



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MINERAL – PPGEM**



**PLANO CONCEITUAL DE FECHAMENTO DE UMA MINA DE  
URÂNIO – ESTUDO DE CASO: A UNIDADE DE CONCENTRADO  
DE URÂNIO DA INB EM CAETITÉ, BAHIA.**

**AUTOR: FLÁVIO LUIZ COSTA**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Minas, área de concentração Lavra de Mina.

Ouro Preto  
Setembro/2005

À minha família e meus amigos, desta e de outras jornadas.

## AGRADECIMENTOS

- ✓ Ao Prof. Dr. Hernani Mota de Lima pela incentivada orientação e entendimento das dificuldades surgidas durante toda a realização deste trabalho;
- ✓ Ao amigo de tantas batalhas, Hernani Mota de Lima, por me proporcionar a possibilidade de realizar um sonho;
- ✓ À professora Dra. Cláudia Marlíere de Lima, pela força e pelo espírito de amizade que impulsionou a concretização deste sonho.
- ✓ Aos funcionários das Indústrias Nucleares do Brasil, por todo tipo de colaboração;
- ✓ Ao Gerente da URA/INB, Delmino de Souza Ferreira, pelo apoio recebido.
- ✓ Ao Geólogo e Gerente Evando Carele de Matos, pelo apoio e aporte de conhecimentos durante a execução desta dissertação.
- ✓ Ao Geólogo e Superintendente Marcos Antônio de Oliveira, pela sensibilidade perante a solicitação de um estudo desta importância para a INB.

## RESUMO

Em 1999 entra em operação o maior complexo uranífero da América Latina, a Unidade de Concentrado Nucleares do Brasil em pleno semi-árido baiano. A partir de um número significativo de anomalias, sendo que algumas já se tornaram jazidas e uma única mina de urânio em operação no Brasil, a Mina Fazenda Cachoeira. No complexo mineral formado pela unidade de Concentrado de Urânio opera-se da lavra do minério de urânio ao beneficiamento sob a forma de uma pasta amarela denominada de yellow cake. Quando do início das operações do empreendimento optou-se por fazer o fechamento/descomissionamento concomitantemente com a operação do complexo uranífero. Fato este, de grande relevância que torna o processo menos complexo se assim não fosse.

É um projeto de grande intervenção social na região, pois gera empregos e aquece a economia. Com o fechamento do projeto, quando isto acontecer, irá gerar um desequilíbrio no quadro econômico-financeiro e social da região. No presente trabalho propõe-se um plano conceitual de fechamento para o complexo, focando-se, apenas no cenário proporcionado pela mina em operação, projetando para as futuras minas um elemento referencial sobre o tema. Há que se destacar também, o papel claro entre um Plano de Fechamento de Mina e um Plano de Recuperação de áreas degradadas.

Palavra chave: Fechamento de Mina.

## **ABSTRACT**

In 1999 starts working the largest uranium complex of Latin America, the Concentrate Unit Nuclear Company of Brazil – INB, in the middle of the semi-arid baiano. Starting from a significant number of anomalies, where some had already become deposits and the single mine of uranium in operation in Brazil, the mine named Fazenda Cachoeira. In the mineral complex formed by the Concentrate Unit of Uranium operates the plowing of the uranium's ore to the improvement under the look of a yellow paste denominated yellow cake. In the beginning of the enterprise's operations, it opted for the mine closure/decommissioning in conjunction with the operation of the uranium complex. This fact has a great relevance, what makes the process less complex if it wasn't this way.

It is a project of great social intervention in the area, because you heats up the economy and create new jobs. With the closing of the project, if it happens, it will bring an unbalance in the economic-financial and social of the area. The current paper intends a conceptual plan of closing for the complex, just focusing the sight given by the mine in operation, designing for future mines a guideline about the subject. We also have to highlight the clear role between a Mine Closure Plan and a Plan of Recovering Degraded Areas.

Key words: Mine Closure.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMO</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>iv</b>
<b>SUMÁRIO</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS</b>	<b>xiii</b>

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2 – CONCEITOS BÁSICOS, OBJETIVOS E METODOLOGIA.</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Conceitos Básicos</b>	<b>5</b>
<b>2.2 A radioatividade</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Objetivos Gerais do Fechamento de Mina</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Legislação Aplicável</b>	<b>12</b>
<b>2.5 Metodologia Adotada</b>	<b>14</b>
<b>2.5.1 Estimativa dos Custos de Fechamento</b>	<b>14</b>
<b>2.5.2 Estimativa dos Custos Diretos de Fechamento</b>	<b>14</b>
<b>2.5.3 Remoção das Estruturas</b>	<b>15</b>
<b>2.5.4 Remoção de Superfícies de Rodagem (estradas)</b>	<b>15</b>
<b>2.5.5 Outras Estruturas</b>	<b>15</b>
<b>2.5.6 Terraplenagem</b>	<b>15</b>
<b>2.5.7 Plano de Gerenciamento de Materiais</b>	<b>16</b>
<b>2.5.8 Estimativa do Volume de Materiais</b>	<b>16</b>
<b>2.5.9 Estimativa das Distâncias de Transporte</b>	<b>17</b>
<b>2.5.10 Estimativa do Gradiente</b>	<b>17</b>
<b>2.5.11 Seleção do Equipamento</b>	<b>17</b>
<b>2.5.12 Outras Atividades de Recuperação</b>	<b>17</b>
<b>2.5.13 Manuseio de Materiais Merigosos</b>	<b>18</b>
<b>2.5.14 Controle Hidrogeológico da Área do Empreendimento</b>	<b>18</b>
<b>2.5.15 Restabelecimento da Vegetação</b>	<b>18</b>
<b>2.5.16 Estimativa dos Custos Indiretos de Recuperação</b>	<b>19</b>

