	21,9812
Cu ppm	0	843	60,448	122,7	2,0298	183,148
Ni ppm	0	83	1,9747	6,5625	3,3233	8,5372
Pb ppm	0	35	4,7945	4,9838	1,0394	9,7783
Zn ppm	0	101	6,554	13,392	2,0433	19,946

m = valor mínimo; M = Valor Máximo;  $\sigma$  = Desvio Padrão;  $\bar{X}$  = Média  
Fonte: Cavalcanti Nt. (2012)



## 5.4 INCIDÊNCIA DE DOENÇAS EM SÃO FERNANDO

### 5.4.1 Dados Gerais

A atividade extrativa mineral de ouro, na área de confluência dos rios Piranhas e Seridó, se apresentou como uma alternativa real de sobrevivência aos efeitos da seca para inúmeros sertanejos. Por outro lado, expôs à sociedade, daquela região, a diversos Passivos Ambientais dentre os quais aqueles já citados por Carvalho et al. (2005) e aqueles acrescentados nesta tese e, particularmente, a exposição da sociedade a Metais Pesados altamente tóxicos como o As, Cd, Cr, Cu, Pb, entre outros oriundos dos garimpos de ouro. Essa exposição é, teoricamente, mais acentuada naquelas pessoas que desempenham suas atividades socioeconômicas e culturais a jusante dos locais de extração, para onde afluem os córregos, riachos e rios, aportando nas cercanias da sede municipal de São Fernando. Neste município, 50% das mortes, entre as pessoas na faixa etária de 50 a 64 anos, são devido ao câncer (ver tabela 28), segundo (DATASUS) Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil (BRASIL, 2009).

TABELA 28: Mortalidade proporcional (%) por faixa etária segundo grupo de causas no município de São Fernando/RN - cid10

Grupo de Causas	Menor que 1	1 a 4	5 a 9	10 a 14	15 a 19	20 a 49	50 a 64	65 e mais	60 e mais	Total
I. Algumas doenças infecciosas e parasitárias	-	-	-	-	-	-	25	-	-	5,6
II. Neoplasias (tumores)	-	-	-	-	-	-	50	9,1	15,4	16,7
IX. Doenças do aparelho circulatório	-	-	-	-	-	50	25	27,3	30,8	27,8
X. Doenças do aparelho respiratório	-	-	-	-	-	-	-	27,3	23,1	16,7
XVI. Algumas afecções originadas no período perinatal	100	-	-	-	-	-	-	-	-	5,6
XX. Causas externas de morbidade e mortalidade	-	-	-	-	-	50	-	-	-	5,6
Demais causas definidas	-	-	-	-	-	-	-	36,4	30,8	22,2
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: SIM. Situação da base de dados nacional em 14/12/2009 DATASUS (BRASIL, 2009).  
Dados em %.

Os dados de mortalidade apresentados, apesar de alarmantes, estão subdimensionado, uma vez que boa parte dos habitantes de São Fernando, bem como dos municípios situados nas proximidades da região de confluência dos rios Piranhas e Seridó, procura socorro médico no vizinho município de Caicó por não terem infraestrutura adequada de saúde no local onde reside (ver Tabela 29). A família não retroalimenta os dados na Secretaria Municipal de Saúde de São Fernando dos casos tratados e nem dos falecimentos.

TABELA 29: Recursos Físicos - Equipamentos Em Uso por Tipo de Estabelecimento segundo Município

Município	Caicó	Jardim de Piranhas	São Fernando	Timbaúba dos Batistas
Centro de Atenção Hemoterápica e ou Hematológica	0	0	0	0
Centro de Atenção Psicossocial	0	0	0	0
Centro de Saude/Unidade Básica de Saúde	30	5	1	1
Clinica Especializada/Ambulatório Especializado	50	0	0	0
Consultório Isolado	51	0	0	0
Farmácia Medic Excepcional e Prog	1	0	0	0
Farmácia Popular				
Hospital Dia	0	0	0	0
Hospital Especializado	0	0	0	0
Hospital Geral	50	0	0	0
Policlínica	5	0	0	0
Posto de Saúde	0	0	0	0
Pronto Socorro Especializado	0	0	0	0
Pronto Socorro Geral	11	0	0	0
Secretaria de Saúde	0	0	0	0
Unid Mista - atend 24h: atenção básica, intern/urg	7	5	0	0
Unidade de Serviço de Apoio de Diagnose e Terapia	8	0	0	0
Unidade Móvel Pré Hospitalar - Urgência/Emergência	0	0	0	0
Unidade Móvel Terrestre	0	0	0	0
Total	213	10	1	1

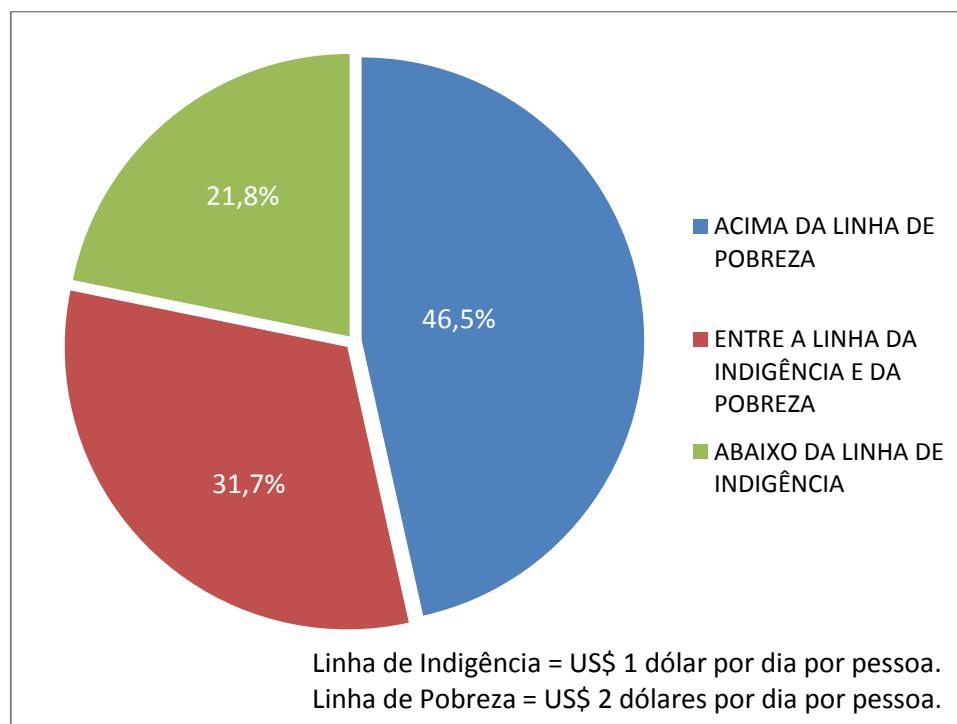
FONTE: Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde CNES- Atualizado em fev. 2011.

#### 5.4.2 Aplicação de Questionários

Trinta e oito pessoas responderam o “Questionário Direcionado à População”, nove pessoas, que também participaram do primeiro questionário, responderam o “Roteiro para Entrevista dos Responsáveis pela Saúde” e um único garimpeiro que vivenciou parte do período de extração de ouro (Moacir), atualmente morador da cidade de Currais Novos, respondeu o “Roteiro Direcionado aos Garimpeiros ou Quem Vivenciou o período de Garimpagem pelo Ouro”. Outros garimpeiros foram contatados, mas se recusaram a responder, ou não autorizaram a publicação por temerem algum tipo de represália, uma vez que a maioria dessas atividades foi exercida clandestinamente à margem da legislação mineral e ambiental (capítulo 1). Informalmente eles disseram que não foi utilizado mercúrio para a amalgamação do ouro, prática habitual nos garimpos deste metal, e que a atividade deixou de ser executada porque o “ouro acabou” ou ainda porque o “preço não era mais compensador”. Excetuando-se as respostas informais, todas as outras estão tabuladas nos anexos C. Esta tese pôde verificar que o ouro estava livre na superfície, e próximo a ela, devido à oxidação de minerais sulfetados (principalmente a pirita, a pirrotita e a arseno-pirita). Em profundidade, esses minerais estavam protegidos da oxidação e “aprisionaram” o ouro na estrutura do mineral, impossibilitando a sua identificação a “olho nu” pelos garimpeiros, daí eles afirmarem que “ouro acabou”.

A maioria dos entrevistados reside e trabalha em São Fernando, tem nível de escolaridade variado, desde analfabetos ao nível superior completo, com leve predominância de pessoas com ensino fundamental incompleto. A renda familiar, oscilou entre menor que um salário mínimo (9 pessoas) até 3 salários mínimos mensais (10 pessoas). Todo o restante, ou seja, 50% dos entrevistados, têm renda familiar entre 1 e 2 salários mínimos. Os dados levantados pelo o Senso Demográfico de 2010 (BRASIL, 2011), apresentados na Figura 21, apontam que 53,5% dos sãofernandenses vivem abaixo da linha de pobreza e indigência, o que revela que a entrevista realizada não teve a representatividade socioeconômica, uma vez que apenas 23,68% dos entrevistados (aqueles que afirmaram que a renda familiar é inferior a um salário mínimo) poderiam estar situados abaixo desta linha.

Figura 21: Gráfico de Pizza da Proporção de Moradores de São Fernando abaixo da linha da pobreza e indigência – 2010



FONTE: Senso Demográfico 2010 (BRASIL, 2011).

Vinte e oito pessoas citaram o câncer quando perguntadas “Quais são as doenças mais frequentes no município?” (Questão 5 do “Questionário Direcionado à População”), representando 73,68% do total dos entrevistados, revelando que a percepção da população supera o que pôde ser computado estatisticamente pelas fontes oficiais (Tabela 27). Essa diferença entre a percepção da população e a estatística do DATASUS (BRASIL, 2009) pode ser explicada por aquela não retroalimentação dos dados à Secretaria de Saúde pela família dos acometidos por malignidades e que vão se tratar em Caicó, ou ainda devido à diferença entre a realidade do ano do levantamento daquele Departamento do SUS ser diferente da realidade do ano de aplicação deste questionário (neste caso teríamos que levantar a hipótese de um aumento no número de casos). Semelhante percentual de entrevistados disse não saber quais as doenças que a atividade de exploração mineral pode acarretar à saúde humana (Questão 4 do “Questionário Direcionado à População”). Daqueles que disseram conhecer, 5 citaram doenças respiratórias e 3 mencionaram o câncer.

