



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

ROSA MARIA RAMOS MARANHÃO

PLANO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL PARA A ÁREA DA JAZIDA
FÓSFORO-URANIFERA DE ITATAIA, SANTA QUITÉRIA/CE

FORTALEZA

2018

ROSA MARIA RAMOS MARANHÃO

PLANO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL PARA A ÁREA DA JAZIDA
FÓSFORO-URANÍFERA DE ITATAIA, SANTA QUITÉRIA/CE

Tese de Doutorado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geologia. Área de concentração: Geologia Ambiental.
Orientadora: Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M26p

Maranhão, Rosa Maria Ramos.

Plano de monitoramento ambiental para a área da jazida fósforo-uranífera de Itataia, Santa Quitéria/CE / Rosa Maria Ramos Maranhão. – 2018.

172 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2018.

Orientação: Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte.

1. Gerenciamento de risco. 2. Urânio. 3. Itataia. 4. Plano de monitoramento. I. Título.

CDD 551

ROSA MARIA RAMOS MARANHÃO

PLANO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL PARA A ÁREA DA JAZIDA
FÓSFORO-URANÍFERA DE ITATAIA, SANTA QUITÉRIA/CE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de geologia, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geologia. Área de concentração: Geologia Ambiental

Data da aprovação: 30/07/2018

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte –
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Cleyber Nascimento de Medeiros

Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira Gomes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Prof. Dr. Eneas Oliveira Lousada
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ao meu amigo e irmão Montini Silva
Maranhão

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Nominalmente é muito difícil agradecer à todos, pois este caminho foi longo e tem pelo menos 50 anos de estudos, desde o início dessa vida de aprendiz. Entretanto não posso deixar de mencionar meus pais, Pedro Maranhão Filho e Enocha Ramos Maranhão, e os que aqui estão comigo.

Agradeço aos meus orientadores: Professora Dra. Cynthia Romariz Duarte e o Professor Dr. José Antonio Beltrão Sabadia, pelo esforço, paciência e apoio científico, pois sem os senhores nada teria sido possível nesse degrau da minha formação.

Agradeço aos senhores: Dr. Cleyber Nascimento de Medeiros, Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira Gomes, Prof. Dr. Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque e ao Prof. Dr. Enéas Oliveira Lousada, que compuseram a banca de avaliação.

Aos que estiveram comigo bem no início da jornada, aos que estiveram bem próximo, agora na etapa final, e aos que estiveram caminhando comigo por muito ou pouco tempo na minha vida, meus agradecimentos.

Agradeço à FUNCAP e à CAPES pelo apoio financeiro, sem ele não teria sido possível chegar até aqui

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

RESUMO

Essa pesquisa trata da dispersão natural de radionuclídeos no ambiente e utilizou geotecnologias para reconhecer os processos atuantes e as áreas susceptíveis à contaminação na sub bacia do Riacho Cunha Moti. Como hipótese tem-se que as atividades previstas na tese proposta baseiam-se na premissa de que existe uma correlação intrínseca entre os materiais e processos que ocorrem na sub bacia hidrográfica do Riacho Cunha Moti e a dispersão de contaminantes radioativos no ambiente natural, com impacto direto nos recursos hídricos e na saúde humana. O objetivo desta tese é a proposição de um plano de monitoramento ambiental, de modo que o resultado contemple as instancias e processos envolvidos nos diversos âmbitos: Industrial, Social e Ecológico, servindo como instrumento ao apoio à decisão. O elemento químico urânio é um mineral de alto valor econômico, trata-se de um recurso energético estratégico. O urânio é constituinte essencial de aproximadamente 100 minerais, ocorrendo principalmente na Uraninita, UO_2 . Pode ainda se associar parageneticamente a carbonatos, fosfatos, vanadatos, silicatos, sulfetos e sulfatos, com sua ocorrência mais acentuada em rochas graníticas, pegmatitos graníticos e em sienitos, onde a uraninita se distribui. A solubilidade do urânio está relacionada a sua tendência em se oxidar em íons de U^{6+} , sua mobilização natural no ambiente ocorre através do intemperismo da rocha, pela atuação da água contendo substâncias húmicas, que atuam como poderosos agentes na mobilização de íons metálicos. Muitas tecnologias têm sido desenvolvidas para detectar a poluição e a contaminação ambiental, e os instrumentos legais procuram assegurar o mínimo de segurança nos empreendimentos industriais e de extração de minérios, mesmo assim existem fatores climáticos que não podem ser desprezados, pois dinamizam os riscos envolvidos, pelo carreamento de material, seja pela ação dos ventos, seja por ação do fluxo superficial. A análise de riscos é um instrumento capaz de propor estratégias de ação diante de situações críticas. O urânio e o fosfato são elementos de interesse econômico estratégicos, são considerados fonte de riqueza e desenvolvimento social, desse modo não existe argumentação para que não sejam explorados, o que se propõe é que os impactos negativos sejam previstos antecipadamente e sejam realizados os ajustes necessários para evitar potenciais desastres. Desse modo a percepção das relações do clima, regime pluvial, litologia, geologia e drenagem, na formação dos relevos, facilitam na compreensão dos ambientes e dos fatores que os tornam mais ou menos instáveis.

Palavras-chave: gerenciamento de risco; urânio; Itataia; plano de monitoramento.

ABSTRACT

This research deals with the natural dispersion of radionuclides in the environment and used geotechnology to recognize the active processes and areas susceptible to contamination in the Riacho Cunha Moti sub-basin. As a hypothesis, the activities foreseen in the proposed thesis are based on the premise that there is an intrinsic correlation between the materials and processes that occur in the Riacho Cunha Moti sub-watershed and the dispersion of radioactive contaminants in the natural environment, with impact direct impact on water resources and human health. The objective of this thesis is to propose an environmental monitoring plan, so that the result includes the instances and processes involved in the different areas: Industrial, Social and Ecological, serving as an instrument to support decision-making. The chemical element uranium is a mineral of high economic value and is a strategic energy resource. Uranium is an essential constituent of approximately 100 minerals, occurring mainly in Uraninite, UO_2 . It can also be paragenetically associated with carbonates, phosphates, vanadates, silicates, sulfides and sulfates, with its most pronounced occurrence in granitic rocks, granitic pegmatites and syenites, where uraninite is distributed. The solubility of uranium is related to its tendency to oxidize into U^{6+} ions, its natural mobilization in the environment occurs through the weathering of the rock, through the action of water containing humic substances, which act as powerful agents in the mobilization of metallic ions. Many technologies have been developed to detect pollution and environmental contamination, and legal instruments seek to ensure a minimum of safety in industrial and mineral extraction enterprises, even so there are climatic factors that cannot be ignored, as they increase the risks involved, by the transport of material, either by the action of winds or by the action of surface flow. Risk analysis is an instrument capable of proposing action strategies in the face of critical situations. Uranium and phosphate are elements of strategic economic interest, they are considered a source of wealth and social development, therefore there is no argument for them not to be explored, what is proposed is that the negative impacts are predicted in advance and the necessary adjustments are made. to avoid potential disasters. In this way, the perception of the relationships between climate, rainfall, lithology, geology and drainage, in the formation of reliefs, facilitates the understanding of environments and the factors that make them more or less unstable.

Key words: risk management; uranium; Itataia; monitoring plan.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Visão de um empreendimento sustentável, demonstrando a relação entre os fatores econômico, social e ambiental	17
Figura 2 -	Localização da área.	19
Figura 3 -	Esquema das etapas da proposta do plano de monitoramento ambiental	23
Figura 4 -	Sub bacia do Riacho Cunha Moti, alto curso da sub bacia do Rio Groáiras, Ceará	30
Figura 5 -	MDE da área, SRTM	31
Figura 6 -	Localização do empreendimento minero industrial	32
Figura 7 -	Gráfico da disponibilidade de Urânio no Brasil	36
Figura 8 -	Esquema das etapas do monitoramento de riscos	46
Figura 9 -	Esquema dos fatores que envolvem o risco (tripé do risco)	47
Figura 10 -	Diagrama representativo da modelagem orientada a objetos	71
Figura 11 -	Etapas da modelagem de sistemas de informação	73
Figura 12 -	Aspectos da UML para modelagem de sistemas	74
Figura 13 -	Tipos de Classes	74
Figura 14 -	Generalização Espacial e Generalização com Símbolo Real	75
Figura 15 -	Tipos de conexões e relacionamentos entre classes	75
Figura 16 -	Esquema da geoecologia da jazida de Itataia	77
Figura 17 -	Macrovisão da proposta do Plano de Monitoramento	78
Figura 18 -	Diagrama dos Casos de Uso da análise ambiental	79
Figura 19 -	Diagrama dos Casos de Uso do Plano de Monitoramento	79
Figura 20 -	Classes concretas e abstrata e suas conexões	80
Figura 21 -	Etapas metodológicas para elaboração do plano de monitoramento ambiental	82
Figura 22 -	Mapa das ocorrências de câncer no estado do Ceará em 2001 e 2011	92
Figura 23 -	Visão oblíqua da malha de drenagem da sub bacia do Riacho Cunha Moti ..	94
Figura 24 -	Drenagem e curvas de nível da sub bacia do Riacho Cunha Moti	95
Figura 25 -	Vistas da área do topo do relevo da jazida para norte e para sul	96
Figura 26 -	MDE e Relevo Sombreado.....	98
Figura 27 -	Comparativo entre a drenagem vetorizada e a drenagem extraída do MDE ..	98
Figura 28 -	Integração do relevo sombreado, das encostas e a área de acumulação	99

Figura 29 -	Informações sobre o relevo e a drenagem	100
Figura 30 -	Mosaico MDE e resultados do <i>Hydrology</i>	101
Figura 31 -	Mosaico da área de estudo com os transectos dos Perfis Topográficos	102

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 -	Base Cartográfica (localização)	84
Mapa 2 -	Geologia	85
Mapa 3 -	Geomorfologia	86
Mapa 4 -	Hipsométrico.....	87
Mapa 5 -	Solos	88
Mapa 6 -	Fito ecológico	89
Mapa 7 -	Sistemas Ambientais	90
Mapa 8 -	Fluxo da Drenagem	91
Mapa 9 -	Mapa Geoecológico da área de impacto direto	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Quadro da classificação dos riscos.....	49
Quadro 2 –	Quadro das probabilidades e seus níveis.....	50
Quadro 3 –	Quadro da classificação dos riscos.....	50
Quadro 4 –	Tipos de monitoramento para controle operacional.....	52
Quadro 5 –	Casos de Uso das atividades minero-industriais do Consórcio.....	80
Quadro 6 –	Classes e Objetos, definidos para a proposta.....	81
Quadro 7 –	Matriz de Probabilidade e Consequência dos riscos operacionais.....	106
Quadro 8 –	Temas de interesse para o monitoramento e medidas de atenção.....	107
Quadro 9 –	Classificações das unidades do empreendimento junto a CNEN.....	114
Quadro 10 –	Características e volumes de rejeitos.....	118
Quadro 11 –	Demais Efluentes Líquidos Industriais da Unidade de Fosfato.....	118
Quadro 12 –	Agentes reconhecidos e seus possíveis danos à saúde.....	119
Quadro 13 –	Limites de Tempo de Exposição a Ruídos (NR-15)	127
Quadro 14 –	Limites de Tempo de Exposição a Ruídos (NR-15)	127
Quadro 15 –	Teores Limites dos Padrões de Qualidade da Água.....	138
Quadro 16 –	Caracterização dos Resíduos Sólidos	146

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CDTN	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRX	Espectrometria de Difração de Raios X
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FRX	Espectrometria de Fluorescência de Raios X
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Instituto do Câncer
INB	Indústrias Nucleares do Brasil
INMET	Instituto Nacional de Metrologia
IOE	Indivíduo Operacionalmente Exposto
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
IRD	Instituto de Radioproteção e Dosimetria
MDE	Modelo Digital de Elevação
PLANERH	Plano estratégico dos recursos hídricos
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
RIMA	Relatório de Impactos ao Meio Ambiente
SIA/SUS	Sistema de Informações Ambulatoriais do SUS
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINGERH	Sistema Integrado para a Gestão de Recursos Hídricos
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>

SUS	Sistema Único de Saúde
UFC	Universidade Federal do Ceará
UNSCEAR	<i>United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i>
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
USNTP	Região do Polo Norte
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	25
2.1	Caracterização hidrogeológica e climática do Ceará	25
2.2	Caracterização da área de estudo	26
2.3	Caracterização da área de impacto indireto	28
2.4	Caracterização da área de impacto direto	28
3	REVISAO DE LITERATURA	35
3.1	Urânio	35
3.2	Radônio	37
3.3	Saúde humana	39
3.4	Riscos e desastres naturais	41
3.4.1	<i>Controle e Monitoramento</i>	50
3.5	Gestão da água	54
3.5.1	<i>Os princípios e instrumentos da gestão dos recursos hídricos</i>	55
3.5.2	<i>Planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos no semiárido brasileiro</i>	57
3.6	Processos hidro geomorfológicos atuantes na paisagem	58
3.6.1	<i>Tecnologias para identificar e monitorar os processos atuantes na modelagem das bacias hidrográficas</i>	63
3.6.1.1	<i>SIG e Cartografia Geomorfológica</i>	65
3.7	Geoecologia da Paisagem	66
4	MATERIAIS E MÉTODOS	70
4.1	Materiais	70
4.2	Métodos	70
4.3	Análise ambiental sob os paradigmas da Geoecologia orientada a objeto	71
5	RESULTADOS e DISCUSSÕES	77
5.1	Construção da base cartográfica	77
5.2	Distribuição de casos de neoplasia no estado do Ceará nos anos de 2001 a 2011	86
5.3	Caracterização da sub bacia hidrográfica e da drenagem usando	87

	software livre	
5.4	Análise dos processos hidro geomorfológicos e fluxo superficial	90
5.5	Análise dos processos modeladores do relevo e erosão	93
5.5.1	<i>Mapa Geoecológico da área de estudo</i>	96
5.6	Matriz de riscos	98
5.7	Proposta de plano de monitoramento ambiental	106
5.7.1	<i>Riscos do empreendimento</i>	110
5.7.2	<i>Medidas de controle do empreendimento</i>	112
5.7.3	<i>Plano de proteção ao trabalhador e segurança no ambiente de trabalho ..</i>	114
5.7.4	<i>Plano de monitoramento da saúde humana nas comunidades do entorno</i>	117
5.7.5	<i>Plano de controle e monitoramento do nível de ruídos e vibrações</i>	118
5.7.5.1	<i>Levantamento de dados</i>	121
5.7.5.2	<i>Definição dos equipamentos e registro do nível de ruídos</i>	121
5.7.5.3	<i>Métodos</i>	122
5.7.5.4	<i>Cronograma do monitoramento</i>	122
5.7.5.5	<i>Controle do nível de ruídos</i>	123
5.7.6	<i>Plano de monitoramento da qualidade do ar</i>	123
5.7.6.1	<i>Localização e frequência de amostragem</i>	126
5.7.7	<i>Plano de monitoramento da qualidade da água</i>	127
5.7.7.1	<i>Levantamento do Padrão de Qualidade das Águas Superficiais</i>	129
5.7.7.2	<i>Levantamento do Padrão de Qualidade das Águas Subterrâneas</i>	129
5.7.7.3	<i>Parâmetros de monitoramento</i>	129
5.7.7.4	<i>Proposta das Ações do Monitoramento</i>	129
5.7.8	<i>Plano de monitoramento da qualidade do solo</i>	131
5.7.8.1	<i>Metodologia</i>	132
5.7.9	<i>Plano de controle de processos erosivos</i>	133
5.7.10	<i>Plano de proteção e combate a poeiras</i>	134
5.7.11	<i>Programa de gerenciamento dos resíduos sólidos</i>	136
5.7.11.1	<i>Destinação Final dos Resíduos Sólidos</i>	136
5.7.11.2	<i>O Programa de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos</i>	137
5.7.12	<i>Plano de gerenciamento dos rejeitos</i>	140
5.7.12.1	<i>Caracterização dos Rejeitos</i>	141
5.7.12.2	<i>Disposição dos Rejeitos</i>	142

5.7.13	<i>Plano de educação ambiental</i>	146
5.7.14	<i>Plano de monitoramento da fauna e da flora</i>	148
5.7.14.1	<i>Plano de Proteção à Fauna</i>	148
5.7.14.2	<i>Plano de Proteção à Flora</i>	152
5.7.15	<i>Plano de recuperação das áreas degradadas</i>	153
6	CONSIDERAÇÕES	159
	REFERÊNCIAS	161

1 INTRODUÇÃO

Essa tese busca atender à demanda de instrumentos de planejamento de apoio ao monitoramento ambiental, relativo à contaminação por radionuclídeos dispersos por processos naturais e, potencializados por fatores antrópicos, decorrentes da existência de uma jazida fósforo-uranífera no semiárido cearense, buscando subsidiar respostas aos muitos questionamentos que surgem quando uma mina vai-se instalar, apresentando as instancias biofísicas e sociais necessárias ao plano monitoramento ambiental. Independente dos aspectos socioeconômicos, os impactos negativos estão diretamente relacionados aos aspectos biofísicos-sociais e paisagísticos da área que abriga uma jazida e seu de entorno. Quando se trata de mineração de material radioativo, outras problemáticas, além das convencionais, devem ser consideradas, de modo a minimizar os riscos de contaminação ambiental, monitorando-se os processos envolvidos e seus produtos.

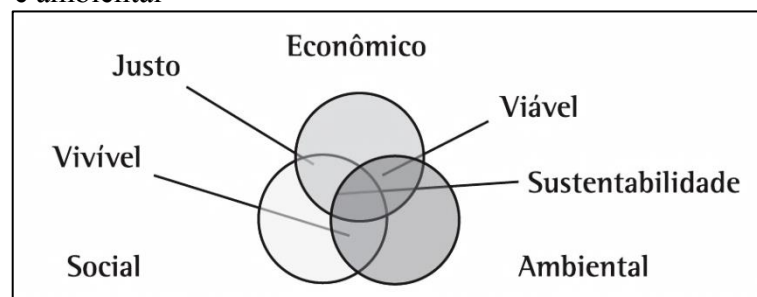
O sucesso dos empreendimentos depende diretamente da responsabilidade social com que os projetos são construídos.

Segundo Oliveira *et al* (2012, p. 71):

as organizações de grande porte possuem grande interação com o ambiente e as comunidades do entorno da área de operação, demandando, muitas vezes, grandes quantidades de investimento financeiro. Além disso, o crescente número de leis e regulamentações, criadas nos últimos anos, faz com que as questões sustentáveis se tornem praticamente obrigatórias para essas organizações.

Sob o olhar da sustentabilidade, segundo Oliveira (2012) é necessário que haja uma integração de fatores de econômicos e sociais e que tragam desenvolvimento social e sustentabilidade ambiental (Figura 1).

Figura 1 – Visão de um empreendimento sustentável, demonstrando a relação entre os fatores econômico, social e ambiental



FONTE: Oliveira, 2012.

As preocupações relacionadas aos problemas ambientais só chegaram à pauta das discussões em meados do século XX e, desde então, tem-se procurado estratégias de controle e monitoramento de riscos ambientais, apresentando alternativas mais sustentáveis do uso dos recursos naturais, sobremaneira da água. Diante de um cenário nada otimista, as equipes multidisciplinares se agrupam buscando compreender os relacionamentos entre os fenômenos naturais e as necessidades humanas, seja no meio rural ou urbano (Basso e Guazelli, 2004).

O elemento químico urânio é um mineral de alto valor econômico, tratando-se de um recurso energético estratégico. É um elemento químico instável e seus dois isótopos naturais ^{235}U e ^{238}U dão origem as cadeias de decaimento radioativo. Sua distribuição e dispersão pela crosta terrestre estão associadas à atividade magmática, o que facilita sua mobilidade desde a formação da Terra Primordial. O urânio é constituinte essencial de aproximadamente 100 minerais, ocorrendo principalmente na forma do óxido UO_2 , conhecido como uraninita. Pode ainda se associar parageneticamente a carbonatos, fosfatos, vanadatos, silicatos, sulfetos e sulfatos, com sua ocorrência mais acentuada em rochas graníticas, pegmatitos graníticos e em sienitos, onde a uraninita se distribui. Nas rochas metamórficas, vários fatores influenciam na maior ou menor mobilização do urânio, uma vez que o metassomatismo depende do tipo original da rocha e da intensidade da alteração (Pires, 2013).

A ocorrência de urânio em seu estado natural, próximo aos cursos d'água, tende a dispersar com facilidade devido à sua alta solubilidade. Os riscos de contaminação das águas por agentes radioativos devem ser tratados de modo a prever a amplitude da área passível de contaminação, que varia de acordo com a topologia do relevo e de outras condicionantes do fluxo hídrico superficial que determinam as rotas de dispersão, que facilitam a dispersão dos contaminantes por extensas áreas. Salienta-se que durante a história da vida na Terra, os organismos têm sido expostos a fontes naturais de radioatividade, estando, por isso, geralmente aptos a tolerar certos níveis de radiação, sem consequências prejudiciais. Os recursos hídricos são ambientes propícios para a propagação de materiais contaminantes, incluindo os radioativos, que podem ser dispersos ao longo das bacias hidrográficas adjacentes a áreas de ocorrência e exploração de minérios, ampliando os riscos de contaminação ambiental com diversos elementos químicos utilizados na mineração entre outras fontes poluidoras. (Aieta *et al*, 1987; Bonoto, 2004). A solubilidade do urânio está relacionada à sua tendência em se oxidar em íons de U^{6+} , sua mobilização natural no ambiente ocorre através do intemperismo da rocha, pela atuação da água contendo substâncias húmicas, que atuam como poderosos agentes na mobilização de íons metálicos

(Pitombeira, 2011; Aieta *et al*, 1987; Bonotto e Silveira, 2006; Pires, 2013).

Figura 2 – Localização da área.



FONTE: A autora, 2018.

A jazida de fósforo-uranífera de Itataia, uma das maiores reservas do país, apresentando 142.500 t de U_3O_8 , está inserida no município de Santa Quitéria, centro-norte do Estado do Ceará (Figura 2). A litologia é composta essencialmente por rochas migmatíticas, quartizíticas e gnáissicas, sendo capeadas por metacalcários cristalinos que correspondem aos mármores cristalinos e calcissilicáticas, aos quais está associada a principal mineralização fósforo-uranífera da jazida de Itataia.

O clima é típico do semiárido, com temperaturas elevadas com média anual de 27 °C, mínima de 21,5°C e máxima de 33 °C. A vegetação de caatinga é do tipo arbórea e arbustiva densa que é característica por esse tipo de clima. A drenagem é do tipo dendrítica que é caracterizada por rios principais e com o tipo de drenagem endorreica e seus afluentes que alimentam um rio maiores que alimentam a bacia do rio Groaíras.

O urânio representa um recurso energético de grande interesse econômico e pesquisas para prospecção e mineração de urânio têm avançado, pressionados pela elevação

do preço da uraninita (UO_2) no mercado internacional. O valor estratégico desse recurso é indiscutível, entretanto ainda existem grandes polêmicas relativas ao uso da energia nuclear, frequentemente relacionadas com a questão do custo ambiental envolvido nas diversas etapas do processo, desde a mineração até o produto final. O interesse econômico aumenta quando o urânio representa um subproduto associado a outro mineral. A prospecção de urânio no Brasil tem avançado nos últimos anos. As ocorrências uraníferas brasileiras em maior escala estão nas jazidas de Poços de Caldas, em Minas Gerais, já explorada; de Lagoa Real, em Caetité, na Bahia, e de Fazenda Itataia, em Santa Quitéria, Ceará, ainda em fase de licenciamento, que representa a ocorrência do minério de maior interesse na atualidade (Pires, 2013).

O risco de contaminação ambiental natural por radionuclídeos está presente nas jazidas uraníferas e seu entorno, representando um tipo relevante dentre os desastres naturais. A mobilidade dos radionuclídeos é o fator preponderante relativo à contaminação ambiental e seus impactos ambientais negativos, uma vez que expõe essas áreas à possibilidade de contaminação dos solos e da água com influência direta na saúde da população. É evidente que os riscos se apresentam de forma mais crítica nas áreas em atividade de exploração ou após a exaustão da mina (Correa *et al*, 2015), entretanto a dispersão natural no meio não pode ser considerada irrelevante em áreas no entorno das jazidas. Nesse contexto, o reconhecimento da distribuição dos radionuclídeos nos diferentes compartimentos ambientais naturais, isto é, o *locus* do seu ciclo geoquímico, é de vital importância na avaliação e monitoramento ambiental do entorno da Jazida fósforo-uranífera de Itataia, município de Santa Quitéria, Ceará.

Nem sempre a correlação entre doenças e exposição ambiental é de fácil reconhecimento, porém, os estudos epidemiológicos associados às análises de contaminação ambiental, o monitoramento geoambiental e a espacialização dos dados saúde são ferramentas úteis quando integrados em sistemas de informação geográfica de apoio a decisão, para estimar os riscos à exposição aos elementos radioativos e construir indicadores de alerta, que possam indicar vulnerabilidades para exposição e o monitoramento da saúde humana para que os danos não sejam concretizados. A espacialização de dados da saúde fornece instrumentos de apoio à decisão na gestão dos sistemas de monitoramento. Possibilita a apresentação integrada de dados relativos ao monitoramento dos determinantes ambientais e os impactos nas comunidades inseridas em áreas de risco à exposição de agentes radioativos. O apoio à prevenção do câncer dar-se-á pelo monitoramento ambiental, onde se busca identificar o Risco Potencial da Contaminação por Radiação.

As demandas por material radioativo para a consolidação do projeto energético estabelecido com a atividade das usinas nucleares de Angra I, II e III determinam a necessidade da exploração de Urânio, necessitando de forte monitoramento em suas várias etapas de exploração, buscando prevenir desastres. A Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC), o Conselho de Ciências da Associação Médica Americana (AMACS) e o Programa Nacional de Toxicologia dos Estados Unidos (USNTP) classificaram o Urânio como um agente carcinogênico humano, pois exposições podem provocar câncer pulmonar e que nenhum nível de Urânio pode ser considerado seguro. Existem estudos que sugerem ainda a existência de uma correlação positiva entre a concentração de Urânio no ambiente antrópico e a incidência de leucemia mieloide, câncer de rim, câncer de estômago e intestinais, melanoma, câncer nas crianças e ainda necrose tumoral pulmonar.

A partir da análise de dados de neoplasia, conforme consulta do Registro Hospitalar de Câncer - Tabulador Hospitalar Base do Estado do Ceará (RHC), dos anos 2001 a 2011, buscou-se contribuir com a identificação de determinantes ambientais que se correlacionem com a saúde da população do entorno das áreas de exploração de urânio, através do monitoramento do agente carcinogênico nas águas superficiais e subterrâneas e nos solos do entorno da área. A análise dos dados tabulares sobre neoplasias apresentou um incremento razoável no número de ocorrências nas unidades hospitalares. Esse aumento pode decorrer do maior número de atendimentos, uma vez que houve aumento na capacidade atendimento Instituto do Câncer, a partir de 2006. Municípios com ocorrência zero e a concentração de atendimentos procedentes de Fortaleza podem não representar a realidade em virtude de comunicação de endereço indicado como Fortaleza, devido à acomodação de familiares na capital. É evidente a centralização dos atendimentos em Fortaleza. As consultas aos dados do Registro Hospitalar do Câncer -RHC são úteis para que as análises temporais possam ser realizadas, entretanto devemos sempre considerar informações inconsistentes devido a questão da busca pelo atendimento na Capital. A espacialização de dados da saúde fornece instrumentos de apoio à decisão na gestão dos sistemas de monitoramento. Possibilita a apresentação integrada de dados relativos ao monitoramento dos determinantes ambientais e os impactos nas comunidades inseridas em áreas de risco à exposição de agentes radioativos. O apoio à prevenção do câncer dar-se-á pelo monitoramento ambiental, onde se busca identificar o Risco Potencial da Contaminação por Radiação.

O reconhecimento das feições do terreno é importante para determinar a estabilidade dos ambientes e o uso de geotecnologias auxiliado pela cartografia

geomorfológica, tem facilitado a exploração de informações espaciais, colaborado com as pesquisas tornou-se um importante instrumento de gestão e monitoramento de usos e de recursos naturais (Silva *et al.*, 2011). Com a utilização de imagens de Sensoriamento Remoto e inovações dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), é possível visualizar o espaço geográfico em três dimensões X, Y e Z, o que representa para análise do relevo é de grande importância.

O sensoriamento remoto aplicado à geomorfologia possibilita a geração de novas aplicações, maior precisão nas análises e maior capacidade de processamento de dados (Florenzano, 2008). As imagens orbitais, além de apresentarem aspectos relacionados à morfogênese, contribuem significativamente nas atividades do mapeamento geomorfológico, “seja na classificação dos domínios nos aspectos morfoestruturais do relevo, ou na sua subdivisão em regiões e unidades geomorfológicas de acordo com o seu contexto evolutivo” (IBGE, 2009, p. 116), abrangendo, portanto, aspectos do relevo em escala mais abrangente até formas de maior detalhe.

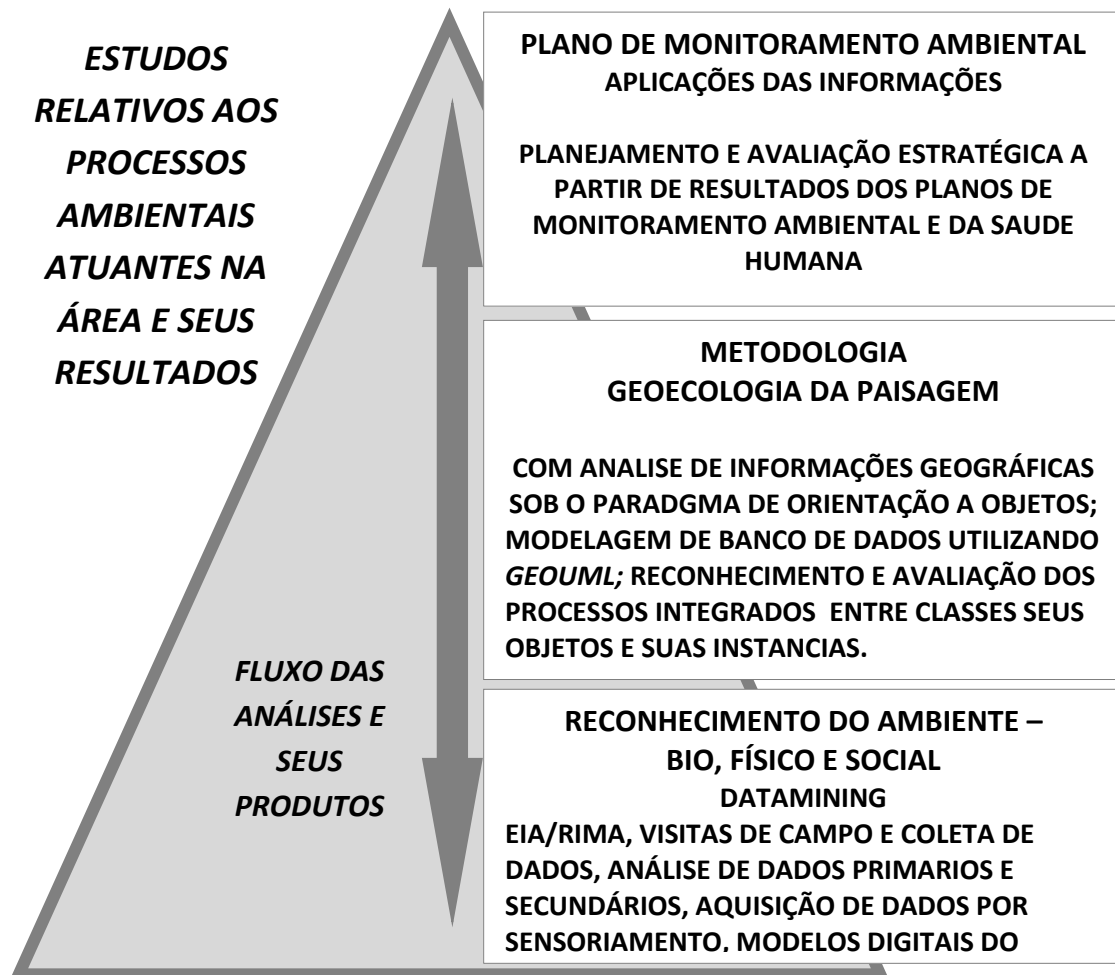
O uso da cartografia geomorfológica por meio dos critérios de classificação morfológica das unidades de relevo como a altitude, declividade, orientação de vertentes, densidade de drenagem, formas de topos, vertentes, vales e processos morfodinâmicos (Florenzano, 2008), a compreensão da morfologia é importante para o planejamento ambiental, pois permite identificar e compreender o comportamento do relevo quanto as condições naturais de carreamento de materiais.

Sistemas de monitoramento ambiental, baseados bancos de dados geográficos, orientados a objetos, são capazes de apresentar cenários em produtos cartográficos digitais, pois servem para apoiar a análise de risco, buscando antecipar medidas preventivas e mitigadoras relativas aos desastres naturais, ou situações emergenciais no empreendimento.

Desse modo, a partir de informações relativas à geologia, litologia, geomorfologia, solos, malha hídrica e escoamento superficial, analisados sob o paradigma de orientação a objetos, propõe-se a construir um plano de monitoramento ambiental, depois de averiguar a abrangência espacial das áreas vulneráveis à contaminação por elementos radioativos, seja por processos naturais ou no processo produtivo da mineração da jazida, além de demonstrar os mecanismos ambientais relativos a dispersão de radionuclídeos e o risco de contaminação por material radioativo. Após os estudos realizados o Plano de Monitoramento Ambiental servirá de instrumento para gestão dos riscos envolvidos no empreendimento, utilizando padrões ISO 31000, pressupondo que a implementação dos ISO 9001, ISO 14001 E ISO 45001. O diagrama da Figura 3 sumariza as etapas da tese e sua

importância de forma ascendente:

Figura 3 - Esquema das etapas da proposta do plano de monitoramento ambiental



Fonte: a autora, 2017.

Essa tese disponibiliza informações que permitem ampliar o conhecimento sobre os processos hidro geomorfológicos atuantes na área, atribuindo atenção especial relativa aos fatores hidro geomorfológicos, considerados importantes vetores de dispersão de sedimentos e materiais diversos, incluindo poluentes. No cerne dessa tese, a atenção principal foi dada ao material radioativo, sólido, particulado atmosférico e/ou gasoso, apresentando uma proposta de plano de monitoramento ambiental, que sirva de instrumento de apoio ao planejamento e gestão da mina, de forma que impactos negativos possam antecipadamente previstos e minimizados.

A tese baseou-se na premissa de que existe uma correlação intrínseca entre os materiais e processos geológicos com a saúde do homem, animais e plantas, buscando

contribuir com a identificação de índices ambientais que se correlacionem com a saúde da população do entorno das áreas de exploração e processamento de urânio em Itataia, município de Santa Quitéria, Ceará, através do monitoramento do agente carcinogênico urânio nas águas superficiais e subterrâneas do entorno da área mineralizada, que abrange a sub bacia do Rio Groaíras, até o açude Edson Queiroz, na bacia hidrográfica do Rio Acaraú.

Como hipótese tem-se que as atividades previstas na tese proposta baseiam-se na premissa de que existe uma correlação intrínseca entre os materiais e processos que ocorrem na sub bacia hidrográfica do Riacho Cunha Moti e a dispersão de contaminantes radioativos no ambiente natural, com impacto direto nos recursos hídricos e na saúde humana.

O objetivo geral desta tese é a proposição de um plano de monitoramento ambiental, que contemple as instancias e processos envolvidos nos diversos âmbitos: Industrial, Social e Ecológico, servindo como instrumento ao apoio à decisão, por ser resultado de uma análise Geoecológica, sob o paradigma da orientação a objetos.

Como objetivos específicos tem-se:

- Identificar os processos naturais atuantes na paisagem, gerando base cartográfica temática, a partir de:
 - Análise da cartografia temática e sistemática,
 - Análise dos processos hidro geomorfológicos atuantes.
- Levantamento bibliográfico sobre impactos da mineração na saúde humana: do trabalhador e nas comunidades,
 - Análise com difração de Raios X (DFX) e fluorescência de Raios X (FRX) de exames de sangue e urina.
- Identificar os processos industriais e mineiros, a partir de:
 - Estudos dos ambientes utilizando SIG e Modelagem do terreno observando a proposta da planta da mina apresentada no RIMA (2014)
 - Estudo das normas técnicas e legislação ambiental
- Mapeamento dos sistemas ambientais e da geoecologia da sub bacia
 - Comparar os mapeamentos das duas análises buscando melhor detalhamento e a integração de informações cartográficos.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 Caracterização hidrogeológica e climática do Ceará

Estado do Ceará possui 86,8% da sua área inserida na região do semiárido brasileiro, de acordo com Portaria N° 89 de março de 2005, do Ministério da Integração Nacional. Para essa delimitação foram considerados três critérios técnicos: a) Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm; b) índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial no período entre 1961 e 1990; e c) risco de seca maior que 60% tomando-se por base o período entre 1970 e 1990 (COGERH, 2013).

O domínio cristalino constitui cerca de 75% do território cearense (PLANERH, 2009), portanto, é ele, principalmente, que condiciona a ocorrência das águas subterrâneas no Estado. Sob este domínio, as águas subterrâneas acumulam-se em fraturas das rochas formando aquíferos de baixa produtividade em que a qualidade da água é limitante a certos usos. No entanto, mesmo assim, para algumas populações difusas tornam-se a alternativa para atender suas demandas.

Quanto ao domínio sedimentar, existem quatro ocorrências principais: na faixa costeira (aquíferos Barreiras e Dunas); na região da Chapada do Apodi (aquíferos Açú e Jandaíra), na região do Cariri Cearense (principais aquíferos: Rio da Batateira, Missão Velha, Barbalha e Exu), e na região da Serra da Ibiapaba (Aquífero Serra Grande). Destacam-se ainda, as formações sedimentares da Bacia do Iguatu e os depósitos aluvionares distribuídos ao longo das drenagens, principalmente os associados aos rios Banabuiú, Jaguaribe e Acaraú (PACTO DAS ÁGUAS, 2009).

A bacia hidrográfica representa o recorte espacial como unidade de gestão e nela estão envolvidas as águas superficiais, subterrâneas e meteóricas e os instrumentos de gestão devem considerar os usos múltiplos da água no âmbito da bacia hidrográfica, percebendo a importância da manutenção da qualidade das águas, visando os aspectos econômicos, sociais e ambientais, envolvendo todos os interessados em um processo decisório participativo que procure apoiar o uso sustentável da água, do solo e outros recursos naturais, procurando não comprometer os ecossistemas (MMA, CNRH, 2001, art. 2 e 3). O reconhecimento da importância das águas subterrâneas pressionou para a publicação da Resolução CNRH 22, de 2002, que contempla a necessidade de reconhecimento e caracterização dos aquíferos e a definição das inter-relações do aquífero com os demais corpos hídricos (MMA, CNRH, 2002,

art.2), para uma abordagem sistêmica, integrada e participativa o balanço hídrico também faz parte das variáveis (CNRH, 2002, art. 3. Inc. II).

A dinâmica dos rios e riachos no semiárido apresentam características marcantes em seu regime de descarga e transporte de sedimentos e na modelagem dos leitos, como resultado da sazonalidade das chuvas e ao intemperismo físico atuante e embasamento. A malha hidrográfica apresenta canais entrelaçados, devido ao controle estrutural, marcado por ocorrência de conjuntos de zonas de cisalhamento e falhas (Maia *et al.*, 2008), a litologia condiciona a presença solos rasos e pedregosos e drenagem de leito pouco profundo e encaixado, com margens pouco definidas. Os maciços residuais apresentam vertentes de maior altimetria com declividades mais acentuadas e dissecadas. O intemperismo mecânico atuante provoca mobilização de material mais grosseiro e resistente (Tavares *et al.*, 2015). A vegetação esparsa, composta na maior parte por caatinga arbustiva aberta, não impede a ação erosiva dos ventos e da chuva, devido ao relevo levemente ondulado, a erosão laminar atua carreando sedimentos para as áreas de mais baixas (Gonçalves Jr e Souza, 2012). Os episódios de chuvas intensas em curto período sobre ocorrências de urânio, como nesse estudo, facilitam a dispersão natural pelo ambiente, no caso de chuva abundante (Bonotto e Silveira, 2006), o fluxo superficial, ao atingir as margens planas e desprovidas de vegetação, como as que predominam os terrenos cristalinos, o fluxo mobilizador de sedimentos ultrapassa o leito, provocando forte movimentação de material (Batista *et al.*, 2015; Maia *et al.*, 2008). As chuvas na região semiárida estão concentradas em poucos meses, janeiro a abril, com eventos de seca cíclicos, assim os processos mecânicos são mais atuantes em relação aos processos químicos, com formação de solos pedregosos e rasos, com drenagem difusa, em calhas pouco profundas.

2.2 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está inserida no Domínio Ceará Central (Caby e Arthaud, 1986) pertencente à porção setentrional da Província Borborema (Almeida *et al.*, 1977).

A Província Borborema representa a porção mais nordeste da Plataforma Sul-Americana, caracterizada por atividade tectônica intensa ao final do Proterozóico, consequência de colisão continental envolvendo os crátons São Luís-Oeste África e São Francisco-Congo. A colisão, correspondendo ao Ciclo Brasileiro-Pan-Africano, completou-se, no caso da Província Borborema, por volta de 600-550 Ma. A porção setentrional da Província Borborema é dividida em quatro domínios. Os limites dos domínios correspondem

a megazonas de cisalhamento transcorrentes ativas ao final do Ciclo Brasileiro (Brito Neves *et al.*, 2000).

Conforme Santos (2003) o Domínio Ceará Central é constituído por quatro Unidades Litotectônicas:

Núcleo Arqueano de Tróia-Pedra Branca-Mombaça – É seccionado pela Zona de Cisalhamento Sabonete-Inharé que o divide em dois blocos. Bloco Mombaça, situado a SE, sendo composto por gnaisses granulíticos do tipo TTG, enquanto o bloco Tróia-Pedra Branca, na porção NW, constituído por uma associação do tipo *greenstone belt* (CASTRO, 2004).

Embasamento Gnáissico Paleoproterozóico – Segundo Castro (2004) esta unidade é constituída por gnaisses, por vezes, migmatíticos de composição quartzo-diorítica a tonalítica.

Rochas Supracrustais Neoproterozóicas – Caracterizado um sistema de *nappes* alóctones sobre o embasamento paleoproterozóico subjacente, constituído predominantemente de rochas psamo-pelíticas e volumes menores de porções carbonáticas, também ocorrendo anfíbolitos e metavulcânicas ácidas intercaladas representando magmatismo básico sinsedimentar.

Complexos Granito-Migmatíticos e Granitóides Neoproterozóicos – Constituído por rochas migmatíticas, granitóides e gnáissicas com porções anfíbolíticas e calcissilicáticas

Os primeiros estudos geológicos da área de Itaitaia datam do início da década de 1980, merecendo destaque os trabalhos de Mendonça *et al.* (1980 e 1983). Mendonça *et al.* (1980) reconheceram uma espessa sequência metassedimentar de natureza transgressiva, com rochas migmatíticas, quartzíticas e gnáissicas sendo capeadas por metacalcários cristalinos. A seguir Mendonça *et al.* (1983) denominaram a sequência metassedimentar de Grupo Itaitaia da base para o topo:

- Formação Serra do Céu – migmatitos, leptinitos e gnaisses;
- Formação Laranjeiras – quartzitos puros e micáceos;
- Formação Barrigas – gnaisses migmatíticos ou não; e

- Formação Alcantil – composta por mármore cristalinos e calcissilicáticas, associadas a mineralização fósforo-uranífera da jazida.

2.3 Caracterização da área de impacto indireto

Os impactos ambientais são considerados em termos de área de abrangência e de proximidade, assim sendo, tem-se como área de impacto indireto a bacia hidrográfica do Rio Acaraú, e a área de impacto direto a parte que compreende o alto curso da sub bacia do rio Groaíras, nas nascentes do Riacho Cunha Moti.

A bacia do Acaraú está localizada no setor norte-ocidental do estado do Ceará, limitando-se a oeste e a sudoeste, respectivamente, com as bacias do Coreaú e do Poti-Longá, a leste e sudeste, com as bacias do Litoral e do Curu. Essa bacia tem como rio principal o rio Acaraú, possuindo uma extensão de 315 Km, predominantemente no sentido sul-norte. Possui como principais afluentes os rios Groaíras, Jacurutu, Macacos e Jaibaras, os quais formam importantes sub bacias, ocupando uma área da ordem de 14.423,00 Km², que corresponde a 10% do território cearense. A bacia drena 28 (vinte e oito) municípios, 10 integralmente: Cariré, Catunda, Forquilha, Graça, Groaíras, Hidrolândia, Massapê, Pacujá, Pires Ferreira, Reriutaba e Varjota e os demais, parcialmente, Acaraú (27,85%), Alcântara (19,48%), Bela Cruz (23,73%), Cruz (13,11%), Ibiapina (2,10%), Ipu (90,91%), Ipueiras (31,04%), Marco (48,32%), Meruoca (83,84%), Monsenhor Tabosa (13,80%), Morrinhos (53,00%), Mucambo (71,38%), Nova Russas (92,40%), Santa Quitéria (96,84%), Santana do Acaraú (69,71%), Sobral (45,01%) e Tamboril (35,19%) (PACTO DAS ÁGUAS, Bacia do Acaraú, 2009).

2.4 Caracterização da área de impacto direto

A área de interesse apresenta-se numa pequena parte do alto curso da bacia do Acaraú, que é uma importante bacia hidrográfica do estado do Ceará. As características hidrográficas apresentam padrão de drenagem retangular a montante e sub dendrítico a jusante em direção à Depressão Sertaneja. Os principais cursos d'água que compõem a rede de drenagem da área de estudo, fazem parte do alto curso da sub bacia do Rio Groaíras, na bacia hidrográficas do rio Acaraú. A geomorfologia da área de interesse desse estudo é

representada por duas grandes unidades morfológicas a Depressão Sertaneja e os Planaltos Residuais (Figura 4). Os planaltos residuais representam compartimentos de níveis mais elevados da área, com altitudes de 650 a 1.000 metros, correspondendo aos maciços montanhosos das serras do Céu, das Cacimbas, da Mata Fome e das Laranjeiras, sendo que a serra do Céu é o acidente topográfico correspondente ao divisor d'água das bacias hidrográficas dos rios Curu e Groaíras.

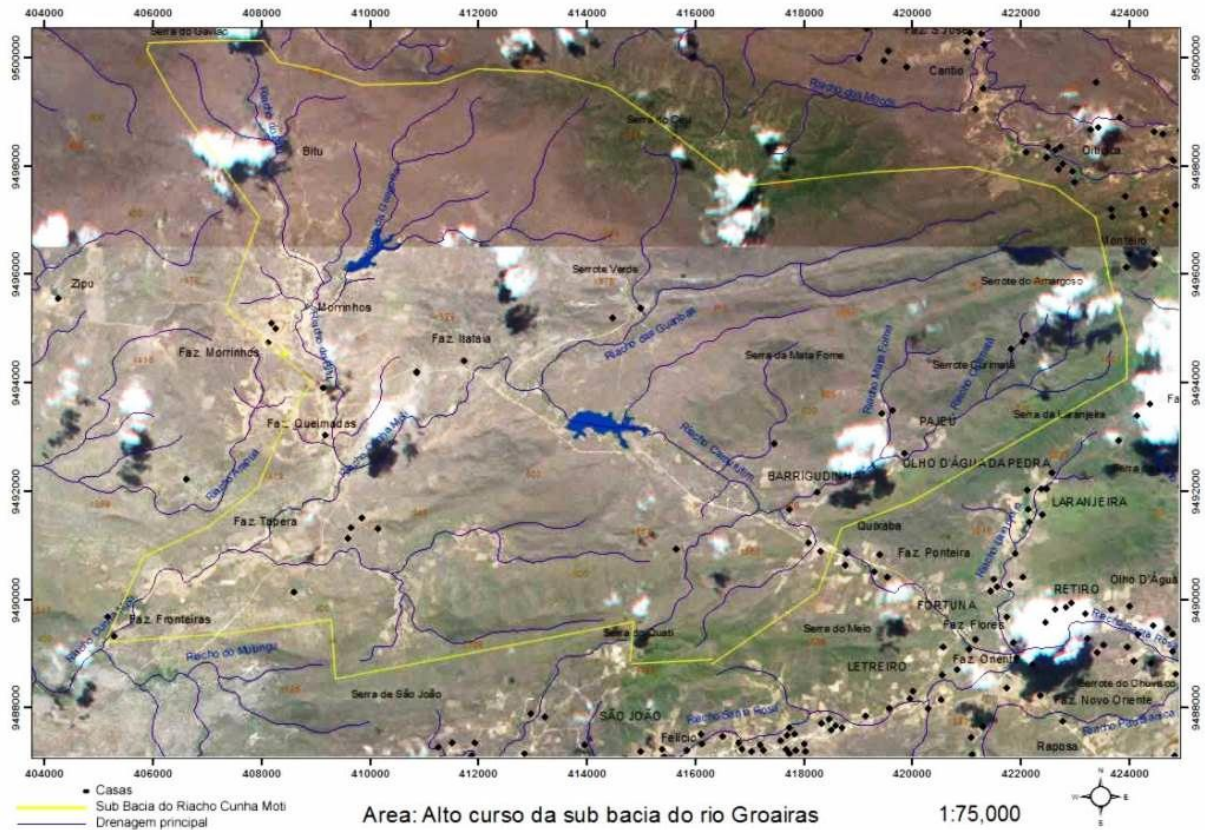
A região da pesquisa pode ser compreendida em dois compartimentos:

a) a parte da Serra do Céu, com altitudes mais elevadas, que abriga as nascentes que formam os riachos e que circundam a mineralização principal de urânio, representam parte do alto curso do rio Groaíras, apesar de pouca instabilidade das encostas, devido aos materiais constituintes das rochas, em ocasiões de grande volume de chuvas concentradas, esses ambientes tendem a instabilidade devido ao forte impacto da chuva nas rochas fragilizadas mecanicamente, provocando a mobilização de material nas encostas;

b) a parte mais dissecada dos relevos, abrigam as mineralizações urânio e o riachos que escoam da porção mais alta primeiramente circundam a jazida para depois abastecerem pequenos açudes que servem a localidade e continuam a jusante para depois irem desaguar no rio Groaíras, possibilitando contaminação de grandes áreas de cultivo e comunidades sertanejas, que estão fora dos limites propostos para esse estudo.

A sub bacia do Riacho Cunha Moti está localizada no alto curso da sub bacia do Rio Groaíras, na bacia do Rio Acaraú, suas nascentes estão abrigadas na Serra do Céu, que é o divisor de outras duas outras bacias: Bacia do Curu e Sub bacia do Banabuiú. As características da drenagem apresentam padrão difuso, de fluxo intermitente sazonal, com vegetação predominantemente de caatinga arbustiva aberta nas partes mais baixas e arbustiva fechada com presença de vegetação arbórea nos topos dos morros. O Serrote Verde, onde se encontra o minério, apresenta o topo com vegetação rala e dispersa, o colofanito está associado ao urânio exposto, bastante desgastado pelos processos atuantes. O serrote está localizado na porção central superior da imagem, entre a Serra do Céu e o açude (Figura 4).