2.5.17 Mobilização e Desmobilização	19
2.5.18 Engenharia e Planejamento	19
2.5.19 Lucro do Empreiteiro	19
2.5.20 Taxa de Administração do Projeto	20
2.5.21 Contingências	20
<b>CAPÍTULO 3 – BASE DE DADOS AMBIENTAIS</b>	<b>21</b>
3.1 Um Breve Histórico	21
3.2 Reservas Uraníferas	23
3.3 Áreas de Influência	24
3.4 Meio Físico	25
3.4.1 Clima	25
3.4.2 Geologia	25
3.4.3 Geomorfologia Local	32
3.4.4 Pedologia	34
3.4.5 Hidrologia e Hidrogeologia	35
3.5 Meio Biótico	38
3.6 Meio Antrópico	39
<b>CAPÍTULO 4 – O EMPREENDIMENTO</b>	<b>41</b>
4.1 Caracterização do Empreendimento	41
4.2 O Processo de Produção de Urânio	42
4.2.1 A Lavra	43
4.2.2 A Britagem	48
4.2.3 A Unidade de Tratamento Químico	49
Descrição do Processo	49
Gerenciamento de Rejeitos	55
4.3 Impactos Ambientais Provocados pelo Empreendimento	58
4.3.1 Parâmetros de referência Adotados na URA	58
Sistema de Contenção e Reciclagem de Resíduos Líquidos	61
4.3.2 Efeitos da Radiação	62
4.3.3 Águas Superficiais	63
4.3.4 Avaliação do Risco de Poluição da Água Subterrânea	63
Conceitos Fundamentais	65

<b>Mapeamento da Vulnerabilidade do Aquífero à Poluição</b>	<b>66</b>
<b>Resultados Obtidos</b>	<b>69</b>
<b>Características da Zona Vadoza</b>	<b>70</b>
<b>Profundidade do Nível d'água</b>	<b>71</b>
<b>Resultados</b>	<b>71</b>
<b>Potenciais Fontes de Contaminação</b>	<b>72</b>
<b>Avaliação do Risco de Poluição do Aquífero</b>	<b>75</b>
<b>4.4 Plano de Fechamento e PRAD</b>	<b>77</b>
<b>CAPÍTULO 5 – PLANO DE FECHAMENTO</b>	<b>83</b>
<b>5.1 Introdução</b>	<b>83</b>
<b>5.2 Objetivo</b>	<b>84</b>
<b>5.3 Critérios para Fechamento da Mina</b>	<b>85</b>
<b>5.4 Compromisso com Os Atores Envolvidos</b>	<b>85</b>
<b>5.4.1 Benefícios do processo de Consulta</b>	<b>85</b>
<b>5.4.2 Grupos Envolvidos</b>	<b>86</b>
<b>5.5 A Herança Deixada pelo Empreendimento</b>	<b>86</b>
<b>5.6 Plano de Ação</b>	<b>89</b>
<b>5.6.1 Descomissionamento</b>	<b>89</b>
<b>Cava da Mina</b>	<b>95</b>
<b>Áreas de Disposição de Estéril/Rejeito</b>	<b>96</b>
<b>Central de Britagem</b>	<b>98</b>
<b>Instalações de Beneficiamento Químico (Usina)</b>	<b>98</b>
<b>Bacias para o Processo de Lixiviação (ponds)</b>	<b>99</b>
<b>Demais Instalações</b>	<b>99</b>
<b>5.7 Cronograma de Execução dos Trabalhos</b>	<b>100</b>
<b>5.8 Implementação</b>	<b>102</b>
<b>Descrição e Caracterização das Área Degradadas</b>	<b>102</b>
<b>5.9 Reabilitação Progressiva</b>	<b>103</b>
<b>5.9.1 Plano de Recuperação</b>	<b>103</b>
<b>5.9.2 Isolamento da Área</b>	<b>104</b>
<b>5.9.3 Controle de Erosão e Sistemas de Drenagem</b>	<b>104</b>
<b>5.9.4 Práticas Vegetativas</b>	<b>105</b>