Para a primeira questão do “Roteiro para entrevista com os responsáveis pela saúde” (Número de casos de câncer na cidade) as respostas foram confusas, tendo pessoas que afirmaram conhecer “inúmeros casos de câncer” no município e outras respondendo que são “poucos” os casos. Um entrevistado arriscou o percentual de trinta por cento de munícipes acometidos por doença carcinogênica. Essa disparidade de respostas foi atribuída ao receio dos funcionários municipais estarem prestando informações contrárias a gestão do prefeito.

Os adultos de uma maneira geral foram citados quando a pergunta foi sobre a “Faixa etária dos doentes”, embora 2 tenham informado a faixa de 30 a 50 anos, outro 40 a 80 anos e ainda 30 a 60 anos, garantindo que raramente se tem notícias de criança com esta malignidade. Para os entrevistados da saúde, a maioria dos enfermos mora na cidade.

Ao serem perguntados se “Existe algum indício das causas do elevado índice de câncer no município” (Questão 7 do “Roteiro para Entrevista com os Responsáveis pela Saúde”), dois agentes de saúde disseram que a causa dos casos de câncer no município se deve a queima do lixão de Caicó que é próximo à sede municipal de São Fernando, um agente atribuiu a herança genética, outro a “Falta de cuidado com a saúde”, e 5 disseram não ter ideia. Nenhum deles mencionou quaisquer relações com as atividades de extração de ouro. Quando estimulados a responderem a “Os casos de câncer tem alguma relação com atividade garimpeira?” (Questão 8 o “Roteiro para entrevista com os Responsáveis pela Saúde”) três disseram que “acha que sim” ou “pode ser” e cinco acreditam que não tem nenhuma relação. A maioria dos enfermos são agricultores e donas de casa, apenas um mencionou garimpeiro. Um dos agentes respondeu que a maioria dos enfermos se cura da malignidade e prossegue com atividades leves.

O garimpeiro que aceitou responder a entrevista disse que pessoas de vários Estados, mas principalmente dos municípios do semiárido dos Estados do RN e PB, estiveram na região de confluência dos rios Piranhas e Seridó extraindo e concentrando ouro. Dos amigos da época ele citou dois com problemas de câncer, mas não pode garantir que foi devido às atividades naquela região, pois os mesmos foram extrair ouro no Pará em condições mais precárias, amalgamando com mercúrio e usando cianeto.

Da aplicação dos questionários se conclui, entre outros aspectos, que a população de São Fernando percebe, muito claramente, a alta incidência de doenças carcinogênicas, mas não consegue identificar a fonte dessas malignidades.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das amostras coletadas em três ambientes inter-relacionados (sedimento de corrente, solo e rocha), divididos em 18 domínios homogêneos, proporcionou a identificação das fontes de dispersão de Metais Pesados na área de confluência dos rios Piranhas e Seridó como sendo os garimpos de ouro denominados Serra do Rodrigues (710.108 UTM\_E e 9.308.210 UTM\_N), Caifás (705.094 UTM\_E e 9.305.803 UTM\_N), Serra dos Patos (706.843 UTM\_E e 9.301.370 UTM\_N), Simpático (702.473 UTM\_E e 9.292.353 UTM\_N), Ponta de Serra (700.405 UTM\_E e 9.286.923 UTM\_N), Anastácia (701.349 UTM\_E e 9.285.443 UTM\_N), Tapera (700.194 UTM\_E e 9.282.776 UTM\_N), e mais duas fontes, onde não foram identificadas atividades de exploração mineral, Encapinado (696.037 UTM\_E e 9.283.784 UTM\_N) e Sítio Velho (692.000 UTM\_E e 9.290.000 UTM\_N). Estas duas últimas são descobertas desta tese e poderão implicar numa enorme contribuição econômica e social para a população daquela região, haja vista a geração de emprego e renda que esta provável riqueza gerará numa região sabidamente escassa de oportunidades. A paralização dos trabalhos de extração e a não detecção dessas duas novas ocorrências pelos garimpeiros se devem a associação do ouro com pirita ( $\text{FeS}_2$ ) e arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ) que mascaram o ouro impossibilitando sua identificação a olho nú.

Os Metais Pesados Cádmiio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Chumbo (Pb), Níquel (Ni), Zinco (Zn) e Arsênio (As) foram encontrados com grande frequência, assim como o Ouro (Au), metal garimpado na região. A identificação, em mapa gridado, da relação das anomalias com os locais de produção garimpeira de ouro, a partir de amostras de sedimento de corrente, foi favorecida pela baixa mobilidade de elementos como o Cd, Cr, Cu, Ni e Pb em ambientes de pH ácido e Eh relativamente alto. A pequena espessura dos solos, característica dessa região do semiárido, também favoreceu a obtenção de informações quase “*in situ*”, mesmo em se tratando de sedimentos de corrente, cujos dados refletem a composição do material existente a montante do local de coleta. O conjunto de todas as amostras de sedimento de corrente refletiu as diversas fontes de metais que suprem a bacia de drenagem daquela região de confluência dos rios Piranhas e Seridó. A distribuição multimodal revelou se tratar de fontes distintas cujas características de correlação entre os elementos apontam para peculiaridades no processo formador dos depósitos minerais.

Os trabalhos de detalhes, as amostragens de solos e rochas, vieram a confirmar os locais apontados nesta tese como fonte de dispersão. Aqui, relembramos nossas discussões sobre as diferenças sutis entre as amostras de sedimento de corrente e de fundo e a ausência de referências específicas para as primeiras, uma vez os valores apontados por instituições como o CONAMA, CETESB, USEPA, entre outras, levam em conta os sedimentos de fundo. Devido às semelhanças constitucionais entre esses dois tipos de amostras e a lacuna de referência de qualidade existente para os sedimentos de corrente, foram utilizados os parâmetros de sedimentos de fundo. Desta forma, e comparando os teores encontrados no sedimento de corrente e no solo com os valores de referência publicados pelo CONAMA e CETESB, permitiu afirmar que os metais mais perigosos à saúde humana, segundo lista elaborada pela ATSRD e a USEPA em 2007 (CERLA, 2007) encontram-se geodisponíveis na área e em concentrações acima daquelas indicadas pelas citadas instituições. No sedimento de corrente o Arsênio, o primeiro da lista dos mais perigosos da CERLA *op. cit.*, se encontra acima do valor de referência no Domínio 13, justamente na área que engloba uma sub-bacia de drenagem do Rio Seridó, imediatamente a montante da sede do município de São Fernando e do açude que a abastece. No solo o teor máximo encontrado de Arsênio foi de 301 g/ton, que supera em mais do dobro, o valor estabelecido pela Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009, a nível de intervenção/investigação para solos industriais. Em rocha esses valores de Arsênio são ainda maiores, mas não foram confrontados uma vez que não existem normas com valores de referências para as rochas. Todavia, esses teores são indicativos da geodisponibilidade deste metal em concentrações elevadíssimas na área de confluência dos rios Piranhas e Seridó, como em Ponta de Serra (8.473 ppm) e no Sítio Velho (630 ppm), além de outros locais em concentrações mais baixas.

Outros elementos perigosos à saúde humana foram encontrados nos sedimentos de corrente, tais como o Cádmio, também cancerígeno, com 1 amostra maior que a referência no domínio 13, o Cromo está acima das concentrações de referência nos domínios 0, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16 e 17, o Cobre nos domínios 7, 10, 13, o Níquel nos domínios 0, 2, 3, 4, 7, 8, 11, 13, 15 e o Chumbo no domínio 0, sendo confirmado valores elevados nos respectivos solos e/ou nas rochas hospedeiras da mineralização aurífera dos garimpos situados imediatamente a montante das anomalias dos referidos elementos.



O conjunto de todas as amostras de sedimento de corrente refletiu as diversas fontes de metais que suprem a bacia de drenagem daquela região de confluência dos rios Piranhas e Seridó. Apesar de constituírem um mesmo tipo de Depósito Mineral, formado por eventos relacionados aos episódios de cisalhamento tardi brasileiro (LUIZ SILVA 2000, LUIZ SILVA et al. 2000, TRINDADE, 2000 e TRINDADE et al. 2008), a distribuição multimodal revelou se tratar de fontes distintas cujas características de correlação entre os elementos apontam para peculiaridades no processo formador dos Depósitos Minerais. Essas particularidades podem ser comprovadas quando se observa, a olho nu, características próprias, por exemplo, em Simpático onde à rocha que hospeda a mineralização aurífera sofreu processo de alteração hidrotermal argílica avançada, atestada pelo caulim hospedeiro do ouro e, em Serra dos Patos e do Rodrigues, o ouro está hospedado em veios de quartzo ferruginosos, rochas com características distintas do ponto de vista mineralógico e químico.

Esses Metais Pesados geodisponíveis na área de confluência dos rios Piranhas e Seridó devem estar presentes em toda a cadeia biológica que depende, direta ou indiretamente, daquela bacia de captação. A alarmante incidência de câncer, responsável pela morte de 50% da população de São Fernando entre 50 e 65 anos de idade, encontra nos Metais Pesados geodisponibilizados da área, a partir dos garimpos de ouro, justificativa suficiente para ser responsabilizado como fonte causal das malignidades.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Sugerimos a realização de trabalhos de Prospecção e Pesquisa Mineral nas localidades das fontes de dispersão de metais denominadas W de Tapera e uma área cujo centro está definido pela coordenada UTM\_E 692.000 e UTM\_N 9.290.000, haja vista o potencial, detectado nesta tese, para a ocorrência de mineralizações de ouro. Esses trabalhos deverão envolver uma amostragem sistemática de detalhe segundo uma malha de 1,0 m x 1,0 m e a abertura de trincheiras para exposição da rocha hospedeira da mineralização. Caso os resultados sejam considerados satisfatórios sugerimos a realização de uma campanha de sondagens segundo malha de 10 m x 10 m e a abertura de serviços mineiros de sub-superfície visando à cubagem de Reservas Medidas segundo as recomendações do Código JORC (JORC, 1999) e testes industriais de lavra e beneficiamento. Esses trabalhos deverão culminar em um parecer definitivo sobre a viabilidade técnica e econômica da realização de atividade de exploração mineral na área. As sugestões de realização dessas atividades são extensivas ao solo de Tapera, Anastácia e Ponta de Serra, cujo teor médio, obtido nesta tese, oscilou em torno de 0,05 g/ton de Au. Via de regra, a mineração em sedimentos é bem menos dispendiosa que em rocha. A avaliação técnica e econômica dos garimpos de ouro já conhecidos está sendo realizada pela BP Projetos e Consultoria Mineral e Ambiental Ltda., que já explora, em caráter preliminar, o ouro da Serra do Rodrigues, razão pela qual essas atividades não foram aqui sugeridas.