Figura 4 –Sub bacia do Riacho Cunha Moti, alto curso da sub bacia do Rio Groaíras, Ceará.



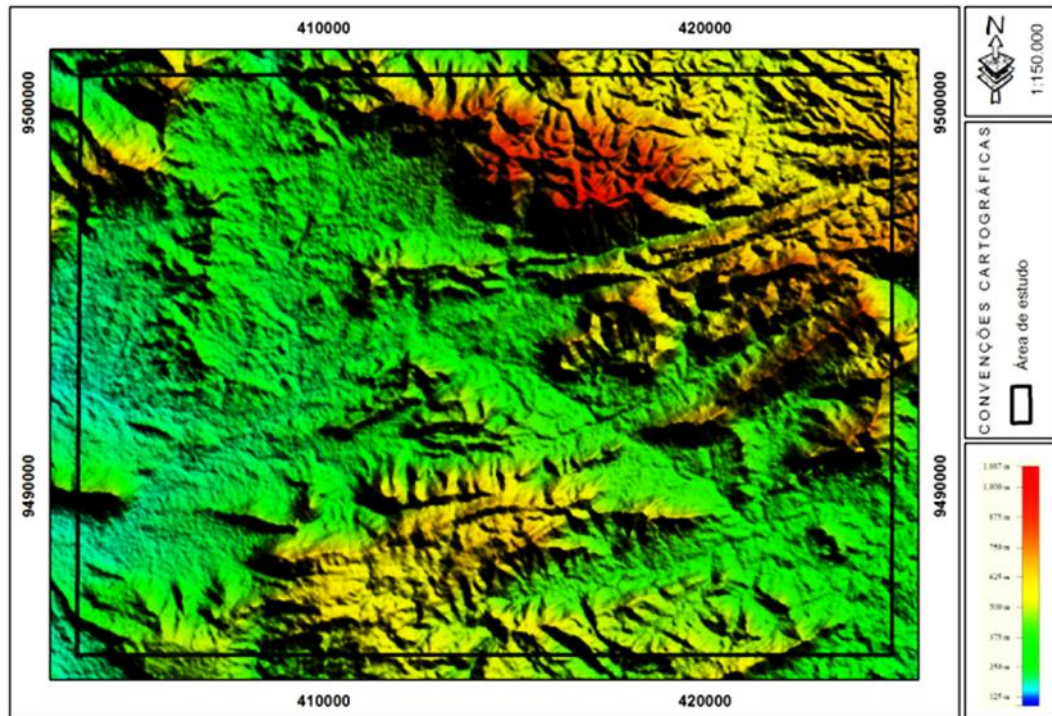
Fonte: Mosaico de imagens Rapid Eye, 2436911-2012-05-21 / 2436912-2012-07-24 / 2437011-2011-09-14 / 2437012-2012-02-05, a autora, 2018.

A modelagem dos relevos depende diretamente das ações do clima, seja por insolação, fluxos d'água ou vento. Conforme as características geológicas o relevo se apresenta como resultante das forças exógenas. Quando se trata das áreas semiáridas, as chuvas estão concentradas em poucos meses, janeiro a abril, com eventos de seca cíclicos, assim os processos mecânicos são mais atuantes em relação aos processos químicos, com formação de solos pedregosos e rasos, com drenagem difusa, com em calhas pouco profundas ou encaixadas em falhas. Ao observar os dados da FUNCEME no posto de Santa Quitéria, para os dias 17/3/2015 e 22/3/2015, apresentaram a marca de 53 mm e 57,3 mm de chuva respectivamente, o que comprova a ocorrência de considerável volume pluviométrico concentrado, de acordo com o regime pluviométrico sazonal, que eleva o risco potencial facilitado pela força descendente do fluxo mais abundante, que tende ao transbordamento dos riachos e grande quantidade material pode ser mobilizado por longas extensões.

O mosaico do MDE, apresentado na Figura 5 evidencia a natureza dos relevos que compõem a área, com partes de altitude mais elevada, chegando aos 1100 m e uma porção mais dissecada com altitudes médias em torno de 250 m. É possível observar as estruturas,

falhas e canais de acumulação, nas feições bastante rugosas, indicando intenso trabalho hidro geomorfológico.

Figura. 5 - MDE da área, SRTM



Fonte: a Autora, 2018.

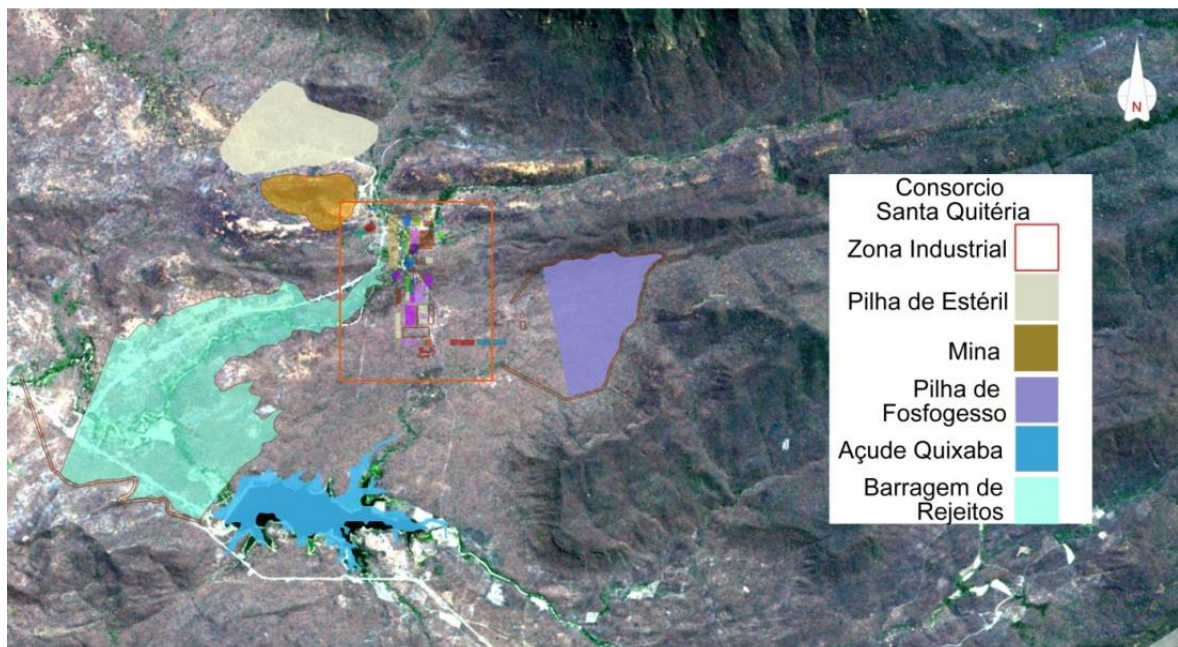
De acordo com o EIA/RIMA, apresentado pela empresa ARCADIS Logos em 2014 para o licenciamento ambiental do empreendimento, o Consórcio Santa Quitéria instalará um complexo de mineração de fosfato, a partir da exploração do minério denominado colofanito, visando à extração e o beneficiamento do minério fosfatado até a produção de fertilizantes e ração animal, a partir da transformação do minério em ácido fosfórico, um produto secundário que passa por um processo de purificação para extração do urânio. Na sequência, esse ácido será utilizado para produção de Mono Amônio Fosfato (MAP) e Fosfato Bicálcico (DCP). O primeiro será destinado à fabricação de fertilizantes e o segundo à indústria de nutrição animal. Também será instalada uma unidade de purificação deste ácido destinada à remoção dos elementos radioativos e produção de concentrado de urânio. A solução de tricarbonato de sódio e urânio (TCUS), também gerada na mencionada purificação do ácido fosfórico, feita através do uso de solventes orgânicos, será utilizada na produção de concentrado de urânio e terá como destino final a indústria nuclear, o licor de urânio passará por uma série de etapas químicas (solventes orgânicos) e físicas de separação

(precipitação, secagem e armazenamento) até que, por fim, se obtenha o *yellow cake*, uma pasta amarelada que contém o urânio na forma de diuranato de amônio – DUA (ARCADIS, 2014).

Na jazida mineral de Santa Quitéria, o urânio encontra-se associado ao fosfato que predomina, constituindo reservas lavráveis totais de 65,6 milhões de toneladas; as reservas de urânio totalizam 80 mil toneladas. Estas características resultam em uma vida útil prevista para o empreendimento de 20 anos. O principal objetivo do Projeto Santa Quitéria é a exploração e beneficiamento desse minério de fosfato associado ao urânio, chamado colofanito (Silva, 2003).

A Figura 6 apresenta a localização da planta do empreendimento do Consórcio Santa Quitéria, sobre um mosaico de imagens de sensoriamento remoto, a pilha estéril, a norte da mina e da zona industrial se encontra sobre dois riachos, sendo bem próximo a nascente, pouco acima a mordeste, no maciço. A barragem de rejeitos encontra-se a jusante do Açude Quixaba, dando ênfase a necessidade de um plano de monitoramento local dinâmico e detalhado pois estamos no alto curso da Sub bacia do Rio Groaíras, a montante do Açude Edson Queiroz, Bacia do Rio Acaraú.

Figura 6 – Localização do empreendimento minero industrial



Fonte: ARCADIS Logos (2014), adaptado pela Autora, 2018.

O Projeto se justifica pois vai ao encontro do Plano Nacional de Mineração 2030, relativas a produção de rocha fosfática, está entre os projetos estratégicos que visam diminuir

a dependência externa que o Brasil tem de fosfato, pois prevê a produção de 240.000 toneladas de P_2O_5 por ano (ARCADIS, 2014). Compreenderá as seguintes obras e instalações em suas fases de implantação e operação, conforme apresentado na figura a seguir:

- Canteiro de obras e infraestrutura de apoio durante a fase de implantação;
- Estradas de acesso e serviços;
- Mina;
- Pilha de estéril (bota-fora);
- Pilha de fosfogesso;
- Barragem de rejeitos;
- Instalação Minero Industrial;
- Instalação Nuclear;
- Instalações administrativas e de apoio;
- Centrais de utilidades, insumos e sistemas auxiliares; e,
- Sistemas de carga, descarga, transporte, transferência e estocagem.

A localização dos projetos de assentamentos Morrinhos e Queimadas na área de influência do empreendimento apresentam situação de fragilidade econômica e social, que circula entre condições de miséria e seca, com reflexos no baixo desenvolvimento econômico das localidades e da região. Muitas áreas se apresentam como sujeitas a processo de desertificação, que conferem um cenário social bastante impactado e que necessita de especial atenção dos programas ambientais, essa situação aponta para a necessidade de parcerias, público – privadas, para propor e executar as intervenções necessárias. Os programas socioambientais deverão ser elaborados e implementados para diminuição e compensação de impactos que deverão ser otimizados para eficácia das ações propostas (ARCADIS Logos, 2014). O município de Santa Quitéria localiza-se totalmente inserido no semiárido, com uma área de 4.260 Km². Seu Produto Interno Bruto (PIB) setorizado aponta que os serviços lideram a economia seguida pela agropecuária e pela indústria. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) que avalia o bem-estar da população é considerado baixo. (IPECE, 2015). Esses índices demonstram pouco desenvolvimento socioeconômico e reforçam a necessidade de melhorias para a população local. Desse modo o empreendimento apresenta soluções de desenvolvimento econômico, que pressionam para a breve implantação, entretanto nenhuma solução mágica serve para a resolução dos problemas dos municípios do semiárido, sendo o

comportamento predador do seu meio ambiente uma saída pouco saudável, no que diz respeito à fisiologia da paisagem, aos tipos geocológicos e à utilização adequada dos escassos recursos hídricos disponíveis. É notório que a exploração de recursos naturais para suprir as necessidades do homem tenha se tornado um processo, cada vez mais desafiador tanto pelo ponto de vista da escassez e não renovação desses recursos, quanto pelo seu aproveitamento integral e inadequado ecologicamente, principalmente quando se almeja que as gerações vindouras usufruam também desses recursos (Gonçalves Jr e Souza, 2010).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Urânio

Os principais radionuclídeos que contribuem para a radioatividade no ambiente são: Potássio-40 e os que formam as séries do Urânio-238, Urânio-235 e Tório-232. Estudos realizados em hidrogeologia subterrânea apontaram que o teor de urânio dissolvido e a razão entre $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ em atividade podem ser considerados propriedades conservativas. Além de radionuclídeos dissolvidos em água, a presença do gás radônio está intimamente associada a altas concentrações de urânio, tório e de seu descendente o rádio (Ra), esses elementos são encontrados em rochas vulcânicas ácidas, granitos, rochas sedimentares ricas em fosfatos e em matéria orgânica, e ainda nas rochas metamórficas derivadas das anteriores. Cada elemento radioativo apresenta características de dispersão bastante variada e depende das condições físico-químicas do ambiente. Quando o material radioativo é careado pela água, esse pode ser absorvido pelas partículas orgânicas e argilosas dos leitos de rios e riachos e contaminar os solos. Os radionuclídeos mais facilmente mobilizados são o urânio, o rádio e o radônio, este, em forma de gás (Bonotto, 2004; Bonotto e Silveira, 2006).

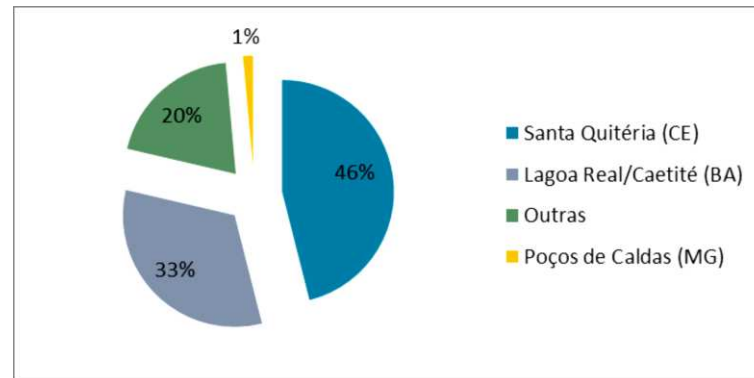
A solubilidade do urânio está relacionada a sua tendência em se oxidar em íons de U^{6+} , e sua mobilização natural no ambiente ocorre através do intemperismo da rocha, pela atuação da água contendo substâncias húmicas, que atuam como poderosos agentes na mobilização de íons metálicos (Bonotto, 2004; Bonotto e Silveira, 2006; Pires, 2012).

Como parte do contexto litológico e geológico, uma ocorrência de urânio de grandes proporções, mesmo em seu estado natural, a radioatividade é liberada no ambiente e certamente a proximidade de cursos d'água e nascentes, que favorecem a lixiviação e transporte dos materiais e, conseqüentemente, sua deposição em porções mais baixas da bacia hidrográfica. Esse carreamento de material pode se espalhar além da calha dos rios e riachos dispersando os radionuclídeos que escorrem e em parte se infiltram no terreno fraturado e em alvéolos sedimentares a jusante. (Lemos, 2013; Marino *et al.*, 2012; Escobar *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2002; Viana, 2010).

No Brasil, o urânio é principalmente utilizado para a geração de energia elétrica; um pequeno percentual é utilizado na medicina e na agricultura. A seguir são apresentadas informações referentes à reserva, produção, consumo, exportação, importação, balança comercial e perspectivas sobre o urânio.

As reservas brasileiras estão distribuídas principalmente no Ceará e na Bahia (Figura 7). Sendo a jazida de Santa Quitéria (CE) a maior reserva de urânio do país, com 142.500 toneladas de U_3O_8 , representando 46% das reservas nacionais. Sua reserva associada ao Projeto Santa Quitéria é de 79,3 mil toneladas de U_3O_8 (ARCADIS, 2014).

Figura 7 – Gráfico da disponibilidade de Urânio no Brasil



Fonte: ARCADIS, 2014

Com novos estudos de prospecção mineral é possível que as reservas brasileiras de urânio sejam ampliadas, os estudos de identificação das reservas minerais brasileiras foram realizados com maior empenho pelo DNPM até o fim da década de 80 e prospectou aproximadamente um terço da área com potencial mineral do país, mais recentemente outros estudos foram retomados em pequena escala.

A produção brasileira iniciou-se na Mina de Poços de Caldas, Minas Gerais, que encerrou suas atividades em 1995. Atualmente, a produção brasileira corresponde exclusivamente à Mina de Caetité no Estado da Bahia, em atividade desde o ano 2000, e que atende à demanda interna nacional. A produção abastece as usinas nucleares de Angra 1 e Angra 2 localizadas no Município de Angra dos Reis no Estado do Rio de Janeiro. A principal utilização do urânio é como combustível para a geração de energia elétrica em usinas nucleares. Como parte do programa de expansão, está prevista a construção da terceira usina nuclear de Angra dos Reis - Angra 3 - para o ano de 2018. Estima-se que Angra 3 deverá consumir um total de 750 toneladas por ano de U_3O_8 (INB, 2013).

A produção brasileira de urânio é voltada para o atendimento da demanda interna, ou seja, produção do combustível para as usinas nucleares de Angra 1 e 2. Não há exportação de urânio no Brasil, apenas seu envio ao exterior para beneficiamento. Por outro lado, O Brasil é autossuficiente na prospecção, mineração, na fabricação de concentrado de urânio

(*yellow cake*), de pastilhas e de elementos combustíveis. Porém, o país tem uma dependência internacional parcial no enriquecimento do urânio e total na conversão desse bem mineral em gás (hexafluoreto de urânio). As perspectivas de futuro, após aproximadamente 25 anos sem pesquisa mineral, atualmente o Governo Federal, por intermédio das Indústrias Nucleares do Brasil (INB), está retomando tal atividade, com vistas no Plano Nacional de Mineração – 2030 (ARCADIS, 2014). A produção brasileira de urânio vem evoluindo, desde o início das atividades da Mina de Caetité, Bahia, em 2000. (ARCADIS, 2014).

3.2 Radônio

O gás radônio ^{222}Rn é um gás radioativo, da série radioativa natural do urânio ^{238}U , proveniente do decaimento do rádio ^{226}Ra , e é a principal fonte de radioatividade natural no ambiente devido a sua dispersão, assim sendo, em alguns países protocolos de controle foram estabelecidos, demonstrando a preocupação e o interesse em controlar a dose desse gás a que os trabalhadores mineiros estão expostos, principalmente quando se encontram em espaços confinados, em especial nas áreas de exploração mineira. Áreas adjacentes às minas sob ação de ventos e chuvas são fatores que determinam a concentração do radônio nos solos, do potencial de transmissão deste gás ao ar (Corrêa *et al.* 2015; Pereira *et al.*, 2003)

Por ser um gás, o radônio produzido no interior das rochas e dos solos difunde-se com facilidade através de fissuras nas rochas, da porosidade do solo e de lençóis freáticos até alcançar a superfície terrestre. A meia-vida do ^{222}Rn é de 3,8 dias, portanto uma parte considerável do gás produzido chega à atmosfera (ICRP, 1993; UNSCEAR, 2000). Dados apresentados pelo ICRP 60 (1991) e pela UNSCEAR (2000), mostram que, em média, metade de toda radiação absorvida por um ser humano, incluindo os naturais e artificiais, é devida ao radônio.

A grande preocupação com o ^{222}Rn se deve à inalação desse gás radioativo. Ao ser inalado, passa a ser um causador potencial do câncer de pulmão. As partículas alfas provenientes do gás têm características específicas, como, pouco poder de penetração. Porém tais partículas possuem um grande poder de ionização, sendo os pulmões a principal região afetada, onde, além de liberar toda sua energia contida durante o período de desintegração provoca lesões cuja gravidade chega a provocar as neoplasias. A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) vêm elaborando metodologias de coleta e análise do Radônio, que são aplicadas em diversas áreas como na

mineração de jazidas brasileiras de urânio. O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN) estima que a concentração de Radônio na atmosfera no Brasil varie entre 0,6 e 28 Bq/m³. Não existe uma legislação específica para o Radônio, mas o Ministério da Saúde recomenda um valor limite de radiação alfa de 0,1 Bq/m³ (incluindo, o isótopo ²²⁶Ra, precursor do ²²²Rn) e 1 Bq/m³ para a radiação beta. (Afonso, 2009)

Onde há alta taxa de exalação do gás do solo, como áreas de exploração mineira, é grande o risco potencial aos indivíduos em virtude das altas concentrações de radônio que podem ocorrer em ambientes confinados, tanto na área da mina quanto em seu entorno. Tendo em vista o crescente interesse dos organismos internacionais e nacionais em conhecer os níveis de radônio no ar, em águas, o grupo de pesquisa em radiações da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), em colaboração com o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN) e com o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD/CNEN), tem mantido uma parceria na qual se realizam medidas de radônio no ar, no solo e na água. Essas medidas têm sido feitas pelo grupo desde 2003, e o laboratório especializou-se em medidas de radônio no ar, por meio de detectores do estado sólido em solo e água, por meio de equipamento eletrônico de medidas instantâneas AlphaGUARD (Corrêa *et al.* 2015).

O radônio tem sido comprovado ser a segunda causa principal de câncer de pulmão após o fumo. Conforme a Organização Mundial de Saúde, o nível de referência da concentração média anual não deve ser maior que 100 Bq/m³, dependendo das condições prevalentes e específicas ao país. Os levantamentos dosimétricos comprovaram que não só a inalação do gás radônio, mas também dos seus filhos provenientes do decaimento são uma das causas de câncer de pulmão. Os produtos de decaimento reagem muito rapidamente com o oxigênio ou com os gases como CO₂ e CO presentes na atmosfera, e são transportados por correntes de ar em pequenos aglomerados com diâmetros que variam de 2 a 20 nm. O radônio possui três isótopos radioativos naturais: ²¹⁹Rn (Actínio) da série do ²³⁵U, ²²⁰Rn (Torônio) da série ²³²Th e ²²²Rn (Radônio) da série do ²³⁸U. Torônio é o nome dado ao isótopo ²²⁰Rn, produto do decaimento do gás radônio, geralmente presente nas rochas ígneas e sedimentares e também em fontes artificiais como as centrais térmicas alimentadas por carbono. Tem esse nome por ser originado da série radioativa do tório e provém do decaimento do isótopo 224 do rádio que se desintegra rapidamente formando o ²¹⁰Pb cuja meia-vida aproximada é de 22 anos (Castro *et al.*, 2005).

3.3 Saúde humana

Nem sempre a correlação entre doenças e exposição ambiental é de fácil reconhecimento, porém, os estudos epidemiológicos associados às análises de contaminação ambiental, o monitoramento geoambiental e a espacialização dos dados saúde pública - mais especificamente ocorrências de câncer, para o escopo desse estudo - são ferramentas úteis quando integrados em sistemas de informação geográfica de apoio à decisão, para estimar os riscos à exposição aos elementos radioativos e construir indicadores de alerta, que possam indicar vulnerabilidades para exposição e o monitoramento da saúde humana para que os danos não sejam concretizados. Os sistemas de informação geográfica aplicados à saúde são instrumentos capazes de tratar dados de variadas fontes para integração dos diversos processos envolvidos no monitoramento dos elementos radioativos e os condicionantes de sua dispersão e buscar espacializar os riscos para apoiar as ações de prevenção, segurança da população.

Como refere Santana (2004):

É de extrema importância a produção de evidência científica que possa contribuir, por um lado, para a identificação das áreas de intervenção prioritárias em saúde, com o objectivo de adequar as intervenções em saúde às necessidades reais da população e, por outro lado, para avaliar o impacto dessas acções (respostas) na saúde e no bem-estar da população, podendo ainda monitorizá-las em diferentes tempos e a diferentes escalas. De facto, os problemas em saúde (frequência e severidade) não estão distribuídos de forma uniforme nem pela população nem pelo território.

As demandas por material radioativo para a consolidação do projeto energético estabelecido com a atividade das usinas nucleares de Angra I, II e III determinam a necessidade da exploração de urânio, necessitando de forte monitoramento em suas várias etapas de exploração, buscando prevenir desastres.

A Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC), o Conselho de Ciências da Associação Médica Americana (AMACS) e o Programa Nacional de Toxicologia dos Estados Unidos (USNTP) classificaram o urânio como um agente carcinogênico humano, pois exposições podem provocar câncer pulmonar e que nenhum nível de urânio pode ser considerado seguro. Existem estudos que sugerem ainda a existência de uma correlação positiva entre a concentração de urânio no ambiente antrópico e a incidência de leucemia mielóide, câncer de rim, câncer de estômago e intestinais, melanoma, câncer nas crianças (Henshaw *et al.*, 1990) e ainda necrose tumoral pulmonar (Popp *et al.*, 2000)

A ocorrência de urânio próximo aos cursos d'água facilita a dispersão devido à

sua solubilidade. Os riscos de contaminação das águas por agentes radioativos devem ser tratados de modo a prever a amplitude da área passível de contaminação que varia de acordo com a topologia do relevo e de outras condicionantes do fluxo hídrico superficial e subterrâneo que facilitam a dispersão dos contaminantes.

A possibilidade de contaminação com elementos radioativos de três grandes bacias hidrográficas deve ser tratada com todo aparato técnico-científico disponível para que desastres possam ser evitados ou ao menos, minimizados. As águas subterrâneas devem ser analisadas e monitoradas constantemente, em virtude da profundidade do pacote de minério, em torno de 180 m. A análise do nível estático, direção do fluxo das águas subterrâneas, profundidade dos poços (Tabela 1), são controles necessários para que possam ser estabelecidas áreas de riscos potenciais de contaminação, na bacia de impacto direto, Bacia do Rio Acaraú e as bacias adjacentes, Rio Banabuiú e Rio Curu, que possuem nascentes no maciço da Serra do Céu, ambiente esse densamente fraturado e que exige conhecimento da dinâmica hidrogeologia subterrânea para amplo monitoramento dos riscos de contaminação da água.

Tabela 1 - Quantidade, profundidade média e vazão média de poços, por bacia hidrográfica.

Região Hidrográfica	Quantidade de Poços	Profundidade Média (m)	Vazão Média (m ³ /h)
Acaraú	1868	42,2	2,2
Banabuiú	1368	48,0	1,4
Curu	1049	48,4	1,5
Ceará	6423		

Fonte: CPRM (2013, adaptado pela autora).

As prioridades do governo estadual e a pressão econômica imposto pelo consórcio responsável pela mineração de fósforo e urânio da jazida, coloca o entorno da mina em risco eminente de desastres, atingindo as comunidades do entorno e os recursos hídricos de grande área do estado. “Por isso, as consequências práticas de como o território se organiza e a capacidade de resposta na resolução dos problemas sociais e econômicos devem ser tomadas em linha de conta quando se observa o estado de saúde.” (Santana, 2004, p.63)

3.4 Riscos e desastres naturais

A gestão de riscos não é mais um quesito especial ou opcional na gestão de um empreendimento, atualmente é considerada necessária cada vez que se toma uma decisão - seja para desenvolver um relacionamento de negócios, iniciar um projeto ou realizar um empreendimento. Faz parte da estratégia para obter-se uma boa qualidade resultados. Assim deve-se alinhar e integrar nossas atividades e tomadas de decisão buscando atingir objetivos e resultados para alcançar metas, planos estratégicos e dessa forma executar com sucesso planos operacionais. Isso é gerenciamento de risco. Para gerenciar risco aplica-se normas e padrões que devem levar em conta em especial ambientes de produção (Sanchez, 1994, Sanches 2007, Lemos, 2013, Veyret, 2007).

A análise de riscos é um instrumento capaz de propor estratégias de ação diante de situações críticas. Pode-se analisar o risco individual, no cotidiano, como se pode tratar do risco maior ou coletivo, percebendo os diversos graus que o risco ocupa, perpassando pelos fenômenos naturais, aos quais podem estar associados aos fatores de risco decorrentes do uso e ocupação do território (Sanchez, 1994, Sanches 2007, Lemos, 2013, Veyret, 2007).

Conforme o Manual de Normas e Procedimentos para Licenciamento Ambiental no Setor de Extração Mineral (MMA, 2001) o Plano de Gerenciamento de Riscos - PGR é obrigatório e se divide em duas partes: O Plano de ação para Prevenção de Riscos, e o Plano de Emergência, e deve ser feito por profissional legalmente habilitado, no caso, um Engenheiro de Segurança, conforme a resolução CONFEA 359/91. De ser precedido por uma análise de riscos que deve envolver uma equipe multidisciplinar e deve ser elaborado concomitante da etapa de licenciamento de instalação (LI) para empreendimentos novos, ou de operação (LO), para empreendimentos já existentes. A análise de riscos ambientais é um procedimento técnico que consiste na identificação dos riscos decorrentes de acidentes que possam ter consequências sobre o meio ambiente. Diferentemente da avaliação de impactos ambientais, a Análise de Risco considera uma relação entre o impacto que um evento acidental poderá causar sobre o meio ambiente, e a probabilidade de sua ocorrência (frequência). A esta relação se dá o nome de risco ambiental. (MMA, 2001, p 16)

Risco = Probabilidade de ocorrência X Gravidade das consequências (impacto)

Para os riscos relevantes, assim identificados em função de uma probabilidade maior de ocorrência, ou em função de um nível muito alto de impacto a ser provocado, são

propostas medidas de prevenção, e são previstos procedimentos para o caso de ocorrência do evento. Estes procedimentos compõem o Plano de Gerenciamento de Riscos - PGR ambientais complementam a eficiência dos planos de emergência. Para atendimento a eventos de risco ambiental, existem atualmente no Brasil empresas que mantêm equipes de prontidão permanente, com veículos e equipamentos adequados ao controle de emergências ambientais, denominadas de EPAE (Equipes de Pronto Atendimento a Emergências Ambientais), que atuam principalmente nos acidentes no transporte de produtos perigosos (MMA, 2001).

É importante ressaltar que alguns tipos de risco interagem, em maior ou menor grau. O risco envolve três pontos: a causa do risco, a trajetória e o alvo. Em se tratando de contaminação ambiental por radionuclídeos, pode-se exemplificar: o urânio e seus descendentes, como causas, a água como agente de transporte, utilizando a drenagem como trajetória e a contaminação dos solos e águas subterrâneas, com impacto direto à saúde humana, nessa análise a comunidade representa o alvo (Veyret, 2007). Assim o risco natural relativo a esses elementos está intrínseco nas relações de troca de matéria e energia envolvidas nos processos erosivos laminares relacionados aos eventos de chuva intensa, demonstrando a força da ação hidrológica na dissolução e carreamento de material na modelagem dos relevos. (Lemos, 2013; Marino *et al.*, 2013; Escobar *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2002; Viana, 2010).

Os desastres naturais, de qualquer natureza, sempre acarretam danos à sociedade, seja na forma de prejuízos materiais, abrangência de seus impactos socioambientais e principalmente por vidas perdidas pela surpresa e velocidade da ocorrência. Em vista disso a previsão desses eventos tem sido alvo de pesquisas e trabalhos técnicos que buscam a compreensão dos fenômenos envolvidos em cada tipo de desastre, obter dados a partir de observações e medidas continuamente para criar bases de dados integradas, que possam apoiar decisões e se possível prognosticar cenários possíveis antecipadamente, com o objetivo de minimizar perdas (Veyret, 2007; Escobar *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2002).

A mineração representa uma atividade que envolve diversos riscos operacionais, que podem atingir todo o sistema de operações e em quase todos os países, é exigida previamente um estudo de impacto ambiental ou de outra forma de estudo ambiental, para que seja possível descrever as consequências e os riscos potenciais relativos à implantação, operação e desativação de um empreendimento, se possível aplicar instrumentos de monitoramento e outras medidas como uma propostas para evitar, reduzir ou compensar os impactos negativos e valorizar os positivos.

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente recomenda que as empresas desenvolvam programas para aumentar a conscientização dos riscos e a preparação das empresas e das comunidades vizinhas para o caso de acidentes tecnológicos. Além disso, incluiu a mineração no rol de atividades para as quais são recomendadas ações, inclusive no período posterior ao fechamento das minas (UNEP, 2001). Por outro lado, é de se notar que os estudos de análise de riscos exigidos no Brasil para fins de licenciamento ambiental raramente são aplicados para a mineração. (Sanchez, 1994, p. 196)

Todo programa de gerenciamento ambiental pressupõe o monitoramento como parte fundamental para a eficiência dos processos e eficácia da sua implementação. A integração de informações e o fluxo contínuo da comunicação são base para qualquer programa de monitoramento, pois fornece informações estratégicas de forma rápida. O gerenciamento dos riscos e deve ser desenhado com esse objetivo (Sanchez, 1994; Sanchez, 2007). De maneira ampla todos os segmentos econômicos e sociais concordam que o controle dos riscos e impactos negativos são importantes para adquirir confiabilidade em seu projeto ou empreendimento.

O monitoramento é também importante no relacionamento da empresa com órgãos de governo e com o público. Um programa confiável e completo de monitoramento permite, por exemplo, comparar níveis de concentração de determinados poluentes, antes e depois da instalação da indústria ou da modificação de algum processo produtivo ou sistema de controle de emissões. (Sanchez 1994, p. 70)

O monitoramento é componente essencial do processo de gerenciamento de riscos. Entretanto é necessário que o monitoramento vá além das grandezas físicas, ou seja, o monitoramento da ocorrência de poluição, utiliza outros parâmetros que dependem intimamente do tipo de ecossistema e incluem indicadores físicos, químicos e ecológicos e seus impactos sociais.

Os impactos sobre os ecossistemas requerem formas de gerenciamento diferentes daquelas aplicadas ao controle da poluição industrial e suas consequências no meio urbano. Sendo a poluição geralmente definida como a presença ou o lançamento ou a liberação de qualquer forma de matéria ou energia que afete negativamente o homem ou outros organismos, esse indicador pode ser medido ou estimado com o auxílio de instrumentos adequados e ser expressa na forma de grandezas físicas, como a concentração de determinada substância na água, no ar ou solo; os níveis de pressão sonora, vibração, radioatividade, etc., observando sistemicamente as relações entre as ações antrópicas e o ambiente (Sanchez, 1994; Sanchez 2007).

A valorização do monitoramento como um dos principais instrumentos de gestão ambiental é uma tendência tecnológica importante em todo o mundo, inclusive no Brasil. Em outros países, já pode ser vista uma inversão da importância dos estudos de impacto ambiental e do licenciamento ambiental, em relação ao monitoramento, que na realidade é o instrumento capaz de indicar os impactos efetivamente gerados pelo empreendimento. (MMA, 2001 p. 16)

Quando se verificam os reflexos dos impactos na sociedade e os utilizam como indicador de sustentabilidade, a abordagem de análise que está sendo aplicada é a Geoecologia da Paisagem, onde existe uma preocupação com a causa dos problemas ambientais como sendo “uma combinação dos diferentes objetos de racionalidade ambiental, manifestando-se os processos que desarticulam a estrutura e o funcionamento dos geossistemas naturais” (Rodrigues, Silva e Cavalcanti, 2010, p.139). Os impactos sobre os ecossistemas ocorrem na forma de destruição ou modificação de habitats; de imitação de disponibilidade de um ou mais recursos, como energia solar, água e nutrientes; ou a criação de diversos tipos de estresses, como os representados pela movimentação de pessoas ou veículos ou pela emissão de poluentes (Sanchez, 1994, Sanches 2007).

Ainda conforme Sanches (1994), dentre as preocupações do gerenciamento de riscos ambientais no âmbito ecológico estão:

- a limitação das áreas a serem desmatadas,
- o manejo da fauna e
- a recuperação de habitats.

As questões relacionadas aos impactos sociais são as menos evidentes e menos compreendidas pelos setores gerenciais das empresas de mineração, assim sendo, causam menos preocupação para os gestores dos empreendimentos, muitas vezes, além de não serem percebidas, não são compreendidas em seus diversos aspectos. Questões relacionadas aos impactos causados pelo tráfego de caminhões de transporte de minério, além dos aspectos psicológicos causados pela ansiedade da exposição ao risco pelo desmonte de rochas com explosivos, ruídos e vibrações entre tantos outros exemplos. Esses impactos são frequentemente relatados como reclamações ilegítimas da comunidade (Sanchez, 1994).

Desse modo, conforme Sanches (1994), a análise de risco serve de apoio as decisões gerenciais e operacionais num empreendimento mineiro:

A análise de riscos é uma ferramenta com múltiplas aplicações e pode ser usada com diversos enfoques. No planejamento de uma nova mina e na desativação de

uma mina existente, a análise de riscos possibilita a identificação de perigos e de situações críticas que possam acarretar acidentes ou perdas para a empresa, para a comunidade e para o ambiente. (Sanchez, 1994, p.196)

Atualmente, entende-se que o monitoramento deve ser previsto para todos os efeitos ambientais possíveis no empreendimento. Assim, projetos de maior porte e mais desenvolvidos tecnologicamente realizam monitoramento de outras variáveis além dos parâmetros ambientais tradicionais (como ar, água, efluentes etc.), mas também de outros efeitos, como por exemplo, impactos socioeconômicos positivos ou negativos, de ocorrências arqueológicas, de eventos acidentais, de evolução da reabilitação etc. (MMA, 2001).

A avaliação de impacto ambiental é uma ferramenta em contínua evolução e uma das inquietações atuais é determinar o seu real peso nas decisões governamentais e empresariais. Um dos pontos em debate diz respeito a uma ampliação de foco, para que estas avaliações passem a tratar dos dois outros requisitos do desenvolvimento sustentável, a sustentabilidade econômica e a social. Assim, tem início uma nova tendência de se perguntar qual a contribuição líquida de um projeto para o desenvolvimento sustentável, como ocorreu no segmento norte-americano do projeto MMSD – *Mining, Minerals and Sustainable Development* (IISD, 2004). [...] (Sanchez, 1994, p.196)

Modernas tecnologias para monitoramento ambiental foram desenvolvidas com ampla utilização, desde o uso de bioindicadores, sistemas de medição automática de radioatividade, qualidade do ar, emissões de material particulado na atmosfera, qualidade das águas e controle efluentes de líquidos e técnicas de reuso já se encontram disponíveis (MMA, 2001).

Conforme Sánchez (2006) a Avaliação de Risco Ambiental muitas vezes é percebida como a Avaliação de Impacto Ambiental, assim frequentemente os termos: avaliação de risco, gerenciamento de riscos e análise de risco são empregados como sinônimos, apesar de terem significados diferentes.

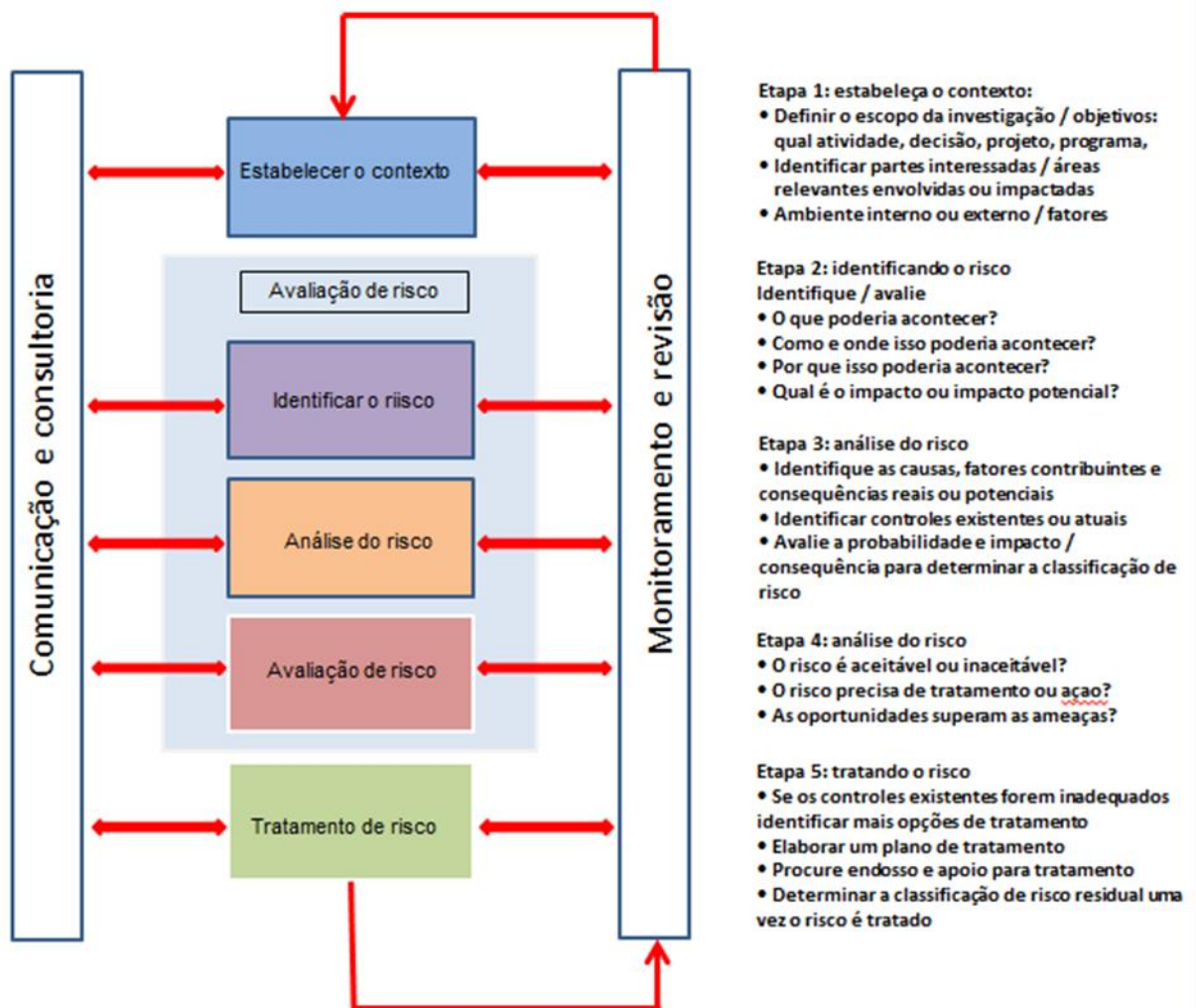
o risco uma medida que combina a probabilidade ou frequência da ocorrência de um evento que possa causar danos, e a magnitude das consequências adversas à saúde humana ou aos receptores ambientais, tanto naturais como antrópicos, decorrente à exposição a um perigo. (Viana, 2010, p.11)

Uma maneira de se quantificar o dano exercido por um fator estressante a um organismo ou população é através da relação Dose-Resposta ou Exposição-Resposta, que associa a níveis de exposição (ou doses) destes estresses a diferentes alterações sofridas pelos receptores em relação ao tempo (Viana, 2010).

A gestão de riscos é necessária cada vez a tomamos uma decisão para

desenvolver um projeto quando observando as metas e objetivos estratégicos, para executar com sucesso nossos planos operacionais. Ao observar a Figura 8, pode-se perceber que a comunicação e consultoria, participam continuamente de todas as etapas do processo, buscando garantir a base sobre a quais decisões devem ser tomadas diante da possibilidade e extensão do dano, desse modo selecionar ações em que os riscos são aceitos ou tolerados. Igualmente as etapas de monitoramento e revisão estão presentes pois buscam monitorar e revisar continuamente, verificando a eficácia dos controles ou remediação de risco, as mudanças no contexto ou circunstâncias, e documentação que deve relatar essas atividades de acordo com normas.

Figura 8- Esquema das etapas do monitoramento de riscos.



Fonte: *University of Adelaide*, adaptado pela Autora, 2018.

Para que o risco de um evento que cause danos possa acontecer,   necessário que

exista algo ou alguém para sofrer tal dano, e que necessariamente esteja no alcance de tal evento. Em outras palavras, um Perigo somente pode causar dano se existir um Receptor, e, necessariamente, exista uma Via de Exposição que ligue efetivamente tal Perigo ao Receptor (Figura 9).

Cabe ainda mencionar um componente deste conceito que precisa de explicação própria, os Caminhos de Exposição, que são os modos com os quais agentes de risco são transmitidos, como a rota com a qual certo receptor é exposto a uma substância tóxica (via ingestão de água, aérea, contato dérmico), representando a acessibilidade do receptor ao perigo.

Figura 9 – Esquema dos fatores que envolvem o risco (tripé do risco)



Fonte: Viana, 2010, adaptado pela Autora, 2018.

Tais caminhos podem ser avaliados verificando se os contaminantes estão expostos sem proteção, ou estão parcialmente ou completamente contidos, assim como se os perigos são de fácil identificação e percepção pelos receptores, prontamente notando o perigo e evitam a área, ou são impossíveis de detectar, camuflados, exibindo uma falsa sensação de segurança. Outro fator que influencia o encontro dos contaminantes é a existência de motivos para os receptores estarem presente, como incentivos ou atrativos para o local comprometido, ou pelo contrário, se a área é inóspita, de acesso complicado.

Os Receptores Humanos apresentam tantas respostas aos riscos quanto a complexidade da sociedade humana permite, desde a extrema aversão à busca de práticas propensas a danos. Diversas reações levam a indivíduos se tornarem possíveis receptores de perigos ambientais, como falta de informação, restrições monetárias, avaliação incorreta dos perigos, repudição à realocação, desrespeito a leis e recomendações, costumes locais e religiosos, entre outros. Além dos receptores humanos, existem os receptores ecológicos. No entanto, somente os

perigos que podem afetar a saúde humana são geralmente considerados em estudos ambientais. (Viana, 2010, p. 15)

O risco trata da relação entre a frequência de acidentes com suas respectivas consequências, desse modo pode-se estimar o risco de um empreendimento com base nos resultados quantitativos das etapas de estimar o risco, para evitar os danos ao homem e ao meio. Estas estimativas dependem de uma série de variáveis, diferentes para cada área, apresentando diferentes níveis de incerteza, assim é praticamente impossível descrever todos os riscos existentes (Viana, 2010). As observações para a avaliação do risco devem considerar além das questões materiais e ambientais, as situações que possam trazer vítimas fatais ou que tenham impacto na saúde humana das comunidades vizinhas, quando se faz essa análise é comum dividir esses aspectos em: Risco Social e Risco Individual.

A Análise de Riscos é uma atividade que engloba diferentes etapas, incluindo a avaliação de risco e o gerenciamento de risco.

A última etapa da análise de riscos envolve a tomada de providências, desde estruturais, procedimentais e educacionais, que visem a redução das frequências e consequências de eventuais acidentes, baseadas nas considerações feitas pelas etapas anteriores, em especial na Avaliação dos Riscos. Ainda assim, durante a sua operação, um empreendimento que utilize substâncias ou processos perigosos deve estar funcionando de acordo com padrões adequados, e sofrendo manutenção periódica. Para tal, é recomendável que um Programa de Gerenciamento de Riscos (PRG) seja implementado, tanto para as operações rotineiras como para as excepcionais. O objetivo do PRG é promover uma sistemática que, baseada em atividades de gestão, atenda a todas as operações e equipamentos, priorizando ações de gerenciamento de risco baseadas nos cenários acidentais propostos, sendo documentadas e estabelecida a responsabilidade de cada processo. (Viana, 2010, p.31)

A *International Organization for Standardization*, ISO publica guias que servem para sistematizar e avaliar sistemas de gerência empresarial, em seus mais diversos aspectos: a ISO 9001 em vem apoiar a gestão da qualidade e é o melhor sistema internacional estabelecido de padrões, amplamente utilizado. ISO 14001 - Sistemas de gestão ambiental e ISO 45001 - Gestão de saúde e sistemas de segurança ocupacional. A ISO 31000 fornece muitas e valiosas informações e representa um guia de alto nível para o gerenciamento de risco. No entanto, não há *check list* ou um passo a passo para implementação dessa padronização de forma integrada, assim sendo é um desafio organizar e sistematizar um plano de gestão de riscos, pois é necessário que a gestão ambiental e a saúde e segurança do trabalhador estejam alinhadas para o sucesso da implementação da ISO 31000.

Conforme a ISO 31000, as matrizes de probabilidade/consequência, também

conhecidas por matriz de risco, podem ser aplicadas em diversas áreas, para diversos tipos de riscos. Combinam classificação qualitativas ou semiquantitativas de consequências e probabilidades, com objetivo de fornecer uma classificação de risco. O formato da matriz e as definições a ela aplicadas dependem do contexto em que ela é utilizada. É comumente adotada como uma ferramenta de seleção quando muitos riscos foram identificados, por exemplo, para definir quais riscos necessitam de análise adicional ou mais detalhada, quais riscos necessitam primeiro de tratamento, ou quais riscos necessitam ser referidos a um nível mais alto de gestão. Também pode ser utilizada para selecionar quais riscos não precisam de maior consideração neste momento.

As vantagens da matriz de probabilidade/consequência são sua facilidade de uso e a capacidade de fornecer de forma rápida uma classificação dos riscos em diferentes níveis de significância. Dentre as limitações estão fatores relacionados a subjetividade que pode apresentar resultados diferentes em determinadas situações, desse modo uma matriz deve ser projetada para ser apropriada às circunstâncias de forma que pode ser difícil ter um sistema comum aplicável em diversas circunstâncias pertinentes para um empreendimento, sendo por vezes difícil combinar ou comparar o nível de risco para diferentes categorias de consequências. A seguir os quadros 1, 2 e 3 apresentam uma síntese da construção da matriz probabilidade/consequência:

Quadro 1 – Quadro da classificação dos riscos

CLASSIFICAÇÃO DE RISCO - AÇÃO DE GERENCIAMENTO NECESSÁRIA
Risco extremo = atenção imediata e resposta necessária; requer uma avaliação de risco e plano de gestão elaborado pelos gerentes seniores relevantes para o vice-chanceler; risco supervisão pelo Conselho ou pelo Comitê Permanente ou Comitê de Gestão
Alto risco = risco de receber atenção apropriada e demonstrar que é gerenciado; relatado ao vice-chanceler ou outros executivos seniores / comitês de gestão, conforme necessário
Médio risco = avaliar o risco; determinar se os controles atuais são adequados ou se mais ação ou tratamento é necessário; monitorizar e rever localmente, por ex. através de regular práticas de negócios ou reuniões de área local
Baixo risco = gerenciar por procedimentos de rotina; reportar aos gerentes locais; monitorar e revisar localmente, conforme necessário

Fonte: ISO.31000, adaptado pela Autora, 2018.

Quadro 2 – Quadro dos níveis de probabilidade

nível	Descrição da probabilidade
A Quase certo	Altamente provável de acontecer, possivelmente com frequência
B Provável	Provavelmente acontecerá, mas não um problema persistente
C Possível	Pode acontecer ocasionalmente
D Improvável	Não é esperado que aconteça, mas é uma possibilidade
E Raro	É muito improvável que isso aconteça

Fonte: ISO.31000, adaptado pela Autora, 2018.

Quadro 3 – Quadro da matriz probabilidade/consequência

MATRIZ DE RISCOS					
CONSEQUENCIA PROBABILIDADE	1 Insignificante	2 Mínimo	3 Moderado	4 Máximo	5 Extremo
A - Quase certo	M	M	H	E	E
B - Provável	L	M	H	H	E
C - Possível	L	M	M	H	H
D - Improvável	L	L	M	M	H
E - Raro	L	L	L	L	M

Fonte: ISO.31000, adaptado pela Autora, 2018.

3.4.1 Controle e Monitoramento

Um diagnóstico ambiental dos recursos hídricos deve ser realizado com base nas características físicas de uma bacia hidrográfica, o que remete à necessidade de espacialização das variáveis que melhor representam esse meio físico (Gonçalves *et al.*, 2016). Em uma bacia hidrográfica, o comportamento hidrológico está fortemente relacionado com suas características morfológicas, dentre elas, a cobertura vegetal, área, forma e topografia. As formas de relevo oriundas de ambientes fluviais estão relacionadas aos processos erosivos e de sedimentação.