Comprovada a exequibilidade técnica e econômica dessas duas fontes de dispersão descobertas nesta tese, as implicações já mencionadas de geração de emprego e renda, deverão estar associadas ao imperativo da sustentabilidade em todas as suas dimensões, quais sejam: econômica, social e ambiental, aí incluso os cuidados para que a atividade exploratória não implique no aumento da emissão de elementos geodisponíveis na região, conforme se comprovou neste trabalho com respeito às atividades pretéritas de extração e beneficiamento de ouro nos garimpos mencionados.

A coleta e análise da água do açude que abastece a cidade de São Fernando são recomendadas em quantidades estatisticamente significativas para que possam ser passivas de comparação com o universo das amostras de sedimento de corrente e solo coletadas e analisadas nesta tese. Estimamos que sejam necessárias pelo menos, 50 (cinquenta) amostras a serem coletadas. Essa coleta deve ser realizada com todo o

cuidado, especialmente devido às dificuldades de se analisar o Arsênio, uma vez que este elemento pode se volatilizar até à temperatura ambiente. O clima quente da região favorece naturalmente essa volatilização em ambiente aquático devido à alta evapotranspiração.

Outro aspecto a ser levado em consideração na elaboração de um projeto, para atender a nossa recomendação, é o alto preço das análises químicas por absorção atômica ou plasma ICP, em torno de R\$ 350,00 por 7 metais (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) podendo incluir como sétimo elemento o Mercúrio, uma vez que o ouro pode estar associado a esse perigoso metal e ainda devido ao processamento do minério, haja visto que o Hg pode ter sido utilizado na amalgamação, apesar das entrevistas não confirmarem isso. Outro elemento que poderia ser analisado naquele pacote, caso o Hg não seja a opção, seria o Bismuto ou ainda o Berílio devido a suas periculosidades e por já terem sido detectados no solo. Existe ainda um elenco de outros metais que foram encontrados nos ambientes aqui estudados e que poderiam constituir o sétimo elemento. Para assegurar a representatividade com as 50 amostras serão necessários RS 17.500,00 (Dezessete mil e Quinhentos Reais).

Para averiguar a presença do Arsênio no ambiente aquático, sugerimos também se coletar amostras de sedimento de fundo ao longo de todo açude, uma vez que a porção argilosa, presente no fundo desses corpos de água, pela sua estrutura cristalina em folhas (filossilicatos), é mais propícia para armazenar íons metálicos e, aí, esse metal, de complicada coleta e análise, teria mais chances de ser identificado.

Uma vez comprovada a presença desses metais nocivos a saúde no açude que abastece a população de São Fernando em quantidades superiores aos valores de referência, sugerimos que seja verificada a presença de metais no corpo humano a partir da coleta e análise de bioindicadores consagrados como a urina para detectar o Arsênio, o sangue para o Chumbo etc., ou realizar testes de mineralograma a partir de amostras de 2 gramas de cabelo. Os resultados dos trabalhos propostos possibilitaria o estabelecimento de uma relação inequívoca entre a geodisponibilidade de metais e os casos de doença na região e o elevado índice de morte por câncer registrado entre as pessoas na faixa etária de 50 a 65 anos de idade.

## REFERÊNCIAS

ABERNATHY, C.O.; CALDERON, R.L.; CHAPPELL, W.R. (Eds.). **Arsenic exposure and health effects**. [S.l.]:Chapman & Hall, 1997. 429 p.

AMORIM, Isaac Lucena de; SAMPAIO, Everardo V.S.B.; e ARAÚJO, Elcida de Lima. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta bot. bras.** 19(3): 615-623. 2005.

ANGELIM, Luiz Alberto de Aquino; NESI, Júlio de Rezende; TORRES, Héltton Héleri Falcão; MEDEIROS, Vladimir Cruz de; SANTOS, Carlos Alberto dos; VEIGA JUNIOR, José Pessoa; MENDES, Vanildo Almeida. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Mapa e Texto Explicativo dos Mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio Grande Do Norte. Escala 1:500.000.**

Organizado por: Luiz Alberto de Aquino Angelim. MME/Sec. De Geo. Min e Transf. Mineral, CPRM-Serv. Geo. do Brasil. Gov. do RN/SEDEC-FAPERN. Recife, 2006 a.

ANGELIM, Luiz Alberto de Aquino. **Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte - Escala 1:500.000.** / Luiz Alberto de Aquino Angelim ... [et. al.]. - Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 119 p. : il. color.; 21x29,7 cm + 2 mapas. Recife, 2006 b.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Cobalt. CAS#: 7440-48-4. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. April 2004.

\_\_\_\_\_. Toxicological Profile for Barium and Barium Compounds. Public Health Service. U.S. Department of Health and Human Services. August 2007 a.

\_\_\_\_\_. Toxicological Profile for Arsenic. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. August 2007 b.

\_\_\_\_\_. Arsenic Toxicity. Case Studies in Environmental Medicine. Course: WBCBDV1576 Date: October 1, 2009. Disponível na INTERNET: <http://www.atsdr.cdc.gov/csem/arsenic/docs/arsenic.pdf>. Acesso em 25/05/2011.

BANCO MUNDIAL. **Comunidades e Mineração Artesanal e de Pequena-Escala (CASM)**. Resumo Temático /CASM. Disponível na INTERNET: <http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/CASMResumoTematico.pdf> acessado em 03/09/2011>. Acesso em 14/04/2011.

BARCELÓ-BATLLORI S, COROMINOLA H, CLARET M, CANALS I, GUINOVART J, GOMIS R. Target identification of the novel antiobesity agent tungstate in adipose tissue from obese rats. **Proteomics**. 2005 Dec; 5(18):4927-35.

BARKER, Rachel M. Collecting Rocks.U.S. Geological Survey. **Information Services**. Last modified 06-24-1997. Disponível na INTERNET: <<http://pubs.usgs.gov/gip/collect1/collectgip.html>>. Acessado em 17/03/2011.

BARRETO, M. L. **Formalização da Mineração a Pequena Escala (MPE) na América Latina e Caribe**. Programa Mineria Artesanal y en Pequeña Escala (MPE) do ODRC/CRDI/MPRI/IIPM. Julho de 2003.

BECKER. K. Bertha. **As frentes de exploração mineral: grandes projetos e garimpos**. São Paulo: Hucitec, Rio de Janeiro: 1990. (p. 62-82). IN: GOMES, Márcia Maria Costa; ARAÚJO, Isabella Oliveira de; FARIAS Jonas Vitorino de; SOUSA, Sonally Lucy T. A. de. Garimpo: Precarização do Trabalho no Junco do Seridó Paraibano. IX Jornada do Trabalho Dinâmica Territorial do Trabalho no Século XXI: em busca dos sujeitos que podem emancipar a sociedade para além do capital. UFG/Catalão/GO. Outubro de 2008.

BLOOM, Lynda. Analytical Services and QA/QC. Analytical Solutions Ltd. Prepared for the **Society of Exploration Geologists**, April, 2002.

BOND, William D. **QA/QC Protocols**. Quality Assurance and Quality Control Protocols.March, 2008. Disponível na INTERNET: <<http://www.epzresources.com/protocols.php>>. Acessado em 25/08/2011.

BORBA, Ricardo Perobolli. **Arsênio em Ambiente Superficial: Processos Geoquímicos Naturais e Antropogênicos em uma Área de Mineração Aurífera**. Tese de Doutorado. UNICAMP, Campinas/SP, 2002.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição República Federativa do Brasil. Brasília: Senado Federal; Centro Gráfico, 1988, 292 p.

\_\_\_\_\_. Decreto Nº 98.812 de 9 de janeiro de 1990. Regulamenta a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, p 614, 14/01/1990. Disponível na INTERNET: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1990-1994/D98812.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/D98812.htm)>. Acessado em 23/05/2011.

\_\_\_\_\_ Decreto-Lei Nº 227, de 28 De Fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas). Disponível em

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/del0227.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227.htm)>. Acessado em abril de 2011.

\_\_\_\_\_ Lei Nº 7.805, de 18 de Julho de 1989. Altera o Decreto-Lei 227, de 28 de Fevereiro de 1967, Cria o Regime de Permissão de Lavra Garimpeira, Extingue o Regime de Matrícula, e da Outras Providencias. DOFC 20/07/1989, p. 12027; RET. 11/10/898. Disponível na INTERNET:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L7805.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7805.htm)>. Acessado em abril de 2011.

\_\_\_\_\_ Lei Nº 11.685, de 2 de Junho de 2008. Institui o Estatuto do Garimpeiro e dá outras providências. D.O.U. de 03/06/2008, P. 1. Disponível na INTERNET:  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2008/Lei/L11685.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Lei/L11685.htm) >. Acessado em abril de 2011.

\_\_\_\_\_ Lei Nº 9.841, de 5 de Outubro de 1999. Institui o Estatuto da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte, dispondo sobre o tratamento jurídico diferenciado, simplificado e favorecido previsto nos arts. 170 e 179 da Constituição Federal. D.O. de 06/10/1999, P. 1. Disponível na INTERNET:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19841.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19841.htm)>. Acessado em abril de 2011.

\_\_\_\_\_ Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. DOFC de 02/09/1981, P. 16509. Disponível em  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm)> . Acessado em abril de 2011.

\_\_\_\_\_ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância. Coord. Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria 518/2004. Série E, 1ª Edição, 2005. 28 pp. ISBN 85-334-0935-4.

\_\_\_\_\_ MMA., Cons. Nac. Meio Amb. Resolução do CONAMA Nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicação DOU Nº 053 de 18/03/2005, pag 58-63.

\_\_\_\_\_ MMA., Cons. Nac. Meio Amb. Resolução do CONAMA Nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Publicação DOU Nº 249 de 30/12/2009, p 91-94.

\_\_\_\_\_ MMA., Cons. Nac. Meio Amb. Resolução CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas. Publicado no

D.O.U. de 30/07/86 . Disponível em  
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>> . Acessado em maio de 2011.

\_\_\_\_\_. MMA., Cons. Nac. Meio Amb. Resolução N° 344, de 25 de Março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. Publicada no DOU N° 87, de 7 de maio de 2004, Seção 1, páginas 56-57.

\_\_\_\_\_. MMA., Cons. Nac. Meio Amb. Resolução CONAMA N° 001, de 23 de janeiro de 1986. Publicado no D. O . U de 17 /2/86. Disponível na INTERNET  
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acessado em maio de 2011.

\_\_\_\_\_. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Senso Demográfico 2010. Características da População e dos Domicílios. Resultado do Universo, Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil / DATASUS. SIM - Sistema De Informação Em Mortalidade. Situação de base de dados nacional em 14/12/2009. Disponível na INTERNET em  
<http://www.datasus.gov.br>. Acessado em abril de 2011.

\_\_\_\_\_. Diagnóstico do Município de Caicó. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea – Rio Grande do Norte. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração, Transformação Mineral. CPRM- Serviço Geológico do Brasil – PRODEM (Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios). Recife, 2005.

\_\_\_\_\_. Diagnóstico do Município de São Fernando. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea – Rio Grande do Norte. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração, Transformação Mineral. CPRM- Serviço Geológico do Brasil – PRODEM (Programa de Desenvolvimento Energético dos

\_\_\_\_\_. Plano de Manejo ESEC do Seridó IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2004. Encarte 2. Disponível na INTERNET em <http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-de-conservacao/biomas-brasileiros/caatinga/unidades-de-conservacao-caatinga/2118-esec-do-serido.html>

Canadian Council of Ministers of the Environment Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Disponível na INTERNET:  
<<http://www.ecy.wa.gov/programs/eap/psamp/BoundaryBay/PSAMP->



[BBAMP%20documents/Canadian%20guidelines%20for%20water%20quality/SedimentProtAquaticLifeSummaryTables%28en%29.pdf](#) >. Acessado em 25/02/2012.

CARVALHO, Otacílio Oziel de; FRANÇA, Francisco Assuero Bezerra de; COSTA, Everton Maciel; CORTEZ, Carlos Magno Bezerra; CORRÊA, Telton Elber; NESI Júlio de Resende. **Avaliação e Diagnóstico do Setor Mineral do Rio Grande do Norte**. MME/FAPERN/SEDEC/CPRM/DNPM. Dezembro, 2005.

CAVALCANTI Nt., Mário T. de O. e ROCHA DA ROCHA, Alexandre M. Noções de Pesquisa e Prospecção **Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração**. Editora IFRN, Natal/RN, 2011. ISBN 978-85-89571-52-4.

CAVALCANTI Nt., Mário T. de O. e BRITO, José V. de Sousa. Depósitos Minerais Antropogênicos: Uma Síntese Preliminar dos Trabalhos de Pesquisa Mineral nos Rejeitos das Minas Cafuca, Bodó/RN e Barra Verde, Currais Novos/RN. **Holos**, Ano 25, Vol. 2, 2009.

CERCLA - COMPREHENSIVE ENVIRONMENTAL RESPONSE, COMPENSATION AND LIABILITY ACT. **Priority List of Hazardous Substances** - U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2007. Disponível na INTERNET: <<http://www.atsdr.cdc.gov/cercla/index.html>>. Acessado em abril de 2011.

CHERMISINOFF, Nicholas P., and GRAFFA Madelyn L. Environmental and Health & Safety Management. A Guide to Compliance. **National Association of Safety & Health Professionals**. ISBN 0-8155-1390-9, 1995.

COSTA, Adivane Terezinha; NALINI JR, Hermínio Arias; AMORIM, Paulo de Tarso e TATUMI, Sonia Hatsue – Análise Estratigráfica e distribuição do arsênio em depósitos sedimentares quaternários da porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, bacia do Ribeirão do Carmo, MG. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 63(4): 703-714, out. dez. 2010.

CRANE, J.L., MACDONALD, D.D.; INGERSOLL, C.G.; SMORONG, D.E.; LINDSKOOG, R.A.; SEVERN, C.G.; BERGER, T.A. and FIELD, L.J. **Development of a framework for evaluating numerical sediment quality targets and sediment contamination in the St. Louis River Area of Concern**. EPA 905-R-00-008. Great Lakes National Program Office. United States Environmental Protection Agency. Chicago, Illinois. 107 pp. + appendices. 2000.

CUNHA, Fernanda Gonçalves da; FIGUEIREDO, Bernardino Ribeiro de; PAOLIELLO, Mônica Maria Bastos; DE CAPITANI Eduardo Mello. Diagnóstico Ambiental e de Saúde Humana: Contaminação por Chumbo em Adrianópolis, no

Estado do Paraná, Brasil. IN: Silva, Cássio; Figueiredo, Bernardino; Capitani, Eduardo; Cunha, Fernanda, **Geologia Médica no Brasil**, CPRM, p. 64-70, Rio de Janeiro. 2006.

DANTAS, Alexandre Ranier, Relatório de Atividades Técnicas - Região de Caicó. Ano de 2004/2005. **Rel. Interno São Bento Mineração S/A**. Caicó/RN, agosto de 2005.

FARIAS, Carlos Eugenio Gomes. Mineração e Meio Ambiente no Brasil. Relatório Preparado para o CGEE. PNUD – Contrato 2002/001604. Outubro de 2002.

FAUST, Rosmarie A. Toxicity Summary for Silver. Oak Ridge Reservation **Environmental Restoration Program**. December 1992.

FIGUEIREDO, Bernardino Ribeiro; BORBA Ricardo Perobelli; ANGÉLICA Rômulo Simões. Arsenic occurrence in Brazil and human exposure. **Environ. Geochem. Health** 2007; 29:109-18.

FIGUEIREDO, Bernardino Ribeiro. **Minérios e Ambiente**. Editora da UNICAMP, São Paulo/SP. 2010.

FLÜCK, R.; CAMPICHE, S.; CHÈVRE, N.; ALENCASTRO, F. DE; FERRARI, B.; SANTIAGO, S. Use of sediment quality criteria for the assessment of sediment toxicity : Applicability to Switzerland. First report in the Project “**Assessment of Swiss sediment toxicity**”. Centre Suisse d’écotoxicologie appliquée Eawag EPFL. August 2010.

GERMANI, Darcy José. **A Mineração no Brasil**. Relatório Final. Rio de Janeiro. Maio, 2002.

GÓES, Maria Alice C. de; LUZ, Adão Benvindo da; POSSA, Mario Valente. AMOSTRAGEM. Capítulo 2. CETEM (Centro de Tecnologia Mineral ) Ministério da Ciência e Tecnologia CT2004-180-00 **Comunicação Técnica elaborada para a 4ª Edição do Livro de Tratamento de Minérios**, Pág. 19a51, Rio de Janeiro, 2004

HAMMARSTROM, Jane M.; PIATAK, Nadine M.; SEAL, Robert R. II; BRIGGS, Paul H.; MEIER, Allen L.; and MUZIK, Timothy L. **Geochemical Characteristics of TP3 Mine Wastes at the Elizabeth Copper Mine Superfund Site, Orange Co., Vermont**. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey. Open-File Report 03-431, 2003.

HAWKES, H. E. & WEBB, J. S. **Geochemistry in Mineral Exploration**. Haper and Row, London; 415 pp, 1962.

JOHNSON, D. L.; AMBROSE S. H.; BASSETT T. J.; BOWEN M. L.; CRUMMEY D. E.; ISAACSON J. S.; JOHNSON D. N.; LAMB P.; SAUL M.; WINTER-NELSON A. E. Meanings of Environmental Terms. **Journal of Environmental Quality**, n. 26, p. 581 – 589, 1997.

JORC Australasian Code for Reporting of Mineral Resources and Ore Reserves (**The JORC Code**). Prepared by the Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia (JORC). Effective September 1999.

LICHT, Otavio Augusto Boni - **A Geoquímica Multielementar na Gestão Ambiental. Identificação e Caracterização de Províncias Geoquímicas Naturais, Alterações Antrópicas da Paisagem, Áreas Favoráveis À Prospecção Mineral e Regiões de Risco para a Saúde no Estado do Paraná, Brasil**. Tese Curso de Pós-Graduação em Geologia, Área de Concentração - Geologia Ambiental, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR, 2001.

LICHT, Otávio. A.B. Geoquímica Multielementar de Superfície na Delimitação de Riscos e Impactos Ambientais, Estado do Paraná, Brasil. **Workshop Internacional de Geologia Médica no Brasil** - Efeitos dos Materiais e Fatores Geológicos na Saúde Humana e Meio Ambiente, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

LICHT, Otavio Augusto Boni e ARIOLI, Edir Edemir. Geoquímica. **Geomedicina no Paraná**. Mineropar. Junho, 2009.

LIMA, Elisângela Maria de. **Doenças Respiratórias Associadas à Atividade de Mineração No Município de Parelhas, Região do Seridó Norte-Riograndense**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa Regional de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN), 126 pp, Natal/RN 2007.

LINS, Carlos Alberto Cavalcanti. **Manual Técnico da Área de Geoquímica da CPRM** - versão 5.0. Min. Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2003.

LINS Carlos Alberto Cavalcanti. Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica (PGAGEM). CPRM – **Serviço Geológico do Brasil**. SUREG – Recife. Disponível na INTERNET: <<http://www.cprm.gov.br/pgagem/pgagem.pdf>>. Acessado em 12/05/2011.

LUIZ SILVA, W. **Mineralizações auríferas em veios de quartzo na Faixa Seridó, NE do Brasil: exemplo de depósitos de ouro de fácies anfíbolito em faixa móvel proterozóica**. Rio Claro, 197p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista.

2000.

LUIZ-SILVA, Wanilson; LEGRAND, Jean Michel & XAVIER, Roberto Perez. Composição e Evolução dos Fluidos no Depósito Aurífero São Francisco, Faixa Serido, Província Borborema, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências** 30(4):579-588, dezembro de 2000.

MACDONALD, D. D., INGEROLL, C. G., BERGER, T. A. – Development and Evaluation of Consensus – Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. **Archives Environmental Contamination and Toxicology** 39, 20-31, 2000.