Desse modo a eficiência da gestão ambiental depende em grande parte de levantamentos e estudos sistemáticos prévios sobre os principais elementos e condicionantes do meio físico. A ocupação inadequada do espaço e a utilização indevida dos recursos naturais podem acarretar sérios problemas ambientais (Lopes e Saldanha, 2016).

Quanto aos recursos hídricos, observa-se que a proteção dos mananciais não ocorre de maneira sistemática, visto que as bacias hidrográficas brasileiras são alvo de significativas alterações de suas características naturais, em função das atividades antrópicas. Em razão de impactos antrópicos no meio ambiente, em especial nos usos da água e solo na bacia que os contém, observa-se uma política de importar água de bacias hidrográficas cada vez mais distantes dos centros urbanos, para satisfazer as necessidades e o crescimento da demanda. (Gonçalves *et al.*, 2016)

Entre as ações de gerenciamento estão a delimitação das áreas a serem desmatadas, o manejo da fauna e a recuperação de *habitats*. No caso do manejo dos ecossistemas o monitoramento é igualmente componente essencial do processo de gerenciamento de riscos de um empreendimento. No entanto, as instâncias monitoradas não unicamente as grandezas físicas, como na ocorrência de poluição e resultado de outras medições, mas utilizam-se outros parâmetros que dependem do tipo de ecossistema e incluem indicadores físicos, químicos e ecológicos. (Sanches, 1994)

Os Impactos sociais trazem questões de diversas ordens, seja relativo desconfortos e exposição a fatores e casam impactos à saúde humana e animal, a contaminação de solos e a drenagem, representando uma problemática que talvez uma das menos compreendidas pelos setores gerenciais das empresas industriais ou de mineração. Questões como o incômodo causado pelo tráfego de caminhões de transporte de minério, emissão de poeiras e ruídos, além da ansiedade causada pelas vibrações decorrentes do desmonte de rochas com explosivos, apenas para citar apenas dois exemplos. Essas questões são frequentemente vistas como aspirações não legítimas da comunidade e são causas de intensos conflitos (Sanches, 1994).

O acompanhamento, por meio de instrumentos e procedimentos operacionais, fornece informações sobre a presença de poluentes e ainda, sobre a atividade de radionuclídeos em pessoas, em um determinado compartimento de uma instalação ou em materiais específicos. De acordo com Silva (2013) o monitoramento das dosagens é uma metodologia aplicada em diversos ambientes expostos a radiação, seja para protocolos da saúde do trabalhador em radiologia em saúde, bem como os trabalhadores que estão de alguma maneira expostos ao contato com materiais ou gases. O objetivo é sempre ter o controle da contaminação ou a avaliação da exposição à radiação, incluindo a interpretação dos resultados (Almeida Junior *et al.*, 2007).

Quando se trata da mineração, os impactos na saúde do trabalhador e nas comunidades circunvizinhas necessitam de monitoramento constante, e ao se tratar de

radionuclídeos fica evidente que a contaminação se dá de maneira muito difusa, pelo solo, água e ar, ou ainda pelo contato com as fontes contaminantes, a preocupação com todo tipo de resíduo e rejeito é eminente devido os vetores e materiais passíveis de poluir. A CNEN considera rejeito radioativo “todo e qualquer material resultante de atividades humanas, que contenha radionuclídeos em quantidades superiores aos limites estabelecidos pela CNEN, cuja reutilização é imprópria ou não prevista” (CNEN, 2001).

Conforme Almeida Junior *et al.* (2007) os métodos de monitoramento devem ser capazes de fornecerem estimativas dos limites de dose admitidos pela autoridade competente do país, possibilitando a verificação de concordância com os limites, as condições de obediência aos limites e as condições de proteção radiológica, quando da saúde do trabalhador. O Quadro 4 apresenta os tipos de monitoramento que são realizados para o controle ocupacional (Silva, 2003):

Quadro 4 - Tipos de monitoramento para controle operacional.

Tipo de Monitoramento		Proposição	Local e Tipo de Controle
Monitoramento Ambiental	Monitoramento de Área / Levantamento Radiométrico	Verificação de contaminação radioativa em taxas de doses	Ambiente externo e Ambiente de trabalho
		Controle de eliminação de efluentes radioativos	
		Análise de amostras ambientais	
		Verificação de taxas de Radônio / Torônio	
	Verificação da eficiência de blindagens e verificação de blindagens de fontes – teste de fuga	Verificação de taxas de doses próximo à blindagem de fontes seladas ou equipamentos.	
	Verificação de taxas de doses em locais específicos	Ambiente externo e Ambiente de trabalho	
	Locais de manipulação e armazenamentos	Ambiente de trabalho	
Monitoramento Individual	Verificação de contaminação radioativa	Pessoas	Medidas de dose recebida por pessoas, sejam trabalhadores ou moradores
		Medidas de dose em indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE),	Medidas de dose recebida por trabalhadores, ou indivíduos ocupacionalmente expostos, IOE, durante a jornada de trabalho
		Medidas de contaminação e incorporação de radionuclídeos em pessoas.	Locais de trabalho onde as exposições caracterizam o trabalhador como IOE há

		necessidade de definir áreas e implementar algum monitoramento para determinar as doses ocupacionais
	Roupas e equipamentos de proteção individual	Verificação de taxas de doses em locais específicos
	Instrumentos e equipamentos	Verificação de taxas de doses em locais específicos

Fonte: Silva (2003), adaptado pela Autora, 2018

A saúde do trabalhador é evidentemente uma das mais importantes preocupações em qualquer ambiente de produção. As atividades da indústria e mineração expõem seus funcionários a situações de exposição à poluentes, ruídos, poeiras e outros elementos que tornam esses ambientes insalubres.

Nenhuma empresa terá bom programa de gerenciamento ambiental se não possuir mecanismos de ação para emergenciais ambientais, como acidentes industriais e vazamentos de produtos e insumos, dentro e fora do sítio industrial. (Sanches, 1994; 2007)

Esses programas incluem, em geral:

- análise de risco
- estudo de medidas preventivas
- programa de intervenção em caso de ocorrência de acidentes
- programa de comunicação, tanto interno como externo
- programa de treinamento em prevenção de riscos e medidas emergenciais

Em diversos países do mundo, as empresas de mineração necessitam realizar levantamentos para uma preparação prévia de estudos de impactos ambientais, uma vez faz parte das exigências para o licenciamento, estudos esses, que identifique e descreva as consequências potenciais advindas da implantação, operação e desativação de um empreendimento minero industrial, assim como fazer proposições buscando evitar, reduzir ou compensar os impactos negativos e valorizar os positivos. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente recomenda que as empresas desenvolvam programas para aumentar a conscientização dos riscos e a preparação das empresas e das comunidades vizinhas para o caso de acidentes. (Sanches, 1994)

3.5 Gestão da água

Para tratar das questões de uso e preservação dos recursos hídricos, utilizou-se da legislação como instrumento norteador e provedor de parâmetros de qualidade e potabilidade, tanto no âmbito da Agência Nacional de Águas e as instituições estaduais envolvidas com a gerência da água, quanto pela Fundação Nacional da Saúde (Funasa) e Ministério da Saúde:

A portaria Nº 2.914/11 discorre sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade no Capítulo I:

“Art. 3º Toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água.

Art. 4º Toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água, independentemente da forma de acesso da população, está sujeita à vigilância da qualidade da água.

O Capítulo II, que trata das definições, no seu artigo:

Art. 5º Para os fins desta Portaria, são adotadas as seguintes definições:

I - água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem;

II - água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde;” (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011).

Quando se trata dos múltiplos usos dos recursos hídricos, o CONAMA na Resolução Nº 357, entre outras que norteiam a Política Nacional de Águas:

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; Considerando que a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável, baseado nos princípios da função ecológica da propriedade, da prevenção, da precaução, do poluidor-pagador, do usuário pagador e da integração, bem como no reconhecimento de valor intrínseco à natureza; Considerando que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas; Considerando a necessidade de se criar instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação às classes estabelecidas no enquadramento, de forma a facilitar a fixação e controle de metas visando atingir gradativamente os objetivos propostos; Considerando a necessidade de se reformular a classificação existente, para melhor distribuir os usos das águas, melhor especificar as condições e padrões de qualidade requeridos, sem prejuízo de posterior e aperfeiçoamento; e Considerando que o controle da poluição está diretamente relacionado com a proteção da saúde, garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida, (CONAMA, 2005)

A Resolução ANA Nº 724, de 3 de outubro de 2011, publicada no Diário Oficial da União nº 201, em 19 de outubro de 2011, esta Agência contribui para a qualificação técnica e a harmonização dos procedimentos de coleta e preservação de amostras de águas entre os diversos atores que operam no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos brasileiros. Buscando garantir a disponibilidade de água de qualidade aos diferentes usos, pensando na conservação dos recursos para as gerações futuras, é necessário adequar as demandas à oferta, considerando as peculiaridades de cada território para uma eficiente gestão dos recursos hídricos do nosso país (ANA, 2011).

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a qual institui a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, tornando-se um marco decisivo para enfrentar a complexidade dessa questão, com o desafio de equacionar os potenciais conflitos gerados pelo binômio disponibilidade-demanda em função do crescimento urbano, industrial e agrícola, e o preocupante avanço da degradação ambiental de nossos rios e lagos (ANA, 2006).

3.5.1 Os princípios e instrumentos da gestão dos recursos hídricos

Desde 1934, o Brasil dispõe de um Código de Águas, entretanto, são necessários instrumentos capazes de permitir uma gestão descentralizada dos recursos hídricos. Para isso foram criadas diretrizes e definidos critérios para a gestão dos recursos hídricos através da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) – Lei nº9.433 (ANA, 2013). O modelo de gestão de recursos hídricos no Brasil baseou-se no francês. A França, desde 1964 em sua primeira lei sobre recursos hídricos, gerencia suas águas utilizando como unidade de referência a bacia hidrográfica. O modelo descentralizado de gerenciamento das águas foi criado pela Lei 64-1.245 (1964), relativa ao regime e à repartição das águas e à luta contra sua poluição, controle da qualidade da água, estabelecimento de padrões aceitáveis e criação de perímetros de proteção de mananciais. Nesta Lei foram definidos os grupamentos de bacias hidrográficas, sendo estes: Quatro delas foram organizadas em torno dos quatro cursos d'água mais importantes (Loire, Rhône, Garonne, Seine), as outras duas abrangem zonas de baixa dimensão (cursos d'água do norte da França) ou são cortadas por fronteiras (Rhin, Meuse). Em 1992, a França aprovou sua nova Lei das águas –*Le regime el la repartation dêxoux et la lutte contre leur pollution* - a qual reafirma os preceitos em prática desde 1964 (FERREIRA e FERREIRA, 2006). O modelo francês ou modelo de negociação é o que recebeu maior simpatia dos administradores públicos brasileiros quanto ao gerenciamento dos recursos naturais servindo como base para a Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997), pois considera, no modelo

de gestão as especificidades de cada região: aspectos biológicos, geológicos, climáticos, sociais, culturais e econômicos. Além disso, pressupõe a aplicação do princípio poluidor-pagador (ANA, 2013a).

Assim sendo, os órgãos responsáveis interatuantes, adotados no modelo francês são:

- A comissão interministerial do meio ambiente define as questões relativas à água e o meio ambiente de maneira integrada. Fazem parte desta comissão o Ministério da Saúde Pública, Indústria, Economia e Finanças;
- As agências de Água têm por missão o aporte de financiamento aos empreendedores públicos e privados que pretendem executar as obras e estudo de interesse comum na bacia;
- Os comitês Técnicos de Água são responsáveis por estudos do potencial hídrico;
- O Comitê de Bacia é tido como um Parlamento das Águas, devendo ser consultado sobre as grandes opções da política dos recursos hídricos na bacia;
- As coletividades locais são organizadas em comunas, regiões e departamentos e participam das deliberações dos organismos de bacia

A Constituição Federal de 1988 ao tornar claro que a gestão dos recursos hídricos não se daria por uma única instituição pública, mas por meio de um sistema previu que diversas instituições com diferentes atribuições se entrelaçariam com um objetivo único: a gestão das águas. No Gerenciamento dos Recursos Hídricos pode-se observar que quando se opta por criar um sistema para gerenciar os recursos hídricos, se estabelece que os diversos componentes, que são partes desse sistema, terão que trabalhar integrados (ANA 2013a). O modelo de gerenciamento de recursos hídricos começou a se estruturar no meio acadêmico, no VII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, em 1989, promovido pela Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Naquele momento foi elaborada a carta de Foz do Iguaçu, na qual eram considerados os princípios do modelo francês de gestão das águas: a bacia hidrográfica como unidade de gestão, o princípio do poluidor-pagador e da indissociabilidade de qualidade e quantidade. No poder público estadual, as iniciativas começaram com os estados de São Paulo, Ceará e Bahia.

Após o avanço nas políticas estaduais, a citar: Lei n° 7.663 (SÃO PAULO, 1991), Lei n° 11.504 (MINAS GERAIS, 1994), Lei n° 10.350 (RIO GRANDE DO SUL, 1994), Lei n° 6.855 (BAHIA, 1995) e Lei n° 6.908 (RIO GRANDE DO NORTE, 1996), é que foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos, que tem como fundamento que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades (ANA, 2015a).

Baseado neste fundamento foram criados os Comitês de Bacias Hidrográficas, que têm a missão de concretizar a gestão participativa dos recursos hídricos através da análise, estudos, debates e aprovação de propostas referentes à bacia e que podem integrar o Plano de Recursos Hídricos. A Lei n° 9.433 (BRASIL, 1997) também criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGERH) (ANA, 2011b). O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos incorpora o modelo sistêmico de integração e seus instrumentos, buscando um maior envolvimento do setor privado e da sociedade civil na gestão dos recursos hídricos, promovendo a descentralização, ou seja, procurando delegar aos estados o controle da gestão dos recursos hídricos de seus domínios. Também busca a sustentabilidade financeira, onde a bacia hidrográfica deve gerar os recursos financeiros para seus próprios investimentos. Além de tratar a água como um recurso natural limitado, a Lei n° 9.433/97 atribuiu também à água valor econômico. Assim, o uso da água tem um valor que pode ser mensurado a partir dos preceitos da economia. Quanto mais escasso um recurso, maior valor econômico ele tem. (ANA, 2013b).

3.5.2 Planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos no semiárido brasileiro

O perímetro que delimita o semiárido brasileiro abrange quase todo o Nordeste, região historicamente associada ao flagelo das secas. O mapa de distribuição de chuvas demonstra essa realidade, uma vez que a região apresenta índices pluviométricos anuais bem abaixo da média nacional (que é de cerca de 1.800 mm), o que exige um maior cuidado no uso dos recursos hídricos. Os longos períodos secos na região Nordeste são recorrentes e ainda hoje assustam seus habitantes. No semiárido brasileiro, a maior parte dos rios é intermitente, fato que dificulta a implantação de empreendimentos que exijam uma maior garantia de água e, conseqüentemente, o desenvolvimento econômico regional. Nesse sentido, desde o final do século XIX a solução dominante para o problema da escassez hídrica tem sido a construção de açudes para reserva de água. Para se ter uma ideia, dos cerca de 7.000 reservatórios artificiais com espelhos d'água acima de 19 hectares existentes no Brasil até

2013, aproximadamente 2.800 estão localizados na região Nordeste, ou seja, 40% do total. A existência de grandes açudes possibilitou a perenização de alguns rios nordestinos, fundamentais para a economia regional, tais como o rio Piranhas-Açu (PB/RN) e o rio Jaguaribe (CE) (ANA, 2015b).

Os reservatórios são responsáveis pela acumulação de água nos períodos chuvosos para o abastecimento das populações e irrigação das culturas nos longos períodos de estiagem. Além da enorme quantidade de açudes, o Nordeste possui uma extensa rede de canais e adutoras capazes de conduzir a água armazenada até os consumidores. Ou seja, a oferta de água na região é estritamente dependente de infraestruturas hídricas, que em muitos casos interligam diversas bacias e, portanto, influenciam decisivamente na forma de gestão do uso da água. Dessa forma, a lógica de atuação por bacia hidrográfica, preconizada pela Lei das Águas, nem sempre faz sentido no caso nordestino (ANA, 2015b).

O Ceará foi o primeiro estado do Nordeste e o segundo do País a aprovar a sua lei de recursos hídricos, em 1992, antes da Lei nº 9.433, de 1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Poucos anos depois, e ainda antes de 1997, mais três estados nordestinos aprovaram suas leis de recursos hídricos: Bahia, Paraíba e Rio Grande do Norte.

O Ceará também foi pioneiro em termos de estrutura organizacional para o gerenciamento de recursos hídricos, quando criou em 1993 a Companhia de Gestão de Recursos Hídricos – COGERH, uma entidade voltada especificamente para o gerenciamento de recursos hídricos no estado. De um total de 156 unidades de planejamento de recursos hídricos, até 2013, 32% possuíam Comitês de Bacia Hidrográfica e nenhuma delas possuía agência de água, com exceção do Ceará, onde a COGERH desempenha esse papel. De forma geral, deve-se avançar na otimização do uso dos recursos hídricos no semiárido por meio de um processo de gerenciamento integrado e mais eficiente. Seria importante avaliar a forma de implementação do gerenciamento integrado de recursos hídricos frente à sua realidade específica da Região Nordeste.

Nesta avaliação, um dos principais aspectos a ser considerado e que diferencia a região do restante do país, é a escassez hídrica, que também tem impacto sobre a sustentabilidade financeira dos sistemas de gerenciamento de recursos hídricos da região. A gestão de águas nas bacias nordestinas possui dificuldades em relação às demais bacias do país, em virtude da necessidade de construção, operação e manutenção de infraestruturas hídricas que garantam a disponibilidade de água através do estado, esses e outros custos relacionados, na maioria dos estados apenas contam com recursos orçamentários próprios, já que a implementação da cobrança ainda é incipiente (ANA, 2015b).

3.6 Processos hidro geomorfológicos atuantes na paisagem

A erosão laminar é muito comum em ambientes semiáridos devido ao tipo de drenagem característica de ambientes cristalinos. A proximidade de vertentes bastante dissecadas, no caso de ocorrência de enxurradas por aumento de volume pluviométrico concentrado pode acarretar mobilização de material grosseiro e possivelmente atua de maneira intensa no topo dos relevos que abrigam as jazidas (Vasconcelos e Cunha, 2011; Melo *et al.*, 2005). Quanto mais dissecado o ambiente onde ocorre a jazida e conforme mais exposto estiver, mais facilmente os radionuclídeos serão mobilizados no meio. O gás radônio (^{222}Rn) é reconhecido como agente cancerígeno e é facilmente liberado no ambiente devido a sua alta solubilidade em água, contaminando solos e águas subterrâneas, representando um risco silencioso, por ser inodoro. (Pires, 2012; Bonotto, 2004).

O reconhecimento das feições do terreno é importante para determinar a estabilidade dos ambientes e o uso de geotecnologias tem facilitado a exploração de informações espaciais, colaborado com as pesquisas tornou-se um importante instrumento de gestão e monitoramento de usos e de recursos (Silva *et al.*, 2011). Com os avanços na aquisição de dados por sensoriamento remoto e *softwares* de informações geográficas, facilitou a delimitação, as caracterizações morfométricas e morfológicas de uma bacia de drenagem, simplificando e agilizando o processamento e fornecendo produtos sofisticados e que servem como instrumentos aplicados em análises ambientais regionais ou locais, com o objetivo de compreender a dinâmica ambiental e os riscos (Castro e Carvalho, 2009; Lemos, 2013; Marino *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2012; Escobar *et al.*, 2013).

A análise dos aspectos litológicos, estruturais e das alterações causadas pelo paleoclima ao longo do tempo são fundamentais para compreender a fisionomia dos relevos e sua gênese. O embasamento muito antigo da área de interesse está presente e com zonas de cisalhamento e falhas que controlam estruturalmente os ambientes da porção central do Ceará. Os produtos resultantes variam de acordo com a litologia e geologia da área conferindo uma diferenciação qualitativa ao ambiente (Maia *et al.*, 2008; Tavares *et al.*, 2015). A declividade, a amplitude, tipo de perfil e as variações transversais são outras condicionantes morfogênicas do processo erosivo. Conforme Waltrick (2010) “A erosividade média anual é maior quanto maior a precipitação média anual e quanto maior for a variabilidade da chuva ao longo do ano. Nas regiões tropicais, mais de 40% das chuvas são consideradas erosivas, enquanto nas regiões de clima temperado, esse percentual é em torno de 5%” (Waltrick, 2010, *apud* Batista, 2015). A análise das variáveis morfométricas e dos

modelos hidrológicos de uma área é capaz de apresentar um cenário onde é possível perceber a estabilidade dos ambientes e planejar ações para evitar impactos ambientais relacionados ao uso e ocupação do solo, tendo como unidade ambiental a bacia ou a sub-bacia. Por esta razão, os índices morfométricos podem fornecer informações de apoio ao planejamento das atividades econômicas, sendo possível reconhecer as inter-relações dos processos e as características quantitativas da bacia, como por exemplo, a susceptibilidade a ocorrência de cheias e a densidade e forma da drenagem (Santos *et al.*, 2015).

O manejo e a modelagem de bacias de drenagem requerem o conhecimento específico de suas características físicas, como forma e dinâmica climática e evolutiva, sendo imprescindível a correta interpretação das estruturas geológicas e das feições geomorfológicas envolvidas na sua área de abrangência. A caracterização de uma bacia hidrográfica pode ser obtida através da análise dos modelos de elevação e dos vários planos de informação podem ser gerados em forma de novas imagens *raster*, obtidas através de processamento de algoritmos para reconhecimento de feições do relevo. (Paz e Collischonn, 2008; Oliveira *et al.*, 2012; Santos *et al.* 2015).

A análise geomorfológica pode ser realizada empregando-se diversos produtos digitais processados por sistemas computacionais. Antes da disponibilidade desses produtos em meio digital, a extração da drenagem era construída por métodos de restituição manual ou por meio de digitalização de cartas topográficas e como resultados obtinham-se as métricas do terreno. Com o avanço das técnicas de sensoriamento remoto, de *softwares* de processamento de imagens de satélite e dos sistemas informação geográfica (SIG), as funcionalidades avançaram e se automatizaram, empregando para tanto, métodos específicos para extração de informações geomorfológicas a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE) (Batista *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2015; Castro e Carvalho, 2009; Florenzano, 2008). Florenzano (2008) salienta que, graças aos avanços tecnológicos, a geomorfologia tem a seu dispor um novo instrumental baseado em imagens com melhores resoluções espacial, espectral e temporal, geradas a partir de sensores ópticos e de radares interferométricos. A partir das imagens, com as inovações dos SIG, é possível visualizar o espaço geográfico em três dimensões, obtendo variáveis morfométricas essenciais nos estudos geomorfológicos, tais como dados de altitude, declividade, orientação de vertentes, áreas de acumulação, modelos de elevação, entre outras.

O intemperismo é um processo de modelamento das vertentes, pois age desgastando o substrato rochoso mais superficial, produzindo os materiais que serão transportados e depositados ao longo das vertentes. Ao se falar em processos formadores do relevo, a erosão é o processo mais importante e ao se combinar com outros fatores, pode

desencadear desastres naturais, como os movimentos de massa, principalmente em vertentes com declividade acentuada, eles são responsáveis pela evolução das vertentes, onde proporciona uma estreita inter-relação entre a morfologia da vertente e o tipo de escoamento superficial (Carmo *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2012). Os processos atuantes mais comuns nas vertentes de encostas são aqueles associados ao escoamento superficial, como os produzidos por erosão ou movimentos de massa, por água.

As variáveis morfométricas podem descrever os processos morfogenéticos envolvidos na formação do relevo e que condicionam sua estabilidade, a relação entre o embasamento, a cobertura e a atuação hidrológica nos ambientes é o que lhes confere maior ou menor suporte, propiciando condições de deslizamento de massa. Nas áreas semiáridas, os solos apresentam pouca profundidade, com encostas, as escarpas formadas em material mais resistente e que confere certa estabilidade às encostas (Melo *et al.*, 2005).

Os movimentos de massa nas vertentes são resultados dos processos erosivos incidentes no relevo, quanto maior a inclinação das vertentes, maiores serão as chances de ocorrer desestabilização do material e o conseqüente carreamento, entretanto o tipo litológico tem grande influência, considerando os mais resistentes como ambientes medianamente estáveis (Oliveira *et al.*, 2012; Castro e Carvalho, 2009). A declividade e a amplitude e o tipo de perfil e as variações transversais são outras condicionantes morfogênicas participantes do processo erosivo (Suguio, 2003; Machado *et al.*, 2011; Guerra e Cunha, 2012; Carmo *et al.*, 2015).

A direção e modelo do fluxo de sedimentos dependem diretamente do material de origem, sendo mais espalhado quanto mais resistente for o substrato, podendo mobilizar sedimentos de áreas menos resistentes, como as argilas ou areias, em forma de corridas de lama, em resposta a volumes de chuva mais intensos e rápidos, depositando nos vales de acumulação (Oliveira *et al.*, 2014; Lemos, 2013; Marino *et al.*, 2013; Rehbein *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2002).

Escorregamentos por percolação são ocorrências comuns em períodos de chuva, quando há elevação do lençol freático ou apenas por saturação das camadas superficiais de solo. Quando o lençol freático atinge o talude, o surgimento de nascentes acontece, intensificando o trabalho hidro geomorfológico (Suguio, 2003; Guerra e Cunha, 2012). A dinâmica dos rios e riachos no semiárido apresentam características marcantes em seu regime de descarga e transporte de sedimentos e na modelagem dos leitos, como resultado da sazonalidade das chuvas e ao intemperismo físico atuante. A malha hidrográfica apresenta canais entrelaçados, devido ao intemperismo mecânico predominante e abundante carga de

fundo, declividades mais acentuadas próximo as nascentes, alta erodibilidade das margens em virtude da presença de material mais grosseiro e vegetação esparsa e pela alta variabilidade de descarga. Padrões do tipo canal simples, com fundo plano, caracterizado por trechos largos.

Com a variabilidade de fluxo, como referido, os episódios de chuvas intensas em curto período aceleram a erosão laminar, uma vez que ao atingir as margens planas e desprovidas de vegetação, como as que predominam os terrenos cristalinos, o fluxo ultrapassa o leito, provocando aumento da largura do canal e forte movimentação de material, mediante a intensidade das precipitações. Uma malha hidrológica difusa sobre o embasamento cristalino, de tipologia dendrítica, associada às temperaturas elevadas e às precipitações irregulares no espaço e no tempo, provocam um balanço hídrico negativo com déficit hídrico na maior parte do ano, fazendo com que os riachos tenham um escoamento sazonal e intermitente, tornando a gestão dos recursos hídricos um importante instrumento de desenvolvimento social e econômico (Vasconcelos e Cunha, 2011).

O fluxo superficial intenso transporta sedimentos para além do leito dos riachos, possibilitando que águas penetrem em falhas, e ainda uma parte seja absorvida pelos solos mais espessos em alvéolos sedimentares. O entendimento do fluxo superficial, bem como da estabilidade dos relevos de maiores altitudes e submetidos a processos de erosão (Suguio, 2003; Guerra e Cunha, 2012) que são expressos na morfometria, possibilita a caracterização do risco de contaminação de ambientes naturais. Em virtude da pouca chuva e diferenças consideráveis, entre temperaturas mínima e máxima diária, o que fragiliza e fragmenta as rochas, conferindo instabilidade às encostas e taludes, mesmo sem grande ação hidrológica constante, apresenta risco de impactos mais intensos relativos à dispersão natural de radionuclídeos nos eventos grande volume pluviométrico, onde os materiais são carreados.

A análise das variáveis morfométricas e dos modelos hidrológicos de uma área são capazes de apresentar um cenário onde é possível perceber a estabilidade dos ambientes e planejar ações para evitar impactos ambientais relacionados ao uso e ocupação do solo, tendo como unidade ambiental a bacia ou a sub-bacia (Silva *et al.*, 2011). As variáveis morfométricas são instrumentos importantes para análise geomorfológica de uma região, pois permitem estudar os processos de evolução e das formas de relevo. Esse tipo de análise também possibilita deferir a suscetibilidade de um terreno por meio das observações do comportamento que ele possa apresentar devido a sua forma geométrica, permitindo um prognóstico preventivo as suscetibilidades que o terreno possa oferecer (Carmo *et al.*, 2015).

As inúmeras formas de relevo e suas características garantem uma relação direta

com a geologia, os solos e a hidrografia (Guerra e Cunha, 2012). De acordo com Crepani *et al.* (2001), o grau de estabilidade/vulnerabilidade do tema geomorfologia, varia de acordo com os índices morfométricos, por exemplo a hipsometria e a declividade das encostas (Lopes e Saldanha, 2016; Gomes, 2011), são fatores fundamentais para o estudo da erosão, sendo difícil diagnosticar com segurança as áreas suscetíveis a processos erosivos e aos movimentos de massa, sem o conhecimento mais aprofundado da morfologia do terreno e de seus processos associados.

De acordo com Florenzano (2008), na análise de vulnerabilidade do solo, é considerado o grau de maturidade como o produto direto do balanço morfogênese/pedogênese. A autora indica claramente que se prevalecem os processos erosivos da morfogênese, são gerados solos jovens, pouco desenvolvidos, ou se, no outro extremo, as condições de estabilidade permitem o predomínio dos processos de pedogênese, há a geração de solos maduros, profundos, lixiviados e bem desenvolvidos (Lopes e Saldanha, 2016).

Segundo Guerra e Cunha (2012), o equilíbrio da encosta depende da quantidade de material intemperizado disponível, da quantidade de chuvas, da vegetação, da geologia e principalmente da morfologia do terreno e do grau de declividade das encostas. Qualquer alteração em um desses fatores pode deflagrar os movimentos de massa. Portanto, é válido dar maior credibilidade ao estudo da morfologia do terreno, identificando possíveis pontos de suscetibilidade para posteriormente fazer cruzamentos com outras variáveis, como solo, vegetação e tipos de ocupação do terreno (Carmo *et al.*, 2015).

A análise morfométrica de bacias hidrográficas é um importante recurso para caracterizar e identificar a dinâmica de um sistema fluvial, pois os cursos de água constituem elemento morfogenéticos dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre (Christofolletti, 1980). Os parâmetros utilizados relacionam o relevo e a rede de drenagem, e servem de base para as análises linear e hipsométrica da bacia. Considerando a relação da energia atuante nos processos e a rugosidade do relevo da bacia. (Deodoro e Fonseca, 2016)

3.6.1 Tecnologias para identificar e monitorar os processos atuantes na modelagem das bacias hidrográficas

A caracterização de uma bacia hidrográfica pode ser obtida através da análise dos modelos de elevação e vários planos de informação podem ser gerados em forma de novas imagens *raster*, na determinação das áreas de acumulação, das sub bacias e outras

informações da drenagem se dá através de processamento de algoritmos como instrumento de apoio à gestão ambiental (Oliveira *et al.*, 2014; Paz e Collischonn, 2008; Marino *et al.*, 2013; Sena-Souza, 2013; Rehbein *et al.*, 2012; Santos *et al.* 2002).

O manejo e modelagem de bacias de drenagem requer o conhecimento específico de suas características físicas, como forma resultante de dinâmica climática e evolutiva, sendo imprescindível a correta interpretação das estruturas geológicas e das feições geomorfológicas envolvidas na sua área de abrangência (Oliveira *et al.*, 2014; Vasconcelos e Cunha, 2011).

A disponibilidade gratuita, tanto de imagens quanto de *softwares* para processamento, através de *sites* na internet, possibilita a realização de estudos a baixo custo e com bons resultados. Imagens de satélite com diferentes resoluções, para qualquer lugar na Terra, podem ser facilmente obtidas através de *download* gratuito. Aliada à aquisição desses dados, a utilização de *softwares* livres no processamento e extração de informações amplia as possibilidades de pesquisas sobre temas relevantes em geomorfologia, com aplicações diretas em hidrologia pela análise da drenagem, entre outras possibilidades (Nanni e Chaves, 2011).

A caracterização de uma bacia hidrográfica, a determinação das áreas de acumulação, limites das sub bacias e outras informações da drenagem se dão através de processamento de algoritmos e são utilizados como instrumento de apoio à gestão ambiental (Paz e Collischonn, 2008). Conforme Christofolletti (1980) a análise morfométrica de bacias hidrográficas é um importante recurso para caracterizar e identificar a dinâmica de um sistema fluvial, pois os cursos de água constituem elemento morfogenético dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre (Deodoro e Fonseca, 2016; Carmo *et al.*, 2015; Gomes, 2011; Gomes, 2015)

A partir das imagens, com as inovações dos SIG, é possível visualizar o espaço geográfico em três dimensões, obtendo variáveis morfométricas essenciais nos estudos geomorfológicos, tais como dados de altitude, declividade, orientação de vertentes, áreas de acumulação, modelos de elevação, entre outras.

O GRASS-GIS (*Geographic Resources Analysis Support System*, <http://grass.itc.it>) é um SIG, com módulos para processamento e georreferenciamento de imagens multiespectrais, manipulação de dados em formato *raster* e vetorial, com interfaces para bancos de dados *PostgreSQL*, *MySQL*, *SQLite*, *DBF* e *ODBC*, além da possibilidade de conexão a *UMN/Mapserver*, *R-stats*, *Gstat*, *Matlab*, *Octave*, *Povray*, *Paraview* e outros programas (Grohmann, 2008). Inicialmente foi desenvolvido para ser executado em estações de trabalho *UNIX* de alta potência. Versões para a plataforma Windows foram desenvolvidas e continuam sendo aprimoradas. É um *software* que comemora 30 anos de uso em constante

aprimoramento de suas funcionalidades, desse modo, a versão mais atual disponível para o MS-Windows não pode ser considerada uma versão completa devido à complexidade da reescrita do código para esta plataforma, assim sendo, algumas falhas são reconhecidas. De acordo com o site dos desenvolvedores, o objetivo é que a versão 6.4 seja uma ferramenta útil para todos os usuários de GIS, independentemente da sua plataforma de computador escolhido (GRASS - <http://grass.osgeo.org/>, 2015). O uso do GRASS se apresenta como opção interessante para SIG de código aberto, pois diversas de suas funcionalidades estão disponíveis com níveis elevados de sofisticação, como a capacidade de detectar contornos, gerar interpolações, aplicar filtros e gerar produtos de boa qualidade (Coelho e Vargas, 2007).

Assim dentre as várias finalidades destas aplicações podemos destacar a compartimentação do relevo, estudos de paisagem, suscetibilidade e potencialidade a erosão e os desastres naturais. O uso sensoriamento remoto e geoprocessamento para a caracterização fisiográfica de bacias hidrográficas também é bastante utilizado (Sbroglia *et al.*, 2016; Lopes e Saldanha, 2016; Gomes, 2011; Gomes, 2015; Deodoro e Fonseca, 2016).

3.6.1.1 SIG e Cartografia Geomorfológica

A geomorfologia tem se mostrado como fator preponderante na análise dos desastres naturais, em virtude das atividades antrópicas que alteram as dinâmicas naturais, desestabilizando as encostas devido a supressão de vegetação para ocupação e moradia ou para uso agrícola das encostas. A utilização de técnicas e tecnologias, cada dia mais precisas e de fácil acesso, colaboram com a ampliação e diversificação das pesquisas em geociências e facilitam sobremaneira as pesquisas acadêmicas ou aplicadas, através de sistemas de informação geográfica. A facilidade de acesso às imagens de sensoriamento remoto, modelos digitais de elevação e softwares, de uso livre, permitem que o reconhecimento das áreas de risco seja possível e que os produtos de cartografia temática sejam capazes de orientar ações mitigadoras do risco relativo ao uso e ocupação. (Florenzano, 2008).

Considerando os avanços tecnológicos da atualidade é possível perceber a popularização e importância da espacialização da informação, sejam dados quantitativos, qualitativos, ou através dos aplicativos interativos, via internet e todos os outros avanços relativos aos sistemas computacionais de hardware, robustos e de certa forma acessíveis, o que confere uma melhor dinâmica na extração de informações de naturezas diversas.

O reconhecimento das feições do terreno é importante para determinar a estabilidade dos ambientes e o uso de geotecnologias tem facilitado a exploração de

informações espaciais, que em conjunto com as pesquisas tornou-se um importante instrumento de gestão e monitoramento de usos e de recursos (Silva *et al.*, 2011). A análise das variáveis morfométricas e dos modelos hidrológicos de uma área são capazes de apresentar um cenário onde é possível perceber a estabilidade dos ambientes e planejar ações para evitar e/ou minimizar impactos ambientais relacionados ao uso e ocupação do solo, tendo a bacia ou a sub bacia hidrográfica como unidade ambiental (Silva *et al.*, 2013).

Florenzano (2008) salienta que, graças aos avanços tecnológicos, a geomorfologia tem a seu dispor um novo instrumental baseado em imagens com melhores resoluções espacial, espectral e temporal, geradas a partir de sensores ópticos e de radares interferométricos. A partir das imagens, com as inovações dos SIG, é possível visualizar o espaço geográfico em três dimensões, obtendo variáveis morfométricas essenciais nos estudos geomorfológicos, tais como dados de altitude, declividade, orientação de vertentes, áreas de acumulação, modelos de elevação, entre outras.

A análise geomorfológica pode ser realizada empregando-se diversos produtos digitais processados por sistemas computacionais. Antes da disponibilidade desses produtos em meio digital, a extração da drenagem era construída por métodos de restituição manual ou por meio de digitalização de cartas topográficas e como resultados obtinham-se as métricas do terreno. Com o avanço das técnicas de sensoriamento remoto, de *softwares* de processamento de imagens de satélite e dos SIG, as funcionalidades avançaram e se automatizaram, empregando para tanto, métodos específicos para extração de informações geomorfológicas a partir de MDE (Delazari *et al.*, 1998).

Para a elaboração de um mapa de risco de dispersão de radônio, são necessários de dados geomorfológicos e de materiais e processos envolvidos na dispersão do gás e de contaminantes radioativos para o solo, particularmente em áreas sujeitas a intervenção humana, seja no trabalho mineiro, seja nas atividades econômicas e sociais das áreas do entorno da mina. Delimitadas as áreas de risco, poderão fundamentadamente ser tomadas, aquando da construção, medidas de minimização que se considerem apropriadas. (Pereira *et al.*, 2003)

3.7 Geoecologia da Paisagem

A análise da paisagem e a compreensão do seu funcionamento, com base nos geossistemas possibilita, uma percepção ampla dos fenômenos biofísico-sociais que atuam em diversos graus de dependência e troca de matéria e energia. Esse modelo de análise se

estabeleceu com maior ênfase a partir da década de 1960, quando o método sistêmico foi reconhecido como um instrumento essencial para os estudos ambientais (Christofolletti, 1979).

Partindo da visão geossistêmica, a geoecologia da paisagem avança ao considerar na análise aspectos sociais e culturais que influenciam nas características da paisagem de modo sistêmico e avançou nas geociências como alternativa metodológica interessante, “pois através de sua visão sistêmica e integrada, alia os condicionantes ambientais com as características socioeconômica da área em questão” (Farias *et al.*, 2013, p. 138)

O conceito de Geoecologia apresenta uma metodologia de investigação que busca principalmente a percepção integral do meio natural, aplicando técnicas e procedimentos de modo a estabelecer diagnósticos e formular estratégias de otimização dos usos dos recursos naturais de maneira mais adequada (Farias *et al.*, 2013). Ainda conforme Farias e Silva (2015):

Assim, a Geoecologia das Paisagens e o Planejamento Ambiental fornecem subsídios fundamentais para o desenvolvimento de trabalhos relacionados à dinâmica dos sistemas ambientais, mais especificamente voltados para o estudo de bacias hidrográficas, [...] Tendo em vista que as bacias hidrográficas se caracterizam como sistemas complexos que integram os mais diversos componentes sociais, econômicos, culturais e ambientais, se destaca a necessidade de pensar e trabalhar as mesmas e suas diferentes feições com base em fundamentos teórico-metodológicos que considerem a ação/atuação desses componentes. Nesse contexto, a Geoecologia das Paisagens é capaz de fornecer os subsídios essenciais para uma análise integrada, uma vez que sua visão sistêmica e complexa considera esses aspectos e os seus desdobramentos na área de influência da bacia. (Farias e Silva, 2015, p.152)

A Geoecologia das Paisagens trabalha sob duas óticas: a primeira percebe a paisagem; analisada partindo das diferenças espaciais da superfície terrestre resultantes da interação entre os fenômenos naturais, e a segunda aborda as expressões biológico-ecológicas, observando as relações entre os fenômenos naturais e os sistemas ecológicos (Rodriguez *et al.*, 2013).

Outra característica essencial inerente a Geoecologia é o destaque no papel que o ser humano desempenha nos sistemas de paisagens, encarado como portador das formas sociais e naturais de movimento da matéria e elo biótico nos geossistemas. A abordagem ecológica da paisagem procura analisar os diversos usos dos recursos naturais tomando como base as necessidades econômicas da sociedade, desse modo, o objetivo da Geoecologia é estabelecer as relações quantitativas e qualitativas entre os vários componentes do ambiente, pois representa o espaço onde a vida pode existir, e que é denominado: a biosfera. Nessa

perspectiva, a Geoecologia se insere como uma nova metodologia de análise multidisciplinar integrando nessa análise as questões ambientais e socioeconômicas. Apresenta fundamentos para a elaboração de planos e ações de gestão ambiental (Rodriguez e Silva, 2013).

Como concepção sistêmica da análise ambiental, a Geoecologia das Paisagens se fundamenta em três momentos básicos: 1.) como se formou e se ordenou a natureza; 2.) como, mediante as atividades humanas, construíram-se e impuseram-se sistemas de uso e de objetos, articulando e colocando a natureza em função de suas necessidades; 3.) como a sociedade concebe a natureza, as modificações e transformações derivadas das atividades humanas (Rodriguez, 2000).

La noción de Paisaje natural es el concepto básico de la Geografía de los Paisajes. El paisaje natural, se concibe como una realidad cuyos elementos están dispuestos de manera tal que subsisten desde el todo, y el todo, subsiste desde los elementos, no como objetos caoticamente mezclados, sino como conexiones armónicas de estructura y función. El paisaje, es así, un espacio físico y un sistema de recursos naturales en los cuales se integran las sociedades en un binomio inseparable entre la Sociedad y la Naturaleza. [...] El paisaje natural, se concibe como un geosistema, el cual se define como el espacio terrestre, de todas las dimensiones, donde los componentes naturales se encuentran en una relación sistémica unos con los otros, y como una integridad definida, interactuando con la esfera cósmica y con la sociedad humana. Concebir así al paisaje como un sistema significa tener una percepción del todo, comprendiendo las interrelaciones entre las partes del sistema. Analizar el paisaje desde una visión dialéctica. Esto significa, aceptar su existencia y su organización sistémica, como una realidad objetiva, considerándolo como un sistema material y como una totalidad, que se presenta como un fenómeno integrado, muy diferente a visualizarlo de una forma fragmentada. Concebir de tal manera al paisaje como un polisistema en la interface Naturaleza - Sociedad. (Rodriguez, 2000, p. 7)

Sendo assim, a paisagem é formada a partir de um espaço físico constituindo um sistema de recursos naturais aos quais se integram as sociedades em um binômio inseparável sociedade/natureza (Rodriguez, Silva, Cavalcanti, 2013).

Es evidente, que un análisis integrador, totalizador y holístico del paisaje, exige de articular en un espacio físico y un territorio dado las diversas categorías de paisajes: la natural, la antropo - natural, la social y la cultural. Así el análisis del paisaje natural o del antropo - natural, es sólo el punto de partida para tener un entendimiento global de la interrelación entre la Naturaleza y la Sociedad. Sólo una amplia y abarcadora interpretación del paisaje como sistema de conceptos permite aprehender de manera clara toda esa complejidad. (Rodriguez, 2000, p.14)

Na atualidade nenhum empreendimento pode prescindir dos estudos ambientais, que são cada vez mais utilizados, em nível local, nacional ou internacional, desse modo a adoção de abordagens integradas são necessárias, pois conseguem relacionar e perceber as

dependências dos mais diferentes aspectos provocados pelas relações estabelecidas entre sociedade e natureza (Farias, 2015).

Nas esferas governamentais, os estudos ambientais se mostram cada vez mais utilizados na elaboração de instrumentos que regulam e controlam o uso e ocupação da terra como: Diagnósticos Ambientais, Zoneamentos, Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e Relatórios de Impactos Ambientais (RIMA). O planejamento ambiental elaborado com base na escala de análise da bacia hidrográfica deve, além de classificar as unidades espaciais, verificar os principais usos e ocupação nos diferentes setores e identificar os problemas e estado ambiental da mesma, para elaborar propostas compatíveis com as com as potencialidades e limitações da área. (Farias, 2015, p. 38)

Desse modo a proposição de ações que visem apoiar o planejamento ambiental lança mão do zoneamento, pois é a partir da compartimentação de uma região através da validação de seus atributos mais relevantes e de suas dinâmicas que pode proporcionar o conhecimento necessário, com nível de detalhamento suficiente para compreensão da organização do espaço em sua totalidade, apresentando-se como importante instrumento de análise dentro de enfoque sistêmico (Farias, 2015).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Imagens

SRTM 1 Arc, (resolução espacial de 30 m)

Mosaico Rapid Eye, 2436911-2012-05-21 / 2436912-2012-07-24 / 2437011-2011-09-14 / 2437012-2012-02-05

Softwares

WinGRASS

ArcGis 10.3.1

Global Mapper 16

4.2 Métodos

As etapas metodológicas empregadas permearam os seguintes pontos:

Revisão de literatura e levantamento cartográfico.

Visitas a INB

Viagens de Campo:

Primeira etapa - reconhecimento e análise da paisagem e comunidades

Segunda etapa – conferência da cartografia e coleta de amostras para análise com gama espectrometria e DFX e FRX.

Construção da cartografia temática da análise ambiental.

Análise ambiental sob o paradigma da Geoecologia.

Análise da ISO 31000, Gestão de riscos ambientais.

Proposição da Matriz de Riscos

Proposição dos parâmetros de monitoramento.

Análise de outras padronizações, normalizações e orientações de monitoramento e controle:

ISO 14001 -

ISO 31000

ISO 45001

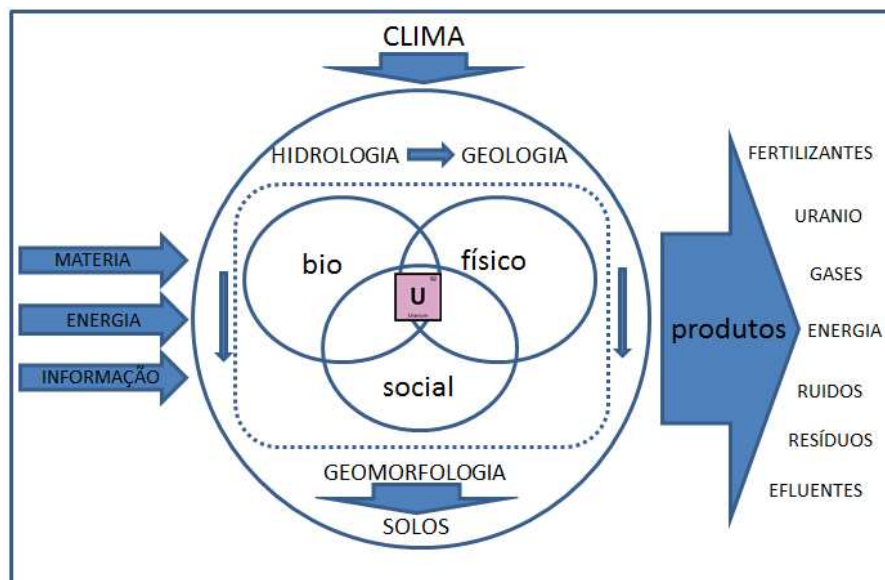
Construção da Proposta de Plano de Monitoramento Ambiental

4.3 Análise ambiental sob o paradigma da Geoecologia orientada a objeto

Numa visão sistêmica pode-se fazer uma abordagem integrada dos complexos fatores envolvidos no empreendimento. Nesse modelo os fatores climáticos estão envolvendo todos os processos (ações, fluxos e produtos). Essa abordagem levou em consideração os resultados das análises, que apresentaram os mecanismos de dispersão radioativa, pelo carreamento de sedimentos pelo fluxo superficial e a ação dos ventos no transporte de gases.

A proposta do Plano de Monitoramento Ambiental avançou em sua abordagem metodologica e considerou que a Orientação à Objetos serve mais como metodologia de apreensão dos fenômenos inerentes a gestão ecológica, pois, inicialmente esse paradigma não abandona os aspectos das interdependencia de materia-energia-informação, proposto pela Análise de Sistemas Estruturada, avança no sentido de perceber que o ambiente é caótico e sua abordagem trata as partes de maneira que suas relações não necessariamente obedecem a uma hierarquia, mas estão muitas vezes incluída, dependente, ou partilham simultaneamente matéria-energia-informação. Desse modo, apresentou-se como uma metodolgia interessante diante das incertezas intrínsecas na análise ambiental (Figura 16).

Figura 16 – Esquema da geoecologia da jazida de Itataia.