MACDONALD, D. D., INGEROLL, C. G., SMORONG, D.E.; LINDSKOOG, R.A.; SLOANE G.; BIERNACKI T. Development and Evaluation of Numerical Sediment Quality Assessment Guidelines for Florida Inland Waters. Technical Report. *Prepared for: Florida Department of Environmental Protection, USA, 2003.*

MARANHÃO, Ricardo Jorge Lobo. - **Introdução à Pesquisa Mineral**, 4ª ed., Banco do Nordeste do Brasil, ETENE, Fortaleza, 796p. 1983.

MASSABNI Antonio Carlos. Instituto de Química – Araraquara – UNESP. Disponível na INTERNET: <<http://www.merse.com.br/artigos.htm>. Acessado em 07/05/2011>. Acessado em abril de 2011.

MUNIZ, Daphne Heloisa de Freitas & OLIVEIRA-FILHO, Eduardo Cyrino. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n. 1 / 2, p. 83-100, 2006. ISSN: 1678-5398.

NEDER, Ricardo Toledo. **Por uma regulação pública ambiental pós-desenvolvimentista no Brasil**. In: Meio Ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas. Clóvis Cavalcanti (org.) – 3ª ed. – São Paulo: Cortez: Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 2001. Cap. 15: 248 – 259.

NEVES Carlos Augusto Ramos & SILVA, Luciano Ribeiro da. **Universo Da Mineração Brasileira**. DNPM/Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral. Brasília - DF, 2007.

NG, JC, WANG, J., SHRAIM, A. – **A global health problem caused by arsenic from natural sources**. *Chemosphere*, 52:1353-1359, 2003.

NORMAS N024 do RMMG. Disponível na INTERNET:

<<http://www.fiemg.org.br/admin/BibliotecaDeArquivos/Image.aspx?ImgId=22465&TabId=5253>>. Acessado em 20/05/2011.

OIT – Organização Internacional do Trabalho, 1999. Disponível na INTERNET:

<<http://www.oitbrasil.org.br>>. Acessado em abril de 2011.

PARAHYBA, Ricardo Eudes Ribeiro; CAVALCANTI, Vanessa Maria Mamede e PERLATTI, Fábio. **Mineração no Semiárido Brasileiro**. Departamento Nacional de Produção Mineral- DNPM, Brasília – DF, 2009.

PINHEIRO, João César de Freitas. Fechamento de Mina Aspectos Ambientais e Sócio-econômicos. **Centro Mineiro de Referência em Resíduos**, Belo Horizonte, 28 e 29 de maio de 2008.

PROIN/CAPES e UNESP/IGCE. Material Didático: arquivos de transparências (CD).

Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada, 1999. Disponível na INTERNET:

<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter01.html>>. Acessado em abril de 2011.

RN RIO GRANDE DO NORTE. **Panorama da Desertificação no Estado do Rio Grande do Norte**. Ministério do Meio Ambiente, Fundo Nacional do Meio Ambiente. Governo do Estado do Rio Grande do Norte, Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos – SERHID, Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente – IDEMA, Fundação Grupo Esquel Brasil, Articulação do Semi-Árido – ASA, Agência de Desenvolvimento Sustentável do Seridó – ADESE. Outubro de 2005.

RODRIGUES, Aline Sueli de Lima & MALAFAIA, Guilherme. Efeitos da Exposição ao Arsênio na Saúde Humana. *Rev. Saúde.Com* 2008; 4(2): 148-159.

RODRIGUES, Aline Sueli de Lima & MALAFAIA, Guilherme. A Importância dos Estudos sobre a Contaminação por Arsênio na Saúde Pública. *SaBios: Rev. Saúde e Biol.*, v.5, n.2, p.34-38, jul./dez, 2010. ISSN:1980-0002.

ROSE A.W., HAWKES H.E., WEBB J.S. 1979. *Geochemistry in mineral exploration*. 2. ed. London, Academic Press, 657 p. IN CAVALCANTI Nt. Mário T. de O. e ROCHA DA ROCHA, Alexandre M. **Noções de Pesquisa e Prospecção Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração**. IFRN, Natal/RN, 2011. ISBN 978-85-89571-52-4.

SÁNCHEZ, Luiz Enrique. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos**. São Paulo, Oficina de Textos, 2008. ISBN 978-85-86238-79-6.

SANTOS, Carla, (2007). **Estatística Descritiva** - Manual de Auto-aprendizagem, Lisboa, Edições Sílabo.

SAKUMA, A.M.A. **Avaliação da exposição humana ao arsênio no Alto Vale do Ribeira, Brasil**. 196 p. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva)-Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SANTOS, Márcio José dos & ARAÚJO, Paulo Ricardo da Rocha. Ameaças Ambientais de uma Mineração a Céu Aberto. **V Encontro Nacional da Anppas** 4 a 7 de outubro de 2010, Florianópolis - SC – Brasil.

SÃO PAULO. Decisão de Diretoria Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005. CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, São Paulo – SP. Disponível na INTERNET: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela\\_valores\\_2005.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf)>. Acessado em abril de 2011.

SELINUS, Ole. Medical Geology - an emerging speciality. **Thematic contribution. TERRÆ** 1(1): 8-15, 2004.

SELINUS, Olle. Geologia Médica. **Workshop Internacional de Geologia Médica no Brasil** - Efeitos dos Materiais e Fatores Geológicos na Saúde Humana e Meio Ambiente, Rio de Janeiro, Brasil, 2005. Tradução de Fernanda Gonçalves da Cunha (Serviço Geológico do Brasil-CPRM/RJ).

SELINUS Olle; ALLOWAY, B.; CENTENO, J.A.; FINKELMAN, R.B.; FUGE, R.; LINDH, U.; SINGH, H.; SMEDLEY, P. **Essentials of Medical Geology**. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005.

SILVA, Cassio Roberto da; FIGUEIREDO, Bernardino Ribeiro; CAPITANI, Eduardo Mello de. Geologia Médica no Brasil. **Workshop Internacional de Geologia Médica no Brasil** - Efeitos dos Materiais e Fatores Geológicos na Saúde Humana e Meio Ambiente, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

SIMPSON, Stuart L; BATLEY, Graeme E; CHARITON, Anthony A; STAUBER, Jenny L; KING, Catherine K; CHAPMAN, John C; HYNE, Ross V; GALE, Sharyn A; ROACH, Anthony C; MAHER, William A. **Handbook for Sediment Quality Assessment**. ISBN 0 643 09197 1 (CSIRO: Bangor, NSW), University of Canberra, 2005

SINGH, H. Theoretical Basis for Medical Geology. University Malaysia Sarawak. 2006. Disponível em <<http://www.medicalgeology.org/pages/members/publications/Popular%20science/The>

[oretical%20Basis%20for%20Medical%20Geology.%20Singh.pdf](#)>. Acessado em setembro de 2011.

SINGH, H. Theoretical Basis for Medical Geology. 2006 Traduzido por Carlos Alberto Cavalcanti Lins. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, SUREG – Recife, Disponível em <[http://www.cprm.gov.br/pgagem/puerto/theoretical\\_tradu.pdf](http://www.cprm.gov.br/pgagem/puerto/theoretical_tradu.pdf)>, acessado em 16/05/2011.

SHELTON, Larry R. Field Guide For Collecting And Processing Stream-Water Samples For The National Water-Quality Assessment Program. U.S. GEOLOGICAL SURVEY, **Open-File Report** 94-455. Sacramento, California. 1994.

SHELTON, Larry R. & CAPEL, Paul D. Guidelines For Collecting And Processing Samples Of Stream Bed Sediment For Analysis Of Trace Elements And Organic Contaminants For The National Water-Quality Assessment Program. U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Open-File Report** 94-458. Sacramento, California, 1994.

SKINNER, H.C.W. & BERGER, A.R (Ed.). Geology and Health: closing the gap. Oxford: **Oxford University Press**, 2003.

SMEDLEY P. L.; KINNIBURG D. G. A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. **Applied Geochemistry** 2002; 17:517-68.

SOUSA, João Batista Monteiro de. **Ocorrência, Distribuição e Variabilidade Granulométrica da Argila Caulim nos Pegmatitos da Região de Junco do Seridó-PB e Equador-RN**. Dissertação de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas pela Universidade Federal da Paraíba, 1997.

STERN, Bonnie Ransom; SOLIOZ, Marc; KREWSKI, Daniel; AGGETT, Peter; AW, Tar-Ching; BAKER, Scott; CRUMP, Kenny; DOURSON, Michael; HABER, Lynne; HERTZBERG, Rick; KEEN Carl; MEEK, Bette; RUDENKO, Larisa; SCHOENY, Rita; SLOB, Wout; STARR, Tom. Copper and Human Health: Biochemistry, Genetics, and Strategies for Modeling Dose-Response Relationships. ISSN: 1093-7404 print / 1521-6950 online. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, Part B, 10:157–222, 2007.

THORNTON, I. Environmental geochemistry and health in the 1990's: global perspective. **Applied Geochemistry, Supplementary Issue** 2: 203-210. 1993

TINOCO, João Eduardo Prudêncio e KRAEMER, Maria Elisabeth Pereira. **Contabilidade e gestão ambiental**. São Paulo: Atlas, 2004. 313p.



TRINDADE, Ivaldo R. da. **Estudo Geoquímico e Geocronológico Rb-Sr e Sm-Nd em Zonas de Cisalhamento Mineralizadas em Ouro e suas Relações com as Encaixantes e Geocronológico Sm-Nd em Mineralizações de Scheelita na Faixa Seridó**. Dissertação de Mestrado PPGGG, DG/UFRN, apresentada em 31/03/2000.

TRINDADE Ivaldo Rodrigues da; SÁ, Jaziel Martins & MACEDO, Maria Helena de Freitas. Comportamento de elementos químicos em rochas mineralizadas em ouro na Faixa Seridó, Província Borborema. **Revista Brasileira de Geociências** 38(2): 303-318, junho de 2008.

URBANSKA, K.M.; WEBB, N.R. & EDWARDS, P.J. (Ed.) **Restoration ecology and sustainable development**. Cambridge University Press. 395p. 1997.

USEPA – U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EUA.EPA 823-B-95-001.QA/QC Guidance for Sampling and Analysis of Sediments, Water, and Tissues for Dredged Material Evaluations. EUA, 1995.