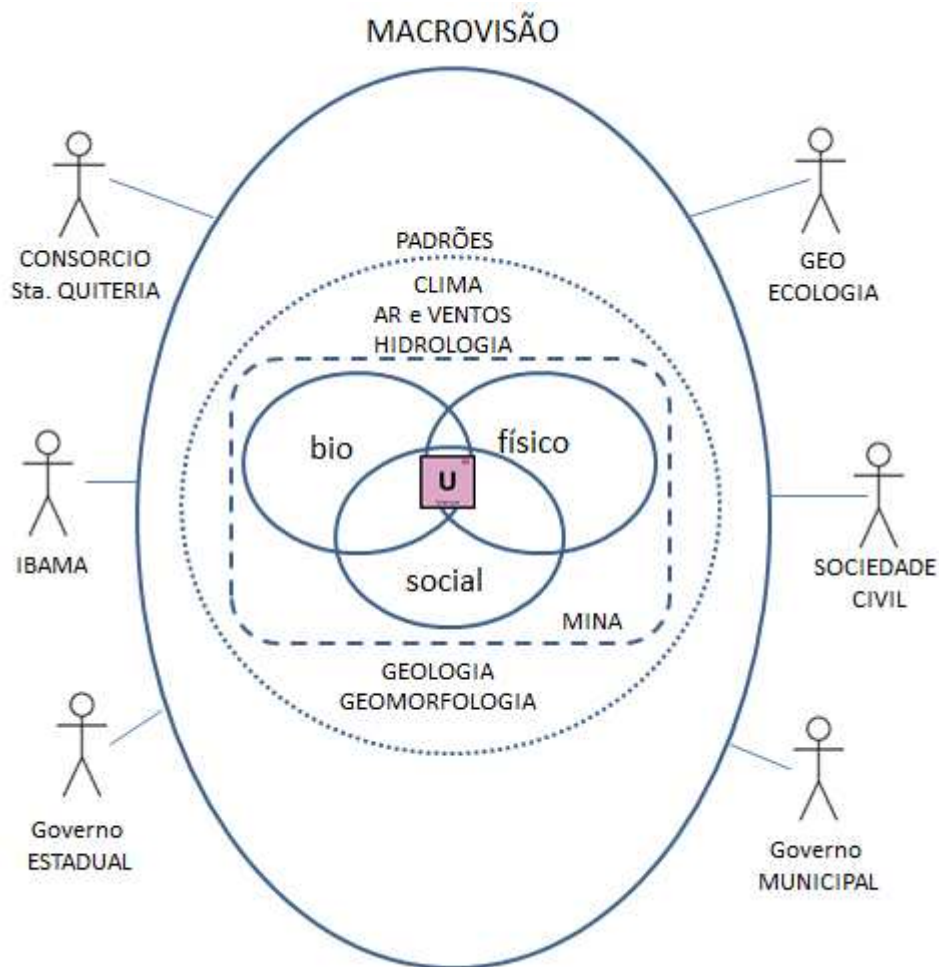


Fonte: A Autora, 2018

O clima apresenta-se como fator preponderante na análise ambiental, em virtude da relação direta da água e dos ventos no transporte de material particulado ou gasoso. A compreensão dos fenômenos climáticos só pode se dar quando as incertezas estão percebidas

e integradas, o quanto possível às medições das estações meteorológicas (pluviometria e direção de velocidade dos ventos). A macrovisão do Plano de Monitoramento (Figura 17) apresentada abaixo, sintetiza os principais atores e fenômenos que devem ser tratados dentro desse paradigma da geoecologia orientada a objetos, pois observam integradamente o meio biofísico-social, os fenômenos climáticos, a partir um padrão mínimo, fruto das análises ambientais, legislação e os levantamentos ambientais do EIA/RIMA (ARCADIS, 2014)

Figura 17- Macrovisão da proposta do Plano de Monitoramento

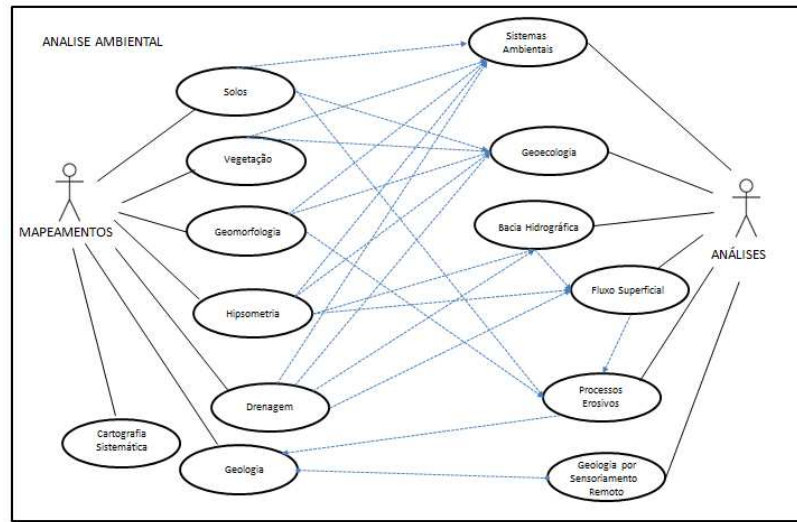


Fonte: A Autora, 2018

Sob a modelagem Orientada a Objetos, os estudos geoecológicos são expressos em sistemas, onde interagem os atores e classes, pressupostos no detalhamento mínimo da macrovisão e Casos de Uso, que dizem respeito às ações e aos objetos envolvidos nas etapas de reconhecimento e análise de requisitos.

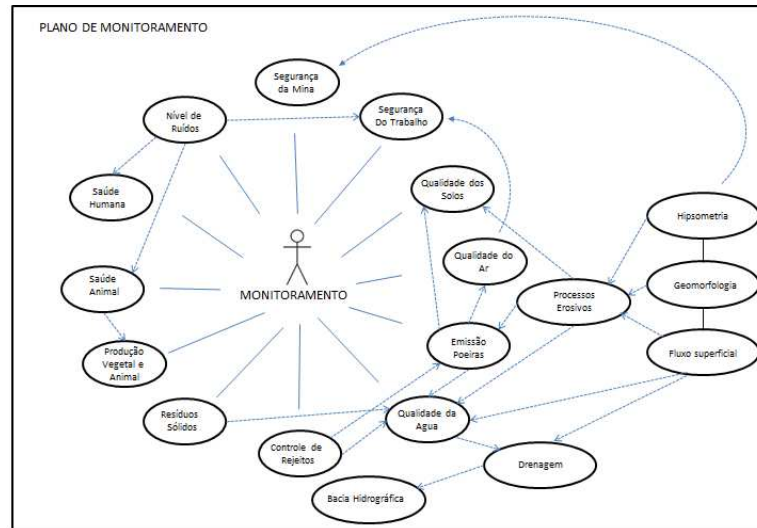
Os dois casos de uso que estão apresentados a seguir (Figuras 18 e 19), referem-se a primeira e segundas etapas percorridas para o reconhecimento da paisagem e as possíveis transformações ambientais. O Plano de Monitoramento apresenta metodologias de monitoramentos, que servirão de parâmetros a serem considerados na gestão de riscos do empreendimento.

Figura 18 – Diagrama dos Casos de Uso da análise ambiental



Fonte: A Autora, 2018.

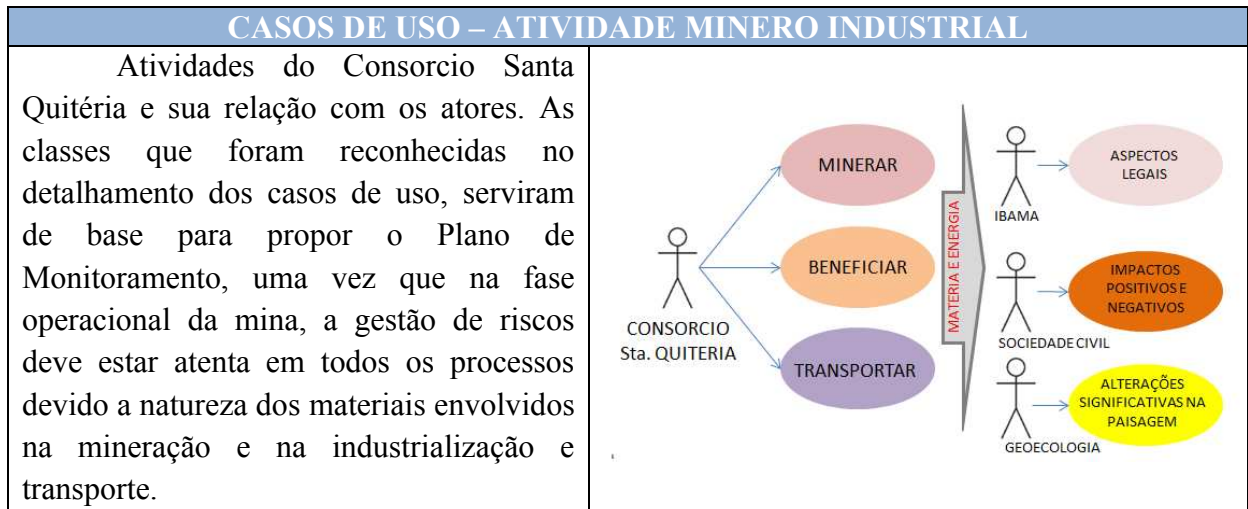
Figura 19 – Diagrama dos Casos de Uso do Plano de Monitoramento



Fonte: A autora, 2018.

O Quadro 5 busca sintetizar as atividades do empreendimento, sob essa visão o ator é o Consorcio e os Casos de Uso apresentam as atividades que serão executadas.

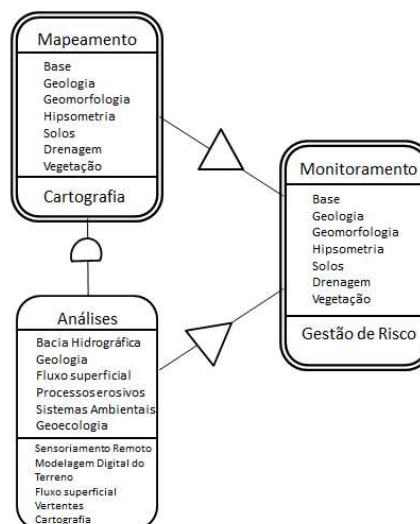
Quadro 5 – Casos de Uso das atividades minero-industriais do Consórcio



Fonte: A Autora, 2018.

A Figura 20 apresenta o Diagrama de Classes, onde compreende-se a relação entre a classe concreta Mapeamentos e a Classe abstrata Análises (Generalização e Especialização entre si e ambas na relação Todo-Parte com a Classe Monitoramento) que juntas fornece informações que servem para definir os pontos críticos de atenção para o monitoramento ambiental da mina, sendo partes da Classe concreta Monitoramento.

Figura 20 – Classes concretas e abstrata e suas conexões



Fonte: A Autora, 2018

As duas Classes: Mapeamento e Análise, subsidiaram o reconhecimento da paisagem natural da sub bacia do riacho Cunha Moti, sendo possível construir cenários com padrões de qualidade ambiental desejável, uma vez que o empreendimento ainda não está em

implantação, ou seja, as condições naturais da área estão sob baixo impacto de usos do solo. Entretanto, essa estabilidade natural vai ser totalmente transgredida, na implantação do empreendimento com forte impacto nos ecossistemas da área.

Diante das análises foi proposto um quadro síntese das Classes e os Objetos (definidos nos Casos de Uso) (Quadro 6) que apoiam a construção do Plano de Monitoramento Ambiental:

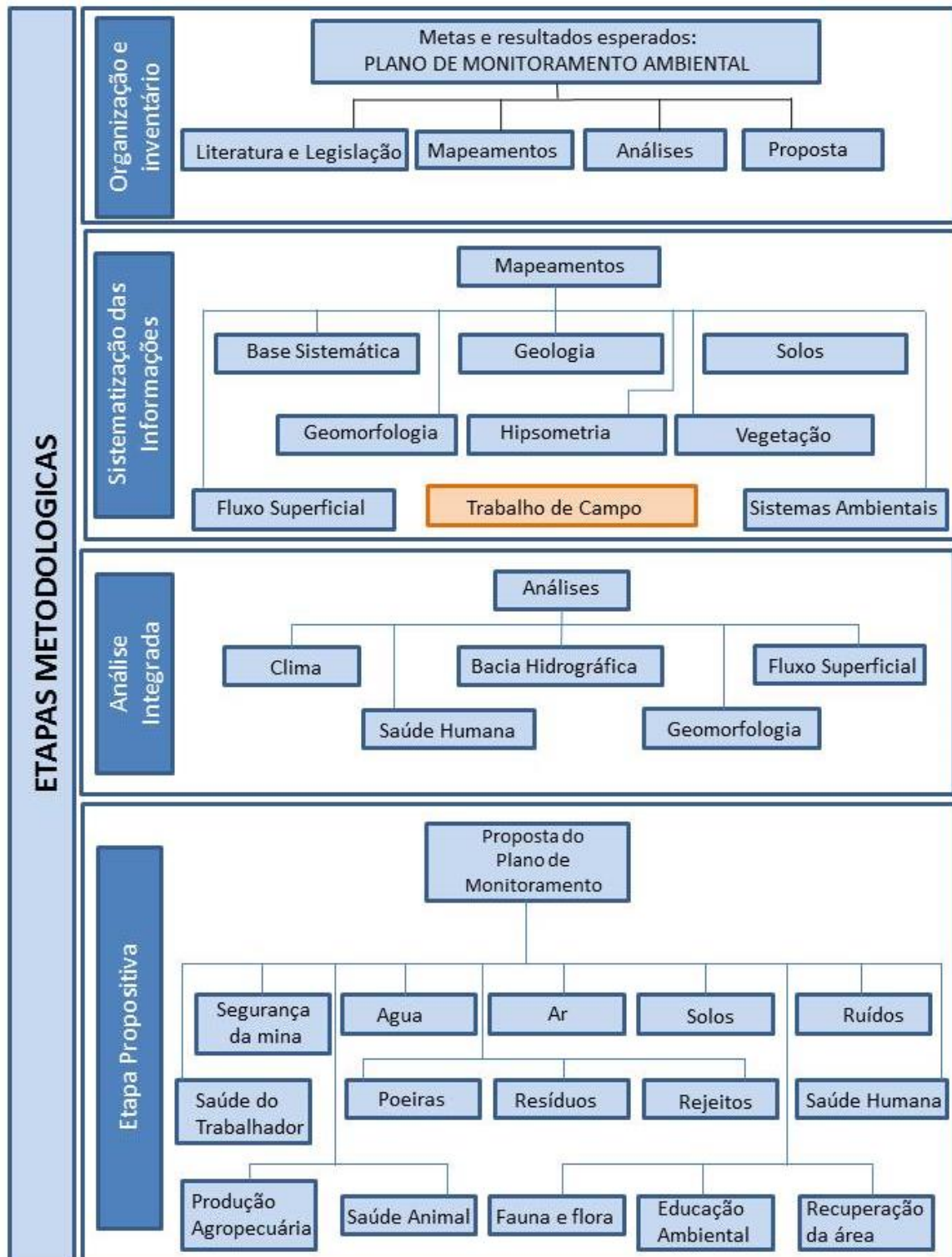
Quadro 6 – Classes e Objetos, definidos para a proposta

CLASSES	OBJETOS
MAPEAMENTO	MAPEAMENTO SISTEMÁTICO
	GEOLOGIA
	GEOMORFOLOGIA
	HIPSOMETRIA
	SOLOS
	DRENAGEM
	VEGETAÇÃO
ANÁLISES	BACIA HIDROGRAFICA
	GEOLOGICA POR SENCORIAMENTO REMOTO
	FLUXO SUPERFICIAL
	PROCESSOS EROSIVOS
	SISTEMAS AMBIENTAIS
	GEOECOLOGIA
MONITORAMENTO	QUALIDADE DA ÁGUA
	QUALIDADE DO SOLO
	QUALIDADE DO AR
	NIVEIS DE RUÍDO
	PROTEÇÃO A FAUNA E FLORA
	SEGURANÇA DO AMBIENTE DE TRABALHO
	GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
	SEGURANÇA DA MINA
	GERENCIAMENTO DOS REJEITOS
	PROTEÇÃO A SAÚDE HUMANA
	PROTEÇÃO DA SAÚDE ANIMAL
	PROTEÇÃO DA PRODUÇÃO VEGETAL

Fonte: A Autora, 2018

A elaboração do Plano de Monitoramento Ambiental passou pelas seguintes etapas metodológicas (Figura 21).

Figura 21: Etapas metodológicas para elaboração do plano de monitoramento ambiental



Fonte: A Autora, 2018

5. RESULTADOS e DISCUSSÕES

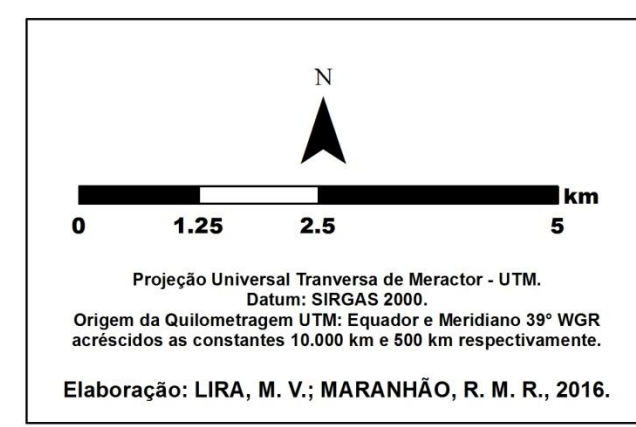
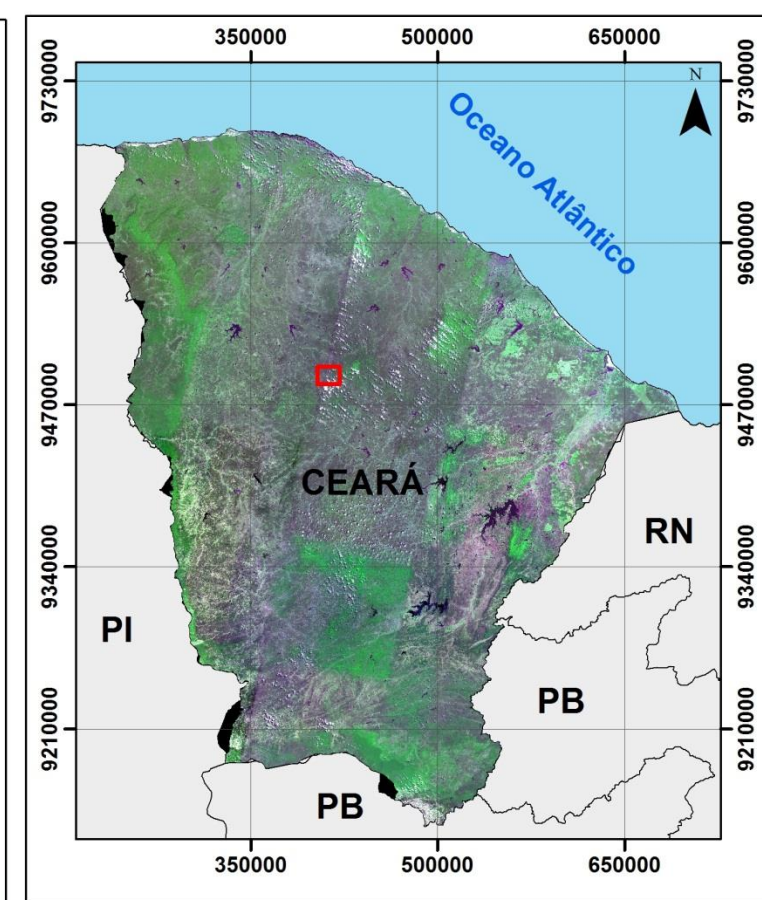
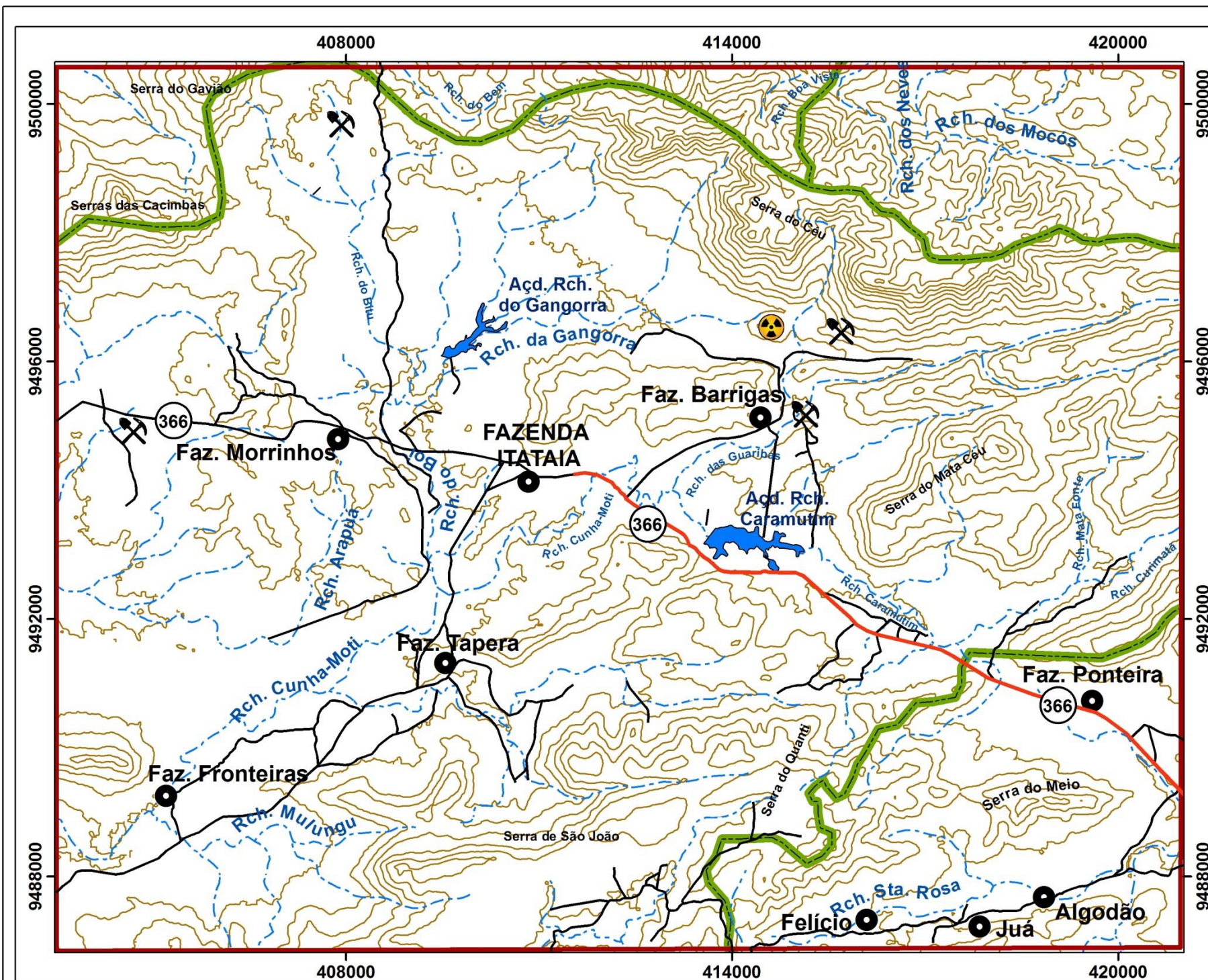
De acordo com as etapas metodológicas os resultados obtidos serviram de base para construção do Plano de Monitoramento Ambiental para o Consórcio Santa Quitéria. O ponto de partida foi a construção de base cartográfica temática, a partir dela foi possível realizar as análises ambientais em diversos SIG. A importância dos resultados das análises ambientais está na possibilidade de se determinar os atributos necessários para montar uma matriz de variáveis que envolva os aspectos biofísicos e de onde pode-se constatar a importância dos fenômenos climáticos na modelagem da paisagem.

5.1 Construção da base cartográfica

Os mapas temáticos podem ser construídos de acordo com diversas metodologias, cada uma de maneira apropriada às características e à forma de manifestação dos fenômenos considerados em cada tema (em pontos, linhas, em áreas). As abordagens podem ser quantitativas e qualitativas ou de ordenamento. Também pode-se tratar sob o ponto de vista estático ou dinâmico, também esses temas devem se ajustar as informações mapeáveis (Martinelli, 2003). Para esta tese a construção de uma base cartográfica em detalhe e ordenada deve compor um servidor de mapas web para apoiar as ações de controle e monitoramento da área da jazida. Optou-se por essa solução em vistas de tratar as categorias dos fenômenos em sequência e hierarquizados, com a concepção temporal dos fenômenos e seus temas e coexistências

A base apresentada a seguir teve como fonte a cartografia sistemática produzida pelo IBGE, IPECE, FUNCEME, ANA, CPRM, modelos digitais de elevação (SRTM) do USGS e resultados de análises computacionais, que combinadas com informações verificadas em campo deu origem aos mapas.

Utilizou-se a Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM 24S) e DATUM: SIRGAS 2000.



Convenções Cartográficas

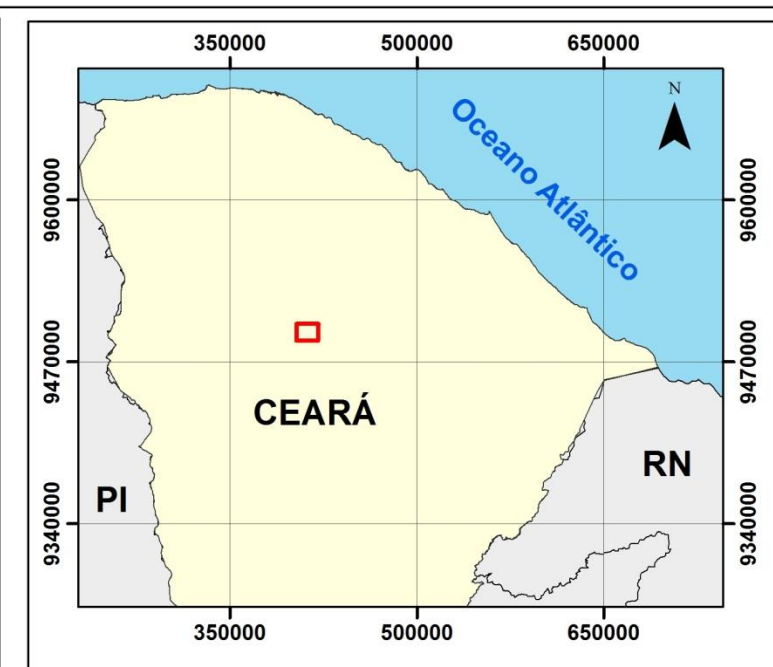
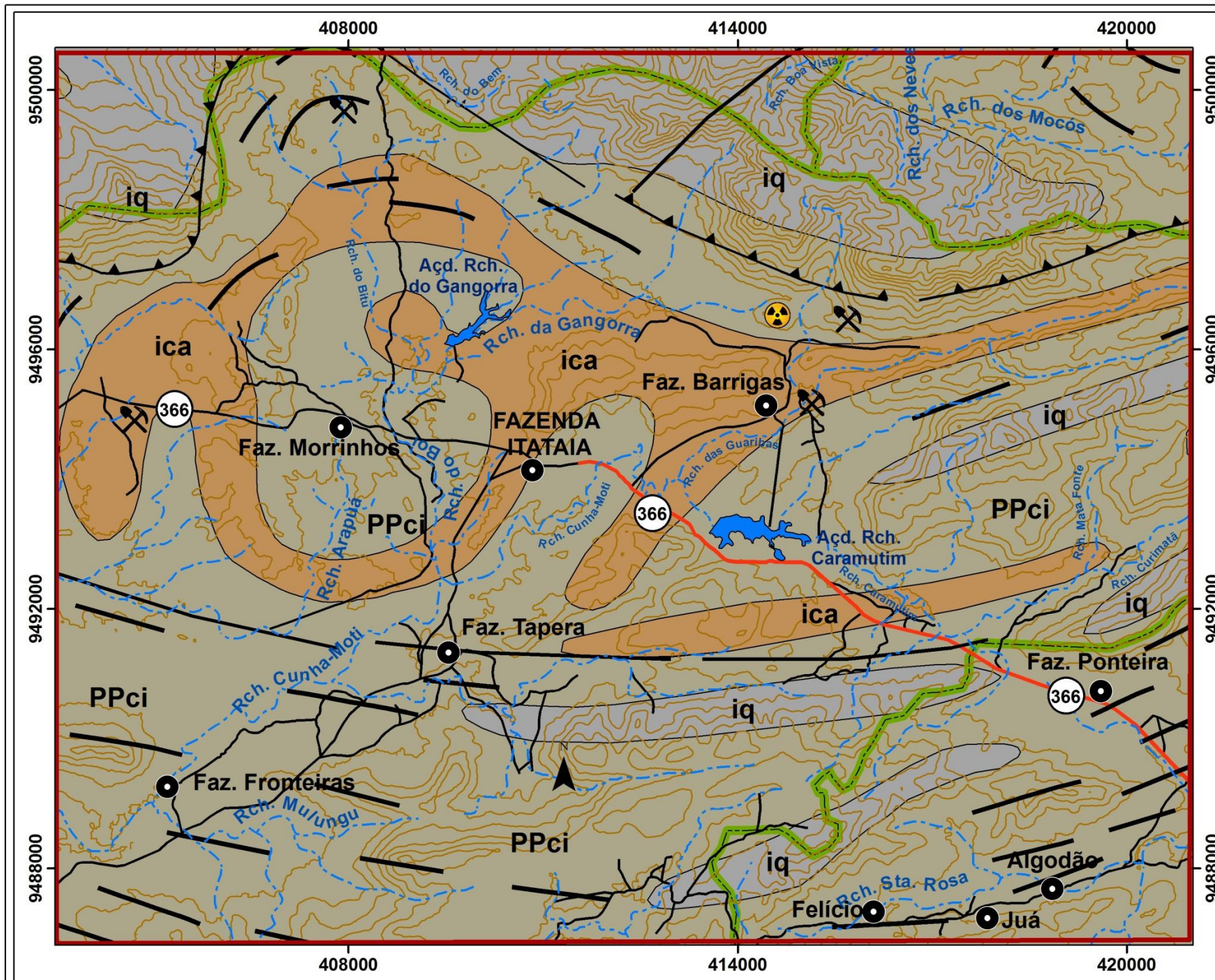
Limites Distrital	Estrada Não Pavimentada	Localidades
Limite da Área de Estudo	Curso d'Água Intermitente	Jazida de Urânio Itaitaia
Estrada Estadual Pavimentada	Corpo d'água	Área de Mineração
Estrada Estadual Não Pavimentada		Curva de Nível 50 m

Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Programa de Pós-Graduação em Geologia

Título:
Análise do Risco Ambiental no Entorno da Jazida Fósforo-Uranífera de Itaitaia, Ceará, Brasil.

Título do Mapa:
Base Cartográfica

Autor: Rosa Maria Ramos Maranhão	Orientador: Profª Drª Cynthia Romariz Duarte
Ano: 2016	Fonte de Dados: IPECE, 2015; FUNCEME/ANA, 2010; IBGE, 2015; USGS, 2016..



Era	Período	Sigla	Unidade Litoestratigráfica	Constituição Litológica
Paleo-Proterozóico	Riáciano 2050 – 2300 Ma	PPci	Complexo Ceará Unidade Independência	Paragneisses, micaxistos, metacalcários
		ica		Quartzitos
		iq		Metacalcários

Convenções Geológicas	
	Lineamentos
	Zona de Cisalhamento Contracional
	Zona de Cisalhamento Indiscriminada
	Zona de Cisalhamento Transcorrente Dextral

Convenções Cartográficas

- Limites Distrital
- Limite da Área de Estudo
- Estrada Estadual Pavimentada
- Estrada Estadual Não Pavimentada
- Estrada Não Pavimentada
- Localidades
- Jazida de Urânio Itaitaia
- Área de Mineração
- Curso d'Água Intermitente
- Corpo d'água
- Curva de Nível 50 m

Projeção Universal Transversa de Meractor - UTM.
Datum: SIRGAS 2000.
Origem da Quilometragem UTM: Equador e Meridiano 39° WGR
acréscidos as constantes 10.000 km e 500 km respectivamente.

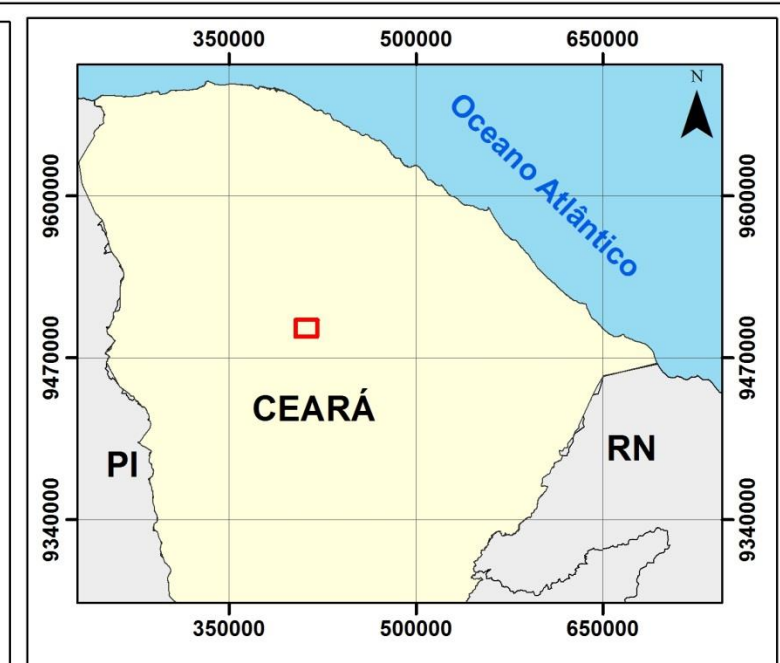
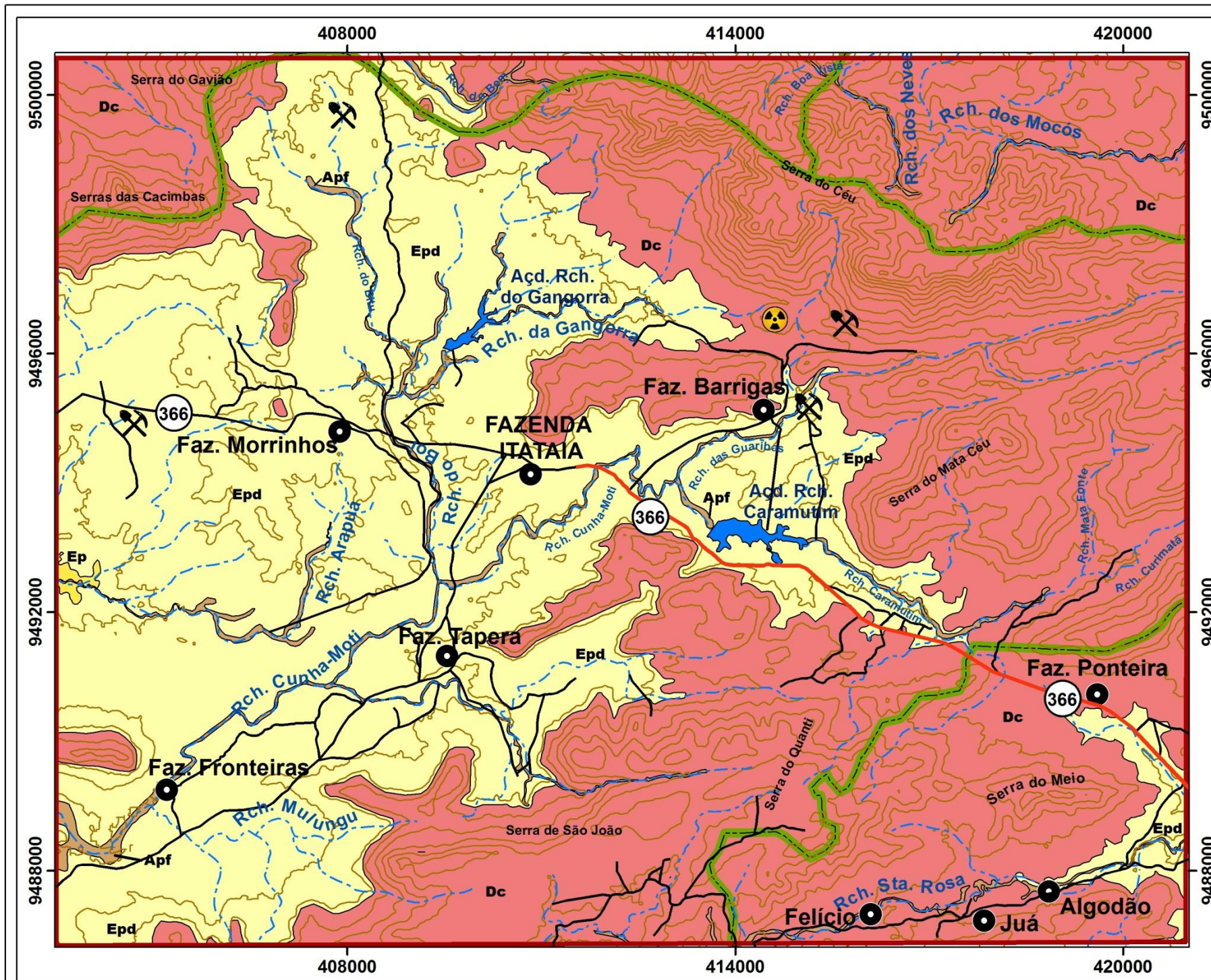
Elaboração: LIRA, M. V.; MARANHÃO, R. M. R., 2016.

Universidade Federal do Ceará
Centro de Ciências
Programa de Pós-Graduação em Geologia

Título:
Análise do Risco Ambiental no Entorno da Jazida Fósforo-Uranífera de Itaitaia, Ceará, Brasil.

Título do Mapa: Geologia

Autor: Rosa Maria Ramos Maranhão	Orientador: Profª Drª Cynthia Romariz Duarte
Ano: 2015	Fonte de Dados: CPRM, 2003; FUNCEME/ANA, 2010; IBGE, 2015.



Domínio Morfoestrutural	Sigla	Unidade	Forma	Feição
Depósito Sedimentares	Apf	Planície	Acumulação	Planície Fluvial
Pré-Cambriano	Dc	Planalto Residual	Dissecação	Formas Convexas Aguçadas
	Epd	Depressão Sertaneja	Aplainamento	Parcialmente Dissecada
	Ep			Superfície Pediplanadas

Convenções Cartográficas

Limites Distrital	Jazida de Urânio Itaitaia
Limite da Área de Estudo	Área de Mineração
Estrada Estadual Pavimentada	Curso d'Água Intermitente
Estrada Estadual Não Pavimentada	Corpo d'água
Estrada Não Pavimentada	Curva de Nível 50 m
Localidades	

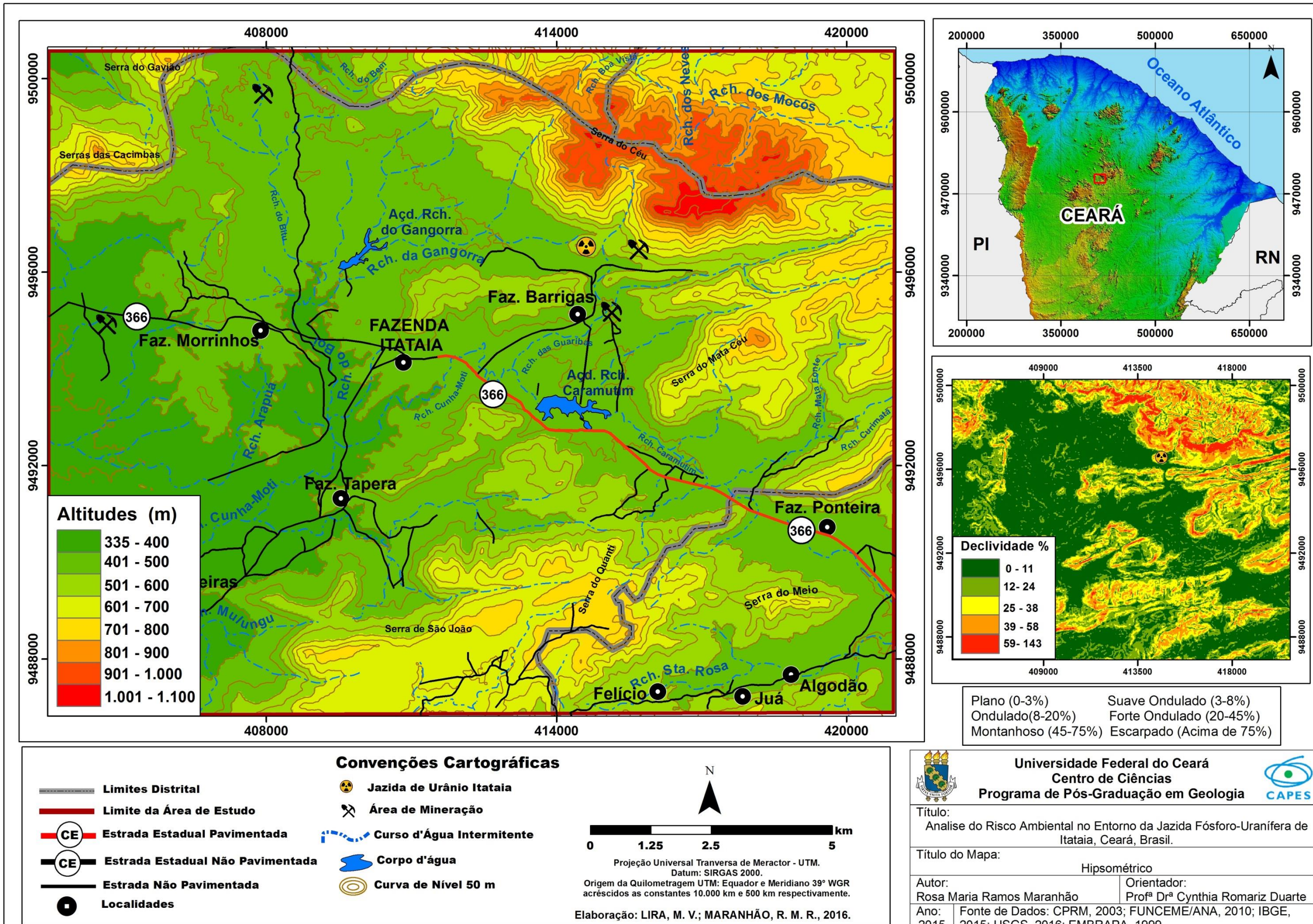
Projeção Universal Transversa de Meractor - UTM.
 Datum: SIRGAS 2000.
 Origem da Quilometragem UTM: Equador e Meridiano 39° WGR
 acréscidos as constantes 10.000 km e 500 km respectivamente.
 Elaboração: LIRA, M. V.; MARANHÃO, R. M. R., 2016.

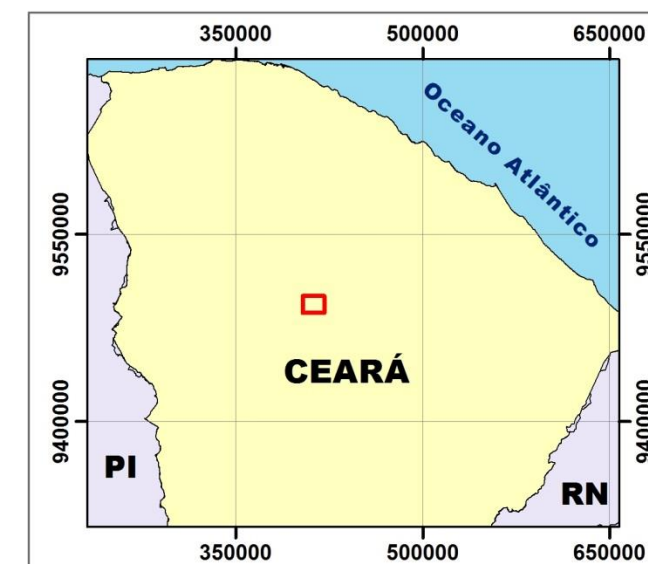
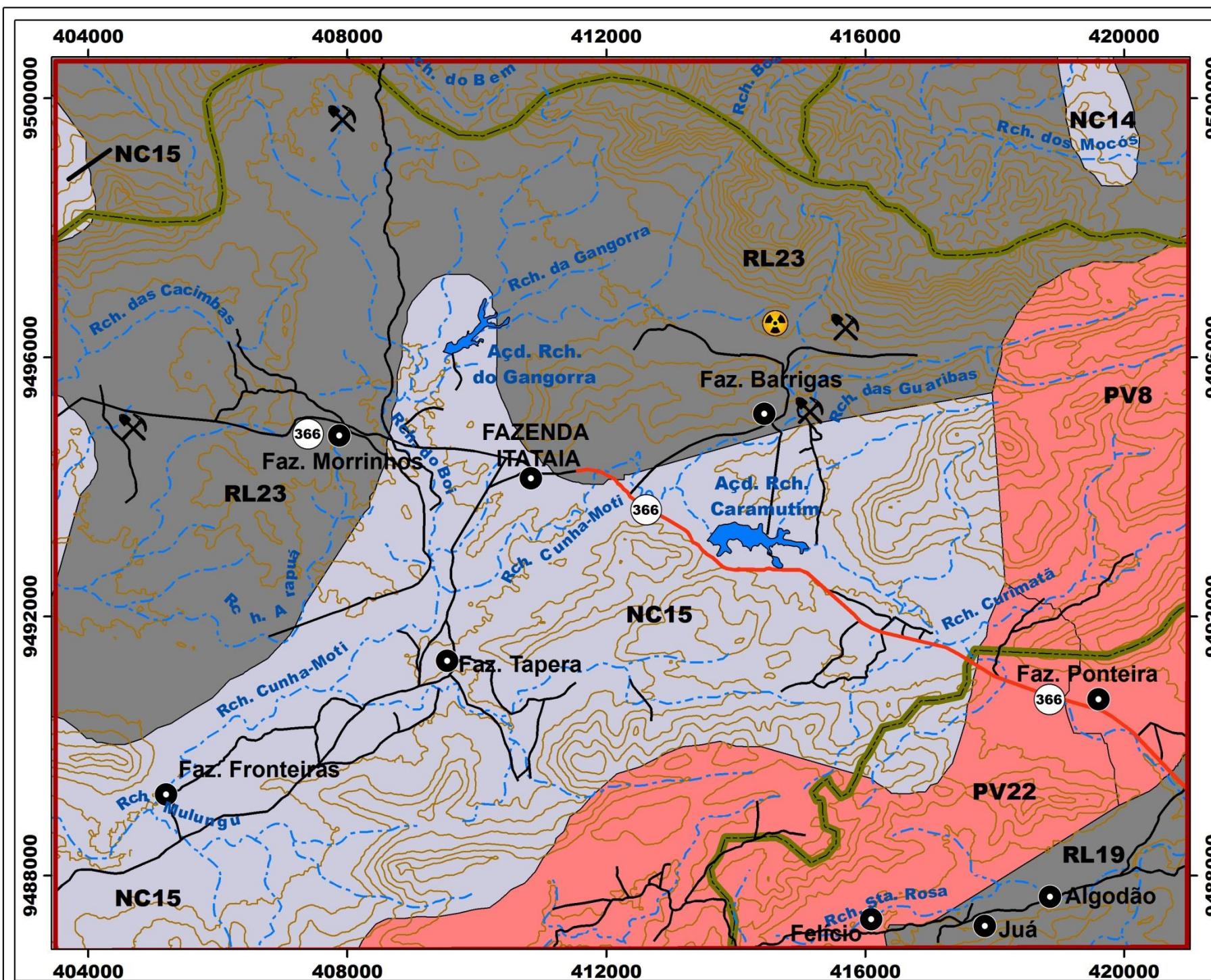
Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Programa de Pós-Graduação em Geologia

Título:
Análise do Risco Ambiental no Entorno da Jazida Fósforo-Uranífera de Itaitaia, Ceará, Brasil.

Título do Mapa:
Geomorfologia

Autor: Rosa Maria Ramos Maranhão	Orientador: Profª Drª Cynthia Romariz Duarte
Ano: 2016	Fonte de Dados: IPECE, 2015; FUNCEME/ANA, 2010; IBGE, 2015; MMA, 2012.





LEGENDA		
Sigla	Tipo	Descrição
PV8	Argissolo Vermelho-Amarelo	Abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B
PV22		
NC14	Luvissole	Solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural com argila de atividade alta e alta saturação por bases, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, exceto A chernozêmico, ou sob horizonte E
NC15		
RL19	Neossolo Litólico	Solos pouco evoluídos constituídos por material mineral, ou por material orgânico com menos de 20cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Horizontes glei, plíntico, vértico e A chernozêmico, quando presentes, não ocorrem em condição diagnóstica para as classes Gleissolos, Plintossolos, Vertissolos e Chernossolos, respectivamente.
RL23		

Convenções Cartográficas

Limites Distrital	Jazida de Urânio Itaitaia
Limite da Área de Estudo	Área de Mineração
Estrada Estadual Pavimentada	Curso d'Água Intermitente
Estrada Estadual Não Pavimentada	Corpo d'água
Estrada Não Pavimentada	Curva de Nível 50 m
Localidades	

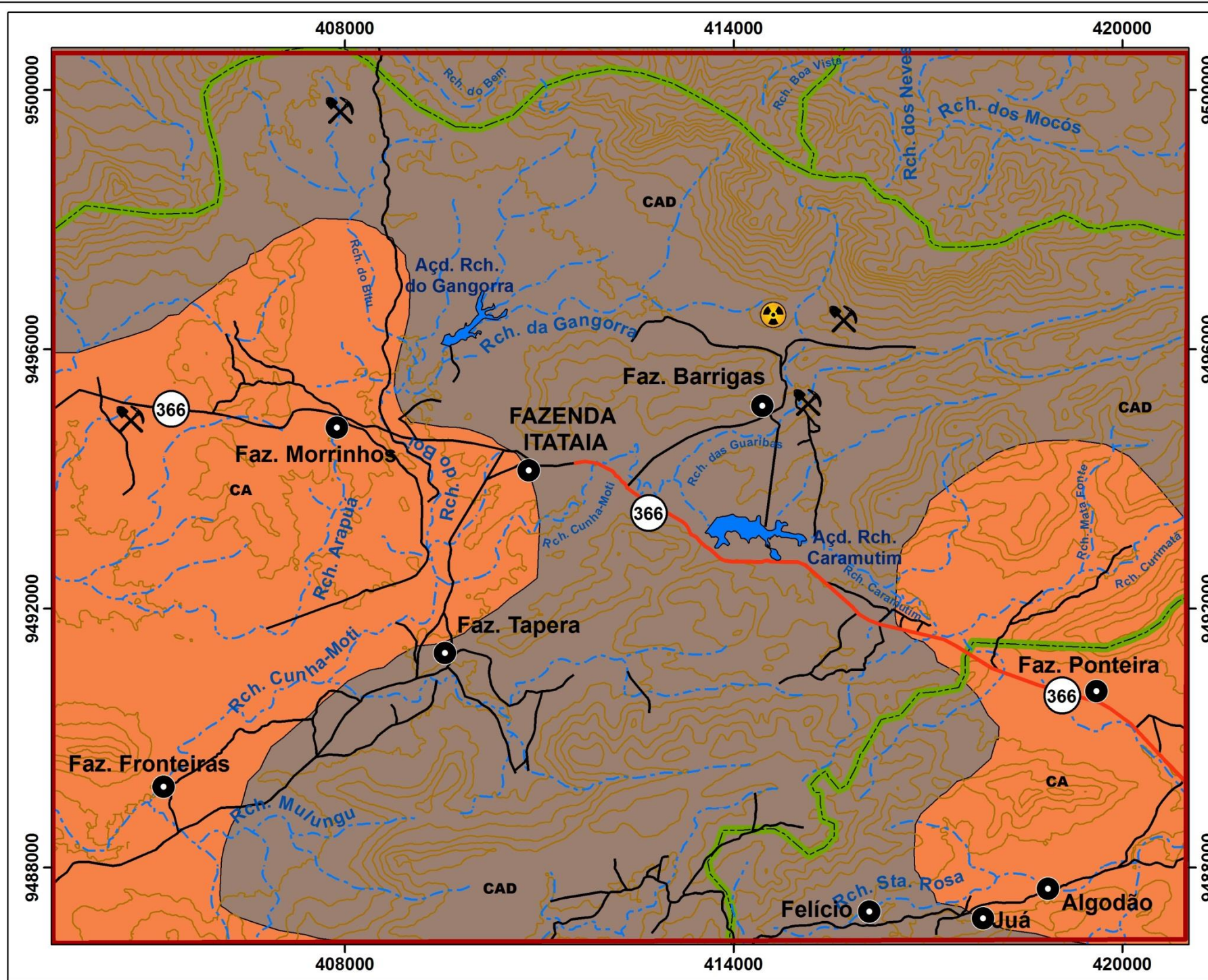
N
 0 105 210 420 km
 Projeção Universal Transversa de Meractor - UTM.
 Datum: SIRGAS 2000.
 Origem da Quilometragem UTM: Equador e Meridiano 39° WGR
 acréscidos as constantes 10.000 km e 500 km respectivamente.
 Elaboração: LIRA, M. V.; MARANHÃO, R. M. R., 2016.

Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Programa de Pós-Graduação em Geologia

Título:
 Análise do Risco Ambiental no Entorno da Jazida Fósforo-Uranífera de Itaitaia, Ceará, Brasil.