U. S. Geologic Survey- DISPONÍVEL NA INTERNET: <<http://www.usgs.gov/>>. Acessado em 11/09/2011.

VALADÃO Cati E.A.; OLIVEIRA, Priscilla T.; SCHMIDT, Darlan M.; SILVA, Bruce K.N.; BARRETO, Naurinete J.C.; CORREIA FILHO, Washington L.F.; JESUS, Edmir S., LOPO, Alexandre B.; SANTOS, Alexandre S.; PINHEIRO, José U.; MATTOS, Arthur. Classificação Climática da Microrregião do Seridó/RN. XVI **Cong. Bras. de Meteorologia**, Belem/PA. 2010. Disponível na INETERNET: <[http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/584\\_23902.pdf](http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/584_23902.pdf)>. Acessado em abril de 2011

VELLOSO, Agnes L.; SAMPAIO, Everardo V. S. B.; PAREYN, Frans G. C. Ecorregiões: Propostas para o Bioma Caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental. The Nature Conservancy do Brasil, 2002., 76 pp.

WORLD BANK AND INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION MINING AND DEVELOPMENT. It's Not Over, When It's Over: Mine Closure around the World. The Energy and Mining Sector Board To find out more about the World Bank. Group's Mining Department. **International Finance Corporation**. 2121 Pennsylvania Avenue, N.W. Washington, D.C. 20433 USA. Copyright © 2002.

WHO, World Health Organization. United Nations Synthesis Report on Arsenic in Drinking water, Geneva, **World Health Organization**. 2001.

WISCONSIN DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES, Box 7921 Madison, WI 53707 Consensus-Based Sediment Quality Guidelines. **Recommendations for Use & Application Interim Guidance**. December 2003, WT-732 2003

## 10 - ANEXOS

### 10.1 ANEXO A: QUESTIONÁRIOS

#### 10.1.1 Questionário Direcionado à População

##### IDENTIFICAÇÃO:

Nome; Sexo; Naturalidade; Grau de Escolaridade; Profissão; Tempo de Trabalho;

1. Onde Reside e Onde Trabalha?
2. Você contribui para a renda familiar? Mais alguém?
3. Qual a Renda Familiar?
4. Sabe quais são as doenças que podem ocorrer a quem trabalha no garimpo pelo ouro?
5. Quais são as doenças mais frequentes no município?
6. Sabe alguns dos sintomas destas doenças?
7. Conhece alguma pessoa que trabalhou no garimpo e depois ficou doente?
8. Qual a doença apresentada?
9. Quanto tempo esta pessoa trabalhou no garimpo?
10. Se já trabalhou no garimpo, chegou a ser informado sobre os males da atividade garimpeira para o trabalhador?
11. Conhece algum garimpeiro que ainda mora em São Fernando ou em Caicó?

### 10.1.2 Roteiro para Entrevista com os Responsáveis pela Saúde

1. Número de casos de câncer no município;
2. Faixa etária dos doentes;
3. Local de moradia dessas pessoas;
4. Qual foi o período de maior incidência de casos de câncer na região;
5. Qual o tipo de câncer mais frequente;
6. O câncer é predominante entre homens ou mulheres;
7. Existe algum indício das causas do elevado índice de câncer no município;
8. Os casos de câncer tem alguma relação com atividade garimpeira;
9. Quais as atividades exercidas pelos doentes antes de apresentar o quadro de câncer, e depois o que passaram a fazer ou continuaram fazendo a mesma coisa.

### 10.1.3 Roteiro Direcionado aos Garimpeiros ou quem Vivenciou o Período de Garimpagem do Ouro

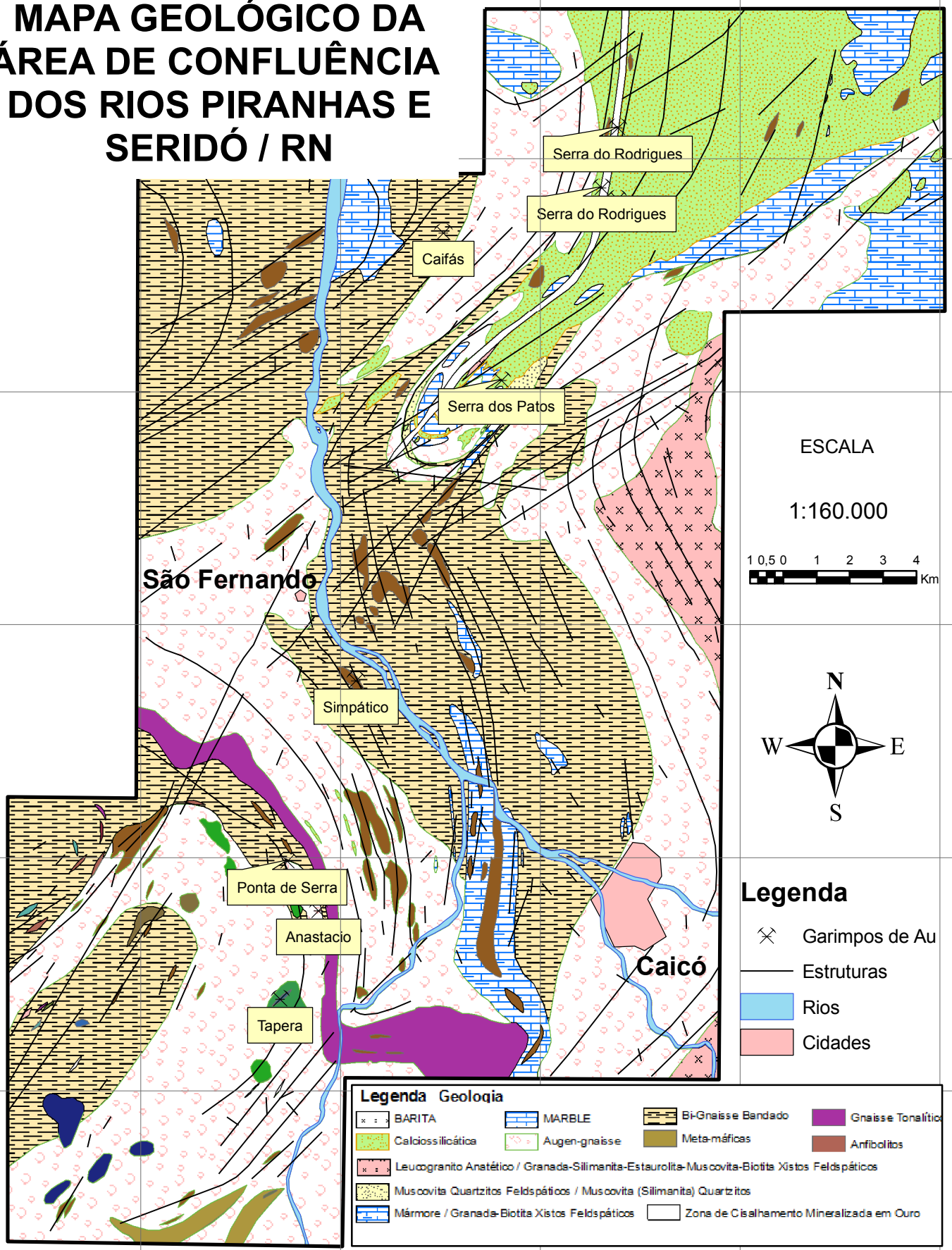
- Os trabalhadores do garimpo eram do próprio município ou eram de fora (de onde);
- Quais as condições de saúde dos garimpeiros no período em que trabalhavam, e depois;
- Se o garimpeiro adoeceu foi quanto tempo depois do período em que trabalhou no garimpo pelo ouro, qual a doença.
- Se alguém da família do garimpeiro apresentou a mesma doença;
- Se alguém que morava próximo aos garimpos também teve a mesma doença.

# **ANEXO - B**

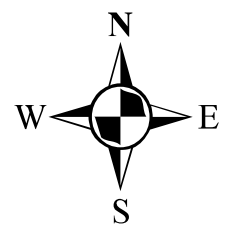
# MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE CONFLUÊNCIA DOS RIOS PIRANHAS E SERIDÓ / RN

696000 000000      702000 000000      708000 000000      714000 000000      720000 000000

9308000 000000  
9301000 000000  
9294000 000000  
9287000 000000  
9280000 000000



ESCALA  
1:160.000



## Legenda

- ⊗ Garimpos de Au
- Estruturas
- ▬ Rios
- ▭ Cidades

## Legenda Geologia

⊗	BARITA	▬	MARELE	▬	Bi-Gnaiss Bandado	▬	Gnaiss Tonalítico
▬	Calciossilicática	▬	Augen-gnaiss	▬	Meta-máficas	▬	Anfibolitos
▬	Leucogranito Anatótico / Granada-Silimanita-Estauroilita-Muscovita-Biotita Xistos Feldspáticos	▬	Muscovita Quartzitos Feldspáticos / Muscovita (Silimanita) Quartzitos	▬	Mármore / Granada-Biotita Xistos Feldspáticos	▬	Zona de Cisalhamento Mineralizada em Ouro

696000 000000      702000 000000      708000 000000      714000 000000      720000 000000

## 10.3 ANEXO C – TABULAÇÃO DAS RESPOSTAS

## 10.3.1 Questionário Direcionado à População: Caracterização do Entrevistado

<b>Nome</b>	<b>Sexo</b>	<b>Naturalidade</b>	<b>Grau de escolaridade</b>	<b>Profissão</b>	<b>Tempo de Trabalho</b>
Ednalva Santos	F	Catolé do Rocha/PB	Ensino Médio Completo	Auxiliar de Enfermagem	1 anos
Flávio Fernandes	M	São Fernando/RN	Ensino Médio Completo	Pintor	10 anos
João Antônio Neves	M	São Fernando/RN	Ensino Médio Completo	Funcionário Público	30 anos
Terezinha Alves de Araújo	F	São Fernando/RN	Ensino Fundamental I incompleto	Dona de casa	Sem resposta
Rita Maria dos Santos	F	Jardim de Piranhas/RN	Ensino Fundamental I completo	Dona de casa	Sem resposta
Estoecel Soares dos Santos	M	São Fernando/RN	Analfabeto	Agricultor	Sem resposta
Antônia Pádua de Araújo	F	São Fernando/RN	Ensino Superior Completo	Professora	32 anos
Édmo Alves dos Santos	M	Jardim de Piranhas/RN	Analfabeto	Vaqueiro	Sem resposta
Gilton Lins	M	Caicó/RN	Ensino Médio Completo	Agente de Saúde	28 anos
Alessandra do Patrocínio de Araújo	F	Caicó/RN	Ensino Superior incompleto	Estudante/ Operadora de caixa de supermercado	3 anos
Geída Pereira de Araújo Maia	M	Jardim de Piranhas/RN	Ensino Médio Completo	Dona de casa	Sem resposta
Maria do Socorro Medeiros	F	São Fernando/RN	Ensino Fundamental I incompleto	Dona de casa	Sem resposta
Pedro Pinheiro	M	São Fernando/RN	Ensino Fundamental completo	Pedreiro	4 anos
Maria Alves	F	Caicó/RN	Ensino Fundamental I incompleto	Dona de casa	Sem resposta
Maria de Lourdes Fernandes	F	São Fernando/RN	Ensino Fundamental I incompleto	Dona de casa	Sem resposta
Cilma Maia	F	São Fernando/RN	Ensino Médio incompleto	Bordadeira	27 anos
Genilda Lins de Medeiros	F	São Fernando/RN	Ensino Superior Completo	Professora	21 anos
Maria de Fátima Lins de Medeiros Araújo	F	Caicó/RN	Ensino Superior Completo	Pedagoga	6 anos