Título do Mapa:
 Solos

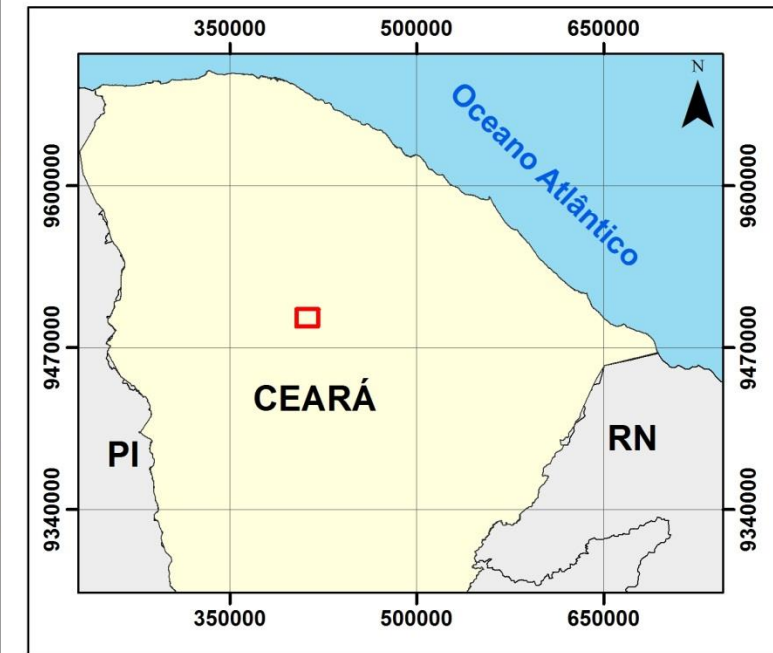
Autor: Rosa Maria Ramos Maranhão	Orientador: Profª Drª Cynthia Romariz Duarte
Ano: 2016	Fonte de Dados: EMBRAPA, 2013; CPRM, 2003; FUNCEME/ANA, 2010; IBGE, 2015; DER, 2015, IPECE, 2015, USGS, 2016.



Convenções Cartográficas

	Limites Distrital		Jazida de Urânio Itaitaia
	Limite da Área de Estudo		Área de Mineração
	Estrada Estadual Pavimentada		Curso d'Água Intermitente
	Estrada Estadual Não Pavimentada		Corpo d'água
	Estrada Não Pavimentada		Curva de Nível 50 m
	Localidades		

0 1.25 2.5 5 km
 Projeção Universal Transversa de Meractor - UTM.
 Datum: SIRGAS 2000.
 Origem da Quilometragem UTM: Equador e Meridiano 39° WGR
 acréscidos as constantes 10.000 km e 500 km respectivamente.
 Elaboração: LIRA, M. V.; MARANHÃO, R. M. R., 2016.



Sigla	Nome	Descrição
CA	Caatinga Arbórea	As caatingas podem ser caracterizadas como florestas arbóreas ou arbustivas, compreendendo principalmente árvores e arbustos baixos muitos dos quais apresentam espinhos, microfilia e algumas características xerofíticas. As fisionomias de caatinga são muito variáveis, dependendo do regime de chuvas e do tipo de solo, variando de florestas altas e secas com até 15-20 m de altura.
CAD	Caatinga Arbustiva Densa	

Universidade Federal do Ceará
 Centro de Ciências
 Programa de Pós-Graduação em Geologia

Título:
 Análise do Risco Ambiental no Entorno da Jazida Fósforo-Uranífera de Itaitaia, Ceará, Brasil.

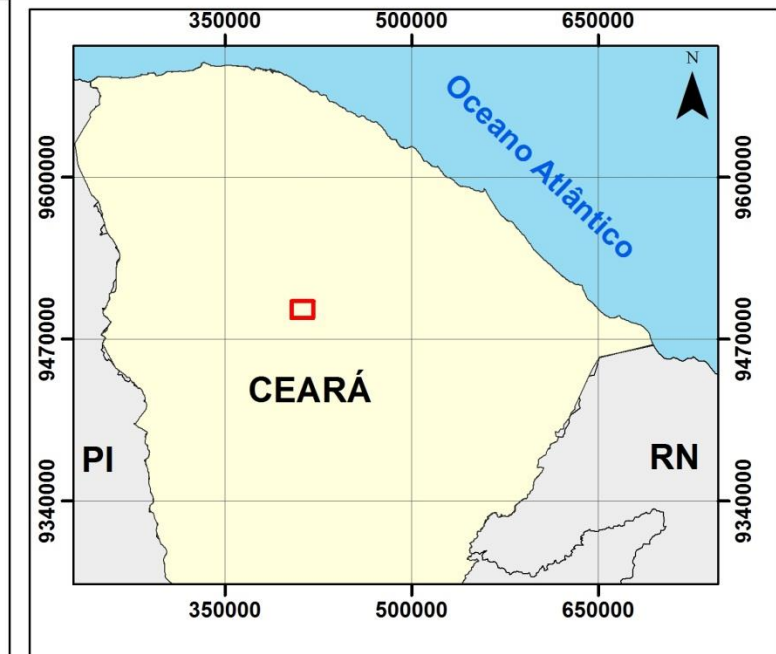
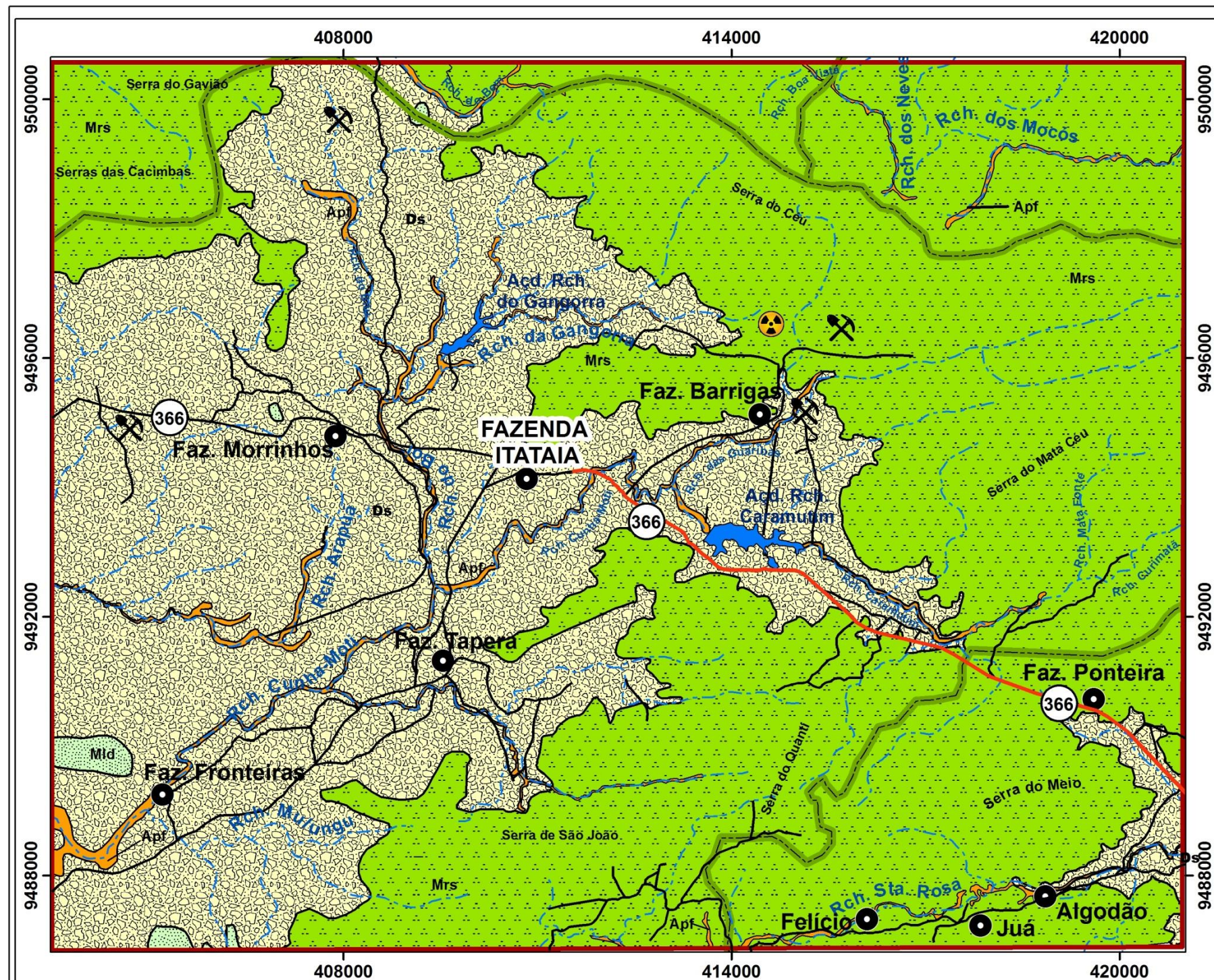
Título do Mapa:
 Fitoecológico

Autor:
 Rosa Maria Ramos Maranhão

Orientador:
 Profª Drª Cynthia Romariz Duarte

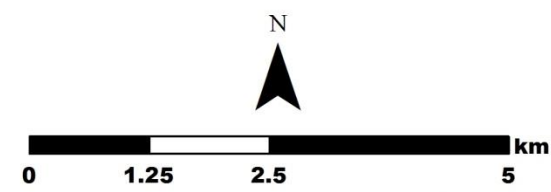
Ano:
 2016

Fonte de Dados:
 IPECE, 2015; FUNCEME/ANA, 2010; IBGE, 2015.



Sistema Ambiental	Subsistema Ambiental	Legenda	Condições Ecodinâmicas e Vulnerabilidade
Planície Fluvial	Planície Fluvial	Apf	Tendência a instabilidade, na área de mata ciliar.
Maciço Residual	Serras Secas	Mrs	Tendência a instabilidade, principalmente nas vertentes íngremes.
	Cristas Residuais	Mld	
Depressão Sertaneja	Sertões	Ds	Meios instáveis dissecados e transição aplanada, com tendência a instabilidade.

- Convenções Cartográficas**
- Limites Distrital
 - Limite da Área de Estudo
 - Estrada Estadual Pavimentada
 - Estrada Estadual Não Pavimentada
 - Estrada Não Pavimentada
 - ☢ Jazida de Urânio Itataia
 - ⛏ Área de Mineração
 - ~ Curso d'Água Intermitente
 - Corpo d'água
 - Localidades



Projeção Universal Transversa de Meractor - UTM.
Datum: SIRGAS 2000.
Origem da Quilometragem UTM: Equador e Meridiano 39° WGR
acréscidos as constantes 10.000 km e 500 km respectivamente.

Elaboração: LIRA, M. V.; MARANHÃO, R. M. R., 2016.

Universidade Federal do Ceará
Centro de Ciências
Programa de Pós-Graduação em Geologia

Título:
Análise do Risco Ambiental no Entorno da Jazida Fósforo-Uranífera de Itataia, Ceará, Brasil.

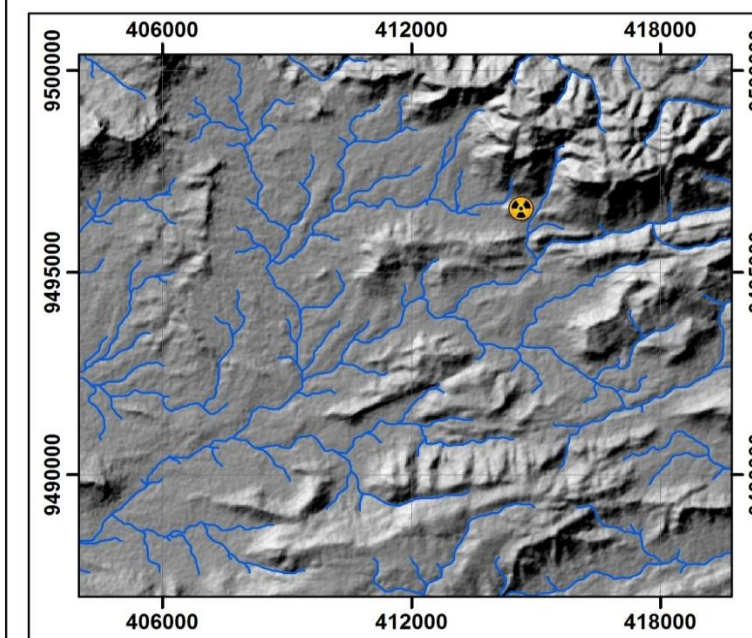
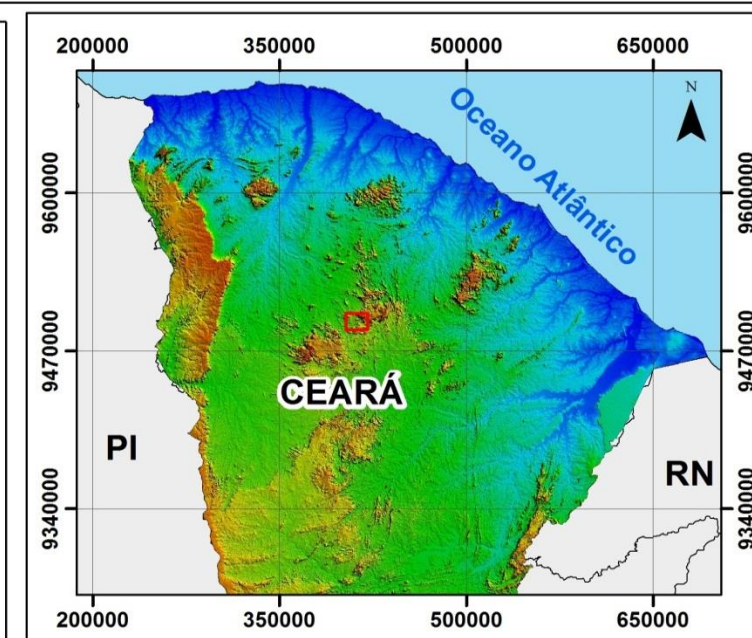
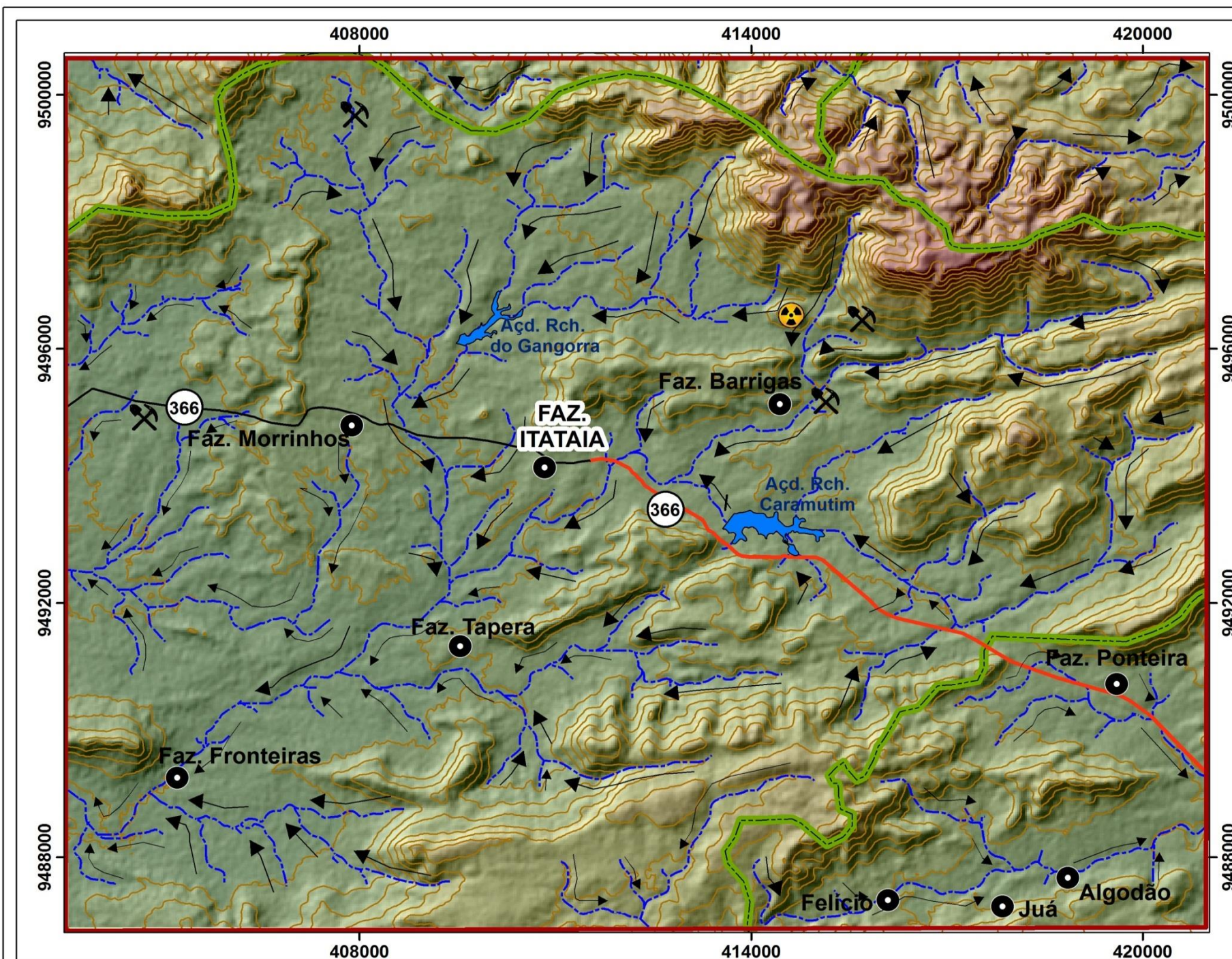
Título do Mapa:
Sistemas Ambientais

Autor:
Rosa Maria Ramos Maranhão

Orientador:
Profª Drª Cynthia Romariz Duarte

Ano:
2016

Fonte de Dados: IPECE, 2015; FUNCEME/ANA, 2010; IBGE, 2015; USGS, 2016; SOUZA, 2009.



Convenções Cartográficas

Limites Distrital	Jazida de Urânio Itataia
Limite da Área de Estudo	Área de Mineração
Estrada Estadual Pavimentada	Curso d'Água Intermitente
Estrada Estadual Não Pavimentada	Corpo d'água
Estrada Não Pavimentada	Curva de Nível 50 m
Localidades	Fluxo de Drenagem

0 1.25 2.5 5 km

Projeção Universal Transversa de Meractor - UTM.
Datum: SIRGAS 2000.
Origem da Quilometragem UTM: Equador e Meridiano 39° WGR acréscidos as constantes 10.000 km e 500 km respectivamente.

Elaboração: LIRA, M. V.; MARANHÃO, R. M. R., 2016.

Universidade Federal do Ceará
Centro de Ciências
Programa de Pós-Graduação em Geologia

Título:
Análise do Risco Ambiental no Entorno da Jazida Fósforo-Uranífera de Itataia, Ceará, Brasil.

Título do Mapa:
Fluxo de Drenagem

Autor:
Rosa Maria Ramos Maranhão

Orientador:
Prof^a Dr^a Cynthia Romariz Duarte

Ano:
2016

Fonte de Dados:
IPECE, 2015; FUNCEME/ANA, 2010; IBGE, 2015; USGS, 2016.

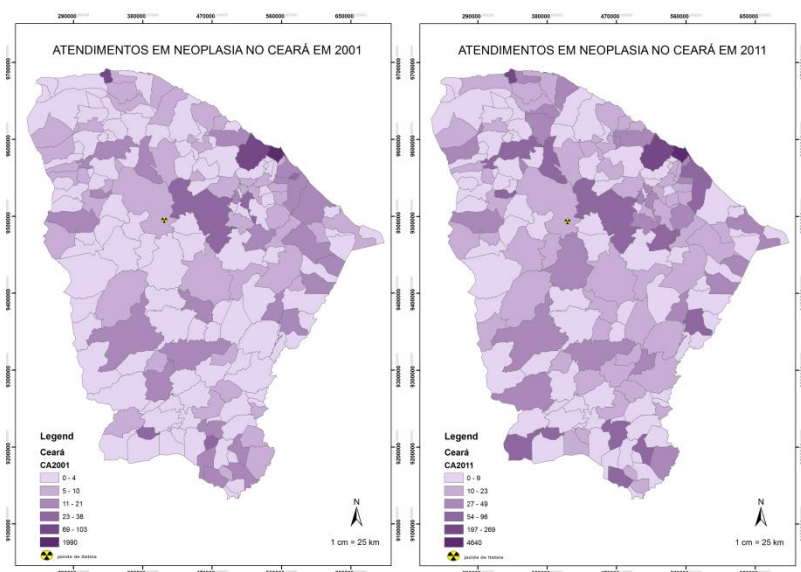
5.2 Distribuição de casos de neoplasia no estado do Ceará nos anos de 2001 a 2011

A análise dos dados tabulares sobre neoplasias apresentou um incremento razoável no número de ocorrências nas unidades hospitalares. Esse aumento pode decorrer do maior número de atendimentos, uma vez que houve aumento na capacidade atendimento Instituto do Câncer, a partir de 2006. Municípios com ocorrência zero e a concentração de atendimentos procedentes de Fortaleza podem não representar a realidade em virtude de comunicação de endereço indicado como Fortaleza, devido à acomodação de familiares na capital. É evidente a centralização dos atendimentos em Fortaleza. As consultas aos dados do Registro Hospitalar do Câncer - RHC são úteis para que as análises temporais possam ser realizadas, entretanto devemos sempre considerar informações inconsistentes devido a questão da busca pelo atendimento na Capital (Figura 22).

Utilizou-se da base de dados do RHC para acesso aos dados de neoplasia do estado do Ceará, através de dos seguintes critérios de pesquisa:

- Total de atendimentos no estado por procedência do paciente.
- Total de atendimentos no estado por unidade hospitalar de atendimento
- Construiu-se mapas temáticos, a partir da base cartográfica das bacias hidrográficas e dos dados tabulares do RHC.

Figura 22 – Mapa das ocorrências de câncer no estado do Ceará em 2001 e 2011



Fonte: Registro Hospitalar do Câncer -RHC , a Autora, 2018

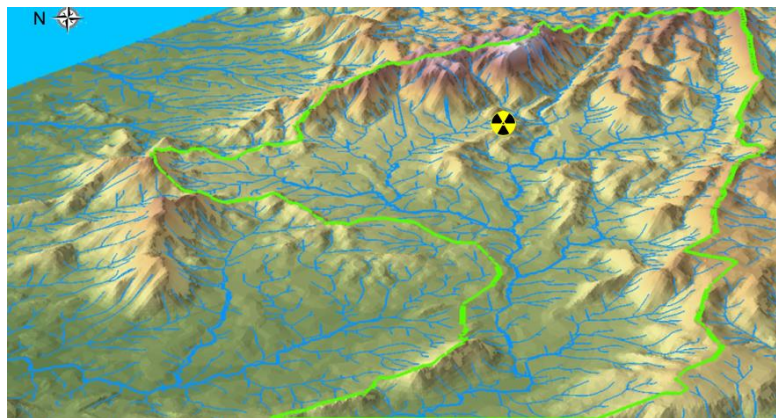
5.3 Caracterização da sub bacia hidrográfica e da drenagem usando software livre

Essa caracterização foi construída a partir de modelo digital de elevação do SRTM 1 *Arc*, com resolução espacial de 30 m. Utilizou-se o software GRASS para gerar os modelos de elevação e análise hidrológica. O estudo foi desenvolvido em três etapas: a) aquisição das imagens e do *software* na internet, b) tratamento preliminar da imagem e extração das informações sobre forma do terreno e vales de acumulação (drenagem) e recorte da sub bacia, e c) integração das informações para gerar um cenário das condições ambientais relativas a mobilização de radionuclídeos no ambiente, a partir da análise do fluxo superficial.

A aquisição das imagens SRTM se deu através de um índice de imagens na internet, no *site* do *Earth Explorer* do USGS. O *software* GRASS, versão 6.4.4, utilizado neste trabalho, foi desenvolvido para o sistema operacional Windows, sendo referido como *WinGRASS*, sendo seu *download* realizado a partir do *website* <http://grass.osgeo.org>.

A caracterização de uma bacia hidrográfica pode ser obtida através da análise dos modelos de elevação, quando associamos outros planos de informação, pode-se gerar novas imagens *raster*, desse modo, é possível determinar as áreas de acumulação, as área de altitude mais elevadas que delimitam as sub bacias e outras informações da drenagem. A figura 23 apresenta uma visão oblíqua da área de impacto direto, onde a imagem foi processada via algoritmo do software e apresenta um exagero vertical (altitude) para evidenciar os vales de acumulação e drenagem. a visualização do modelo de terreno com a possibilidade de inclinação do plano de visão, servindo como um instrumento para monitoramento e análise de risco em ambientes adjacentes as jazidas uriferas (Figura 23).

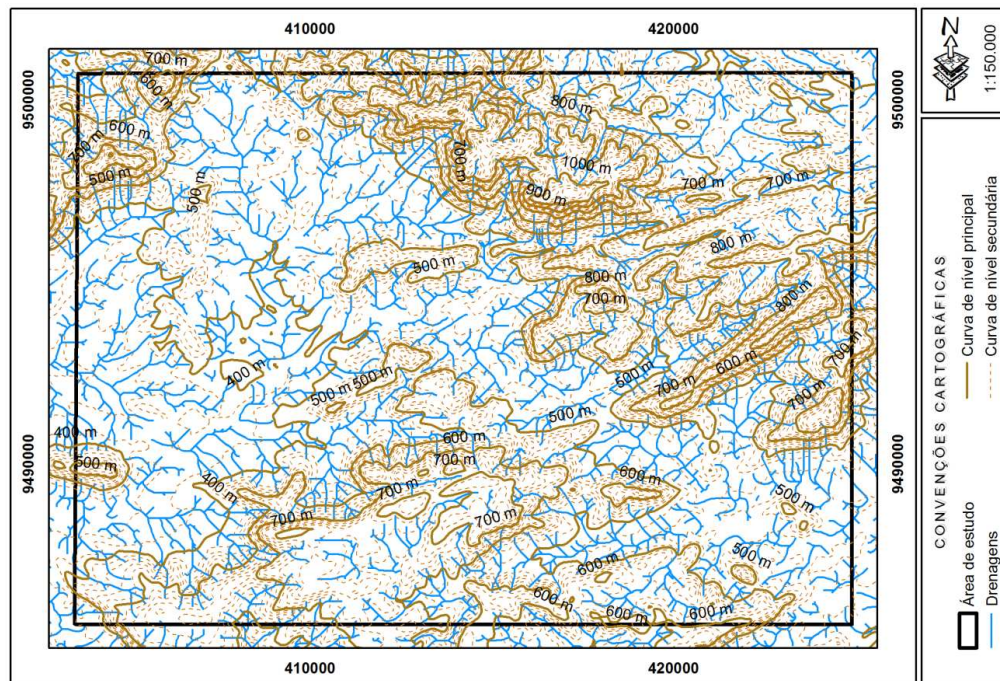
Figura 23 – Visão oblíqua da malha de drenagem da sub bacia do Riacho Cunha Moti.



Fonte: A Autora, 2018.

É possível reconhecer os Maciços e suas cristas que chegam a aproximadamente 1000 m e a Depressão Sertaneja, a malha de drenagem densa e difusa. Com as diversas informações integradas, buscou-se compreender os processos envolvidos, com certo grau de confiabilidade se considerarmos a drenagem bastante aproximada da cartografia oficial (Figura 24).

Figura 24 - Drenagem e curvas de nível da sub bacia do Riacho Cunha Moti

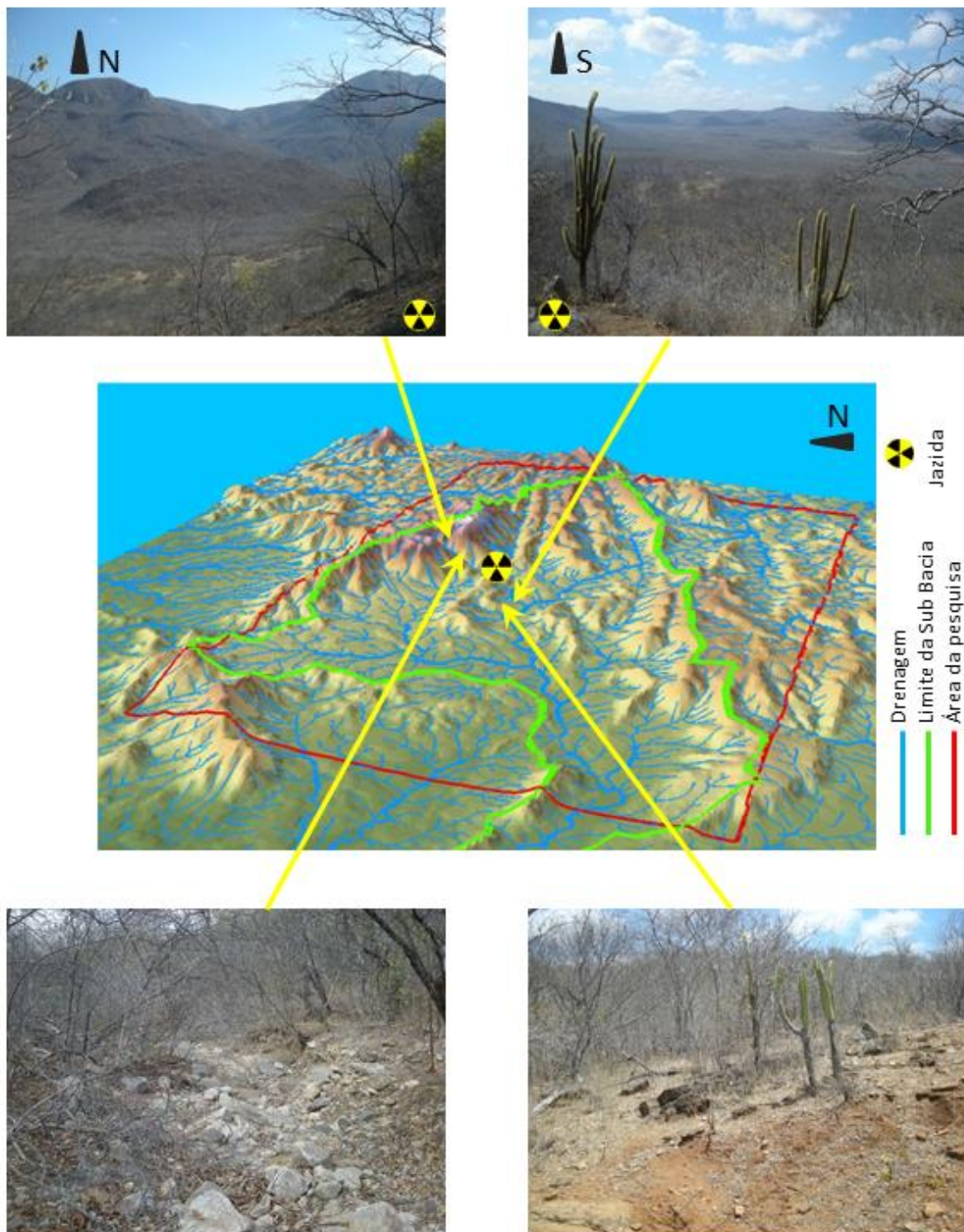


Fonte: A autora, 2018.

O estudo foi desenvolvido em três etapas: a) aquisição das imagens e do *software* na internet, b) tratamento preliminar da imagem e extração das informações sobre forma do terreno e áreas de acumulação e recorte de sub bacias, e c) integração das informações para gerar uma carta imagem.

Na Figura 25 temos um mosaico de fotos da área apontando para sua localização na carta imagem, percebe-se as características geomorfológicas, climáticas, a presença de mata caatinga arbustiva densa, solos rasos e pedregosos e a drenagem difusa.

Figura 25 - Vistas da área do topo do relevo da jazida para norte e para sul, onde se vê os Maciços para norte e a Depressão Sertaneja a sul, drenagem difusa, solo raso e pedregoso.



Fonte: A autora, 2015. Fotos em 07/10/2015.

5.4 Análise dos processos hidro geomorfológicos e fluxo superficial

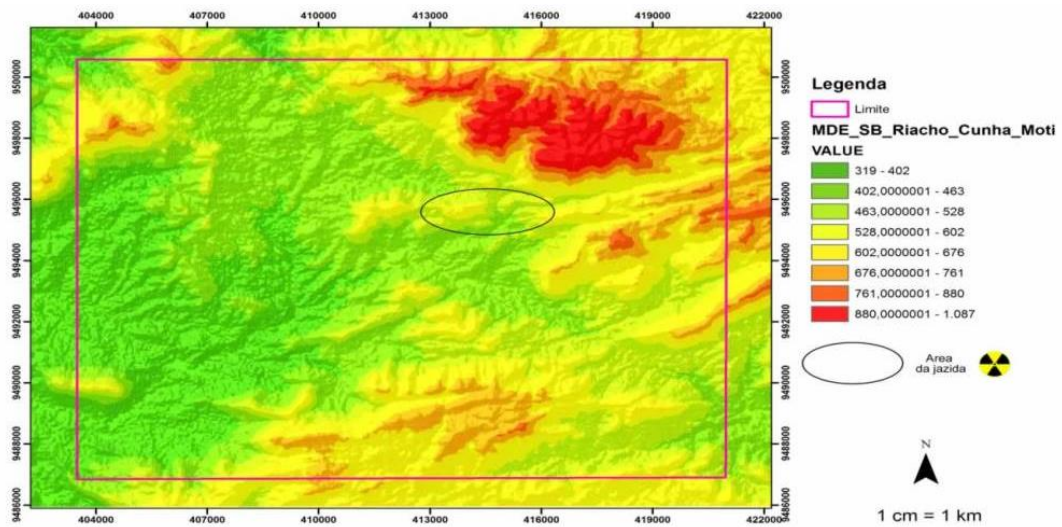
Este estudo buscou aplicar técnicas de geoprocessamento para tratamento de imagem SRTM e processamento computacional para extrair informações sobre o relevo e a drenagem. As imagens foram compostas por fusão de produtos obtidos entre as etapas do processamento, das quais foram extraídos dados vetoriais sobre a drenagem e comparados com base cartográfica da SUDENE, onde foi possível delimitar o perímetro da sub bacia, identificar feições relativas às estruturas de controle do relevo e realizar uma análise qualitativa relativa à direção de fluxo e sua relação com a dispersão de material radioativo no entorno da jazida de Itataia.

É possível ampliar as aplicações do uso de sistemas de informação geográfica e modelagem computacional a partir dos produtos de sensoriamento remoto de média resolução espacial, em virtude da facilidade de aquisição e de extração de informações, que integradas servem de subsídio ao monitoramento ambiental e análise de risco.

O risco de dispersão na área está associado a ação erosiva da água, o embasamento cristalino é mais resistente, entretanto as encostas podem mobilizar materiais sob condições de chuva intensa e concentrada. Sobre a possibilidade de desastres naturais pode-se afirmar que os riscos tendem a aumentar com o início da mineração da jazida, relacionado aos processos envolvidos na extração e tratamento para separação do urânio dos outros minérios. De todos os elementos a emissão do Radônio é sem dúvidas o risco mais crítico e de mais difícil monitoramento, primeiro por ser inodoro e devido as suas características de solubilidade e dispersão pelo ambiente.

Pode-se concluir que a utilização de modelos de elevação SRTM 1 Arc pra delimitação de bacias, extração de drenagem e curvas de nível e análise de fluxo superficial apresentou resultados interessantes. Como primeiro passo da análise do terreno está relacionada aos controles estruturais dos relevos, com a fusão do SRTM e o relevo sombreado foi possível reconhecer o embasamento fortemente fraturado e as falhas, identificamos as duas grandes unidades geomorfológicas, a Depressão Sertaneja, bastante dissecada e os relevos de altimetria aproximada de 1100 m dos Maciços Residuais (Gonçalves e Souza, 2012). É possível reconhecer o padrão de drenagem difuso, com características marcantes do controle estrutural o que condiciona os vales de acumulação a um aspecto mais retilíneo, é possível o reconhecimento das feições dos canais e a direção do fluxo e o canal principal da sub bacia, na diagonal do canto superior direito para o canto inferior esquerdo, onde fica evidente a curva do encontro das falhas (Figura 26) (Batista et al, 2015; Maia et al, 2010)

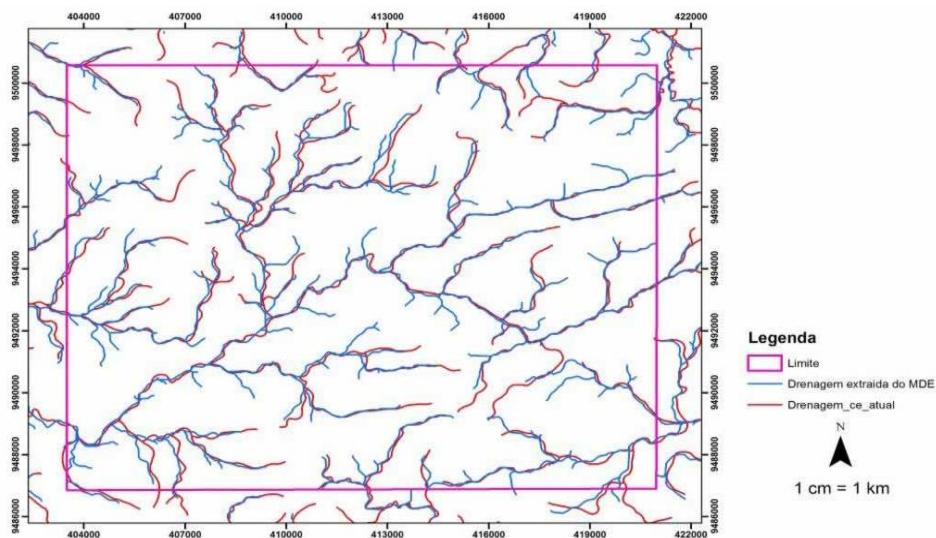
Figura 26 – MDE e Relevo Sombreado.



Fonte: Maranhão *et al*, 2016.

O resultado da extração automática da drenagem pelo software em comparação com as linhas vetorizadas a partir da folha SB-24-V-B-V, escala 1:100.000, apresentou melhor definição da drenagem, detectou canais que não foram descritos na folha e apresenta claramente os leitos encaixados. Certamente a precisão das informações fornecidas é uma grande contribuição das geotecnologias, associada a facilidade e rapidez, para produzir uma cartografia digital de qualidade (Figura 27).

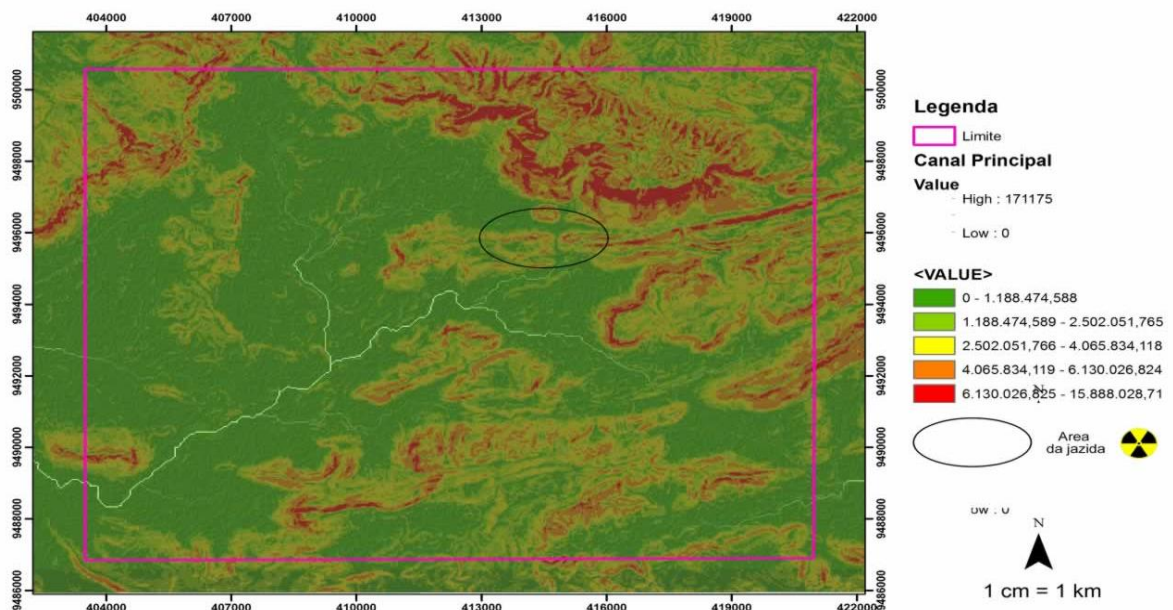
Figura 27 – Comparativo entre a drenagem vetorizada folha SB-24-V-B-V, escala 1:100.000 e a drenagem extraída do MDE.



Fonte: Maranhão *et al*, 2016.

No canto inferior esquerdo fica bem evidente a entrada do canal principal da sub-bacia no conjunto de fraturas que ligam a falha do Rio Groaíras circundando o relevo e se encaixando. As informações sobre a altimetria dos relevos o contraste entre as duas unidades do relevo da sub-bacia (Figura 28).

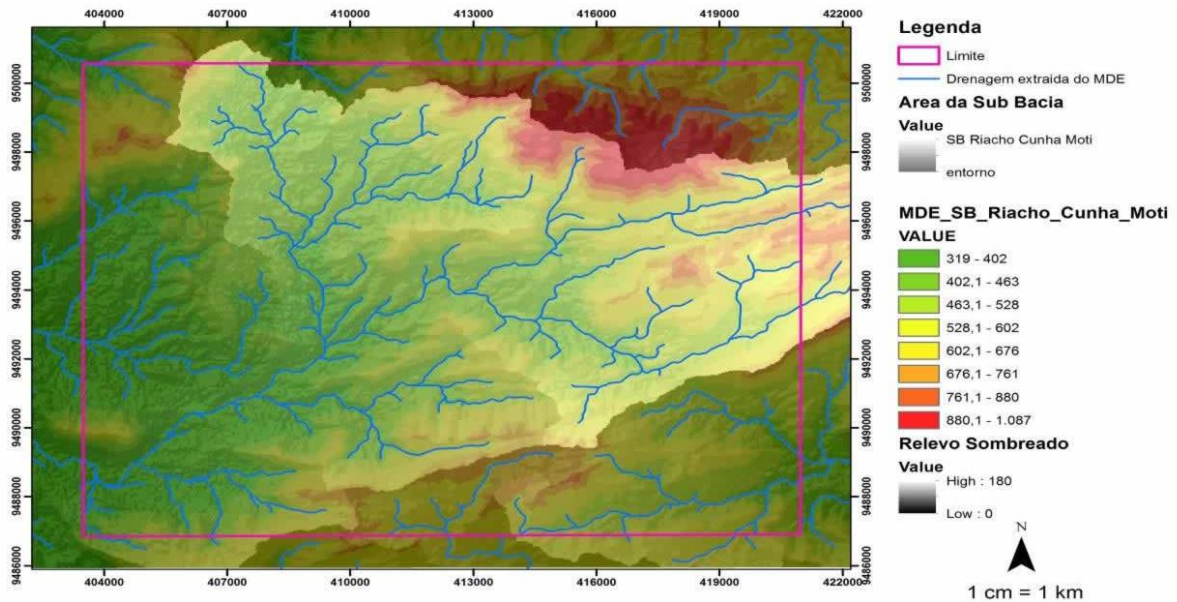
Figura 28 – Integração do relevo sombreado, das encostas e a área de acumulação, que é resultado das análises do fluxo superficial, resultam na apresentação do canal principal da sub-bacia e o contraste dos relevos das áreas.



Fonte: Maranhão *et al*, 2016.

A figura 30 apresenta um produto em que os planos de informação integrados possibilitaram uma análise que pode subsidiar os planos de intervenção no entorno da Jazida. Quando lançamos mão da análise sistêmica para observar um fenômeno, a sobreposição das informações, suas relações e trocas de energia e matéria, são importantes elementos que interagem continuamente e devem ser observados sempre de forma integrada. A localização da jazida e sua relação com a drenagem, propiciam ambiente favorável a dispersão de elementos radioativos devido aos intensos processos erosivos atuantes.

Figura 29 - Informações sobre o relevo e a drenagem, indicando nas áreas mais elevadas, as áreas da sub bacia mais elevadas, possível reconhecer o leito do rio bem definido pelo controle estrutural das zonas de cisalhamento e falhas.



Fonte: Maranhão *et al*, 2016.

A presença da jazida fósforo-uranífera onde o colofanito está exposto no topo e nas encostas do relevo, proporcionando condições favoráveis para mobilização sedimentos radioativos por grande área por ação da água, em eventos de chuva intensa, ou pelo vento. As geotecnologias trouxeram muitos avanços à análise ambiental, facilitando a produção planos de informação sobrepostos em cartogramas, possibilitando a análise integrada de informações geográficas e assim servir de instrumento de apoio à tomada de decisão na gestão ambiental. A precisão, a facilidade e rapidez cada vez maiores, toram o geoprocessamento um instrumental imprescindível para os estudos espaciais.

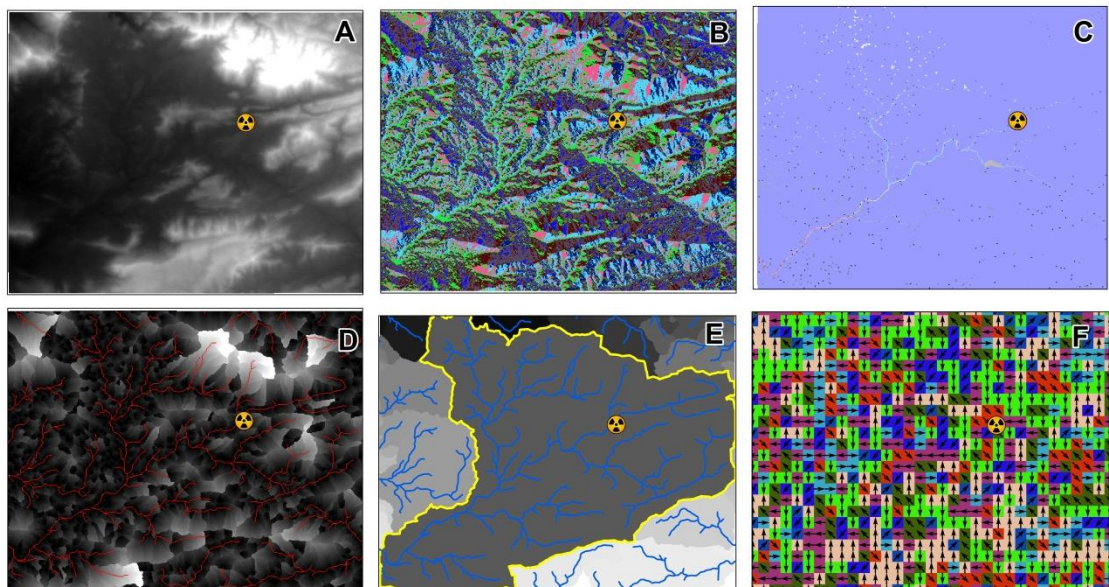
5.5 Análise dos processos modeladores do relevo e erosão

Esta etapa da pesquisa foi construída a partir de modelo digital de elevação do SRTM 1 *Arc Second Global* com resolução de 30 m no terreno, disponibilizado através de um índice de imagens na internet, no site do *Earth Explorer* do USGS onde é possível ter acesso à dados gratuitos a partir de seleção da cena para download gratuito. Para esse estudo a região de

interesse foi criada a partir da cena s05W040v3, que abrange parte do município de Santa Quitéria.

O *software* ArcGIS, versão 10.3.1, utilizado neste trabalho, foi desenvolvido pela *ESRI*, onde inicialmente a imagem SRTM foi recorta e reprojetada para Datum SIRGAS 2000 e Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM, para gerar os modelos de elevação, o tratamento preliminar da imagem e extração das informações sobre forma do terreno e vales de acumulação (drenagem) e recorte da área de estudo, e integração das informações para gerar um cenário das condições ambientais relativas a mobilização de radionuclídeos no ambiente, a partir da análise do fluxo superficial de drenagem, por meio do *Spatial Analyst Tools* por meio do algoritmo *Hydrology*. Foi possível definir o tamanho das flechas que indicará a direção do fluxo através de pontos, determinando o número de classes que corresponderá ao número de direção das flechas por meio de ângulos, e por meio da direção e do MDT foi possível determinar a direção dos fluxos relacionados a processos erosivos dos materiais oriundos das vertentes íngremes, incluindo os elementos radioativos procedentes da Jazida de Fósforo-Uranífera de Itataia que está localizada dentro da área de estudo (Figura 30).

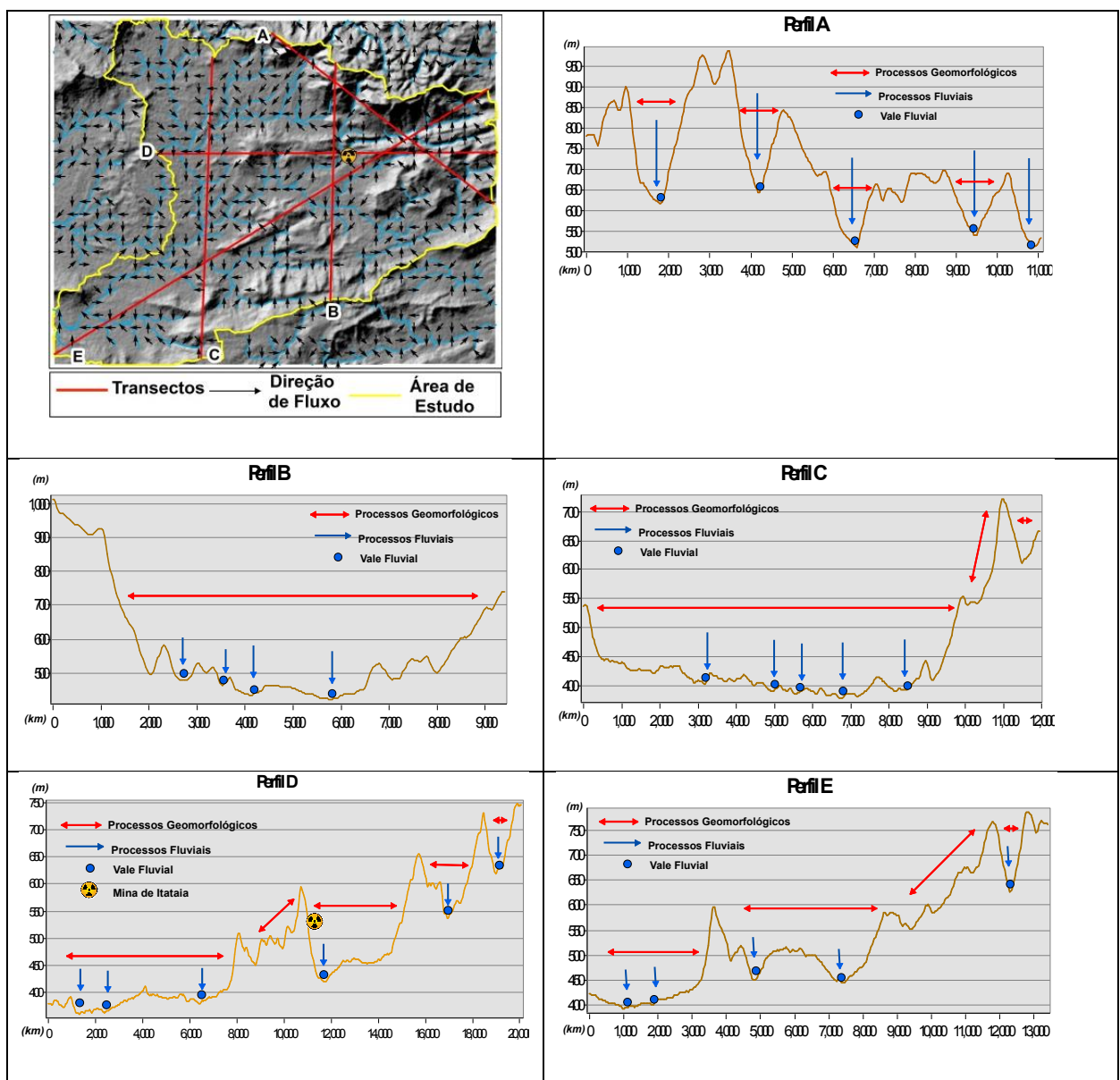
Figura 30 – Mosaico MDE e resultados do *Hydrology*



Fonte: Fonte: Maranhão *et al*, 2017.