Francisca Evani	F	São Fernando/RN	Ensino Fundamental completo	Auxiliar de Enfermagem	24 anos
Dinalva Araújo Félix	F	São Fernando/RN	Ensino Médio Completo	Auxiliar de Enfermagem	25 anos
Ana Maria de Araújo Silva	F	Caicó/RN	Ensino Médio incompleto	ASG	25 anos
Joarez de Assis	M	São Fernando/RN	Sem resposta	Gari e agricultor	3 anos
Suely Alves da Silva	F	São Fernando/RN	Ensino Fundamental I completo	Dona de casa	15 anos
José Garcia de Medeiros	M	São Fernando/RN	Ensino Fundamental I incompleto	Servente de pedreiro	Mais de 30 anos
Benedito Alves	M	São Fernando/RN	Ensino Fundamental I incompleto	Pedreiro	10 anos
Izabel Santos	F	São Fernando/RN	Ensino Fundamental I incompleto	Doméstica	Sem resposta
Francisco Pereira	M	Brejo Cruz/RN	Alfabetizado	Pedreiro	Sem resposta
Iara Maria Patrocínio de Medeiros	F	São Fernando/RN	Ensino Médio Completo	Recepcionista	4 anos
Maria Adriana dos Santos	F	Caicó/RN	Ensino Fundamental completo	ASG	6 anos
Rosália Araújo Medeiros	F	Caicó/RN	Ensino Médio Completo	Estudante	Sem resposta
Francisco Alves dos Santos	M	Caicó/RN	Ensino Fundamental I incompleto	Tratorista	22 anos
Elza Dantas de Araújo	F	São Fernando/RN	Ensino Fundamental completo	Diretora do posto de saúde	35 anos
Vitor Emanuel	M	São Fernando/RN	Sem resposta	Estudante	Sem resposta
Lisete Alves de Medeiros	F	São Fernando/RN	Ensino Fundamental I incompleto	Doméstica	Sem resposta
Não quis se identificar	F	São Fernando/RN	Sem resposta	Desempregada	Sem resposta
José Fausto da Silva	M	São Fernando/RN	Ensino Fundamental I incompleto	Agricultor	30 anos
Jacinta de Fátima Lopes da Silva	F	Caicó/RN	Ensino Fundamental I incompleto	Lavadeira	3 anos
Ana Patrícia Medeiros da	F	Caicó/RN	Ensino Fundamental	Bordadeira	Sem resposta

Silva			incompleto		
-------	--	--	------------	--	--

## 10.3.2 Questionário Direcionado à População: Respostas das Questões 01 à 05

Nome	Questão 01	Questão 02	Questão 03	Questão 04	Questão 05
Ednalva Santos	Reside e trabalha na cidade	Sim	1 SM	Câncer, tuberculose, problemas respiratórios	Hipertensão, diabetes e câncer
Flávio Fernandes	Reside e trabalha na cidade	Sim	< SM	Não	Não sabe
João Antônio Neves	Reside e trabalha na cidade	Sim	2 a 3 SM	Não	Diabetes
Terezinha Alves de Araújo	Reside e trabalha na cidade	Não. Marido	1 SM	Não	Gripe, pneumonia, catapora e câncer
Rita Maria dos Santos	Reside e trabalha na área rural	Não. Marido	1 SM	Não	Não sabe
Estoecel Soares dos Santos	Reside e trabalha na cidade	Sim	< SM	Não	Doenças do coração
Antônia Pádua de Araújo	Reside e trabalha na cidade	Sim	2 a 3 SM	Doença do ouro (afeta os pulmões), problemas respiratórios, alergia ao iodo	Câncer de mama
Édmo Alves dos Santos	Reside e trabalha na área rural	Sim	< SM	Não	Não sabe
Gilton Lins	Reside e trabalha na cidade	Sim	2 a 3 SM	Câncer de pele, problemas	Diabetes, hipertensão, câncer

				nos pulmões, asma (por causa dos produtos usados no lixo - poluição)	
Alessandra do Patrocínio de Araújo	Reside e trabalha na cidade	Não. Pai	2 a 3 SM	Câncer	Câncer e gripe
Geída Pereira de Araújo Maia	Reside e trabalha na cidade	Não. Marido	2 a 3 SM	Não	Câncer
Maria do Socorro Medeiros	Reside e trabalha na cidade	Sim	1 SM	Não	Gripe, diarreia, câncer
Pedro Pinheiro	Reside e trabalha na cidade	Sim	1 SM	Doenças não, acidentes sim, mas pode ter doenças de pele	Câncer de pele, de mama e de estômago
Maria Alves	Reside e trabalha na cidade	Não. Marido	1 SM	Não	Alergia, doenças respiratórias (por causa do lixo)
Maria de Lourdes Fernandes	Reside e trabalha na cidade	Sim	1 SM	Não	Não sabe
Cilma Maia	Reside e trabalha na cidade	Não. Pai	< SM	Não	Câncer de mama
Genilda Lins de Medeiros	Reside e trabalha na cidade	Sim	2 a 3 SM	Alergia, cegueira, doenças pulmonares, doenças do	Hipertensão, diabetes e câncer

				coração	
Maria de Fátima Lins de Medeiros Araújo	Reside e trabalha na cidade	Não. Marido	2 a 3 SM	Doença de Chagas	Câncer de pele, de útero, de mama, de próstata
Francisca Evani	Reside e trabalha na cidade	Sim	1 SM	Não	Não sabe
Dinalva Araújo Félix	Reside e trabalha na cidade	Sim	1 SM	Câncer	Hipertensão, diabetes, câncer, depressão
Ana Maria de Araújo Silva	Reside e trabalha na cidade	Sim	1 SM	Não	Gripe, infecção intestinal, diabetes, hipertensão, câncer
Joarez de Assis	Reside na área rural e trabalha na cidade	Sim	1 SM	Não	Câncer
Suely Alves da Silva	Reside e trabalha na cidade	Não. Marido	1 SM	Não	Gripe, câncer
José Garcia de Medeiros	Reside e trabalha na cidade	Não	1 SM	Não	Catapora, conjuntivite, câncer
Benedito Alves	Reside e trabalha na cidade	Sim	2 a 3 SM	Não	Câncer, doenças do coração, hipertensão
Izabel Santos	Reside e trabalha na cidade	Sim	< SM	Não	Doenças da idade (coluna)
Francisco Pereira	Reside e trabalha na	Não. Mulher	< SM	Não	Câncer

	cidade				
Iara Maria Patrocínio de Medeiros	Reside e trabalha na cidade	Sim	< SM	Não	Gripe, câncer de pele
Maria Adriana dos Santos	Reside e trabalha na cidade	Sim	1 SM	Não	Câncer, problemas de coração, diabetes, depressão, hipertensão
Rosália Araújo Medeiros	Reside na cidade	Não. Pai	1 SM	Não	Câncer de pele e de mama
Francisco Alves dos Santos	Reside e trabalha na cidade	Sim	1 SM	Não	Câncer
Elza Dantas de Araújo	Reside e trabalha na cidade	Sim	2 a 3 SM	Intoxicação, doenças respiratórias	Câncer de mama e de próstata
Vitor Emanuel	Reside na cidade	Não. Pai	< SM	Perigo com cobras	Câncer, doenças por causa do álcool, doenças do coração
Lisete Alves de Medeiros	Reside e trabalha na cidade	Não. Marido	1 SM	Não	Câncer
Não quis se identificar	Reside e trabalha na cidade	Não. Pais	2 a 3 SM	Não	Câncer de próstata, de mama e de pele
José Fausto da Silva	Reside da cidade e trabalha na zona rural	Sim	1 SM	Não	Câncer
Jacinta de Fátima Lopes da Silva	Reside e trabalha na	Não. Marido	< SM	Não	Gripe

	cidade				
Ana Patrícia Medeiros da Silva	Reside e trabalha na cidade	Não. Mãe	2 a 3 SM	Não	Gripe e alguns casos de câncer

### 10.3.3 Questionário Direcionado à População: Respostas das Questões 06 À 11

Nome	Questão 06	Questão 07	Questão 08	Questão 09	Questão 10	Questão 11
Ednalva Santos	Câncer - tonturas, desmaio, fraqueza, perda de peso, dores (fase terminal)	Não conhece	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não, pois os garimpeiros são de fora
Flávio Fernandes	Sem resposta	Conhece , mas não ficaram doentes	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
João Antônio Neves	Sem resposta	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sim
Terezinha Alves de Araújo	Não	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
Rita Maria dos Santos	Sem resposta	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sim, moravam na zona rural, mas se mudaram para caicó
Estoezel Soares dos Santos	Sem resposta	S	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não