Os mecanismos atuantes para a modelagem do relevo em regiões semiáridas estão relacionados a distribuição dos processos de intemperismo físicos relacionados a variação de temperaturas diárias, ou seja, a amplitude térmica, aos processos erosivos vinculados aos processos fluviais. Em áreas de cotas altimétricas elevadas o relevo apresenta em sua vertente a curvatura vertical de caráter convexo ou côncavo do terreno, está associada aos intemperismos, erosivos e de acumulação (Valeriano, 2003).

Figura 31 Mosaico da área de estudo com os transectos dos Perfis Topográficos com indicação dos principais processos modeladores do relevo.



Fonte: Maranhão *et al*, 2016.

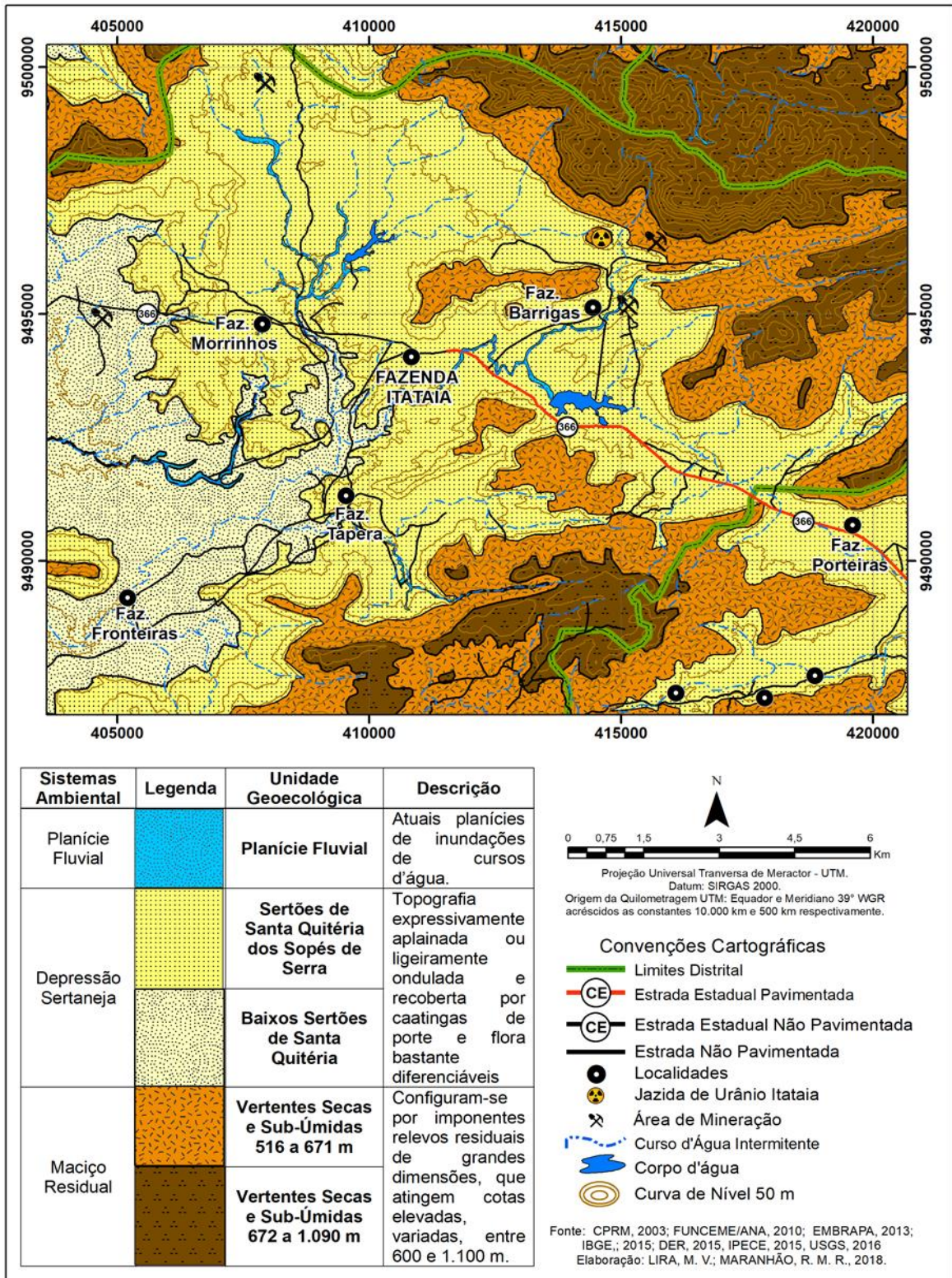
O carregamento de materiais está associado as condições morfológicas da vertente, e que pode se espalhar naturalmente através da calha dos rios e riachos dispersando os radionuclídeos que escorrem e em parte se infiltra no terreno fraturado e em alvéolos sedimentares a jusante. (Lemos, 2013; Marino *et al.*, 2012; Escobar *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2002; Viana, 2010). Como parte do contexto litológico e geológico, a ocorrência de urânio de grandes proporções, em seu estado natural, a radioatividade é liberada no ambiente e certamente a proximidade de cursos d'água e nascentes, que favorecem a lixiviação e transporte das matérias e, conseqüentemente sua deposição em porções mais baixas da bacia hidrográfica. O transporte de elementos radionuclídeos é o fator preponderante relativo a contaminação ambiental e seus impactos ambientais negativos, uma vez que expõe essas áreas à possibilidade de contaminação dos solos e da água com influência direta na saúde da população.

A partir dos resultados desse estudo pode-se concluir que a utilização de modelos de elevação SRTM para a delimitação de bacias, direção de fluxo e perfil topográfico, apresenta resultados interessantes, quanto aos processos geomorfológicos no transporte de materiais e como estes se comportam ao longo de vertentes. O risco de dispersão de materiais radioativos, oriundos da mineração na jazida de Itataia na área está associada as condições do relevo por meio da ação erosiva da água, o embasamento cristalino é mais resistente, entretanto as encostas podem mobilizar materiais sob condições de chuva intensa e concentrada e que são transportadas naturalmente ao longo de algum fluxo d'água.

5.5.1 Mapa Geoecológico da área de estudo

A partir das primeiras análises e interpretações efetuadas foi possível elaborar o mapeamento geoecológico da sub bacia do Riacho Cunha Moti, que representa a área de impacto direto do empreendimento do Consorcio Santa Quitéria (Figura 23). Dentro dos sistemas ambientais que compõe a paisagem: Planícies Fluviais, Depressão Sertaneja e Maciços Residuais, estão inseridas as Unidades Geoecológicas e a sua descrição.

Mapa 9 – Mapa geocológico da área de impacto direto



Fonte: A Autora, 2018.

5.6 Matriz de Riscos

A matriz de riscos obtida a partir da classificação dos dados da área, sob a ótica da ISO 31000 pode ser resumida nos quadros 7 e 8, que trazem a síntese dos aspectos que compõem o plano de monitoramento, baseados na legislação, no EIA (2014) e nas análises ambientais da tese.

Quando 7 – Matriz de Probabilidade e Consequência dos riscos operacionais

Risco Operacional	Probabilidade	Consequência
Contaminação radioativa ambiente interno		
<ul style="list-style-type: none"> contaminação radioativa por deficiência de blindagens (teste de fuga) 	C	4
<ul style="list-style-type: none"> contaminação radioativa em locais de manipulação e armazenamentos 	C	4
Pessoas		
<ul style="list-style-type: none"> indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE), 	C	4
<ul style="list-style-type: none"> contaminação e incorporação de radionuclídeos em pessoas. 	C	4
<ul style="list-style-type: none"> contaminação e incorporação de radionuclídeos em roupas e equipamentos de proteção individual 	C	4
<ul style="list-style-type: none"> contaminação e incorporação de radionuclídeos em instrumentos e equipamentos 	C	4
Transporte		
<ul style="list-style-type: none"> Emissão de poeiras 	A	3
<ul style="list-style-type: none"> Ruídos 	A	3
<ul style="list-style-type: none"> Mal acondicionamento de carga 	C	4
Contaminação radioativa ambiente externo		
<ul style="list-style-type: none"> Poluição do ar por material particulado (emissão de poeiras) 	A	3
<ul style="list-style-type: none"> Transporte de gases 	A	3
<ul style="list-style-type: none"> Carreamento de material radioativo por processos erosivos (chuva e vento) 	B	3
<ul style="list-style-type: none"> Poluição da água (superficial e subterrânea) 	C	5
<ul style="list-style-type: none"> Contaminação radioativa ambiente por eliminação de efluentes radioativos 	C	4
<ul style="list-style-type: none"> Contaminação do solo 	C	4
<ul style="list-style-type: none"> Ruídos 	A	3

Fonte: Matriz de Risco Probabilidade-Consequência – ISO.31000.

Probabilidade: (A) Quase certo; (B) Provável; (C) Possível; (D) Improvável; (E) Raro
 Consequência: (1) Insignificante; (2) Mínimo; (3) Moderado; (4) Máximo; (5) Extremo
 Quadro 8 – Temas de interesse para o monitoramento e medidas de atenção.

MONITORAMENTO E ATENÇÃO	
Segurança da Área da Mina	<p>O processo para produzir o ácido fosfórico é a rota da via úmida, que é o processo mais utilizado no mundo. Ao concentrado fosfático é adicionado ácido sulfúrico, para produzir ácido fosfórico na forma de um dihidrato, pois essa tecnologia evita as dificuldades de filtração quando produzido pelo processo anidrido e hemidrato. As principais etapas deste processo são: 1) Desmonte, 2) Deslamagem 3) Flotação, 4) Produção do Ácido Fosfórico, 5) Separação do Urânio, 6) Extração do Tório.</p> <p>A resolução CONAMA 20/86, em seu artigo 38, determina a exigência dos planos de emergência sempre que a empresa manusear produtos perigosos. A rigor, estes planos são necessários sempre que o empreendimento envolva:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Insumos e produtos perigosos, conforme definido por classificação ONU, normas ABNT, CONAMA ou na Portaria 204/97 do Ministério dos Transportes, como por exemplo tanques de combustíveis, ácidos, bases, gases perigosos, etc.; - Estruturas como barragens, diques de contenção ou sistemas que, em caso de rompimento, possam causar impactos ambientais significantes; <p>O “Plano de Gerenciamento de Riscos”- PGR é subdividido em duas partes: O Plano de ação para Prevenção de Riscos, e o Plano de Emergência, e sua elaboração deve ser feita por profissional legalmente habilitado;</p>

<p>Proteção ao Trabalhador e Segurança no Ambiente de Trabalho</p>	<p>Para segurança do trabalhador a empresa deverá cumprir as determinações contidas no Código de Mineração e nas Normas regulamentadoras de Mineração, na Consolidação das Leis do Trabalho e em outros dispositivos legais vigentes no País. A empresa será obrigada a fornecer aos trabalhadores, gratuitamente, os Equipamentos de Proteção Individual – EPI adequado ao risco e em perfeito estado de conservação e funcionamento, consoante as disposições contidas na NR 6 – Equipamentos de Proteção Individual.</p>
<p>Monitoramento da Saúde Humana nas Comunidades do Entorno</p>	<p>Observar os níveis de contaminação do solo e água. Direção do vento, horários de desmonte de rochas com explosivos, controle de emissão de poeiras e ruídos de acordo com os parâmetros estabelecidos de índices inadequados. Para atendimento a eventos de risco ambiental, existem atualmente no Brasil empresas que mantém equipes de prontidão permanente, com veículos e equipamentos adequados ao controle de emergências ambientais, denominadas de EPAE (Equipes de Pronto Atendimento a Emergências Ambientais), que atuam principalmente nos acidentes no transporte de produtos perigosos.</p>
<p>Controle e Monitoramento dos Níveis de Ruídos e Vibrações</p>	<p>Observar os horários de desmonte de rochas com explosivos, monitorando o volume dos ruídos de acordo com os parâmetros estabelecidos de índices inadequados para saúde humana. Para ruídos, dentre outros, podem ser citados os seguintes métodos de controle atualmente utilizados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Substituição de cordéis detonantes por outros sistemas (elétricos, ou cordéis especialmente projetados para redução de ruídos). Os cordéis

	<p>detonantes representam a principal fonte de ruídos no desmonte;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Substituição de “fogachos” (detonações para destruição de matacões ou grandes blocos soltos de rocha) por equipamentos para quebra mecânica (rompedores hidráulicos, “drop ball”, etc.); - Enclausuramento de equipamentos geradores de níveis elevados de ruídos (Peneiras, britadores, moinhos, compressores, etc.), com a utilização de paredes absorventes (existem no mercado brasileiro diversos fabricantes e diversas opções de produtos);
<p>Monitoramento da Qualidade do Ar;</p>	<p>Observar a direção do vento, horários de desmonte de rochas com explosivos, para controle de emissão de poeiras e gases com vistas aos índices inadequados para Radônio e outros gases e poeiras. Os equipamentos produzidos no Brasil, para filtragem de emissões gasosas, inclusive de fornos e outros dispositivos de tratamento de minério é adequada e permite o atendimento aos padrões legais.</p>
<p>Monitoramento da Qualidade da Água;</p>	<p>Observar os níveis de contaminação da água. Água do processo produtivo mineiro, água do processo produtivo industrial, vistas aos mananciais verificados por análise do fluxo superficial e subterrâneo (por piezômetros) verificando se os indicadores estão de acordo com os parâmetros estabelecidos ou se apresentam valores inadequados contaminação por materiais radioativos e outros materiais nocivos. A evolução tecnológica na gestão da água, faz para maximização dos sistemas que demandam água e geram efluentes, no sentido da redução do consumo, da recirculação de água e da menor geração de efluentes. As tecnologias de</p>

	<p>“tratamento passivo”, desenvolvidas na América do Norte para tratamento de drenagem ácida de mina e de drenagens com alto teor de metais ainda não foram integradas à mineração no Brasil. Trata-se de tecnologias que proporcionam tratamento de longo prazo, sem interferência humana, e por isso são extremamente importantes como sistemas de tratamento que se manterão mesmo após o fechamento da mina.</p>
<p>Monitoramento da Qualidade do Solo</p>	<p>Observar os níveis de contaminação do solo de acordo com os parâmetros estabelecidos com valores inadequados de materiais radioativos e outros materiais nocivos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verificação da eficiência dos sistemas de controle de erosão implantados (observar e avaliar presença ou ausência de erosão laminar e em sulcos); - Controle e monitoramento da fertilidade dos solos nos locais revegetados. Observar indicadores ecológicos de fertilidade (espécies invasoras e pedofauna) e viço da vegetação implantada;
<p>Proteção e Combate à Poeiras;</p>	<p>Uma das principais fontes geradoras de poeira na mineração é a movimentação de máquinas e equipamentos em vias não pavimentadas. Em áreas onde se dá o trânsito por veículos convencionais, as tendências modernas são pela pavimentação das vias. Entretanto, isso não é possível nas áreas da mina, onde transitam máquinas e veículos do tipo “fora de estrada”. Neste caso, os sistemas convencionais de molhamento de pista por caminhão pipa, quando possível, vêm sendo substituídos por sistemas fixos de irrigação.</p>
<p>Gerenciamento dos Resíduos Sólidos</p>	<p>As tendências de gerenciamento de resíduos são baseadas no princípio da redução da geração, do</p>

	<p>reaproveitamento e da reciclagem. Considerando-se que um resíduo perigoso, se misturado a outro não perigoso, pode fazer com que todo o conjunto se torne perigoso, outro conceito atual é o de gerenciamento do resíduo na origem, com coleta seletiva e separação cuidadosa dos resíduos segundo suas características. Havendo a necessidade de disposição final dos resíduos, existem normas da ABNT definindo como esses depósitos devem ser construídos (NB's 1183, 13896).</p>
Gerenciamento dos Rejeitos	<p>Para a disposição de estéril, que é o resíduo da lavra, existem normas brasileiras específicas (NB 13029). Nos empreendimentos onde se aplicam técnicas modernas de gestão ambiental, a definição das áreas para disposição de estéril é feita a partir de estudo de alternativas, onde um dos parâmetros principais consiste na importância relativa dos ambientes a serem atingidos (que pode ser obtida a partir do mapeamento e caracterização destes ambientes). Para a disposição de estéril, que é o resíduo da lavra, existem normas brasileiras específicas (NB 13029). Nos empreendimentos onde se aplicam técnicas modernas de gestão ambiental, a definição das áreas para disposição de estéril é feita a partir de estudo de alternativas, onde um dos parâmetros principais consiste na importância relativa dos ambientes a serem atingidos (que pode ser obtida a partir do mapeamento e caracterização destes ambientes).</p> <p>Resíduo do processo de beneficiamento mineral (rejeito) pode ter características muito diferenciadas, dependendo do processo e dos insumos utilizados. Desta forma, pode ser um resíduo inerte, com baixo potencial poluidor, ou pode adquirir características</p>

	<p>que o tornem perigoso ou altamente poluente. O sistema tradicional de disposição deste resíduo é a barragem de rejeito. A evolução tecnológica deste sistema vem se direcionando no sentido de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Redução da área afetada pela barragem, através de aumento da eficiência da decantação (com o uso de produtos para acelerar a sedimentação, como por exemplo a cal), ou pela implantação de sistemas de drenagem interna (redes de drenos no fundo da bacia, com sistemas de filtragem à base de manta geotêxtil); - Modificação do sistema construtivo, de forma a possibilitar a implantação de “diques secos”, em áreas planas ou encostas suaves, fora de vales e APPs. - Sistemas de impermeabilização do solo à base de mantas de PVC, para bacias onde serão depositados rejeitos perigosos, potencialmente poluidores.
Proteção à Fauna e à Flora	<p>Com o objetivo de oferecer maior segurança às operações de manejo da flora, durante a fase de operação do empreendimento o empreendedor deve realizar novos levantamentos de detalhes das espécies florísticas, definindo-as em tabelas (nome científico, nome vulgar e famílias), densidade (indivíduos/ha) e frequência (%) das espécies vegetais, e, ao final, a elaboração de mapas das unidades de vegetação</p>
Educação Ambiental	<p>A formação de uma consciência preservacionista depende não apenas da existência de um conjunto ordenado de leis, mas principalmente da concepção dos valores éticos, morais e ambientais, uma vez que as formas de preservação e controle ambiental serão traduzidas em melhoria dos aspectos ambientais e de qualidade de vida. O plano será contínuo e</p>

	<p>permanente, revertendo-se esta campanha permanente, e terá no quadro de funcionários, uma parceria que ajudará na preservação do ambiente e conservação dos equipamentos. O Patrimônio natural e cultural é constituído por elementos e sítios naturais, históricos, pré-históricos, culturais e religiosos. Os exemplos mais típicos são os constituintes do patrimônio espeleológico (cavernas e formações associadas) e os sítios arqueológicos.</p>
<p>Recuperação das Áreas Degradadas</p>	<p>Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). Os métodos de reabilitação exigem estudos e adequação a cada situação. É preciso a avaliação criteriosa de um técnico qualificado, com apresentação de concepção (no EIA) e projeto detalhado (no PRAD), com Anotação de Responsabilidade Técnica do CREA. Em uma mesma mina, em geral, existem vários tipos de superfícies com características diferentes para reabilitação: taludes de aterro, taludes de corte, superfícies de corte, superfícies de aterro, substrato rochoso, solos residuais, saprólitos, solos hidromórficos etc. Por este motivo é fundamental conhecer bem as características do substrato remanescente das áreas degradadas. Para tal é preciso fazer testes de ordem física, de fertilidade e preferencialmente de ordem biológica, isto é, plantios experimentais com diversos tipos de insumos e espécies rústicas, que possam viabilizar uma rápida e eficiente revegetação.</p>

Fonte: a Autora, 2018, com base em: ARCADIS Logos, 2014 e MMA, 2001.

5.7 Proposta de plano de monitoramento ambiental

O Plano de Monitoramento Ambiental tem como objetivo principal propor metodologias de verificação e análise do ambiente da planta da mina, para atenuar e/ou compensar os impactos ambientais adversos, previsíveis ou não, gerados ao ambiente pelas ações do Consórcio Santa Quitéria, **no** qual participam as empresas: Indústrias Nucleares do Brasil S.A. – INB e a Galvani Mineração.

Esse Plano é o resultado de exaustiva análise de instrumentos de controle e monitoramento ambiental, do EIA/RIMA, de uma análise ambiental baseada em geocologia orientada a objetos, de análise da cartografia, bem como a legislação pertinente e padrões associados às instruções e normas de vigilância dos processos industriais ou de mineração (ISO e ABNT), serviram de base para subsidiar a presente proposta.

Este empreendimento, após a separação dos minérios será dividido em duas unidades: Unidade de Fosfato e Unidade de Urânio, classificada pela CNEN como Instalação Nuclear. Até a separação dos minérios a área é classificada pela CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear como Instalação Minero Industrial, o Quadro 9 mostra as unidades e suas classificações junto a CNEN e as normas para excussão do projeto (ARCADIS-Logos, 2014. v.1).

Quadro 9 - Classificações das unidades do empreendimento junto a CNEN

UNIDADE DE FOSFATO	UNIDADE DE URANIO
Classificada pela CNEN como Instalação Mínero Industrial	Classificada pela CNEN como Instalação Nuclear.
Elaboração de Relatório de Análise de Segurança	Elaboração de Relatório de Local para obtenção da “Aprovação de Local”
Norma CNEN-NE 4.01 2005	Norma CNEN-NE 1.04 /02 e CNEN NE 1.13 /89

Fonte: Elaborado por ARCADIS Logos, 2014.

A implantação do empreendimento mineiro industrial produzirá alterações nos parâmetros biofísicos nas áreas de influência direta e indireta, e tendo-se em vista as proporções do Consórcio Santa Quitéria, um plano de monitoramento integrado e dinâmico se faz imprescindível. Desse modo temos que observar os inventários dos recursos naturais existentes e analisá-los indo além dos dados quantitativos e contagens de dados levantados em campo, mas propor uma análise geossistêmica integrada, em busca de apontar prognósticos relativos às prováveis alterações ambientais e a dispersão de radionuclídeos, em vários níveis,

devido alcance dos contaminantes através dos processos de dispersão atuantes (Sanchez, 2007).

Sobre os impactos socioeconômicos, certamente o empreendimento terá importância significativa para a economia, não só da região, mas em todo o Estado do Ceará e no Brasil, uma vez que proporcionará aumento na arrecadação de tributos e geração de empregos diretos ou indiretos, com aumento da renda e estimulando diversos setores da economia local, sendo evidentes os benefícios do empreendimento, uma vez que assegure a qualidade ambiental, melhorando a qualidade de vida das comunidades do entorno e proporcionando autossuficiência energética nuclear (Silva, 2003). A adoção das medidas para o controle e monitoramento ambiental visam mitigar ou erradicar os impactos adversos, aumentando os possíveis impactos benéficos, tendo em vista que a danos ambientais da mineração, sempre refletem de alguma forma na saúde humana.

A execução dos Planos de Controle e Monitoramento Ambiental será de responsabilidade do Consórcio Santa Quitéria, que providenciará para cada plano proposto o respectivo projeto executivo para a fase de instalação, execução e finalização, do empreendimento, sendo atualizados e adaptados para cada etapa operacional, mesmo se tratando, nesse momento, de planos conceituais, sem a descrição detalhada de cada processo, necessárias à realização de cada ação proposta.

O exercício das atividades do empreendimento é considerado monopólio do Estado, imposto pelo artigo 1º, da Lei nº 4.118, de 27 de agosto de 1962, é exclusivo da CNEN e da INB6, e suas subsidiárias, ressalvada a previsão do artigo 10, da Lei 6.189 de 16 de dezembro de 1974, com redação dada pela Lei 7.781, de 27 de junho de 1989, para usinas nucleoeletricas às concessionárias do setor. A competência para o licenciamento ambiental é do IBAMA, em face não só da legislação em vigor, como também do v. Acórdão, transitado em julgado, que foi exarado por unanimidade, pela Primeira Turma do Tribunal Regional Federal da 5ª Região, que, em 24 de maio de 2012, negou provimento à apelação da INB e da SEMACE, confirmando decisão da 1ª instância da Justiça Federal do Estado do Ceará. Conforme a lei a seguir:

“Art. 21. Compete à União:

XXIII - explorar os serviços e instalações nucleares de qualquer natureza e exercer monopólio estatal sobre a pesquisa, a lavra, o enriquecimento e reprocessamento, a industrialização e o comércio de minérios nucleares e seus derivados, atendidos os seguintes princípios e condições:

a) toda atividade nuclear em território nacional somente será admitida para fins pacíficos e mediante aprovação do Congresso Nacional;

- b) sob regime de permissão, são autorizadas a comercialização e a utilização de radioisótopos para a pesquisa e usos médicos, agrícolas e industriais;
- c) sob regime de permissão, são autorizadas a produção, comercialização e utilização de radioisótopos de meia-vida igual ou inferior a duas horas;
- d) a responsabilidade civil por danos nucleares independe da existência de culpa;” essa previsão já existia no ordenamento jurídico, por força do artigo 1º da Lei 4.118 de 27 de agosto de 1962 que lista as atividades sob monopólio, ex-vi:

Art . 1º Constituem monopólio da União:

I - A pesquisa e lavra das jazidas de minérios nucleares localizados no território nacional;

II - O comércio dos minérios nucleares e seus concentrados; dos elementos nucleares e seus compostos; dos materiais físséis e férteis, dos radioisótopos artificiais e substâncias radioativas das três séries naturais; dos subprodutos nucleares;

III - A produção de materiais nucleares e suas industrializações.

A necessidade de compreender a legislação setorial nuclear como uma legislação de proteção da saúde pública e do meio ambiente e não só como uma legislação que regulamenta a indústria nuclear. Devemos ressaltar, que a previsão de monopólio surge, também, em outro artigo da Constituição Federal, no Capítulo da Ordem Econômica e Financeira, de acordo com o art. 177, onde encontra-se o regime de monopólio estatal, que apresenta a função social da propriedade e a defesa do meio ambiente, que condicionam e subordinam a atividade econômica. No que diz respeito a como legislar sobre matéria nuclear, observa-se no artigo 22 da Constituição Federal, que é uma competência privativa da União.

[...] a atividade nuclear está subordinada aos seguintes princípios constitucionais:

a) Princípio da Legalidade Estrita: toda atividade nuclear em território nacional somente será admitida para fins pacíficos e mediante aprovação do Congresso Nacional (CF, art. 21, XXIII, alínea a);

b) Princípio da Atividade Controlada (autorização): sob regime de concessão ou permissão, é autorizada a utilização de radioisótopos para a pesquisa e usos medicinais, agrícolas, industriais e atividades análogas (CF, art. 21, XXIII, alínea b);

c) Princípio da responsabilidade objetiva: a responsabilidade civil por danos nucleares independe de culpa (CF, art. 21, XXIII, alínea c);

d) Princípio da utilização pacífica; e

e) Princípio Democrático: que é o controle democrático imposto pelos seguintes comandos: - inciso XIV do art. 49 da CF que dispõe ser competência exclusiva do Congresso Nacional “aprovar iniciativas do Poder Executivo referentes a atividades nucleares”; - § 3º do art. 177

da CF que diz que a “ lei disporá sobre o transporte e a utilização de material radioativo em território nacional”; e o § 6º do artigo 225 da CF que impõe que “as usinas que operem com reator nuclear deverão ter sua localização definida em lei federal, sem o que não poderão ser instaladas (BRASIL, Constituição Federal, artigo 22).

A Política Nacional de Meio Ambiente, instituída pela Lei n.º 6.938 de 31 de agosto de 1981, e recepcionada em seus principais pontos pela Constituição Federal de 1988,

presente como superior às políticas setoriais, públicas e privadas, aos seus instrumentos e formas de controle, para a proteção ao meio ambiente, reconhecido como bem de uso comum do povo; desse modo e imperativo o desafio de buscar um modelo de desenvolvimento sustentável apto a conservar os recursos naturais para esta e futuras gerações. A observância da legislação federal sobre a área e natureza do empreendimento proposto, bem como do arcabouço jurídico-institucional referente à proteção ambiental no Estado do Ceará, cuja execução pertence hoje a SEMACE, sob o aval do COEMA¹⁰; bem como, à Lei Orgânica do Município de Santa Quitéria, e a Lei nº 6.535/10 que instituiu o Código Municipal de Meio Ambiente; em respeito aos entes federados e suas competências.

Os planos de controle e monitoramento ambiental, que compõe um sistema integrado a partir de dados especializados em mapas, estão a seguir mencionados:

- Plano de Segurança da Área da Mina;
- Plano de Proteção ao Trabalhador e Segurança no Ambiente de Trabalho;
- Plano de Monitoramento da Saúde Humana nas Comunidades do Entorno.
- Plano de Controle e Monitoramento dos Níveis de Ruídos e Vibrações;
- Plano de Monitoramento da Qualidade do Ar;
- Plano de Monitoramento da Qualidade da Água;
- Plano de Monitoramento da Qualidade do Solo;
- Plano de Controle dos Processos Erosivos;
- Plano de Proteção e Combate à Poeiras;
- Programa de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos;
- Plano de Gerenciamento dos Rejeitos;
- Plano de Educação Ambiental;
- Plano de Proteção à Fauna e à Flora; e
- Plano de Recuperação das Áreas Degradadas (PRAD).

Desse modo o Plano de Monitoramento e Controle de Impacto Ambiental se apresenta como instrumento básico de planejamento e controle ambiental pré-operacional, bem como de gerenciamento ambiental nas fases: de instalação, fase operacional e pós operacional do empreendimento.

5.7.1 Riscos do empreendimento

A análise das informações do EIA (ARCADIS, 2014) possibilitou a compreensão da magnitude do empreendimento e como acontecerão as etapas da implantação, operação e pós-operação. No que se refere ao uso dos recursos naturais na área a base jurídica apoia todas as ações, conforme o recurso natural ou espaço ecológico. Em virtude da posição geográfica dentro do semiárido, onde as condições climáticas com secas recorrentes e ventos, conferem grande preocupação com a disponibilidade hídrica aumentando a importância do recurso água, bem como as ações voltadas ao combate das emissões de gases e poeiras (Reis e Santo, 2013).

A drenagem difusa e o açude Quixaba não são suficientes para garantia de água para o empreendimento, que demandará fontes alternativas de captação de água. O açude Edson Queiroz está apontado como o principal fornecedor de água. O quadro 10 apresenta as características e volumes destes rejeitos, considerando a plena operação da Unidade de Fosfato, estão relacionados a seguir:

Quadro 10 - Características e volumes de rejeitos

Material	Vazão	Teor P ₂ O ₅	Teor 3O ₈	pH
Lamas	44 t/h	7,5 % P ₂ O ₅	377 ppm de U ₃ O ₈	natural (~ 7)
Rejeitos Silicáticos	85 t/h	2,5 % P ₂ O ₅	687 ppm de U ₃ O ₈	básico (~ 10)
Concentrado de calcita	45 t/h	7,1 % P ₂ O ₅	414 ppm de U ₃ O ₈	ácido (~ 5)

Fonte: ARCADIS Logos (2014)

Além dos rejeitos de processo acima descritos, serão gerados em pequena escala outros efluentes líquidos industriais na Unidade de Fosfato, os quais se encontram relacionados de forma qualitativa no Quadro 11.

Quadro 11 - Demais Efluentes Líquidos Industriais da Unidade de Fosfato

Purga da Lavagem de Gases – Ácido Fosfórico	Flúor, P ₂ O ₅ e sólidos (CaSO ₄)
Torre de Resfriamento – Ácido Fosfórico	Flúor, P ₂ O ₅ e sólidos (CaSO ₄)
Purga da Lavagem de Gases - MAP granulado	Flúor, P ₂ O ₅ , SO ₄ , Nitrogênio e sólidos (produto arrastado)
Purga da Lavagem de Gases – Fosfato Bicálcico	CaO, P ₂ O ₅ , Sólidos (produto e/ou calcário arrastados)

Fonte: ARCADIS Logos 2014.

Ainda de acordo com o EIA, há grande preocupação com os efluentes líquidos abundantes, que serão gerados nos processos de beneficiamento e concentração do minério. Os materiais são as lamas, rejeitos silicáticos e concentrados de calcita, considerados como rejeitos do processo de beneficiamento e concentração. As lamas têm origem nas etapas de moagem e deslamagem, enquanto os rejeitos silicáticos originam-se na etapa de flotação direta (rejeito da coluna “*rougher*”) e os rejeitos concentrados de calcita são formados como concentrado da célula “*rougher*” na etapa de flotação reversa (Reis e Santo, 2013). Todos passarão ainda por um espessamento antes de serem lançados na barragem de rejeitos, a fim de aumentar o reaproveitamento da água na Unidade de Fosfato (ARCADIS Logos, 2014)

Relativo à qualidade do ar, os efluentes gasosos, dos processos de descomplexação e precipitação de urânio, serão gerados gases com CO₂ e NH₃, além do ²²²Rn, que passarão por coluna de lavagem para retirar o urânio arrastado. Dos processos de secagem e embalagem, - o ar de secagem, transporte e embalagem serão monitorados. O quadro 12 resume as fontes geradoras, os agentes causadores e os possíveis danos causados à saúde humana.

Quadro 12 – Agentes reconhecidos e seus possíveis danos à saúde

Principais agentes reconhecidos e seus danos		
agentes físicos	fontes geradoras	possíveis danos à saúde
Ruído	Máquinas pesadas e equipamentos em geral	Perda auditiva, stress e efeitos orgânicos
Calor	Carga solar	Hipertermia, desidratação, efeitos sobre o sistema circulatório e fadiga
Radiações ionizantes	Minérios e produtos radioativos	Alterações celulares
Radiações não ionizantes	Carga solar e máquinas de solda	Queimaduras e efeitos diversos sobre os olhos
Vibrações	Máquinas pesadas e caminhões	Desordens muscoesqueletais, nervosas, digestivas e circulatórias
Monóxido de carbono	Motores de combustão interna	Asfixia química
Material particulado	Movimentação de máquinas e transporte	Pneumoconioses
agentes químicos	fontes geradoras	possíveis danos à saúde
Monóxido de carbono	Motores de combustão interna	Asfixia química

Material particulado	Movimentação de máquinas e transporte	Pneumoconioses
Fumos metálicos e gases de solda	Máquinas de solda e corte oxiacetilênico	Intoxicação, asfixia química ou simples e efeitos orgânicos
Ácidos e álcalis cáusticos	Reagentes e aditivos	
Hidrocarbonetos	Óleos lubrificantes e combustíveis minerais	Dermatoses
agentes biológicos	fontes geradoras	possíveis danos à saúde
Bactérias, vírus, bacilos, fungos, protozoários e helmintos	material infecto-contagante – resíduos dos sanitários e lixo doméstico	infecções, parasitoses, reações alérgicas e intoxicações

FONTE: ARCADIS Logos, 2014.

A ecologia da área deverá ser monitorada, em virtude dos indicadores de qualidade de água, monitorando desde os organismos aquáticos, bem como a presença de amônia na superfície da água. Dados sobre a saúde humana: inalação ou ingestão ou contato com a pele, vapores ou respingos de material contaminado por elementos químicos, radioativos ou não.

5.7.2 Medidas de controle do empreendimento

A implementação total das Normas ISO 9001, 14001, 45001 e 30000, com a finalidade de promover o controle e monitoramento adequado dos processos industriais e de mineração no empreendimento, buscam orientar sobre os seguintes procedimentos:

Segundo o plano de exploração, a lavra do colofanito na Fazenda Barrigas, mina de Itataia, será a céu aberto, iniciando-se pelas cotas mais elevadas do corpo principal da jazida, conduzindo-se por meio de bancadas dispostas em meia encosta nos primeiros 10 anos, enquanto nos 10 anos restantes as bancadas serão conduzidas tanto em meia encosta como em cava, formando então bancadas iniciais que terão altura de 5,0 metros, enquanto as finais terão 10,0 metros.

A área da mineração disporá de um plano de segurança bem dimensionado e estruturado, contemplando uma boa sinalização, especialmente nos locais de maiores riscos potenciais como: os paióis de explosivos, recipientes para armazenamento de combustíveis e de matéria-prima da indústria para a produção do ácido sulfúrico.

De um modo geral, todos os dispositivos de sinalização serão mantidos em perfeito estado de conservação e funcionamento e as cores indicativas obedecerão às normas estabelecidas para essas finalidades pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

As áreas sujeitas à ocorrência de incêndios e/ou explosões, serão localizadas em pontos isolados, cercados e contendo uma ampla sinalização, com placas indicando a proximidade de áreas de riscos e as medidas de segurança a serem tomadas.

O desmonte será conduzido conforme as condições de escavação dos materiais a serem movimentados e as instalações industriais e equipamentos serão construídos e/ou instalados e operados, seguindo estritamente as normas técnicas em vigor.

Com o emprego do método de lavra a céu aberto totalmente mecanizado, com a utilização de explosivos e acessórios, deve-se proceder algumas ações de grande importância para a segurança da área da jazida como:

- Toda área do empreendimento será mantida cercada e vigiada, para evitar entrada de estranhos ou animais;
- O armazenamento e o manuseio de explosivos obedecerão às determinações estabelecidas pelo ao Extrato do R-105, do Exército Brasileiro;
- Cada paiol será equipado com para-raios, extintores e termômetros, a referida área deve ser permanentemente cercada e vigiada;
- A empresa terá obrigatoriamente um “*blaster*” (encarregado de fogo), legalmente habilitado, responsável pelo manuseio do material;
- Todos os explosivos e acessórios comprometidos em seu estado de conservação serão destruídos;
- As embalagens dos explosivos utilizados serão queimadas, em local seguro e guardando distância da frente de lavra;
- Estabelecer horário regular de fogo, delimitando a área de ultra lançamentos das partículas rochosas;
- A faixa desmatada ao redor dos paióis será mantida sempre capinada e limpa e o acesso aos paióis deverá apresentar bom estado de conservação e visibilidade, além de boa sinalização;
- Durante o processo das detonações todo pessoal que se encontra na frente de desmonte e em áreas próximas será evacuado e os equipamentos serão conduzidos para locais especiais de proteção;

- Setores do empreendimento que serão submetidos a detonações, conterão sinalização específica, informando a frequência e as horas nas quais essas atividades serão executadas na jazida.
- Implantar sistema de drenagem na mina, durante o período chuvoso, através de abertura de canaletas;
- Recomenda-se não depositar material próximo à borda das bancadas, bem como estacionar máquinas ou veículos sem obedecer a uma distância mínima de segurança;
- As emissões de vibrações no solo e de ruídos no ar, decorrentes dessa operação, deve ficar dentro dos limites permitidos pela legislação vigente;
- Os taludes da cava deverão ter inclinação que não comprometam a estabilidade do mesmo e a garantia da segurança no desenvolvimento do desmonte, sendo desaconselhável a formação de taludes com inclinação negativa;
- Implantar sistema de drenagem superficial na borda dos taludes, com escavação de canaletas;
- As rampas de acesso deverão ser adequadamente protegidas e sinalizadas; e
- Para segurança do trabalhador a empresa deverá cumprir as determinações contidas no Código de Mineração e nas Normas regulamentadoras de Mineração, na Consolidação das Leis do Trabalho e em outros dispositivos legais vigentes no País.

5.7.3 Plano de proteção ao trabalhador e segurança no ambiente de trabalho

O Monitoramento ambiental e individual da mina deve ser capaz de fornecer informações sobre a exposição às fontes radioativas, verificando e assumindo os limites de dose admitidos como padrão de controle. Esses resultados devem estar de acordo com os limites admitidos pela CNEN. O acompanhamento se dá por meio de instrumentos e procedimentos operacionais, que busquem apontar a presença e atividade de radionuclídeos em pessoas, em um determinado compartimento de local das instalações ou em materiais específicos, bem como roupas, luvas e botas.

O Plano de Proteção ao Trabalhador e a Segurança do Ambiente de Trabalho está relacionado às fases de implantação e de operação do empreendimento, sendo de total responsabilidade do empreendedor.

Em caso de contratação de serviços de terceiros ou serviços especializados, será claramente consignado que as empresas sublocadas procederão a todos os cuidados devidos, em relação à segurança do trabalhador, seguindo fielmente as exigências da legislação específica.

Os trabalhadores regularmente contratados pelo empreendedor e aqueles que assumem funções em atividades terceirizadas estarão física e psicologicamente aptos ao bom desempenho de suas funções, cabendo à empresa proporcionar todas as condições indispensáveis à boa execução dos trabalhos previstos.

No caso de necessidade de criação da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes – CIPA, se a empresa vier a possuir mais de setenta empregados será composta a Comissão com representantes do empregador e dos empregados, respeitando-se à paridade prevista na NR-5.

A empresa será obrigada a fornecer aos trabalhadores, gratuitamente, os Equipamentos de Proteção Individual – EPI adequado ao risco e em perfeito estado de conservação e funcionamento, consoante as disposições contidas na NR 6 – Equipamentos de Proteção Individual.

Os seguintes equipamentos de proteção serão fornecidos aos empregados, e incentivados seus usos pelo empreendedor:

- Capacete de proteção contra impactos, óculos de proteção contra fragmentos de rocha, faíscas e clarões provocados por aparelhos de solda, por exemplo, protetores auriculares contra sons agressivos e máscara contra poeiras fugitivas;
- Uniformes de trabalho para proteção ao tronco;
- Luvas de couro ou de borracha para proteção às mãos;
- Botas ou botinas de couro ou borracha para proteção aos pés.

Nas atividades que envolverem riscos à saúde do trabalhador a empresa monitorará e controlará de forma permanente no ambiente de trabalho, os parâmetros nocivos ao bom desempenho de sua atividade.

Os materiais de uso rotineiro serão armazenados e estocados de modo a não prejudicar o trânsito de pessoas e de trabalhadores, a circulação de materiais, o acesso aos equipamentos de combate a incêndio, não obstruir portas ou saídas de emergência. O armazenamento dos dispositivos de detonações em paióis especialmente construídos para essa finalidade obedecerá às normas determinadas pelo Exército Brasileiro, através da 10ª Região Militar, sediada em Fortaleza.

Treinamentos de segurança operacional serão proporcionados aos empregados e ministrados por técnicos habilitados nesse mister e durante os trabalhos mineiros, o responsável pela mina garantirá a segurança das pessoas em serviço.

Incêndios não poderão ocorrer na área do projeto, especialmente nas faixas de proteção permanente e para tanto serão evitadas queimas de matéria orgânica resultante de desmatamento, lançamento de materiais combustíveis ou pontas de cigarros acesas, nas proximidades das áreas com cobertura vegetal. As unidades produtivas serão também alvos de cuidados especiais quanto à ocorrência desses eventos.

Serão instalados extintores de incêndio, de acordo com as normas da ABNT, em locais de maiores riscos de acidentes, os quais serão submetidos à manutenção periódica segundo as especificações contidas no lacre dos aparelhos.

O Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA consta da Norma Regulamentadora nº 9, da Portaria nº 3.214, referente ao capítulo V, do título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, de acordo com a redação da portaria nº 25, de 29/12/94.

Esses documentos legais estabeleceram obrigatoriedade da elaboração e implementação do Programa, por empregadores e instituições, visando preservar a saúde e a integridade dos trabalhadores, através da antecipação, reconhecimento, avaliação e controle da ocorrência de riscos ambientais existentes, ou que venham a existir no ambiente de trabalho, tendo em consideração a proteção do ecossistema e seus recursos naturais.

Os riscos ambientais, para efeitos legais, são os agentes físicos, químicos e biológicos, existentes no ambiente de trabalho, e que, em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, serão capazes de causar danos à saúde do trabalhador.

O PPRA em sua estrutura mínima contemplará:

- Planejamento com determinação de metas, prioridades e cronogramas;
- Estratégia e metodologia de ação;
- Forma de registro, manutenção e divulgação dos dados;

- Periodicidade e forma de avaliação do desenvolvimento do PPRA.

O desenvolvimento do PPRA incluirá as seguintes etapas: antecipação e reconhecimento dos riscos; estabelecimento de prioridades e metas de avaliação e controle; avaliação dos riscos e da exposição dos trabalhadores; implantação das medidas de controle e avaliação de sua eficácia; monitoramento da exposição aos riscos; e registro e divulgação das informações coletadas.

Será organizada uma brigada contra acidentes gerais, treinada e mantida sempre de prontidão, disposta de aparelhos para primeiros socorros para atendimentos emergenciais. Pelo menos dois empregados, com função permanente na atividade normal do empreendimento serão treinados e adquirirão noções de primeiros socorros que, garantirão pronto atendimento em caso de acidente ou doença.

Na unidade de primeiros socorros a empresa manterá em estoque doses de soro antiofídico, em ambiente refrigerado, para aplicação imediata caso algum trabalhador venha a ser atacado por cobras.

A empresa manterá um veículo em condições adequadas para transporte de pessoas acidentadas atendidas em nível de emergência nas instalações da mina, para a unidade de saúde na comunidade de Lagoa do Mato, pois dispõe de condições físicas e de pessoal para o atendimento de acidentes leves. Em situações mais graves o acidentado deverá ser removido para Fortaleza.

As instalações de apoio e as frentes de lavra da jazida serão mantidas organizadas, limpas e desimpedidas, com remoção regular e sistemática dos resíduos sólidos produzidos os quais serão coletados de forma seletiva para proporcionar aproveitamento por reciclagem dos produtos obtidos.

5.7.4 Plano de monitoramento da saúde humana nas comunidades do entorno

O monitoramento da contaminação humana de urânio se dá a partir das medições dos níveis de radioatividade, no caso de pessoas com risco de contaminação passiva, quer dizer, sem contato direto com as fontes de radionuclídeos, geralmente é realizado por análise de excreção urinária. Os testes em urina devem ser realizados tanto no controle ocupacional seja contaminação por contato no ambiente de trabalho, ou por contato com contaminantes dispersos no ambiente, como água, solo, alimentos e ar.

O urânio é mal absorvido pelo trato digestivo e a maior parte do urânio absorvido é eliminado na urina. Assim, a urina é considerada a melhor amostra para a detecção de ingestão excessiva de urânio. A interpretação de um valor medido de um trabalhador, ou morador de uma comunidade do entorno requer conhecimento das taxas do urânio natural (*background*) e depende também de sua de idade, gênero e, no caso dos moradores, conhecimento da área residencial e formas de dispersão dos radionuclídeos, direção do vento, carreamento de material radioativo por erosão superficial e outras formas de contato, bem como os usos de solo e água.

A análise do sangue também representa uma possibilidade de controle servindo de bioindicador de que juntamente com a urina, através da técnica de Reflexão Total de Fluorescência de Raio X (DFX), apresenta resultados que têm sido amplamente revisados por pesquisadores do mundo todo. O DFX tem se mostrado como uma ferramenta poderosa para a análise de todos os tipos de amostras, seus princípios de funcionamento e aplicações tem se expandido atualmente.

Ambas as amostras podem ser coletadas de humanos e animais domésticos e criações, para o monitoramento ambiental. A coleta de urina humana se mostra de fácil operação, enquanto para os animais, a coleta de sangue é mais conveniente.

Os protocolos devem ser detalhadamente construídos juntamente aos serviços de Programa da Saúde da Família, nas unidades de saúde e comunidade. Amostragens de populações mais ou menos susceptíveis ao risco de contato, devem ser classificadas e monitoradas em intervalos de tempo distintos, contando com informações e parâmetros pra estabelecer padrões.

Para as coletas de amostras em animais a Vigilância Sanitária e Centro de Zoonoses devem apoiar a operacionalização da coleta e encaminhar os materiais para o laboratório de Análise por Raio X, da UFC

5.7.5 Plano de controle e monitoramento do nível de ruídos e vibrações

O monitoramento do nível de ruídos fornecerá suporte para o controle dos ruídos gerados na área através da aplicação de medidas mitigadoras e de controle, as quais deverão atuar diretamente na fonte emissora. Será também de fundamental relevância para a prevenção e controle da saúde operacional dos funcionários diretamente envolvidos no processo produtivo, a utilização de equipamentos de proteção individual, ou outras formas de atuação, como remanejamento periódico dos empregados pelos diversos setores de trabalho.

Os níveis de ruídos contínuos ou intermitentes serão medidos em decibéis (dB), com instrumento de nível de pressão sonora, operando no circuito de compensação “A” e circuito de resposta lenta.

Os níveis de ruídos serão determinados tanto interna como externamente nas instalações do complexo minero industrial e as medições internas serão feitas, principalmente, nos locais onde existam equipamentos, à distância de 1,0 metro da fonte de ruído. Em empreendimentos similares as medições máximas de ruídos chegam a 85 dB. Os níveis de ruídos nas áreas externas deverão atender ao disposto na Resolução N° 01, de 08 de março de 1990, a qual ratificou a NBR – 10.152/87, da ABNT, bem como satisfazer as exigências da legislação de higiene e segurança do trabalho (Quadro 13).

Quadro 13 – Limites de Tempo de Exposição a Ruídos (NR-15)

Tipo de área	dB
Áreas de sítios e fazendas	0 35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50 45
Área mista, predominantemente residencial	55 50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60 55
Área mista, com vocação recreacional	65 55
Área predominantemente industrial	70 60

FONTE: NR-15, adaptado pela autora, 2014

No que se refere aos operadores os tempos de exposição aos níveis de ruídos não devem exceder os limites de tolerância fixados segundo a NR-15 apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 – Limites de Tempo de Exposição a Ruídos (NR-15)

Nível de Ruído (dB)	Máxima Exposição Diária
85	8:00 Horas
86	7:00 Horas
87	6:00 Horas
88	5:00 Horas
89	4:30 Horas

90	4:00 Horas
91	3:30 Horas
92	3:00 Horas
93	2:40 Horas
94	2:15 Horas
95	2:00 Horas
96	1:45 Horas
98	1:15 Horas
100	1:00 Horas
102	0:45 Horas
104	0:35 Horas
105	0:30 Horas
106	0:25 Horas
110	0:15 Horas
112	0:10 Horas
114	0:08 Horas
115	0:07 Horas

FONTE: NR-15, adaptado pela Autora, 2018.

A frequência dos níveis de ruídos será determinada em função dos resultados das primeiras medições realizadas e a critério das autoridades responsáveis.

A metodologia a ser adotada para o monitoramento do nível de ruídos é bastante simples, porém requer o emprego de profissionais especializados e equipamentos específicos de alta precisão.

No monitoramento será empregada a seguinte sequência de ações:

- Elaboração do mapa base de detalhe da área do empreendimento para definição dos pontos de amostragem na área interna;
- Definição do mapa de situação da área do empreendimento para locação dos pontos de amostragem externa;

- Definição da malha de amostragem e pontos estratégicos;
- Levantamento de base de dados;
- Definição dos equipamentos;
- Definição dos métodos;
- Definição de frequência de monitoramento.

5.7.5.1 Levantamento de dados

O levantamento do padrão de qualidade sonora da área de influência do empreendimento a ser monitorada será realizado previamente à implantação do empreendimento, para a obtenção dos dados, referentes ao registro do nível de ruídos em condições normais do ecossistema sem a influência das ações próprias ao empreendimento, sendo que esses dados servirão de parâmetros comparativos básicos, os quais serão de grande relevância para as análises conclusivas do monitoramento.

Será feito o registro do nível de ruídos nos pontos previamente definidos e locados em documentação cartográfica, ou seja, os pontos do monitoramento externos prévios à operação do empreendimento deverão ser os mesmos a serem monitorados durante o funcionamento do empreendimento, como um todo.

Para definição do levantamento de dados, é importante que se conheça a rotina operacional do projeto, para que o registro do nível de ruídos nos pontos estratégicos seja medido no horário no horário normal de seu funcionamento. Em cada ponto a ser monitorado serão feitos, no mínimo, 5 registros do nível de ruídos, trabalhando-se com a média das leituras obtidas.

5.7.5.2 Definição dos equipamentos e registro do nível de ruídos

Para a leitura do nível de ruídos serão utilizados decibelímetros portáteis e para o registro do nível de ruídos serão elaborados formulários apropriados, nos quais constarão, no mínimo, os seguintes dados: i) local da amostragem; ii) horário da amostragem; iii) data da amostragem; iv) nível de ruídos; v) observações sobre condições do tempo; e vi) ocorrência de outras fontes de ruídos nas proximidades.

5.7.5.3 Métodos

A metodologia para medição do nível de ruídos é bastante simples efetuando-se em cada ponto 5 medições, com registro do valor médio das medições captadas.

A quantificação das medições, visando alcançar os objetivos do monitoramento, obedecerá à seguinte rotina:

- 02 medições nos pontos estratégicos, antes da implantação do empreendimento;
- 02 medições junto a cada equipamento, estando os outros equipamentos em funcionamento, fazendo-se o registro durante os períodos de funcionamento mais prolongados do ciclo produtivo (maior que 24 horas);
- 03 medições nos pontos estratégicos do monitoramento externo, nos horários normais de desenvolvimento das atividades produtivas, fazendo-se o registro durante seis semestres, sempre procurando planejar as medições com as exigências do licenciamento do empreendimento.

Os resultados serão registrados em formulários apropriados, devidamente assinados pelo técnico responsável.

5.7.5.4 Cronograma do monitoramento

Para que se possa fazer uma avaliação correta das alterações geradas à qualidade sonora do ambiente, em decorrência das emissões geradas pelo empreendimento, o monitoramento será realizado, por um período de três anos, onde no primeiro ano, será formado um banco de dados, e nos anos subsequentes será feito o registro do nível de ruídos nos pontos estratégicos, interno e externo da área de influência.

A cada ano será feita uma avaliação parcial dos dados, sendo que no último ano será procedida a uma análise conclusiva sobre a relação causa - efeito gerado pelo empreendimento na sua área de influência, no que se refere à emissão de ruídos.

5.7.5.5 Controle do nível de ruídos

Medidas de controle do nível de ruídos poderão ser adotadas durante o monitoramento, destacando-se as seguintes:

- Estabelecimento de horários específicos para as detonações, antecedidos de alarme sonoro;
- Manutenção do equipamento de lavra e britagem em boas condições mecânicas;
- Fixação rígida dos motores e equipamentos ruidosos, de forma a atenuar as vibrações transmitidas às estruturas;
- Balancear e equilibrar as partes móveis das máquinas e equipamentos, de modo a mantê-los sempre ajustadas;
- Alinhar rolamentos e eixos;
- Efetuar boa lubrificação onde há atrito;
- Evitar que partes soltas se choquem (parafusos, chapas, etc.);
- Proteção acústica dos equipamentos;
- Controle de trajetória, através da utilização de barreiras absorventes e isolantes que impeçam que parte da energia sonora atinja o trabalhador;
- Uso obrigatório de equipamentos de proteção individual;
- Realização de exames médicos periódicos, principalmente preventivos, envolvendo todo o quadro de pessoal operacional.

5.7.6 Plano de monitoramento da qualidade do ar

O Consorcio Santa Quitéria resultará em algumas alterações na qualidade do ar, destacando-se durante o processo produtivo, emissões de gases e poeiras. Além dos gases, alteração na qualidade do ar também poderá ocorrer pela variação do microclima local, principalmente com relação aos parâmetros temperatura e umidade, sendo os efeitos muito localizados.

Para as atividades de lavra será utilizado desmonte de rocha com explosivos, que tem poder de contaminação do ar, pelo lançamento de poeiras fugitivas, entretanto, a maior

fonte de poluentes particulados estará relacionada ao sistema de beneficiamento do minério que será submetido a britagem, homogeneização e concentração física. Assim, a empresa realizará o monitoramento da qualidade dos efluentes para se fazer um prognóstico dos efluentes que serão lançados no ambiente, tanto no ponto de origem como na área de entorno, para prevenir problemas no sistema operacional. Durante o monitoramento serão coletadas amostras e sistematicamente analisados os gases da combustão, principalmente, Radônio, Dióxido de Enxofre e Dióxido de Nitrogênio.

O radônio tem sido comprovado ser a segunda causa principal de câncer de pulmão após o fumo. Conforme a Organização Mundial de Saúde, o nível de referência da concentração média anual não deve ser maior que 100 Bq/m³, dependendo das condições prevalentes e específicas ao país. A prevenção do radônio é considerada quando novas casas são construídas, bem como a redução em residências existentes. Medições de proteção já vêm sendo incluídas em novas construções como rotina na Europa (diretriz EU BSS 2013), EUA, sendo obrigatórias em muitos países.

Para o sistema de monitoramento da qualidade do ar na área do empreendimento serão necessários alguns equipamentos básicos como: coletor de amostras, condicionador de amostras e equipamentos de filtração (sistema de extração), controlador do sistema e sistema de aquisição de dados, para processamento e armazenagem dos mesmos e a preparação e impressão de relatórios sobre as emissões.

A utilização de equipamentos pessoais é recomendada em virtude das especificidades das atividades desenvolvidas na mina. O AlphaGUARD, desenvolvido por uma empresa do CNIM Group, apresenta uma solução para medir o gás radônio (desenvolvida com a experiência da Saphymo). Trata-se de um equipamento portátil foi reprojeto para medição instantânea ou contínua da atividade do gás (Rn-222/Rn-220 e progênies). Este equipamento é utilizado em todo o mundo para programas sobre medição do radônio no meio ambiente, minas, laboratórios e para pesquisas em edificações. Este novo produto oferece melhoria na ergonomia, alta capacidade de resposta e uma exibição digital incorporada que torna mais fácil o uso em campo.

Relativamente ao padrão de qualidade do ar nas áreas de entorno do empreendimento será implementado um sistema de monitoramento amostral, uma vez que a operação das unidades se dará de forma contínua. As análises serão feitas utilizando as medições no local, mediante a extração seca completa de amostras no interior das galerias e no pátio externo. O sistema de análise determinará as condições existentes no fluxo de ar e matéria, no caso de monitoramento de material será necessário o acondicionamento de

amostras, sendo que em todas as análises, a umidade das amostras será removida, como requisito para o uso das técnicas Defração de Raio X (DFX) e Fluorescência de Raio X (FRX).

É recomendável que seja instalada na área do empreendimento uma pequena estação meteorológica, em parceria com as instituições competentes (FUNCEME ou INMET) a fim de se caracterizar globalmente o sistema de ar atuante na área do empreendimento, direção e velocidade dos ventos. Conforme o EIA/RIMA, (ARCADIS, 2014) As principais fontes geradoras de emissões atmosféricas durante o período de obras são caracterizadas por serem dispersas dentro da área delimitada ao desenvolvimento das obras e envolve, principalmente, a movimentação de solo associado com ação eólica, tráfego de máquinas, equipamentos e veículos de grande porte, armazenamento de insumos granéis (areia, basicamente), manuseio de granéis (areia e cimento), assim como a própria combustão de combustíveis das máquinas e veículos de apoio à obra.

A emissão mais significativa contempla a emissão de material particulado, formando poeira suspensa caso não sejam realizadas as devidas ações de controle visando à prevenção e controle de impactos negativos relacionados.

Quanto às emissões provenientes da combustão de combustível fóssil, relacionando o consumo de diesel previsto ao longo das atividades construtivas, tende haver a emissão de CO₂ e de CO.

Os principais sistemas de controle ambientais destas emissões são (ARCADIS, 2014):

- Umectação: a umectação será um dos principais controles para se minimizar gerações de material particulado. A umectação será procedida de forma periódica durante todos os dias de obra e então intensificada durante os períodos de estiagem prolongada realizada nas vias de acesso externo, vias de deslocamento interno às obras, assim como durante a realização das tarefas de terraplenagem/compactação de solo;
- Controle de velocidade: o controle de velocidade se dará através de sinalização específica e instalada ao longo das vias de acesso externas e internas. Além da orientação visual haverá a contribuição do Programa de Controle de Obras, que apresentará aos colaboradores diretamente envolvidos com as tarefas de construção civil e transporte de cargas as regras internas de boa conduta visando à minimização destas gerações. A velocidade em vias externas não pavimentadas tende a não ultrapassar 40 km/h e 30 km/h para as vias internas;

- Insumos granéis: o armazenamento de insumos passíveis de dispersão devido à ação eólica, como a areia, exemplificando, deverá ser realizado sempre em local provido de proteção física lateral. O descarregamento destes materiais também necessita ser desenvolvido com o acompanhamento do responsável pela área dos insumos, que deverá orientar os motoristas quanto aos procedimentos visando à minimização das dispersões consequentes;
- Manutenção de máquinas/veículos: a manutenção preventiva e corretiva das máquinas e veículos que utilizam combustível fóssil irá minimizar emissões de fumaça preta.
- Cobertura de cargas durante transporte: os caminhões basculantes deverão realizar o transporte de cargas granéis

Os resultados do monitoramento serão de grande relevância para comprovação da eficiência dos equipamentos de controle ambiental utilizados, para minimizar as modificações da qualidade do ar, buscando averiguar se as medidas propostas são suficientes e para proteger e informar a população do entorno ao que se refere ao monitoramento da qualidade do ar.

5.7.6.1 Localização e frequência de amostragem

Para a medição serão locados pontos de amostragem na área de entorno do empreendimento levando-se em consideração:

- condições meteorológicas como direção e velocidade dos ventos, estabilidade atmosférica etc.;
- direção predominante dos ventos, em um raio de 5,0 Km na área de entorno do projeto;
- localização das áreas de maior impacto. Análise fluxo superficial devido ao carreamento de material por chuvas.

Os locais de monitoramento serão previamente estabelecidos com base na consideração dos estudos prévios realizados na área, e no conhecimento das características das atividades desenvolvidas no empreendimento.

A frequência de amostragem na fase inicial de implantação do empreendimento será mensal com amostras coletadas durante um período de 24 horas, podendo ser alterado em função dos resultados obtidos no decorrer dos trabalhos.

Durante as medições serão registradas as condições ambientais como temperatura média, umidade, pressão atmosférica, direção dos ventos etc.

5.7.7 Plano de monitoramento da qualidade da água

A sub bacia do Riacho Cunha Moti está localizada no alto curso da sub bacia do Rio Groaíras, na bacia do Rio Acaraú, suas nascentes estão abrigadas na Serra do Céu, que é o divisor de outras duas bacias: bacia do Curú e sub bacia do Banabuiú. As características da drenagem apresentam padrão difuso, de fluxo intermitente sazonal, com vegetação predominantemente de caatinga arbustiva aberta nas partes mais baixas e arbustiva fechada com presença de vegetação arbórea nos topos dos morros.

A área da Fazenda Barrigas apresenta baixa taxa de precipitação anual em torno de 500 mm/ano, em média, entretanto diversos cursos hídricos provocados escoamentos das águas circundam a área da jazida e encontra outros corpos d'água da região, como o riacho Guaribas e riacho das Gangorras, chegando até o Rio Groaíras, pelo Riacho Cunha-Moti.

Todos os corpos hídricos identificados na área de influência do empreendimento, os riachos das Guaribas, Caramuim, da Gangorra, das Cabeças, Curimatã, Cunha-Moti e Mata Fome, são de caráter temporário, excetuando-se a barragem Quixaba, formada pelo barramento do riacho Caramuim, localizada no setor sul da área de influência direta do estudo. Observa-se que todas estas drenagens têm escoamento preferencial para os setores sudoeste e oeste da área do licenciamento, inserindo-se na Bacia Hidrográfica do Rio Groaíras componente do alto curso da Bacia Hidrográfica do rio Acaraú, onde os riachos dos Macacos, Oiticica e Boa Vista são seus contribuintes (ACADIS EIA, 2015).

O controle sistemático da qualidade da água serve como forma de garantir a manutenção da qualidade ambiental das áreas de entorno e dos corpos hídricos a montante e a jusante do empreendimento. O monitoramento da qualidade dos recursos hídricos da área tem como objetivo o controle da qualidade das águas superficiais e subterrâneas através de análises físico-químicas das amostras coletadas de forma sistemática, não apenas na área do empreendimento, como no seu entorno, no sentido de determinar parâmetros para avaliar as alterações qualitativas da água, em consequência da implementação do projeto.

A análise integrada e sistemática dos resultados permitirá a avaliação das técnicas utilizadas no plano de controle ambiental, buscado aprimorar os experimentos para apontar mais seguramente o nível de qualidade das águas, bem como perceber os impactos na biota e a qualidade de vida das comunidades do entorno.

O monitoramento da qualidade da água será de grande relevância para a aplicação e desenvolvimento de outros planos de controle e monitoramento ambiental, entre os quais se destacam:

- Monitoramento da Qualidade do Solo;
- Monitoramento da Qualidade do Ar;
- Monitoramento da Fauna e da Flora; e,
- Plano de Gerenciamento de Rejeitos.

Os principais efluentes gerados pelas ações do empreendimento que poderão causar adversidades a qualidade das águas, são: i) os rejeitos do processo de lavra e beneficiamento do minério que serão em forma de barramento: barragem de lama, barragem de silicato e calcita (carbonatos); e ii) o empilhamento dos rejeitos da mineração e do processo de produção do ácido fosfórico, representado pelo fosfogesso.

Parte da água descartada juntamente com estes rejeitos será reaproveitada em outras fases do empreendimento contribuindo desta forma para a diminuição das possibilidades de contaminação dos recursos hídricos, superficiais e/ou subterrâneos.

Além destes, serão inevitáveis as gerações de efluentes nas fases domésticas do empreendimento, considerando-se as instalações administrativas e funcionais da mineração e da indústria do ácido fosfórico.

Os efluentes domésticos, do setor administrativo serão lançados numa estação de tratamento, enquanto os efluentes do processo produtivo serão lançados no Sistema de Tratamento de Efluentes, entretanto, o controle da qualidade da água se faz necessário para comprovação da eficiência dos processos de tratamento utilizados no sistema de tratamento do Consórcio Santa Quitéria, bem como para manter os padrões de qualidade da água dentro dos níveis aceitáveis pela legislação pertinente.

5.7.7.1 Levantamento do Padrão de Qualidade das Águas Superficiais

O monitoramento da qualidade da água será iniciado antes da implantação do empreendimento, com fins de se obter parâmetros qualitativos para comparação de dados, bem como para definir a qualidade dos recursos hídricos antes da implantação e operação do empreendimento.

As amostragens para o monitoramento deverão ser feitas no período chuvoso, ou seja, entre os meses de janeiro e junho, período em que existe possibilidade efetiva de coleta de água nos cursos hídricos, passíveis de serem afetados pela mobilidade dos materiais carregados ao ambiente decorrentes das atividades do empreendimento, dado o caráter sazonal deles.

5.7.7.2 Levantamento do Padrão de Qualidade das Águas Subterrâneas

Serão estabelecidas as características das águas subterrâneas nas condições atuais da área, antecedendo as ações de implantação do empreendimento, destacando-se os aspectos qualitativos.

Os piezômetros são poços de monitoramento que já existem na área com o objetivo de estudar o fluxo subterrâneo, monitoramento da qualidade da água antes do empreendimento.

5.7.7.3 Parâmetros de monitoramento

Será adotada como referência para o padrão de qualidade das águas a Resolução nº 020/86 do CONAMA, complementado pelas normas estabelecidas pela ABNT, para potabilidade, e do *U. S. Salinity Board*, para usos múltiplos.

O Quadro 15 apresenta os limites máximos permitidos para substâncias potencialmente prejudiciais, na categoria em que se enquadra a área do empreendimento, de acordo com as normas definidas na Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986 do CONAMA. Além destes, deverão ser feitas medições de pH, Temperatura, Sólidos Suspensos Totais, Dureza Total; Alcalinidade; e Condutividade.

Quadro 15 – Teores Limites dos Padrões de Qualidade da Água –

Parâmetros	Teores Limites
O ₂ dissolvido (OD)	> 5 mg O ₂ /L
pH	6,0 a 9,0
DBO	Até 5,0 mg/L O ₂
Turbidez	Até 100 UNT
Amônia não ionizável	0,02 mg NH ₃ /L
Nitrato	10 mg N/L
Nitrito	250 mg SO ₄ /L
Sulfatos	250 mg SO ₄ /L
Sulfetos (H ₂ S não dissolvidos)	0,002 mg S/L
Cloretos	250 mg Cl/L
Boro	0,75 mg B/L
Ferro solúvel	0,3 mg Fe/L
Manganês	0,1 mg Mn/L
Cobre	0,02 mg Cu/L
Fosfato total	0,025 mg P/L
Merúrio Hg/l	0,0002 mg Hg/L
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L
Zinco	0,18 mg Zn/L
Melathion	0,1 m /L
Carbaryl	0,02 m /L
Compostos organofosforados e Carbonatos totais	10,0 m /L em Paration

Fonte: Resolução CONAMA nº 020/86

5.7.7.4 Proposta das Ações do Monitoramento

As seguintes ações serão desenvolvidas para o efetivo monitoramento qualitativo das águas na área de interesse do empreendedor:

- Elaboração de um mapa base de detalhe da área do monitoramento, o qual incluirá o sistema de drenagem da área do empreendimento, assim como as drenagens a montante e a jusante;
- Definição, com base no mapa de detalhe, da drenagem superficial a nível detalhado e dos pontos de monitoramento;
- Definição de uma rede de amostragem para caracterização dos padrões qualitativos das águas subterrâneas (recomendando-se o uso de piezômetros);
- Definição da coleta de amostras de água superficiais e subterrâneas, na estação de chuvas e na estação seca;
- Definição dos padrões qualitativos existentes antes da implantação do projeto;
- Definição dos locais e da frequência de amostragem e locação em mapa;
- Elaboração de rotina de análise;
- Definição de instalações, equipamentos, materiais de consumo e pessoal necessário ao monitoramento;
- Diagnóstico das condições de monitoramento existentes, com indicação dos laboratórios disponíveis e dos profissionais qualificados;
- Definição das necessidades de se estabelecer convênio e/ou contratação de serviços para implementação do monitoramento;

5.7.8 Plano de monitoramento da qualidade do solo

O monitoramento da qualidade do solo será realizado tendo-se em vista que este parâmetro poderá sofrer alteração na sua composição química e mineralógica, tanto por via direta, através da disposição de produtos químicos sobre o solo (insumos e efluentes), como por via indireta, através de precipitações de substâncias transportadas via aérea ou aquosa.

Qualquer alteração nos padrões de qualidade do ambiente que gere descaracterização de um ou mais componentes ambientais, reflete em uma cadeia de efeitos desestabilizadores das condições naturais, pois a degradação do meio físico gera degradação do meio biológico, sendo que os resultados destes efeitos retratam a perda da qualidade de vida. Nessa linha de pensamento, a alteração da qualidade das águas gera adversidade na qualidade do solo, bem como a alteração na qualidade do solo gera alteração da qualidade da água.

Durante o processo produtivo serão lançados no ambiente efluentes líquidos, sólidos e mistos. Dessa forma, para que os solos das áreas de entorno possam ser explorados com segurança, bem como os ecossistemas naturais possam desenvolver suas relações ecológicas normais, é essencial que se faça o monitoramento da qualidade do solo. Esta ação será também importante para verificação da eficiência dos sistemas implantados e para o controle ambiental do processo produtivo.

O monitoramento da qualidade do solo será feito através de análises químicas da sua composição, ressaltando-se que para os objetivos aqui almejados, torna-se importante que seja feita coleta de amostra do solo superficial e do solo a 30 centímetros de profundidade.

5.7.8.1 Metodologia

A metodologia a ser adotada para o monitoramento da qualidade do solo obedecerá à seguinte sequência de ações:

- Elaboração do mapa base de detalhe da área de influência do empreendimento para definição dos pontos de amostragem na área interna e externa;
- Definição da malha de amostragem e locação dos pontos de coleta de amostra;
- Levantamento básico dos dados;
- Definição de métodos para coleta de amostra;
- Elaboração de rotina de análise;
- Definição da necessidade de instalações, método de análise, equipamentos, material de consumo e de pessoal necessários ao monitoramento;

- Definição das necessidades de se estabelecer convênio e/ou contratação de serviços para implantação do monitoramento.

Para maior segurança e confiança nos resultados, trabalhos de coleta de amostras deverá contar com mapeamentos dos processos exógenos atuantes no relevo, para considerar o carreamento natural de material por vento e água. A proposta indica que as técnicas analíticas de fluorescência de raios X (FRX) e difração de raio X (DFX) são indicadas para esse monitoramento devido a capacidade da metodologia apontar com segurança os níveis quali-quantitativa de espécies químicas em vários tipos de amostras, de interesse geológico e ambiental.

5.7.9 Plano de controle de processos erosivos

De uma forma geral a erosão está relacionada ao efeito produzido pelas águas pluviais que ao escoar de forma não direcionada, promoverá a abertura de sulcos na superfície de terrenos mal consolidados e desprotegidos. Atua mais em áreas degradadas e sendo um processo que se instala após a remoção de espécies da cobertura vegetal e que se torna mais acentuada, caso o terreno apresente declividade favorável.

O controle mais eficaz do processo erosivo consta da sua prevenção, através da adoção de medidas que, de pronto, neutralizem as primeiras evidências de remoção de materiais e instalação do ravinamento.

O controle dos processos erosivos poderá ser realizado, principalmente, através da inspeção periódica para identificação preventiva das ocorrências e, da execução das intervenções necessárias na maior área possível, seguidas imediatamente por uma intervenção - fim, de forma a evitar que os terrenos fiquem expostos por longos períodos à ação dos processos erosivos.

Normalmente estes processos atuam com mais facilidade nas frentes de lavra, depósitos de bota-fora, estradas de acesso, que permitem a instalação de focos erosivos que impõem danos a essas estruturas implantadas na área do empreendimento.

A não proliferação e desenvolvimento da erosão através dos sulcos podem ser impedidos através de procedimentos simples como:

- Preenchimento do espaço criado pelas águas, com rejeitos provenientes do processo de decapeamento do solo e dos materiais estéreis;

- Corte perpendicular ao eixo central do sulco aberto e seu preenchimento com o mesmo tipo de material;
- Vegetação dos taludes com espécies herbáceas e gramíneas, depois do rampeamento que estabelece ângulos de repouso que impedem o fluxo forte e descontrolado das águas pluviais, com elevada capacidade energética de remoção de partículas;
- Desvio das águas superficiais na cabeceira e na lateral, paralelamente, ao sulco, por meio de valetas ou canaletas, revestidas de argamassa.

A maneira prática mais eficiente para evitar e controlar os processos erosivos consiste na manutenção das formações florísticas e da vegetação com espécies herbáceas das estruturas expostas.

Nos leitos das vias de acesso interno o controle da erosão terá que ser mais intenso principalmente por ocasião das chuvas, quando estes locais ficam mais susceptíveis ao carreamento de finos, pelo escoamento das águas, que acelera ainda mais o desgaste promovido pelo tráfego dos veículos.

As principais ações do controle dos processos erosivos constarão de:

- Preservação das estruturas existentes de forma a minimizar suas alterações e assim protegendo-as contra os efeitos da erosão. Este procedimento permitirá manter a configuração da rede de drenagem superficial;
- Caso sejam suprimidas as linhas naturais de drenagem, serão criados artificios para que o escoamento superficial normal seja mantido;
- Implantar uma cortina arbórea de proteção nas faixas laterais das estradas, no setor das instalações de apoio técnico-administrativo, vegetar a superfície do bota-fora e seus taludes.

5.7.10 Plano de proteção e combate a poeiras

As poeiras originadas na área de influência da mineração serão decorrentes principalmente das ações de lavra e de britagem do minério.

Nos pontos considerados mais críticos como geradores desse impacto específico ao meio ambiente, serão colocados instrumentos para medição e determinação do grau de

concentração da poeira, para que então sejam adotadas medidas efetivas de combate, mediante a adoção de algumas providências, envolvendo técnicas simples e pouco onerosas.

Como a exploração será a céu aberto, às poeiras formadas serão rapidamente dissipadas e nos períodos de estiagem a aspersão de água no pátio de manobras e nos acessos internos do empreendimento, manterá sob controle os teores dos particulados no ar, de acordo com os níveis permitidos pela legislação pertinente.

Quando em ocasiões nas quais os particulados originados atingirem níveis preocupantes, o reescalonamento dessas atividades, com o alongamento dos períodos de detonações, será imediatamente providenciado e implantado, perdurando até que os indicadores obtidos nas medições de rotina mostrem a normalização deste efeito de impacto no meio ambiente local.

Nas imediações da jazida não existem concentrações urbanas, sendo a mais próxima localizada a 5,1 Km da jazida correspondendo ao Assentamento de Morrinhos, existem apenas algumas casas nas imediações do depósito mineral, de empregados da INB que prestam serviços na manutenção do acampamento e da galeria G-3. Deste modo às poeiras emitidas terão efeito maior sobre as próprias instalações produtivas e, portanto, sobre os trabalhadores que manterão contato direto com produção.

Os níveis de poeiras gerados pela mineração não atingirão grandes proporções, uma vez que o avanço da lavra é favorecido pela topografia e traz, ainda como vantagem o bloqueio dos particulados gerados, pelos taludes da cava formada, que funcionará como barreira natural aos ventos dominantes na região da jazida.

Relativamente à unidade de britagem, principal fonte emissora das poeiras fugitivas, o lançamento mais significativo ocorrerá na britagem primária, durante no transporte dos fragmentos de rocha pela correia até o britador secundário e especialmente na peneira classificatória, na fase da britagem secundária.

A colocação de aspersores a água e ar comprimido atuando nesses locais críticos permitirá a formação de um anteparo protetor que evitará a dispersão dos particulados, os quais permanecerão na proximidade das fontes emissoras, depositando-se gravitacionalmente sobre as pilhas de minério fragmentado, em formação.

A umidificação das vias de acesso e dos pátios de manobras nos períodos da estiagem mais intensa constituirá um procedimento que em muito minimizará a emissão de particulados finos, causadores de contaminação local do ar atmosférico.

5.7.11 Programa de gerenciamento dos resíduos sólidos

O plano de gerenciamento de resíduos sólidos é composto por ações preventivas, tais como:

- Não acumular lixo nas áreas livres do empreendimento;
- Nas áreas externas do empreendimento devem ser instaladas, nos locais de maior acesso de pessoas, lixeiras padronizadas suspensas para descarte ocasional de materiais;
- Fazer de forma selecionada a coleta e o acondicionamento dos materiais de origem orgânica;
- Evitar a mistura de materiais incompatíveis, a fim de se evitar certas reações indesejáveis;
- O lixo proveniente de varrições e poda de árvores do empreendimento deverá ser colhido livre de materiais terrosos, tornando-se mais leve e menos volumoso.
- Dimensionar recursos materiais e humanos para realizar os serviços de limpeza da área;
- Os resíduos provenientes do laboratório devem ser monitorados de forma mais evidente possível a fim de evitar situações de periculosidade;
- Já com relação aos resíduos da fase produtiva, além de ser em pequenas quantidades poderão vir acompanhados de outros materiais que apresentem características de toxicidade;
- Estimular uma destinação final bem-sucedida, a fim de manter toda a área do empreendimento num grau de sanidade satisfatório.

5.7.11.1 Destinação Final dos Resíduos Sólidos

De acordo com o EIA (ARCADIS, 2014) a destinação final dos resíduos sólidos produzidos, se faça uma segregação de todos os materiais que possam ser reciclados ou até mesmo reutilizados. Dessa forma além de diminuir a quantidade de lixo, o empreendimento estará incentivando a educação ambiental, uma vez que todo material produzido contém

materiais de caráter orgânico e inorgânico, sendo que os materiais orgânicos podem-se aplicar o método de compostagem, com a finalidade de produzir adubo, enquanto com os inorgânicos, a depender da sua característica, poderão ser destinados à atividade de reciclagem, sendo reintroduzido na cadeia produtiva e economizando recursos naturais.

O uso de um sistema de vala séptica pode ser interessante ao empreendimento, desde que receba um tratamento de impermeabilização do solo. A vala deve ser dimensionada de acordo com a quantidade de lixo produzido, e deve estar situada em local adequado observando-se desde então o sentido e velocidade dos ventos, para que não venha causar impactos com a liberação de gases. A disposição dos resíduos sólidos orgânicos e após triagem, deve obedecer às camadas alternadas de resíduos sólidos e areia.

5.7.11.2 O Programa de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos

Para uma instalação obter licença de operação com material radioativo, é exigida a apresentação de um Plano de Radioproteção – PR, aprovado pela CNEN, que é o órgão responsável no Brasil pela normalização e controle do uso de fontes de radiação. Esse plano deverá conter, entre outros, um Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos – PGRR, onde são descritos a metodologia e os controles administrativos e técnicos que deverão ser implementados para atender os objetivos da gerência dos rejeitos radioativos produzidos naquela instalação (CNEN-6.02, 1984).

O PGRR deve ser elaborado pelo prestador dos serviços, em conformidade com os requisitos do órgão regulamentador, atendendo às necessidades e circunstâncias locais. Os critérios e requisitos básicos relativos à gerência de rejeitos radioativos provenientes de instalações radiativas estão estabelecidos na norma CNEN-NE-6.05.

O Programa de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos na área de influência funcional do Consórcio Santa Quitéria teve seu planejamento baseado em alternativas tecnológicas, a fim de minimizar ou até mesmo reduzir os impactos causados pelos resíduos sólidos no processo de lavra e beneficiamento para a produção de fosfato (Reis e Santo, 2013).

O objetivo principal deste programa de gerenciamento dos resíduos sólidos é justamente eliminar ou controlar a produção de resíduos sólidos no processo de lavra e beneficiamento, fazendo de forma evidenciada a aplicação dos 3 R's (reduzir, reutilizar e reciclar), com o intuito principal de colocar o empreendimento em geral, dentro de um padrão de qualidade totalmente satisfatório com o incentivo de práticas de gestão ambiental.

Área Administrativa

Nesta área, a produção de resíduos sólidos é bastante diversificada principalmente por estar representada por várias áreas que produzem elementos de características domésticas e comerciais.

Considerando a área administrativa sob a ótica da produção de resíduos sólidos, observa-se que a mesma gera desde materiais orgânicos a inorgânicos, e que, em sua maioria são formados praticamente de materiais de escritório, que podem ser segregados, e depois disso enviados para um programa de coleta seletiva aplicado dentro da própria área do empreendimento. Já os materiais que não são aproveitados, como papéis higiênicos e restos alimentares, por exemplo, deverão ser acondicionados seletivamente em sacos plásticos e dispostos em depósitos, e depois, serão mandados para um tratamento ou destinação final adequada.

Área Produtiva (Lavra, Beneficiamento e Processamento)

Na área produtiva em geral a geração de resíduos sólidos é quase nula. Em todas as fases do empreendimento como lavra, beneficiamento e processamento, é muito maior a produção de rejeitos (sólidos e líquidos), ou seja, todo material que não é aproveitado sendo que sua destinação é definida de forma a não causar adversidades ao meio ambiente.

Mesmo que seja pequena a quantidade de resíduos gerada nesta área, se faz necessário que ela seja manejada da mesma forma dos resíduos gerados na área administrativa, uma vez que a identificação, a coleta, o acondicionamento, o tratamento e a destinação final devam ser estabelecidas para cada tipo gerado.

Quadro 16 – Caracterização dos Resíduos Sólidos

Fonte Geradora	Tipos de Resíduos
Setor Administrativo	Papéis, plásticos, papelão, metais etc.;
Cozinha/Refeitórios	Embalagens (vidro, plástico, papel, papelão, metais etc.), materiais orgânicos como restos de alimentos (vegetais e animais) e embalagens de quentinhas.
Instalações sanitárias	Papéis (papéis higiênicos, papel toalha e lenços

	descartáveis).
Dormitórios	Papéis em geral, embalagens (plástico, vidro, metais e etc.), restos alimentares (vegetal e animal) e etc.
Laboratórios	Papéis e plásticos, vidros, restos de amostras etc.
Produção (lavra, beneficiamento e processamento)	Embalagens plásticas, madeiras, papéis (restos de cartuchos de dinamite), metais etc. (pequenas quantidades).

FONTE: ARCADIS Logos, 2014

Acondicionamento, coleta e transporte dos resíduos sólidos

Para as etapas de coleta e transporte dos resíduos sólidos (lixo), produzidos na área do empreendimento em geral, poderá ser implantado um sistema próprio de coleta e transporte dos materiais gerados na área, caso a área futuramente não será atendida pelo serviço de limpeza pública da municipalidade.

Com relação ao acondicionamento, coleta e transporte dos resíduos sólidos produzidos na área do empreendimento em geral devem ser observadas algumas providências para a eliminação ou redução dos impactos ambientais que venham a ser causados pela má disposição dos resíduos sólidos:

- Acondicionamento adequado para controle de vetores de doenças;
- Utilizar recipientes padronizados para lixo, procurando sempre atender as normas da ABNT;
- Construção de prateleiras ou bases para sustentar os recipientes, evitando-se assim a corrosão dos mesmos e dificultando ou impedindo o acesso de vândalos (roedores);
- Estabelecer um serviço eficiente de coleta, adaptando as especificidades de cada área do empreendimento e do tipo do resíduo gerado;
- Considerar os hábitos socioculturais dos trabalhadores, quando da definição do plano de coleta;

- Utilização dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) para os envolvidos nos serviços de coleta;
- Realizar a coleta separada de materiais recicláveis, bem como de materiais que apresentem grau de periculosidade;
- Recomenda-se que sejam utilizados recipientes padronizados para coleta de materiais recicláveis (cores e símbolos).
- Divulgar as normas legais e padrões técnicos relativos à coleta dos resíduos;
- Adotar técnicas e ações que induzam a novos padrões de comportamento para todos.

5.7.12 Plano de gerenciamento dos rejeitos

Estão previstas a ocorrência de 5 (cinco) grupos de rejeitos:

- rejeito de lavra ou bota-fora;
- silicatos;
- calcita;
- lama; e
- fosfogesso.

Todos estes rejeitos são de natureza “estéril” tendo em vista que nenhum deles apresenta potencialidades para um reaproveitamento, excetuando-se a calcita.

As restrições de reuso destes materiais, se deve basicamente a fatores de ordem econômica haja vista que a distância de onde seriam estocados até alguma possível indústria que viesse a aproveitá-los é consideravelmente antieconômica o que obriga o empreendedor a implantar um sistema de acumulação destes rejeitos.

Estes depósitos deverão atender as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, principalmente as NBR's 13028 e 13029 que tratam da elaboração e apresentação de rejeitos de beneficiamento, em barramento e disposição em pilhas, respectivamente. Estas normas fixam as condições exigíveis para elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento, em mineração, em barramento, visando atender as condições de segurança, higiene, operacionalidade, economia, abandono e minimização dos impactos ao meio ambiente, dentro dos padrões legais.

5.7.12.1 Caracterização dos Rejeitos

Cronologicamente, a mineração irá gerar os seguintes resíduos no seu processo produtivo (Reis e Santo, 2013):

- Material de Bota-fora;
- Lama;
- Rejeitos silicatados;
- Rejeitos carbonáticos-calcita;
- Fosfogesso.

Material de Bota-fora

Este material decorre da extração do minério considerando-se toda a sua vida útil. As condições de ocorrência do minério na área da Fazenda Barrigas permitem que se tenha um aproveitamento a partir da camada superficial do corpo mineralizado, necessitando assim apenas do desmatamento deste maciço. Porém, é previsto um acúmulo de cerca de 3.100.000 m³ de material considerado como estéril e que será destinado ao bota-fora.

Considerando-se os teores de concentração aproveitáveis da mineralização, de 11% e 21%, calcula-se que durante a vida útil da mineração ainda se gere um volume de material em torno de 5.000.000 de t de material tido como minério de teor marginal, que será estocado no bota-fora até que se desenvolva uma tecnologia de aproveitamento econômico do mesmo.

Rejeitos de Silicáticos

Após os processos de britagem, homogeneização e concentração física do bem mineral, o minério será submetido a um processo de beneficiamento através de flotação (direta e reversa) onde são obtidos os concentrados para aproveitamento na indústria. Na primeira etapa, flotação direta, tem-se a produção de um rejeito silicatado que passará ainda por um processo de espessamento antes de ser conduzido para a barragem de rejeitos. Neste

espessamento o rejeito é concentrado como resultante da extração da água nele contida para reaproveitamento na fase de flotação reversa.

Rejeitos de Calcita

A calcita é eliminada através do processo de flotação reversa onde ocorre à concentração do minério de apatita. O rejeito também segue para o espessador antes de ser conduzido para uma barragem de rejeito.

Lama

A lama origina-se após o último estágio de flotação, flotação de ultrafinos, onde se obtém mais uma concentração de fosfato tendo como rejeito um material identificado como “*scavenger*” que também é destinado ao espessador antes de ser estocado numa barragem de lama.

Fosfogesso

O único rejeito da unidade de ácido fosfórico é um composto derivado do processo de clarificação do ácido fosfórico, sendo o mesmo eliminado juntamente com uma pequena quantidade de lama constituída de sulfato de cálcio e fosfato de ferro.

5.7.12.2 Disposição dos Rejeitos

Em Pilhas

Serão acumulados em pilhas, separadamente, os rejeitos provenientes dos processos de lavra e beneficiamento do minério e o fosfogesso originado na planta de produção do ácido fosfórico.

A acumulação dos rejeitos em pilhas deverá atender as seguintes disposições:

- O material será disposto o mais próximo possível da jazida, no caso do material lavrado, e da unidade de beneficiamento, para o fosfogesso;
- A disposição ocorrerá de preferência em áreas já degradadas e dentro dos limites legais do empreendimento;
- Será evitada a disposição do material em talvegues de inclinação superior a 18°;

- Será evitada a disposição do material nas drenagens, cursos d'água e nas Áreas de Preservação Permanente (APP) referentes a estas unidades.
- Não se disporá o material em terrenos instáveis ou sujeitos a inundações ou ainda sobre solos férteis ou recobertos com vegetação nativa exuberante;
- Com respeito à geometria das pilhas serão obedecidos os seguintes limites e cuidados:
 - ✓ A altura máxima dos bancos será no máximo de 10,0 metros;
 - ✓ A largura mínima de berma será de 6,0 metros;
 - ✓ A altura máxima da pilha será de 200,0 m;
 - ✓ Estabelecer vias de acesso para a preservação das pilhas;
 - ✓ O ângulo entre os bancos será reduzido para valores inferiores ao ângulo de repouso natural do estéril;
 - ✓ As bermas terão declividade longitudinal e transversal mínimas de 1% e 5% respectivamente;
 - ✓ Serão implantadas leiras nas cristas dos bancos.
- Serão adotadas algumas práticas que permitirão o maior controle técnico-ambiental das pilhas, tais como:
 - ✓ Os materiais serão dispostos de forma a aproveitar ao máximo suas características de resistências e drenagem;
 - ✓ A pilha será executada de forma ascendente;
 - ✓ O depósito de estéril apresentará declividade de acordo com a característica do material basculado, ou seja, o material grosseiro tende a ficar na parte basal da estrutura e o mais fino na lateral;
 - ✓ Implantar um sistema de drenagem na área de disposição, abrangendo os escoamentos hídricos interno, superficiais e periféricos;
 - ✓ A base da pilha receberá uma camada de material drenante, o que facilitará o escoamento das águas nos períodos chuvosos e que poderá ser formada com o material estéril originado da frente de lavra;

- ✓ Será implantado um sistema de retenção de sedimentos provenientes da erosão das pilhas;
- ✓ Será implantado um sistema de monitoramento das pilhas especialmente para constatação da instalação de processos erosivos;
- ✓ O monitoramento visa à segurança estrutural do corpo da pilha e a manutenção da qualidade ambiental da área de influência;
- ✓ Será realizada periodicamente a análise da evolução das pilhas, pelo menos semestralmente, considerando seus parâmetros geométricos como: área, altura e inclinação, acompanhada de documentação fotográfica;
- ✓ Será implantada uma rotina de análise físico-química do fosfogesso estocado para fins de controle do grau de neutralidade do produto;
- ✓ Recomenda-se a implantação de uma cerca verde a barlavento das áreas de empilhamento como forma de diminuir a ação dos ventos sobre as pilhas, reduzindo-se assim a fuga de particulados para o ar atmosférico;
- ✓ Implantar um sistema de acompanhamento da qualidade das águas da drenagem situada à jusante das pilhas de bota-fora e de fosfogesso (riacho das Guaribas) como forma de acompanhar-se as interferências que as mesmas possam vir a provocar aos recursos hídricos.

Em Barramentos

Serão estocados em barramentos os rejeitos derivados dos processos de flotação do minério, separados em lama, material silicatado e calcita (carbonato). A deposição destes rejeitos se dará em barramentos sequenciais aproveitando as condições topográficas da área para a implantação deste tipo de estrutura. As barragens serão implantadas no vale situado entre as Serras do Canudo e do Céu.

A acumulação dos rejeitos em barragens deverá atender as seguintes conformidades:

- Deposição de preferência em setores já degradados, sem potencialidade de abrigar concentrações de colofanito, dentro dos limites legais do empreendimento;
- Não implantar barramentos em Áreas de Preservação Permanente ou destinada às instalações produtivas.
- Não dispor o material em terrenos instáveis ou sujeitos a inundações ou ainda sobre solos férteis ou recobertos com vegetação nativa exuberante;
- Não implantar as barragens em áreas situadas a montante de pontos de captação de água para abastecimento público e atividades agrícolas;
- Desviar os canais naturais de escoamento nas áreas adjacentes para evitar que as águas superficiais drenem para a barragem de rejeitos;
- Implantar os barramentos em locais estáveis, com fundação firme e de baixa permeabilidade;
- Não implantar o barramento em locais em que uma eventual ruptura venha a causar grandes transtornos e prejuízos às propriedades vizinhas;
- Deverão ser implantadas algumas práticas que permitirão o maior controle ambiental da pilha, tais como:
 - ✓ A disposição dos rejeitos deverá permitir a clarificação da água liberada pela polpa;
 - ✓ Implantar um sistema de drenagem no barramento que permita o escoamento das águas concentradas visando o seu reaproveitamento na planta de tratamento do minério;
 - ✓ Implantar um sistema de drenagem periférica à barragem de lama, sendo uma ação recomendável com vistas a resguardar-se dos problemas advindos de um evento de grande concentração pluviométrica sobre a mesma;
 - ✓ Implantar um sistema de monitoramento que vise garantir: i) a segurança estrutural do corpo de barramento; ii) o controle dos processos de erosão e assoreamento no barramento; iii) garantir o

tempo de vida útil do reservatório; e iv) garantir a segurança de terceiros;

✓ Implantar nos taludes, estruturas que assegurem maior durabilidade e controle dos processos potencialmente erosivos podendo ser utilizado plantio de grama ou outra vegetação rasteira típica da região para o talude externo.

- É factível a execução do Plano de Controle Ambiental dentro dos preceitos referentes aos planos de monitoramento e controle das águas, do solo e do ar, sendo que alguns pontos poderiam ser comuns aos dois na área;
- Monitorar permanentemente a neutralização dos rejeitos depositados nas barragens, através de amostragem e análise química, com registro dessas análises por técnico habilitado e documentadas em boletins que serão arquivadas na própria unidade produtora;
- No período chuvoso, fazer monitoramento da qualidade das águas a jusante da área de depósito de rejeito, através da análise seriada da amostragem.
- Elaborar, anualmente, relatório sobre o desenvolvimento das medidas de controle aplicadas, acompanhadas de boletins técnicos das análises e documentação fotográfica.

5.7.13 Plano de educação ambiental

A formação de uma consciência preservacionista depende não apenas da existência de um conjunto ordenado de leis, mas principalmente da concepção dos valores éticos, morais e ambientais. Dessa forma, será de grande valia para o meio ambiente da área do empreendimento minero industrial a implementação de um programa de educação ambiental desenvolvido especificamente para os trabalhadores que serão absorvidos pelo projeto e comunidades.

As informações transmitidas aos trabalhadores influenciarão de forma significativa no comportamento destes, tanto no ambiente de trabalho como na vida pessoal, uma vez que as formas de preservação e controle ambiental serão traduzidas em melhoria dos aspectos ambientais e de qualidade de vida.

O plano será contínuo e permanente, revertendo-se esta campanha permanente, sob a forma de capital não gasto, ou lucro, e terá no quadro de funcionários, uma parceria que ajudará na preservação do ambiente e conservação dos equipamentos.

A metodologia de trabalho proposta baseia-se em:

- Promover mostras de vídeos educativos, sobre questões ambientais no geral, radioatividade, fontes de energias, exibidos em local e horário pré-determinados;
- Implantar meios de comunicação para orientação, divulgação de informações sobre atenção aos riscos, perigos, normas e proibições, e tudo o que possa auxiliar as comunidades e a segurança do trabalhador e contribuir para a preservação ambiental interno e externo e a manutenção dos equipamentos.
- Estimular a criação de um núcleo de coleta seletiva de lixo, através da integração da empresa com seus empregados, depositando o lixo de forma selecionada, separando-se o lixo reciclável e o não reciclável, com figuras sugestivas e cores diferentes, para melhor diferenciação;
- Construir um ambulatório de primeiros socorros;
- Destinar áreas às refeições e ao descanso, identificando-as com placas específicas;
- Ministras palestras sobre meio ambiente, segurança do trabalho, boas práticas na indústria e na mineração, demonstrar que a gestão permanente de riscos faz parte das propostas do empreendimento;
- Capacitar os funcionários para consciência ecológica, e estejam atentos à postura da empresa no aspecto ambiental;
- Socializar informações para as comunidades através de folhetos e cartilhas, em linguagem simples, direta e de fácil assimilação mostrando a importância da manutenção da qualidade ambiental, bem como as práticas saudáveis para com o meio ambiente, esclarecer os direitos e deveres dos cidadãos, do poder público e da iniciativa privada quanto às questões ambientais;
- Formação continuada para os trabalhadores, sobre temas que busquem melhoria na qualidade ambiental, como controle e disciplina no consumo de

água e de energia elétrica, uso adequado de produtos, veículos e equipamentos, monitoramento e controle no lançamento de resíduos sólidos;

5.7.14 Plano de monitoramento da fauna e da flora

O Plano de Proteção à Fauna e à Flora inclui uma série de medidas que serão adotadas antes, durante e após a implantação do empreendimento. A área guarda rica diversidade florística e paisagística, embora a área não guarde espécies da fauna e flora ameaçadas de extinção, planos de manejo das espécies devem ser propostos visando minimizar as perdas para que futuramente não ocorram problemas com os ecossistemas vizinhos.

Na área do empreendimento foram definidas as seguintes áreas de interesse ambiental:

- Áreas de Preservação Permanente (APP) relacionadas às drenagens locais, sendo definida uma faixa de 50,0 metros nas margens dos riachos da Gangorra e Cunha-Moti e 30,0 metros para os demais riachos, a partir do nível mais elevado atingido pelas águas, enquanto para o açude Quixaba delimitou-se uma faixa de preservação de 100,0 metros, também relacionado ao nível máximo atingido pelas águas em períodos de chuvas;
- Área de Reserva Legal definida nas porções noroeste, norte, nordeste, este e sudeste da área, perfazendo 833,45 hectares englobando parte da Serra do Céu;
- Ainda podem-se destacar os valores paisagísticos das Serras da Mata Fome e do Céu, localizadas nas porções norte e nordeste da área do empreendimento.

5.7.14.1 Plano de Proteção à Fauna

O Plano de Proteção a Fauna será implementado visando mitigar os efeitos adversos do empreendimento sobre a fauna alada e terrestre.

As adversidades geradas pela ação de desmatamento sobre a fauna silvestre serão parcialmente remediáveis, desde que seja aplicado este plano de proteção à fauna, especificamente daquela contida nos ecossistemas a serem alterados pela remoção da

cobertura vegetal, identificados pelo fito ecologia em termos de vegetação de caatinga representada pela vegetação xerófila.

A perda parcial da cobertura vegetal implicará na redução de *habitats* para a fauna terrestre, no local de implantação da mineração, locais que propiciam abrigo e alimento para uma variedade de espécies de aves, mamíferos, insetos e répteis. A remoção da vegetação implicará na limitação de locais para moradia e reprodução da fauna. No entanto, essa perda não terá consequências catastróficas, já que os animais tenderão a abandonar a área em busca de novos habitats existentes em áreas próximas. O alcance desta perda é, portanto, local, sem maiores consequências para a região.

Durante a limpeza da área a proteção será relativa a ações e atitudes de expulsão da fauna da frente de lavra, deixando-a expandir-se de acordo com suas conveniências. Vale ressaltar que não serão empregados corredores de escape, e sim organizado o desmatamento, que será previamente demarcado.

Para elaboração do diagnóstico ambiental foi realizado o levantamento das espécies da fauna da área do empreendimento e do seu entorno. A metodologia empregada para o levantamento das espécies animais contemplou observações diretas, pistas e pegadas e a relação presa-predador, além de relatos de moradores da região, resultando em uma relação preliminar de espécies animais, a qual consta do capítulo 6, referente ao Diagnóstico Ambiental (ARCADIS EIA/RIMA, 2014).

Com o objetivo de oferecer maior segurança às ações de manejo da fauna, recomenda-se que esta operação seja precedida de novos levantamentos de detalhe, visando definir parâmetros importantes para o desenvolvimento da ação, quais sejam:

- Aferição dos animais já relacionadas no Diagnóstico Ambiental, e se for o caso, identificação de outras espécies;
- Zoneamento da fauna terrestre, através da demarcação (aproximada) das áreas de refúgio e, principalmente trânsito de animais;
- Identificação dos tipos mais ariscos e perigosos ao contato humano;
- Identificação de habitats de difícil acesso, como cavidades, locas, fendas, tocas etc.;
- Determinação dos locais de pouso e reprodução de aves;
- Localização de pontos de desova de répteis; e,
- Determinação de refúgios e caminhos preferenciais dos animais.