Antônia Pádua de Araújo	Sem sintomas	Sim. Teve problemas no pulmão (mora em Caicó)	Problemas no pulmão	Não sabe	Sem resposta	Sim (um com problemas)
Édmo Alves dos Santos	Sem resposta	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
Gilton Lins	Perda de peso, dor de cabeça, falta de apetite	Sim, mas adoeceu depois de trabalhar na lavoura (por causa dos agrotóxicos)	Intoxicação por agrotóxicos	Mais ou menos 10 anos	Sem resposta	Sim
Alessandra do Patrocínio de Araújo	Não	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
Geída Pereira de Araújo Maia	Não sabe	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sim, mas não sabe se ainda trabalha
Maria do Socorro Medeiros	Não	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
Pedro Pinheiro	Não tem sintomas	Sim	Intoxicação por agrotóxicos	Não sabe	Sem resposta	Sim, em São Fernando/RN
Maria Alves	Tosse, falta de ar	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não, são de fora
Maria de Lourdes Fernandes	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
Cilma Maia	Não tem	Não teve	Sem	Pouco	Sem	Sim, mas não trabalha



	sintomas	doença	resposta	tempo	resposta	mais (está bem de saúde)
Genilda Lins de Medeiros	Câncer - falta de apetite, perda de peso, insônia, depressão	Não conhece	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
Maria de Fátima Lins de Medeiros Araújo	Não tem sintomas	Não conhece	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não. São de fora
Francisca Evani	Sem resposta	Não conhece	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
Dinalva Araújo Félix	Câncer - vômito e dores	Não	Sem resposta	Sem resposta	Não	Não
Ana Maria de Araújo Silva	Câncer - não sentem nada	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sim, mas já parou de trabalhar
Joarez de Assis	Não	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sim, mas já parou de trabalhar
Suely Alves da Silva	Febre, dor de cabeça	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sim. O marido
José Garcia de Medeiros	Não sabe	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sim, mas já parou de trabalhar
Benedito Alves	Câncer - falta de apetite	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sim, trabalhava no garimpo que fechou
Izabel Santos	Dores	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
Francisco Pereira	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta
Iara Maria Patrocínio de	Não	Não	Sem	Sem	Sem	Sim, o avô (já

Medeiros			resposta	resposta	resposta	falecido)
Maria Adriana dos Santos	Não	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
Rosália Araújo Medeiros	Não	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
Francisco Alves dos Santos	Não	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sim, mas estão trabalhando em outra
Elza Dantas de Araújo	Quase sem sintomas	Sim	Do coração (falecido)	Mais ou menos 10 anos	Sem resposta	Não
Vitor Emanuel	Não	Conhece, mas não adoeceu	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Sim, o pai
Lisete Alves de Medeiros	Não	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
Não quis se identificar	Febre	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
José Fausto da Silva	Não	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
Jacinta de Fátima Lopes da Silva	Sem resposta	Não conhece	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não
Ana Patrícia Medeiros da Silva	Não	Não	Sem resposta	Sem resposta	Sem resposta	Não

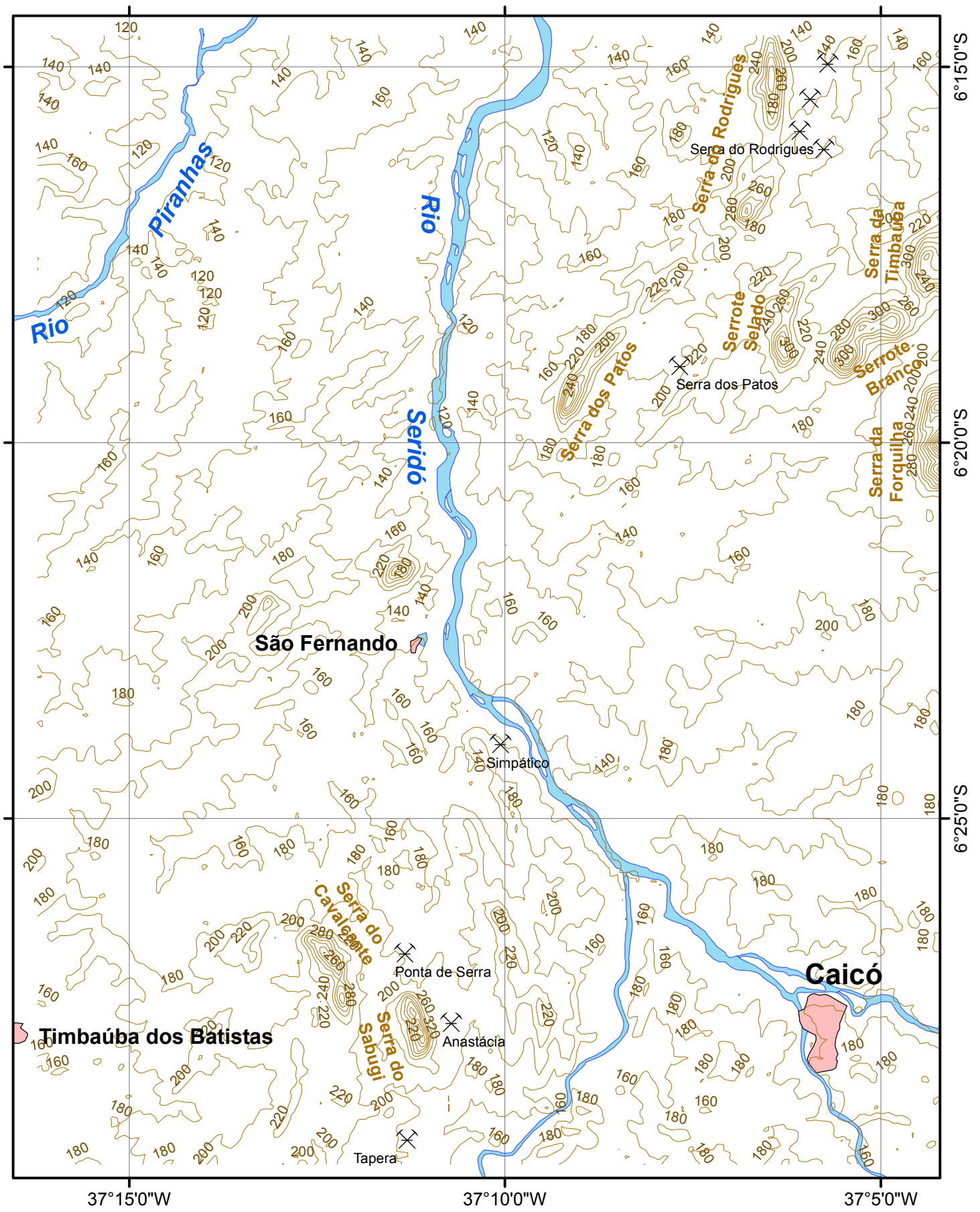
## 10.4 –RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DO ROTEIRO PARA ENTREVISTA COM OS RESPONSÁVEIS PELA SAÚDE

Nome	Sexo	Naturalidade	Grau de escolaridade	Profissão	Tempo de Trabalho	Questão 01	Questão 02	Questão 03	Questão 04	Questão 05	Questão 06	Questão 07	Questão 08	Questão 09
Ednalva Santos	F	Catolé do Rocha/PB	Ensino Médio Completo	Auxiliar de Enfermagem	1 ano	Elevado índice	Adultos (30 a 50 anos)	Cidade e Zona Rural	Recentemente	Mama, colo do útero e próstata	Mulheres	É uma herança genética	Pode ser	Homens - agricultores; Mulheres - donas de casa = continuam com as mesmas atividades
Francisca Evani	F	São Fernando/RN	Ensino Fundamental Completo	Auxiliar de Enfermagem	24 anos	Poucos	Adultos	Área Rural	Recentemente	Mama e pele	Mulheres	Falta de cuidado com a saúde	Não	Homens - agricultores; Mulheres - donas de casa = continuam com as mesmas atividades
Jeoviana Rodrigues Dantas	F	São Fernando/RN	Ensino Médio Completo	Auxiliar de Enfermagem	24 anos	Alto índice	30 a 50 anos	Maioria na cidade	Entre 2010 e 2011	Mama e colo do útero	Mulheres	Não	Não foi detectado nada	Homens - agricultores; Mulheres - donas de casa = continuam com as mesmas atividades
Gelton	M	Caicó/RN	Ensino	Agente	28	30% da	Média de	Cidade	De uns 3	Pele e	Homen	Fumaça	Não	Variado





Lins			Médio Completo	de Saúde	anos	populaçã o	30 anos	e	anos pra cá	pulmã o	s	a do lixão de Caicó e de São Fernan do		
Raimun do Dantas de Araújo	M	Caicó/RN	Ensino Fundame ntal Completo	Arquivista do Posto de Saúde	3 anos	Não são muitos	Adultos	Maiori a na cidade	Não sabe	Mama	Mulher es	Pode ser por causa do lixão de Caicó, pois é próxim o a São Fernan do	Acha que sim	Não sabe
Ana Vaness a Dantas dos Santos	F	Caicó/RN	Superior Completo	Enfermeir a	4 anos	Poucos casos	Adultos	Cidad e	Não sabe	Pele, mama e alguns casos de pulmã o e prósta ta	Mulher es	Não	Não sabe, pois o garimpo é novo	Agricultores e donas de casa
Rita Rejane	F	São Fernando/	Superior Completo	Secretária Municipal	3 anos	Quantida de	Adultos	Maiori a na	Entre 2010 e 2011	Mama	Mulher es	Não, pois	Sim, e a agricultur	Homens - agricultores e

		RN		de Saúde		elevada em relação a população do município		zona urbana				não foram feitos estudos	a também, devido a exposição ao sol causa cancer de pele	garimpeiros = só alguns agricultores continuam; Mulheres - donas de casa = continuam com as mesmas atividades
Vera Lúcia Verônica	F	São Fernando/RN	Ensino Médio Completo	Arquivista do Posto de Saúde	8 meses	Não sabe	40 a 80 anos	Cidade	Entre 2010 e 2011	Mama e próstata	Mulheres	Não	Acha que não	Variadas. A maioria se cura, mas trabalha com atividades leves
Edicátia de Medeiros	F	Caicó/RN	Ensino Médio Completo	Agente da Vigilância Sanitária	7 anos	Não tem precisão, mas há muitos casos em relação a quantidade de pessoas	30 a 60 anos. Raramente em crianças	Maioria na cidade, mas tem alguns casos na zona rural	3 anos atrás	Mama e pele	Mulheres	Não tem idéia	Sim, com a de antigamente devido aos produtos utilizados (mercúrio)	Homens - agricultores; Mulheres - donas de casa = continuam com as mesmas atividades

# **ANEXO - D**



**Legenda**

-  Garimpo de Ouro
-  Curvas 20 m
-  Cidades
-  Rios

**MAPA HIPSOMÉTRICO DA ÁREA DE CONFLUÊNCIA DOS RIOS PIRANHAS E SERIDO**

**ESCALA**  
1:125.000