Sempre que possível serão correlacionadas as distribuições da fauna e da flora e a biocenose pertinente, com atendimento aos tópicos seguintes:

- O levantamento da fauna enfocará a ocorrência de aves de arribação, o período de pouso destas espécies e o tipo de ambiente preferido para o pouso;
- O plano de proteção deve considerar ainda, as características ambientais das áreas que abrigarão a fauna migrante, sendo que estas áreas deverão apresentar condições similares às áreas a serem desmatadas no que se refere a refúgio, alimentação e locais de dessedentação;
- A operação de manejo será acompanhada por equipe técnica especializada, podendo ser incorporados a esta equipe trabalhadores da região com habilidade no trato com animais;
- Tendo-se como pressuposto que a estação chuvosa é a principal época de procriação da maioria das espécies, recomenda-se que o desmatamento seja executado na estação seca, com destaque para a proteção da ornitofauna, evitando-se a destruição de ninhos e ovos, o que resultaria em prejuízo para a preservação das espécies;
- Os vespeiros, colmeias de abelhas e demais ninhos de insetos serão transferidos para árvores localizadas nas áreas que não serão afetadas pelo desmatamento, para tanto é importante que se escolha as arvores que abrigarão estes ninhos, antecipadamente e que as mesmas sejam catalogadas;
- Recomenda-se a proibição do abate e a apreensão de animais e aves, na área do empreendimento, seja pelos próprios empregados ou por pessoas estranhas à mineração.

São áreas preferenciais para circulação da fauna os leitos de drenagens e as faixas com alguma densidade vegetal e/ou proximidades rochosas, onde a circulação se dá com menores riscos de capturas de uma espécie por outra. A especificação das distâncias e a locação de cada passagem serão realizadas em campo, através de levantamento técnico onde serão identificados os atuais corredores da fauna, devendo essa ação contar com a participação de moradores locais experientes na lida com a fauna local.

Com a execução da ação de desmatamento procede-se ao salvamento da fauna ou se induz a fuga desta para locais vizinhos que apresentem as mesmas condições ambientais da área a ser desmatada. O procedimento de captura de animais será realizado com a utilização dos seguintes equipamentos:

- Os vários grupos de espécies animais que habitam as áreas desmatadas serão manejados para as áreas de interesse ambiental, sendo que se deve escolher, para a soltura, locais com condições ambientais semelhantes às condições das áreas em que foram apreendidos;
- As técnicas de captura variarão de acordo com o animal, e é conveniente contar com a experiência de moradores da região. Para facilitar a ação serão lançadas fumaças para dentro das tocas e nas aberturas das tocas será colocada uma rede para aprisionamento do animal, que então será transferido para uma caixa apropriada;
- As serpentes serão capturadas com uso de laços ou ganchos apropriados e acondicionadas em caixas especiais;
- As aranhas e outros invertebrados serão capturados com pinças e colocados em recipientes de plástico com boca larga e tampa de rosca, sendo que estes recipientes terão pequenos orifícios para ventilação;
- Pequenos lagartos e anfíbios serão coletados com as mãos e acondicionados em sacos de pano próprios para este aprisionamento;
- Animais invertebrados de pequeno porte como lagartas, cigarras, borboletas, etc. serão acondicionados em bolsa de palha, cujos fundos serão forrados com folhas verdes;
- As caixas utilizadas para acondicionamento e transporte dos animais oferecerão segurança contra fugas e traumatismos, condições adequadas de higiene, ventilação adequada e facilidade de transporte;
- Ao se colocar mais de um animal na mesma caixa, deverão ser evitadas incompatibilidade intra ou interespecíficas, como por exemplo, predador X presa e superlotação que aceleram o processo de “stress” dos animais;
- Os exemplares debilitados ou apresentando traumatismo serão acondicionados separadamente e receberão tratamento específico;
- Caixas contendo animais não serão deixadas sob o sol ou chuva, e, uma vez desocupadas, serão lavadas e desinfetadas antes do reuso;
- O tempo de permanência dos animais nas caixas será o menor possível;
- Os animais capturados serão transportados cuidadosamente para as áreas que irão abrigá-los que corresponderão às reservas ecológicas das Serras da Mata Fome e do Céu, Áreas de Preservação Permanente das drenagens e Área de

Reserva Legal. Nestes locais serão afixadas placas educativas e de incentivo à proteção ecológica, sendo indicada a proibição de caça;

- A soltura dos animais ocorrerá de modo cuidadoso, obedecendo-se às particularidades do animal, sendo que os animais de hábito noturno serão soltos apenas à noite;
- Os filhotes órfãos serão manejados para uma unidade de atendimento para recebimento de cuidados adequados até que adquiram independência. É recomendável que o responsável por esta ação mantenha contato com moradores das localidades mais próximas para que estes adotem os filhotes órfãos capturados até que estes adquiram capacidade de se autossustentarem;
- Animais cuja sobrevivência estiver irremediavelmente comprometida, exemplares seriamente debilitados ou com graves traumatismos, e os que acidentalmente morrerem durante os trabalhos de desmatamento ou resgate, serão enviados vivos ou mortos, (nestes casos devidamente conservados), para o Departamento de Biologia da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza, onde serão incorporados a coleções científicas, ficando como registro da fauna da região;
- As serpentes peçonhentas capturadas serão enviadas vivas, para o Laboratório Regional de Ofiologia de Fortaleza (LAROF), da Universidade Federal do Ceará.
- O transporte dos animais será feito sempre no período do dia e nos horários de temperatura mais amena, pois, de modo geral, eles são muito sensíveis ao calor.

5.7.14.2 Plano de Proteção à Flora

O desmatamento necessário para a implantação e operação do empreendimento será feito inicialmente de modo seletivo, demarcando-se a faixa para desmatamento, a seleção da vegetação de médio e grande porte aproveitável e o corte, através de processo semimecanizado. Posteriormente será realizada a retirada do restante da vegetação de forma mecanizada com uso de trator. Como a ação do desmatamento será bastante significativa, algumas medidas serão adotadas para que se possa obter o máximo de proveito ambiental com esta ação.

A cobertura vegetal da área do empreendimento será bastante atingida pela implantação da mineração, que ocupará áreas contendo principalmente espécies nativas constituintes da Caatinga, contendo vegetação xerófila, arbóreo-arbustiva aberta.

A cobertura vegetal será preservada nos leitos e margens das drenagens e da barragem de acumulação hídrica consideradas como Áreas de Preservação Permanente e assim serão úteis nos processos de retenção de água por suas raízes, contribuindo para atenuar o efeito do clima quente, que predomina na região, favorecendo a alimentação dos aquíferos, aumentando a capacidade de retenção da água no solo e a disponibilidade de água na região.

Também será preservada toda a forma de vegetação que se encontra na área destinada à Reserva Legal que corresponde a 857,30 hectares, localizada nas porções limitantes este e norte da área de propriedade da Fazenda Barrigas, e que constitui atualmente um importante refúgio para as faunas local e regional.

Vale ressaltar que na área próxima ao riacho da Gongorra, na porção oeste da área, tem-se uma vegetação nativa bastante preservada, com a presença de espécies da caatinga arbórea/arbustiva densa, especialmente pau-branco e, desta forma, o empreendedor deverá resguardar toda esta vegetação, como uma forma de compensação pelo desmatamento que será efetuado na parte superior do depósito mineral.

As espécies vegetais arbustivas nativas, presentes nas áreas de servidões serão preservadas, pois, com esse procedimento, em muito serão amenizadas as condições do meio ambiente, que na área da mineração são inóspitas.

Com o objetivo de oferecer maior segurança às operações de manejo da flora, durante a fase de operação do empreendimento o empreendedor deve realizar novos levantamentos de detalhes das espécies florísticas, definindo-as em tabelas (nome científico, nome vulgar e famílias), densidade (indivíduos/ha) e frequência (%) das espécies vegetais, e, ao final, a elaboração de mapas das unidades de vegetação.

5.7.15 Plano de recuperação das áreas degradada

O plano de recuperação da área deverá estar disponível desde a fase inicial de implantação do empreendimento, devido principalmente a grande mobilidade dos radionuclídeos no ambiente, desse modo, através de uma sequência de ações preparatórias para a extração do minério, beneficiamento e processamento mineral, visando um processo seguro, sendo algumas ações contínuas, baseadas em monitoramento *in real time*. As construções e as instalações de infraestrutura que darão suporte ao empreendimento são obras

de grande porte, com impactos de grande magnitude no meio biofísico, desta forma a degradação das áreas de uso direto e indireto torna-se um fato concreto. Sendo que na área de influência direta do empreendimento e do entorno próximo ocorrerão alterações causadas pela remoção e descarte de materiais radioativos, deposição e estocagem de insumos para as obras, uso do terreno para canteiro de obras, pátio de manobras, deposição de rejeito das obras civis etc.

Em relação ao monitoramento das obras de construção, o monitoramento dos impactos gerados desde o seu começo até o final, na área interna do empreendimento e no seu entorno próximo, devendo o empreendedor adotar os seguintes procedimentos:

- Acompanhar tecnicamente os trabalhos de construção, observando as condições de trabalho com minério associado ao urânio, sua mineração e industrialização;
- Acompanhar a evolução da qualidade ambiental e sanitária do canteiro de obras;
- Instalar no canteiro de obras depósitos para coleta seletiva do lixo gerado, orientando os trabalhadores para que não lancem os resíduos sólidos gerados de forma desordenada, evitando assim a poluição dos locais de trabalho;
- Manter no período chuvoso o sistema de drenagem das águas pluviais, para se evitar alagamentos;
- Realizar manutenção periódica da sinalização da área das obras;
- Diagnosticar e adotar procedimentos para evitar a incidência de processos erosivos neutralizando os efeitos do surgimento de sulcos erosivos e acompanhar a estabilidade nas estruturas em construção;
- Preservar a vegetação nos limites do canteiro de obras;
- Direcionar todo o material descartado na obra para locais previamente definidos, com remoção imediata dos materiais terrosos não utilizáveis na obra para fora da mesma;
- Determinar um local para depósito das sucatas, peças repostas, restos de madeiras, embalagens etc., evitando que qualquer material de pequeno, médio ou grande porte seja lançado nas drenagens ou margens dos cursos d'água;
- Realizar ao final das edificações, limpeza geral nas áreas de entorno do empreendimento, removendo restos de materiais de construção, peças de equipamentos, materiais desgastados, etc;

- Remoção de toda a estrutura do canteiro de obras e, nos locais, onde foram instaladas estruturas fora da área prevista, fazer a recuperação buscando o retorno das condições ambientais originais;
- Demarcar as áreas de interesse ecológico, com destaque para as áreas de preservação permanente da drenagem, da barragem de acumulação hídrica, das barragens de rejeitos e da área de reserva legal.

A Constituição Federal do Brasil (1988), exige dentre outras a recuperação do meio ambiente degradado pela exploração de recursos minerais. A mineração é considerada como uma atividade geradora grandes impactos ambientais negativos, pois modifica o relevo e a morfologia da área na qual está sendo praticada, causando alterações significativas na paisagem e no meio biofísico, sendo muito difícil a sua recuperação através da recomposição topográfica.

A planta pré-aprovada da mina, está localizada no alto curso da sub bacia do riacho Cunha Moti, área de intensa malha hidrográfica, com facilidade de dispersão de material radioativo para os cursos d'água mais a jusante do empreendimento, o que torna o risco de contaminação hídrica uma possibilidade e que deve ser intensamente monitorada e avaliada, em virtude da magnitude da área de dispersão, no caso de um acidente relativo as barragens de rejeito.

No planejamento da recuperação ambiental da jazida é necessário observar as condições geotécnicas do terreno e as características físicas do relevo da área de entorno, para adaptação dos novos elementos resultantes da lavra e o aproveitamento racional do relevo legado pela mineração.

Como a vida útil da jazida será em torno de 20 anos a concepção de um plano executivo de recuperação deve ser constantemente atualizado, para ser posto em prática durante todo o tempo de vida da mina, para que na exaustão do depósito mineral os impactos tenham sido mitigados. No futuro, diante das condições sociais e econômicas, com o avanço da tecnologia ambiental, serão possíveis outras metodologias que busquem auxiliar na recuperação de áreas degradadas.

É, portanto mais racional e objetiva a adoção de medidas de controle e de compensação ambiental, durante as ações da mineração, pois além de mitigar os impactos ambientais negativos gerados, deixa a área em condições de ser mais facilmente reabilitada a um novo uso e ocupação.

Serão fatores limitantes ao manejo da área herdada da mineração a pequena disponibilidade de água na região e a presença de solos pouco desenvolvidos, processos erosivos laminares que colaboram com o carreamento de material para além da área de lavra, com risco de contaminação.

As seguintes ações deverão ser implementadas com a finalidade maior de recuperar futuramente a área lavrada:

- Dispor em local apropriado os restos vegetais produzidos nas ações de limpeza e que poderão ser usados na vegetação das faixas mineradas;
- Preservar nos limites externos da cava as espécies da caatinga arbóreo-arbustiva que é significativamente bem desenvolvida no local da jazida;
- Suavizar os taludes finais da cava com a finalidade de prover estabilidade aos mesmos, através da detonação controlada das cristas, com eliminação das linhas abruptas, deixando a rocha desmontada no local para receber posteriormente um capeamento, se houver material disponível oriundo da limpeza e que será no momento oportuno vegetado;
- Estabelecer no perímetro externo da cava um sistema de drenagem que conduza as águas pluviais para os riachos e cursos d'água locais, prevenindo o surgimento de sulcos erosivos e, desta maneira evitando o assoreamento da drenagem local, por particulados finos transportados em solução pelas águas, inibindo igualmente o alagamento da frente de lavra;
- Compactar e sistematizar os depósitos de bota-fora estabelecendo-se taludes suavizados com inclinação de 30 a 40° com a vertical, ação preventiva à ocorrência de deslizamentos que poderão acontecer nos períodos chuvosos; ficando a superfície regularizada e inclinada em torno de 12% em direção à drenagem local. Vegetar os taludes dos depósitos de bota-fora com espécies herbáceas que impedirão a instalação de processos erosivos;
- Colocar depois da conformação topográfica sobre a superfície do bota-fora após sua sistematização, se houver, uma camada de solo fértil, ficando a estrutura preparada para o plantio de espécies frutíferas ou outras que bem se adaptem às condições locais;
- Plantar nas proximidades das instalações produtivas espécies arbóreas para constituição de uma cortina de proteção de contato especialmente na unidade

de britagem e processamento mineral, que funcionará como um obstáculo físico à disseminação das poeiras fugitivas, gases e ruídos;

- Consultar depois para a determinação do método de plantio e tratos culturais, um especialista, que irá traçar um programa específico para a recomposição da cobertura vegetal, nas áreas submetidas à remoção planejada e parcial da flora;
- Manter em condições de funcionamento o sistema de drenagem implantado, desobstruindo as canaletas existentes nas frentes de lavra, na área das servidões e nas estradas internas de acesso;
- Recolher depois da recuperação dos setores lavrados os resíduos produzidos pela mineração, tais como restos dos instrumentos de trabalho, estacas, pedaços de madeira, latas etc.;
- Proibir, após a sistematização do piso final do setor minerado, quando a superfície fica preparada, a movimentação de pessoas e veículos nas áreas recuperadas.

Adotados estes procedimentos operacionais em relação à cava formada, será plausível a possibilidade da formação de um reservatório de água, um lago que será de grande utilidade em termos de se dotar o local de uma estrutura armazenadora das águas pluviais, provendo este recurso natural de extremo valor para as comunidades locais dada a carência da água, em especial na estação seca.

O uso da água contida no reservatório, criará um exutório, desde que sejam bombeados os estratos mais inferiores, evitando-se com a estagnação a imposição de condições adversas ao ecossistema envolvido. Para o bombeamento deve-se contemplar o emprego da energia alternativa, solar ou eólica, deixando de lado a opção pelo uso de energia elétrica.

Ao final da vida útil do empreendimento em seu descomissionamento, no que diz respeito às instalações administrativas e produtivas os prédios construídos deverão ser preservados e destinados ao uso cotidiano pelos moradores locais, transformando-se em espaços físicos destinados a equipamentos de educação, saúde e lazer. Convênios futuros, com as Prefeituras de Santa Quitéria e Itatira, e Governo do Estado proporcionarão apoio básico através da colocação à disposição da população local de educadores, agentes de saúde

etc. Técnicos agrícolas poderão ser convocados a proporcionar ensinamentos e uso adequado da terra e da água que ficará armazenada na cava formada pela lavra do colofanito.

Os equipamentos de produção deverão ser desmontados, submetidos a inspeções mecânicas, reparados caso seja possível a recuperação e vendidos a empresas do mesmo ramo ou transferidos para outras instalações da INB em noutros locais do país. As máquinas e acessórios inservíveis deverão ser temporariamente estocados em local apropriado e exposto à venda como sucata, evitando-se o lançamento de produtos com elevados potenciais contaminação ao ecossistema da área do empreendimento.

Os setores onde estavam instaladas as máquinas e os equipamentos deverão ser terraplenados com sistematização dos níveis de base, estabelecendo-se um fluxo possível para a drenagem local.

A drenagem implantada no início das construções deverá ser mantida desobstruída para evitar alagamentos nos terrenos, inibindo a ação erosiva nos períodos chuvosos, permitindo a preservação das estradas de acesso que poderão ser usadas pelos moradores locais. A vegetação implantada ou ainda original deverá merecer atenção especial, proibindo-se totalmente sua remoção não só na área do empreendimento, como em todo o terreno a propriedade da INB.

6 CONSIDERAÇÕES

Para desenvolvimento dessa tese um longo caminho foi percorrido em busca da compreensão dos fenômenos envolvidos na dispersão natural de radionuclídeos, para que fosse possível propor um plano de monitoramento ambiental que levasse em consideração os aspectos legais e ambientais.

A segurança é uma construção social, um fato social, na paisagem natural, intocada, não existem riscos, um desmonte de um talude por solifluxão é apenas uma movimentação de massa e materiais, que transformam a paisagem. Quando a sociedade é considerada nesse cenário emprega-se o termo desastre natural. E quando a ação antrópica dinamiza e facilita esse desastre, pelo mal uso e ocupação de ambientes instáveis, tem-se áreas de risco.

Desse modo, buscou-se, através dos mapas e análises que compõem essa tese, propor uma maneira de monitorar as ações minero-industriais e mitigar os riscos envolvidos no processo de exploração e produção, quando da implementação das atividades.

O uranio e o fosfato são elementos de interesse econômico estratégicos, são considerados fonte de riqueza e desenvolvimento social, desse modo não existe argumentação para que não sejam explorados, o que se propõe é que os impactos negativos sejam previstos antecipadamente e sejam realizados os ajustes necessários para evitar potenciais desastres.

Muitas tecnologias têm sido desenvolvidas para detectar a poluição e a contaminação ambiental, e os instrumentos legais procuram assegurar o mínimo de segurança nos empreendimentos industriais e de extração de minérios, mesmo assim existem fatores climáticos que não podem ser desprezados, pois dinamizam os riscos envolvidos, pelo carreamento de material, seja pela ação dos ventos, seja por ação do fluxo superficial.

O tema central da tese foi propor mecanismos de monitoramento e controle ambiental e segurança da saúde humana e animal, as análises ambientais que deram suporte ao plano foram de suma importância para o reconhecimento dos processos naturais, que apoiaram as metodologias apresentadas. Em todas as fases preliminares e na própria excussão da análise ambiental, os fatores climáticos se apresentaram como os mais relevantes e imprevisíveis. A localização da jazida no semiárido, com suas características geológicas, pedológicas e a sazonalidade climática, impuseram a necessidade de se utilizar um paradigma mais dinâmico para o reconhecimento de todos os processos envolvidos nas rocas de energia, matéria e informação.

A análise sistêmica estruturada é o alicerce de toda investigação ambiental, entretanto avançar a modelagem para orientação a objetos foi uma opção mais completa, colocando o clima com um aspecto que envolve todos os atores, ambientais e sociais. A análise de sistemas ambientais serviu de base para os avanços da análise da paisagem de maneira mais detalhada, e nessa tese, avançou-se para a análise geocológica da paisagem, pelo seu maior detalhamento, em virtude da análise ambiental em grande escala da sub bacia do Riacho Cunha Moti. A geocologia aproxima as necessidades e as influências da sociedade sobre o ambiente natural e as respostas do ambiente em relação as ações humanas, imprescindível para estudos de monitoramento ambiental e seus riscos. Os riscos só existem quando temos a causa, caminho e o impacto na sociedade, desse modo foi necessário avançar numa metodologia mais ampla.

A jazida deve ser explorada, mas ainda sem data definida para o início da implantação do empreendimento. Grande área atualmente preservada abrigará a mina e a indústria de beneficiamento. A proposta de desenvolvimento local não pode prescindir dos impactos ambientais negativos e serão necessárias ações integradas que consigam trazer benefícios reais para sociedade diante à supressão de ecossistemas complexos, envolvidos na obra.

Entende-se que mesmo com todos os argumentos e levantamento do EIA/RIMA, serão necessárias medidas que realmente sirvam para manter a qualidade ambiental da área da mina e das áreas do entorno. Sob essa visão o plano de monitoramento ambiental aqui proposto foi construído e espera-se que possa colaborar com o empreendimento.

REFERÊNCIAS

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Gerenciamento de Recursos Hídricos no Nordeste Brasileiro. **Série Capacitação para o SINGREH**. Brasília-DF, 2015a.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Água e Floresta, uso sustentável da caatinga. **Série Capacitação para o SINGREH**. Brasília-DF, 2015b.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Planejamento, Manejo e Gestão de Bacias. - **Série Capacitação em Recursos Hídricos**. Brasília-DF, 2013a.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Lei das Águas. **Série Capacitação em Recursos Hídricos**. Brasília, 2013b.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Outorga de direito de uso de recursos hídricos. - **Série Capacitação em Recursos Hídricos**. Brasília-DF, 2011a.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Comitê de bacia hidrográfica – o que é e o que faz? – **Série Capacitação em Recursos Hídricos**. Brasília-DF, 2011b.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília-DF, 2011. p.327.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução ANA nº 724**, de 3 de outubro de 2011. Brasília-DF, 2011.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Cuidando das Águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Brasília-DF, 2013. 160 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/CuidandoDasAguas-Solucao2aEd.pdf> Acesso em: 10/10/2015

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS.. **Caminho das águas: conhecimento, uso, gestão**. caderno do professor. Brasília-DF, 2006. 112 p.

AFONSO, Júlio Carlos. Radônio. **Química Nova na Escola**. Vol. 32, Nº 4, novembro 2009. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc32_4/09-EQ10909.pdf, Acesso em 15/10/2015

AIETA, E.M., SINGLEY, J.E. TRUSSELL, A.R., THORBJARNARSON, K.W., MCGUIRE, M.J. *Radionuclides in drinking water: An overview*. **Journal of American Water Works** 79: 144-152. 1987.

ALPHAGUARD. Alfa Technologies. Disponível em: <https://www.alpha.ca/solutions/solutions-alpha-catalog/batteries/battery-accessories/item/alphaguard> Acesso em 05/06/2016

ALPHAGUARD. **Specifications. Alfa Technologies**. Disponível em: http://www.alpha.com/Media/Documents/AlphaGuard%2011_A03.pdf Acesso em 05/06/2016

ALMEIDA, A.R.; PARENTE, C.V.; ARTHAUD, M.H. **Geologia da folha Itatira (SB.24-V-B-V)**. CPRM. 2008.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; Fuck, R.; Províncias estruturais brasileiras. **Anais VIII Simpósio de Geologia do Nordeste**, Campina Grande, p. 363-391. 1977.

ALMEIDA JUNIOR, Airton Tavares de, MARTINS, Paulo Roberto, SOUZA, Wagner Jacintho de. **Atuação da higiene ocupacional na gerência de rejeitos radioativos em serviços de saúde**. Monografia (Especialização em Higiene Ocupacional). Faculdade de ciências médicas de Minas Gerais – FCMMG. 2007.

BASSOI, L. J.; GUAZELLI, M. R. Controle Ambiental da Água. In: PHILIPPI Jr, A.; ROMÉRO, M. de A.; BRUNA, G. C. **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri: Manole, 2004. p. 53-99.

BATISTA, C. T.; VERÍSSIMO, C. U. V.; SANTOS, M. P. Avaliação do cálculo de erosividade em escala regional com o auxílio de geoprocessamento na Serra de Baturité - CE. **Revista de Geociências do Nordeste**, v.1, n.1. p. 22-36, 2015.

BERTALANFFY, Ludwig von. **Teoria geral dos sistemas**, Fundamentos, desenvolvimento e aplicações. 4ª ed., Vozes. Petrópolis, RJ, 2009.

BERTRAND, G.; BERTRAND, C. Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades. Maringá: Massoni, 2007.

BONOTTO, D. M., **Radioatividade nas águas**. Editora UNESP, São Paulo, SP. 2004. 251p.

BONOTTO, D. M., SILVEIRA, E. G. da. **Geoquímica do Urânio. Aplicada a Águas Minerais**. Editora UNESP, São Paulo, SP. 2006. 160 p.

BORGES Karla, DAVIS, Clodoveu . Modelagem de Dados Geográficos. in: CÂMARA, Gilberto, DAVIS, Clodoveu e MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. INPE, São José dos Campos, 2004.

BORGES, Karla, DAVIS, Clodoveu e . LAENDER Alberto H.F. Modelagem de Dados Geográficos. in: Câmara, Gilberto, Davis, Clodoveu e Monteiro, Antônio Miguel Vieira **Bancos de Dados Geográficos**. INPE, São José dos Campos, 2004.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 2ª ed. rev. - Brasília: 2006. 146 p.

BRASIL, **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Brasília: 1997. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>, acesso em 10/05/2013

BRITO NEVES, B.B.; SANTOS, E.J. DOS; VAN SCHMUS, W.R. *Tectonic history of the Borborema Province, Northeastern Brazil*, in CORDANI, V.G.et al.. EDITORS – **Tectonic evolution of South America**. Rio de Janeiro. p.151-182. 2000.

CABY, R.; ARTHAUD, M.H. MAJOR *Precambrian nappes of the Brazilian Belts, Ceará, Northeast Brazil*. **Geology**, v. 14, p. 871-874.

CÂMARA, Gilberto, DAVIS, Clodoveu e MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. INPE, São José dos Campos, 2001. Disponível em: mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf Acesso em: 21/10/2015

CÂMARA, G., CASANOVA, M., HEMERLY, A., MAGALHÃES, G., MEDEIROS, C. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. 197p.

CARMO, A. M. do, SOUTO, M. V. S., DUARTE, C. R. Análise qualitativa e comparativa das variáveis morfométricas da região serrana da porção sul do maciço central do Ceará geradas através dos MDE: SRTM, ASTER GDEM e TOPODATA. **Revista Brasileira de Cartografia**. p.603-620. 2015.

CARVALHO, Leila Márcia Mendes. **Integração de dados de geofísica aérea aplicada à geologia e à prospecção mineral no Distrito Esmeraldífero de Itabira-Ferros, Quadrilátero Ferrífero, MG**. 2006. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006. 178 f.

CASTRO, Carlos A. C., MORALES, Rudnei K., CARDOSO, Domingos D., SANTOS, Victor C. dos. ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS GASES RADÔNIO E TORÔNIO PRESENTES NO AR EM CENTRO COMERCIAL DO RIO DE JANEIRO E POÇOS DE CALDAS. **International Nuclear Atlantic Conference - INAC**. Santos, SP, Brazil, 2005.

CASTRO, N.A. **Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taparuaba Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema)**. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 2004.

CASTRO S. B., CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena** Vol. 5, Num. 2, 2009

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear, **NE-6.05**. 1985. Disponível em: <http://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=MTkzNQ%2C%2C>. Acesso em: 20 de abril de 2015.

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rejeitos radioativos. **Relatório de 2001**. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/cnen99/news/rejeitos.doc> Acesso em: 29/04/2015

COELHO, A. H. e VARGAS R. M. A. Geração de modelos digitais de terreno a partir de dados de laser scanner aerotransportado em área de floresta usando o software livre GRASS. **Anais XIII SBSR**, Florianópolis, 2007.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Disponível em: <https://www.cogerh.com.br/> Acesso em 05/05/2013

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução No 357**, de 17 de março de 2005, Brasília, DF.

CORRÊA, Janine Nicolosi *et al.* Monitoramento da radioatividade alfa relacionada ao radônio-222 em águas de poços da região metropolitana de Curitiba (PR). **Eng Sanit Ambient** v.20 n.2 p.243-250. 2015.

CREPANI, Edison, MEDEIROS, José Simeão de, HERNANDEZ FILHO , Pedro, FLORENZANO , Teresa Gallotti, DUARTE , Valdete, BARBOSA , Cláudio Clemente Faria. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. INPE, São José dos Campos, 2001

CHRISTOFOLETTI, A.; PEREZ FILHO, A. Estudos sobre as formas de bacias hidrográficas. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, v. 3, n. 9-10, p. 83-92, 1975.

CHRISTOFOLETTI, Antonio; TAVARES, A. C. Análise de vertentes: caracterização e correlação de atributos do sistema. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 17, n. 34, p. 65-83, 1977.

CHRISTOFOLETTI, Antonio, **Geomorfologia**. Ed Edgard Büchler, 2a ed. São Paulo, SP. 1980.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. O Desenvolvimento Teórico Analítico em Geomorfologia: do ciclo da erosão aos sistemas dissipativos. **Geografia**. Vol. 14, nº 18. Rio Claro, 1989

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Büchler, 1999.

DHARA , Sangita, MISRA , Nand Lal, MUDHER, Khush Dev Singh, KUMAR , AGGARWAL , Suresh .. Bulk determination of uranium and thorium in presence of each other by Total Reflection X-ray Fluorescence spectrometry. **Spectrochimica Acta Part B** 62. p. 82–85. 2007.

DELAZARI, L. S., VIEIRA, A. J. B., DALMOLIN, Q. Extração automática de redes de drenagem a partir de modelos digitais de altitude. **B. Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 3, p.82-84, 1998.

DEODORO, Sandra Cristina; FONSECA, Bráulio Magalhães. ANÁLISE MORFOMÉTRICA E MULTICRITERIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA BÁRBARA, NORDESTE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MG). **Revista Brasileira de Cartografia**, Nº 68/1, Edição Especial Movimentos de Massa e Processos Erosivos. 2016, p. 1837-1852

DINIZ, M. T. M.; OLIVEIRA, G. P.; MEDEIROS, D. B. S. Proposta de classificação das paisagens integradas. **Revista de Geociências do Nordeste**, v.1, n.1, p.50-65, 2015.

DUARTE, C.R.; PETTA, R.A; MEDEIROS, C.N.; REYS, A.M.T. Emprego de imagens de multisensores na caracterização geoambiental do litoral de Pedra Grande (RN) visando a implantação de projetos de carcinicultura. **Estudos Geológicos**, v. 18, n. 2, p. 65-76.

EMBRAPA RELEVOS, Disponível em: www.relevobr.cnpm.embrapa.br/ Acesso em 15/05/2014

ESCOBAR, D. V.; NECKEL, A.; MARQUES, S. Identificação das áreas que apresentam riscos geomorfológicos para a população da cidade de Marau/RS. **Anais IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental** Salvador/BA – 25 a 28/11/2013.

FARIAS, Juliana Felipe. **Aplicabilidade da geoecologia das paisagens no planejamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Palmeira-Ceará/Brasil**. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza, 2015.

FARIAS, Juliana Felipe; SILVA, Edson Vicente da; RODRIGUEZ, José Manuel Mateo. Aspectos do Uso e Ocupação do Solo no Semiárido Cearense: Análise Espaço- Temporal (1985 - 2011) Sob o Viés da Geoecologia das Paisagens. **Revista Brasileira de Geografia Física** V.06, N.02, 2013, 118-135

FARIAS, Juliana Felipe. **Zoneamento geoecológico como subsidio para o planejamento ambiental no âmbito municipal**. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza, 2012.

FAVAS, P. J. C., PRATAS, J. Urânio em solos, águas e plantas da antiga mina de Sevilha, Tábua, Centro de Portugal. **Comunicações Geológicas** (2014) 101, Especial II, IX CNG/2º CoGePLiP, Porto, p. 993-996. 2014. Disponível em: <http://www.Ineg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185> Acesso: 23/02/2014

FERREIRA, Gabriel Luis Bonora Vidrih , FERREIRA, Natália Bonora Vidrih. Fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Anais XIII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 6 a 8 de novembro de 2006. p 1-11. Disponível em: http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/810.pdf, Acesso em 10/05/2013.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia. Conceitos e técnicas atuais**. Oficina de Textos. São Paulo, SP. 2008. 320 p.

GOMES, Daniel Dantas Moreira. **Geoprocessamento aplicado a análise da vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do Rio Jaibaras – Ceará**. Dissertação (Mestrado em geologia) Pós Graduação em Geologia. Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza, 2011.

GOMES, Daniel Dantas Moreira. **Geoprocessamento aplicado à análise e zoneamento dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do Rio Mundaú - PE/AL**. Tese (Doutorado em geologia) Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza, 2015.

GONÇALVES JR, Joselito. Teles., **implicações geoambientais decorrentes da exploração de urânio no município de Santa Quitéria, Ceará**. Dissertação de Mestrado, PPGEO, Universidade Estadual do Ceará UECE, Fortaleza, CE. 2010.

GONÇALVES JR, J. T., SOUZA, M.J.N. de. Caracterização Ambiental de Santa Quitéria, Ceará: A Nova Cidade Uranífera do Brasil. **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.2, N.4, p.1368–1377. 2012.

GONÇALVES, Stela Rosa Amaral, ARAÚJO, Renata Ribeiro de, IMAI, Nilton Nobuhiro. Mapeamento do grau de fragilidade com processo analítico hierárquico e operadores fuzzy gama na detecção áreas de fragilidade ambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**. No 68/2, Edição Especial Aplicações dos SIG, 2016, p. 327-337

GRASS-GIS. Geographic Resources Analysis Support System, Download software e manuais. Disponível em: <http://grass.osgeo.org/> Acesso em 12/01/2014.

GROHMANN, C. H., **Introdução a Análise Digital de Terreno com GRASS-GIS**. Instituto de Geociências - USP. 2007-2008. Disponível em: <http://www.igc.usp.br/pessoais/guano> Acesso em: 12/01/2014.

GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia. Uma atualização de conceitos**. 11^a. Ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, RJ. 2012. 474 p.

GUERRERO, João Vitor Roque, LOLLO, José Augusto de LORANDI, Reinaldo. Cartografia geoambiental como base para planejamento territorial na bacia do rio clarinho, SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, N0 68/2, Edição Especial Aplicações dos SIG, 2016: p. 313-326

HENSHAW, D.L., EATOUGH, J.P., RICHARDSON, R.B. Radon as a causative factor in induction of myeloid leukaemia and other cancers. *Lancet*. 335, p1008–1012. 1990.

IBGE, **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2^a ed. Rio de Janeiro. 2008.

ICRP - International Commission on Radiological Protection. ICRP 60 - Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Oxford: **Pergamon Press**, v. 2, 1991, n. 1-3. Disponível em: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%2060> Acesso em 03/06/2015

ICRP - International Commission on Radiological Protection. ICRP 65 - Protection Against Radon-222 at Home and at Work. Oxford: **Pergamon Press**, v. 23, 1993, n. 2. Disponível em: <<http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2065>> Acesso em 03/06/2015

INB. Indústrias Nucleares do Brasil. 2013. Disponível em: <http://www.inb.gov.br/pt-br/WebForms/interna.aspx?secao_id=98> Acesso em 26/08/2013

INPE, **Projeto TOPODATA** - Download de Imagens. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>, Acesso em 12/06/2014

LEMOS, A. C. C. A utilização de dados geológicos e geomorfológicos na identificação de áreas suscetíveis a desastres naturais. Estudo de caso: bacia hidrográfica do Rio Paranhana/RS. **Para Onde!?**, vol 7 (2). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRS. Porto Alegre, RS, Brasil. p. 11-18. 2013.

LOPES, Manoela Sacchis, SALDANHA, Dejanira Luderitz. Análise de vulnerabilidade natural à erosão como subsídio ao planejamento ambiental do oeste da bacia hidrográfica do

Camaquã - RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, Nº 68/9, Edição Especial Movimentos de Massa e Processos Erosivos, p. 1689-1708. 2016.

MACHADO, Ricardo Augusto Souza, LOBÃO, Jocimara Souza Britto, VALE, Raquel de Matos Cardoso do, SOUZA, Ana Paula Mascarenhas Jesus de. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.1441, 2011.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R.; CLAUDINO-SALES, V. Vales Fluviais do NE: Considerações Geomorfológicas. *Revista OKARA: Geografia em Debate*. v.2, n.2, Edição Especial **Anais II Simpósio de Geografia Física do Nordeste**. p.177-189. 2008.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R.; CLAUDINO-SALES, V. Geomorfologia do Nordeste: Concepções Clássicas e Atuais Acerca das Superfícies de Aplainamento Nordestinas. *Revista de Geografia*. Recife: UFPE - DCG/NAPA, v. Especial **Anais VIII SINAGEO**, n.1, 2010.

MARANHÃO, R.M.R.; LIRA, M.V.; SOUZA, H.P.; DUARTE, C.R.D.; SABADIA, J.A.B. Caracterização hidro geomorfológica do entorno da jazida fósforo-uranífera de Itataia, Ceará, Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, REGNE, Vol.2, 2016. p. 1078-1087.

MARANHÃO, Rosa Maria Ramos, LIRA, Maria Valdete, ROSA JR, Cecílio Aguiar, DUARTE, Cynthia Romariz, SABADIA, José Antônio Beltrão. Cartografia geomorfológica para análise da dispersão natural de radionuclídeos por processos hidro geomorfológicos. **Anais XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Santos, SP, Brasil, INPE, 2017. p. 818-824.

MARQUES NETO, Roberto. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Geografia**, v. 17, n. 2, Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências. 2008.

MARTINELLI, Marcelo. *Mapas da Geografia e Cartografia Temática*. Ed Contexto. São Paulo, SP, 2003. 110 p.

MARINO, T. B.; SILVA, J. X. da; QUINTANILHA, J. A. Metodologia para tomada de decisão no âmbito de riscos socioambientais em áreas urbanas: desmoronamentos e enchentes em assentamentos precários na bacia do Córrego Cabuçu de Baixo - SP. **Revista Brasileira de Cartografia**. No 64/1. 2012. p. 83-101.

MELO, M. S.; CLAUDINO-SALES, V.; PEULVAST, J. P; Saad, A.; Mello, C. L. Processos e Produtos Morfogenéticos Continentais, em: Souza *et al.*. **Quaternário do Brasil**. 2005. Ed Holus. Ribeirão Preto, SP.

MENDONÇA, J.C.G.S.; BRAGA, A.P.G.; CAMPOS, M. Consideração sobre a mineralização fósforo-uranífera da jazida de Itataia. **Anais 31º Cong. Bras. De Geologia**, v. 4, p. 2472-2486, 1980.

MENDONÇA, J.C.G.S.; BRAGA, A.P.G.; Netto, R.N.; SILVA, R.J.A. **Mapa geológico da região de Itataia**. NUCLEBRÁS. 1983.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE MMA BRASIL. Plano Nacional de Recursos Hídricos. 2009. Disponível em: www.cnrh.gov.br/attachments/PNRH_Vol_1.pdf Acesso em 12/08/2015

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE MMA BRASIL. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente. SQA. – Brasília: MMA, 2006.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE MMA, BRASIL, CNRH, **Resolução N° 17**, de 29 de maio de 2001; Brasília: MMA, 2006

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE MMA, BRASIL, CNRH, **Resolução N° 30**, de 11 de dezembro de 2002. Brasília: MMA, 2002

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE MMA, BRASIL, IBAMA, **Manual de Normas e Procedimentos para Licenciamento Ambiental no Setor de Extração Mineral**. Brasília: MMA, 2001

MINISTERIO DA SAÚDE/INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. 2013. **MS Registro Hospitalar de Câncer - Tabulador Hospitalar Base do Estado do Ceará**. Disponível em: <https://irhc.inca.gov.br/cgi-irhc/dh?rhchos/SC/rhc> Acesso em 27/11/2013

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000. 127p.

NANNI, A. S. e CHAVES, A. O. Uso de aplicativos computacionais livres em disciplinas de mapeamento geológico, **GeoFocus (Informes y comentarios)**, n° 11, p.55-65. 2011.

NEIVA, A. M. R. CARVALHO, P. C. S., ANTUNES, M. H. R., SILVA, M. M. V. G., SANTOS, A. C. T., CABRAL PINTO, M. M. S., CUNHA, P. P.. Contaminação ambiental provocada pela antiga mina de urânio de Pinhal do Souto, centro de Portugal. **IX CNG/2° CoGePLiP, Porto**. 2014. Disponível em: <http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185> Acesso em 20/05/2016.

OLIVEIRA, Anna Hoffmann, SILVA, Marx Leandro Naves, CURI, Nilton, KLINKE Neto, Gustavo, SILVA, Mayesse Aparecida da, ARAÚJO, Elias Frank de. Consistência hidrológica de modelos digitais de elevação (mde) para definição da rede de drenagem na sub-bacia do horto florestal terra dura, eldorado do sul, RS. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, p. 1259-1267, 2012.

OLIVEIRA, R. M. de; FRANCHINI, R. A. L.; IESCHECK, A. L., ZOUAIN, R. N. A.. Métodos de identificação do divisor de drenagens entre o Arroio Chuí e o Arroio Pastoreio, região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Cartografia**. N.66/5, 2014.

OLIVEIRA, Lucas Rebello de, MEDEIROS, Raffaella Martins, TERRA, Pedro de Bragança, QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves. Sustentabilidade: da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações. **Produção**, v. 22, n. 1, p. 70-82, UFF, Niterói, RJ, 2012.

PACTO DAS ÁGUAS, Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. 2009.

PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W. Extração de rede de drenagem a partir de dados do SRTM. **Revista Geográfica Acadêmica** v.2 n.2 viii., p. 84-95, 2008

PELAGATTI, Giuseppe, BELUSSI, Alberto, NEGRI, Mauro. **GeoUML Model – Geometric Model and OCL Constraints Templates**. Politecnico de Milano. Università di verona. Italia. 2011.

PELAGATTI, Giuseppe, BELUSSI, Alberto, NEGRI, Mauro. **GeoUML Methodology and Tools an Overview**. Politecnico de Milano. Università di verona. Italia. 2011.

PEREIRA, A. J. S. C., GODINHO, L. J. P. F. Neves M. M., DIAS, J. M. M. As mineralizações de urânio e a radioatividade natural em Portugal: Factores geológicos condicionantes e implicações para o ordenamento do território. **A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos**. Imprensa da Universidade, Coimbra, p. 121-132. 2003

PIRES, F. R. M. **Urânio no Brasil: geologia, jazidas e ocorrências**. Vitrine Comunicação, Eletrobrás Eletronuclear, Rio de Janeiro, 2013. 299 p.

PITOMBEIRA, J.P.A. **Geologia de Itaitaia**. 2011. Monografia (Graduação em Geologia) Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2011.

POPP, W.; PLAPPER, U.; MÜLLER, W.U.; REHN, B.R. *Biomarkers of genetic damage and inflammation in blood and bronchoalveolar lavage fluid among former German uranium miners: A pilot study*. **Radiation and Environmental Biophysics** 39(4). 2000.

PLANERH. Plano estratégico dos recursos hídricos do Ceará. Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. 2009.

RAMOS, Mônica Arlinda Vasconcelos. **Controle e monitoramento ambiental na mineração**. Universidade Aberta do Brasil UAB. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB. Cruz das Almas, BA. 2017.

REHBEIN, M.O.; ROSS, J.L.S. Cartografia das unidades de relevo e de vertentes da bacia hidrográfica do arroio Feijó/ RS. **Anais IX SINAGEO: Geotecnologias e mapeamento geomorfológico**, Rio de Janeiro, RJ. 2012.

REIS, Rócio G. dos, SANTO, Aline Sá e. Avaliação qualitativa do impacto radiológico ambiental em uma mineração convencional de fosfato com urânio associado - o projeto Santa Quitéria. Sociedade Brasileira de Proteção Radiológica – SBPR. **Anais IX Latin American IRPA Regional Congress on Radiation Protection and Safety - IRPA 2013** Rio de Janeiro, RJ, Brazil, , 2013. p. 15-19

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geocologia das paisagens e da teoria geossistêmica**. Havana, 2000.

RODRIGUEZ, J. M. M., SILVA, E. V.; CAVALCANTE, A. P. B. **Geocologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da**

Geocologia das Paisagens e da Teoria Geossistêmica. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

ROSA JR, Cecílio Aguiar, MARANHÃO, Rosa, DUARTE, Cynthia Romariz
Contribuição à Geologia da Região da Jazida de U-P de Itaitaia/CE a Partir de Estatística de Bandas e Processamento Digital de Imagens Landsat. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, São Jose dos Campos, SP, 2015. p.4124-4130.

ROSOLÉM, Nathália Prado, ARCHELA, Rosely Sampaio. GEOSSISTEMA, TERRITÓRIO E PAISAGEM COMO MÉTODO DE ANÁLISE GEOGRÁFICA. **Anais VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física**, Universidade de Coimbra, 2010.

SÁNCHEZ, Luiz Enrique. Gerenciamento ambiental e a indústria de mineração. 1994. **Notas & comunicações de pesquisa, Revista de Administração**, v 1, São Paulo, SP.

SÁNCHEZ, Luiz Enrique. Mineração e meio ambiente. IN: Francisco R. C. Fernandes, Adão B. da Luz, Gerson M. M. Matos, Zuleica Carmen Castilhos. **TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS. Geociências e Tecnologia Mineral**. 2007. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

SANTANA, Paula. O estado de saúde dos portugueses. Uma perspectiva espacial. **Revista de Estudos Demográficos**, nº 36. Lisboa, 2004.

SANTOS, A. C. dos; SALCEDO, I. H.; CANDEIAS, A. L. B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na Microbacia Hidrográfica de Vaca Brava, PB. **Revista Brasileira de Cartografia** Nº 54, 2002.

SANTOS, A.A. **Caracterização litoestrutural e geocronológica da região fósforo-uranífera de Itaitaia-CE**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2003.

SANTOS, C. L.; WANDERLEY, L. S.; VITAL, S. R. O.; GIRÃO, O. Análise da suscetibilidade à ocorrência de enchentes e alagamento na bacia do alto/médio curso do rio Jaguaribe, João Pessoa/PB, a partir de características morfométricas extraídas de dados SRTM. **Revista de Geociências do Nordeste**, v.1, n.1, p.37-49, 2015.

SBROGLIA, Regiane Mara, HIGASHI, Rafael Augusto dos Reis, TOMAZZOLI, Edison Ramos, GUIMARÃES, Renato Fontes. Mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos na microbacia do ribeirão baú, ilhota/sc, com o uso de modelagem matemática. **Revista Brasileira de Cartografia**, No 68/2, Edição Especial Aplicações dos SIG, p. 339-354, 2016.

SENA-SOUZA, J. P.; MARTINS, E. de S.; COUTO JUNIOR, A. F.; REATTO, A., VASCONCELOS, V.; GOMES, M. P., REIS, A. M.; SILVA, V. P. da. Utilização de variáveis morfométricas para a subdivisão de bacia hidrográfica no Cerrado. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013, INPE.

SILVA, Almy A. R. da. **Técnicas de Monitoramento (DPR – 15) Proteção Radiológica** <http://docplayer.com.br/22936133-Tecnicas-de-monitoracao-dpr-15.html> Acesso em 02/06/2014.

SILVA Jr de A e, Caracterização hidrogeológica da jazida de Itataia-CE. 2004. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. São Paulo. Disponível em: aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/23395/15484, Acesso em 01/05/2014.

SILVA, I. C. de O., ALVES, R. E.; PAULINO, H. B. Avaliação da acurácia do mapeamento pedológico da Bacia da Picada a partir do processamento digital de variáveis morfométricas **Revista Geonorte**, V.9, N.1, p.61-78, 2013.

SILVA, J.S., LEITE, E.P.F., Silva, G.M., Extração de atributos hidrológicos de bacias hidrográficas utilizando geotecnologias livres, **Anais XV SBSR**, Curitiba, 2011.

SILVA, J.R de. **Caracterização hidrogeológica da jazida de Itataia-CE**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Departamento e Geologia. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2003.

SILVA, J.R de. Caracterização hidrogeológica da Jazida de Itataia-Ce. **Anais XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. São Paulo, SP. 2004.

SOTCHAVA, V. B. **Estudo dos geossistemas. Métodos em questão**. IGEOG/USP. São Paulo, SP. 1977. 50 p.

SOTCHAVA, V. B.. Por uma teoria de classificação dos geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia**. São Paulo, n. 14, 1978. 24p.

SUGUIO, Kenitiro. **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais**. 2010. Oficina de Textos. São Paulo, SP.

SUGUIO, Kenitiro. **Geologia Sedimentar**. 2003. Ed Edgard Blücher Ltda. Sao Paulo, SP.

TAVARES, B. A. C.; BARROS, A. C. M.; CORREA, A. C. B. Intemperismo nas superfícies de cimeira do planalto da Borborema. **Revista de Geociências do Nordeste**, v.1, n.1, p.66-75, 2015.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. IBGE, Rio de Janeiro. 1977. 97p

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. **Sources and effects of ionizing radiation**. Anexo A. 1993. 920 p, Disponível em: http://www.unscear.org/docs/publications/1993/UNSCEAR_1993_Report.pdf Acesso em 03/06/2015

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. **Sources and effects of ionizing radiation**, Vol I. UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly. 2000. Disponível em: http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html Acesso em: 03/06/2015

USGS. **SRTM Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global.**

Disponível em: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>. Acesso em 04/05/2015

USGS. **SRTM Documentation.** Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global. Disponível em: http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM30/srtm30_documentation.pdf. Acesso em 04/05/2015

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfológicas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA, 2005. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, GO. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 1-8. 2005.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**, 2008, Projeto Topodata, INPE. Disponível em: <http://mtc-18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>. Acesso em 01/05/2014.

VALERIANO, M. de M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.539-546, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v7n3/v7n3a22.pdf> Acesso em 16 de agosto de 2016.

VASCONCELOS, A. A., CUNHA, S. B da. Dinâmica fluvial no semiárido e gestão dos recursos hídricos: enfoques na bacia do Rio Jaguaribe – CE. Em MEDEIROS et. al. **Recursos hídricos do Ceará: Integração, Gestão Potencialidades**. IPECE. Fortaleza, CE. 2011. 268 p.

VEYRET, Y. **Os Riscos**. O homem como agressor e vítima do meio ambiente. Ed. Contexto. São Paulo, SP. 2007. 320 p.

VIANA, Daniel de Berredo. **Avaliação de riscos ambientais em áreas contaminadas: uma proposta metodológica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia em Planejamento Energético) . COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: http://www.getres.ufrj.br/pdf/daniel_viana.pdf Acesso em 12/05/2015.

ZACCHI, E.N.P; SILVA, A.M.; ROLIM, V.K.; Análise integrada de dados multifonte e sua aplicação no mapeamento geológico das formações ferríferas da Serra de Itapanhocanga, Alvorada de Minas, MG. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28. n. 4. p. 643-656.

ZARKADAS, Ch, KARYDAS , A.G., PARADELLIS , T. *Determination of uranium in human urine by total reflection X-ray fluorescence*. **Spectrochimica Acta Part B** 56. p. 2505-2511. 2001.

ZARKADAS, Ch, KARYDAS , A.G., PARADELLIS , T. *Applicability of direct total r.eflection X-ray fluorescence analysis in the case of human blood serum samples*. **Spectrochimica Acta Part B** 56. p.2219-2228. 2001.