<b>5.9.5 Práticas Edáficas</b>	<b>105</b>
<b>5.9.6 Práticas Mecânica</b>	<b>105</b>
<b>5.9.7 Colocação da Camada Superficial do Solo</b>	<b>106</b>
<b>5.9.8 Correção da Fertilidade do Solo</b>	<b>106</b>
<b>5.9.9 Descompactação do Solo</b>	<b>106</b>
<b>5.9.10 Revegetação</b>	<b>107</b>
<b>5.9.11 Adequação Topográfica e Paisagística</b>	<b>111</b>
<b>5.9.12 Canal de Desvio do Córrego Cachoeira</b>	<b>112</b>
<b>5.9.13 Estabilidade dos Taludes</b>	<b>112</b>
<b>5.9.14 Destinação das Superfícies Mineradas</b>	<b>112</b>
<b>5.9.15 Destinação da Área de Disposição de Estéril/Rejeito</b>	<b>113</b>
<b>5.9.16 Destinação da Área de Beneficiamento</b>	<b>113</b>
<b>5.9.17 Reaproveitamento das Edificações e Equipamentos</b>	<b>114</b>
<b>5.10 Pós-Fechamento</b>	<b>114</b>
<b>5.11 Uso Futuro</b>	<b>114</b>
<b>5.12 Custo de Fechamento da URA</b>	<b>115</b>
<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>118</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>116</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Um núcleo emitindo partículas alfa e beta e radiação gama.</b>	<b>8</b>
<b>Figura 2 - Séries Radioativas Naturais.</b>	<b>10</b>
<b>Figura 3 - Contaminação Radioativa e Irradiação.</b>	<b>11</b>
<b>Figura 4 - Localização e Acesso ao Empreendimento.</b>	<b>21</b>
<b>Figura 5 - Quando da Implantação do Empreendimento.</b>	<b>23</b>
<b>Figura 6 - Mapa Geológico Local com Locação das Anomalias.</b>	<b>29</b>
<b>Figura 7 - Aspectos da Geologia Estrutural na Mina Fazenda Cachoeira.</b>	<b>32</b>
<b>Figura 8 - Bacia Hidrográfica do Rio de Contas.</b>	<b>36</b>
<b>Figura 9 - Área de Reserva Legal Dentro do Polígono do Empreendimento.</b>	<b>39</b>
<b>Figura 10 - Vista Aérea das Instalações de Concentração de Urânio.</b>	<b>41</b>
<b>Figura 11 - Fluxograma do Processo de Concentrado de Urânio na URA.</b>	<b>42</b>
<b>Figura 12 - Vista Horizontal dos Três Corpos da Mina Fazenda Cachoeira.</b>	<b>43</b>
<b>Figura 13 - Vista da Cava em Operação na Mina Fazenda Cachoeira.</b>	<b>44</b>
<b>Figura 14 - Os Blocos Mineralizados na Mina Fazenda Cachoeira.</b>	<b>44</b>
<b>Figura 15 - A Cava da Mina com os seus Respectiveos Blocos Mineralizados.</b>	<b>44</b>
<b>Figura 16 - Área de disposição de estéril da mina e rejeito sólido da Lixiviação.</b>	<b>48</b>
<b>Figura 17 - Fluxograma do Processo, da Britagem ao Produto Final.</b>	<b>49</b>
<b>Figura 18 - Vista lateral do Pátio de lixiviação.</b>	<b>50</b>
<b>Figura 19 - Tronco irrigando a pilha de lixiviação com ácido sulfúrico.</b>	<b>50</b>
<b>Figura 20 - Etapa final do processo de produção do yellow cake.</b>	<b>53</b>
<b>Figura 21 - Vista geral da usina de processamento químico do minério.</b>	<b>54</b>
<b>Figura 22 - Construção das bacias de disposição de líquidos, terraplenagem.</b>	<b>56</b>
<b>Figura 23 - Ensaio de compactação.</b>	<b>57</b>
<b>Figura 24 - Colocação do revestimento de PEAD.</b>	<b>57</b>

<b>Figura 25 - Utilização de uma lagoa de recepção dos efluentes do processo.</b>	<b>58</b>
<b>Figura 26 - Método GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero.</b>	<b>68</b>
<b>Figura 27 - Atribuição dos índices de confinamento da água subterrânea.</b>	<b>70</b>
<b>Figura 28 - Esquema de avaliação do risco de poluição da água subterrânea.</b>	<b>72</b>
<b>Figura 29 – Esquema de avaliação do risco de poluição da água subterrânea.</b>	<b>76</b>
<b>Figura 30 - Treinamento oferecido à comunidade nas dependências do CEAM.</b>	<b>87</b>
<b>Figura 31 - Poço do Pinga.</b>	<b>88</b>
<b>Figura 32 - Pilha de disposição de estéril/rejeito.</b>	<b>97</b>
<b>Figura 33 - Coleta e preparo das sementes no horto Botânico da INB-URA.</b>	<b>107</b>
<b>Figura 34 - Estufa do horto botânico da INB-URA.</b>	<b>110</b>
<b>Figura 35 - Avaliação temporal das possibilidades de fechamento.</b>	<b>116</b>

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 - Demonstrativo das anomalias detectadas e suas cubagens.</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 2 - Sistemas aquíferos identificados para a área estudada.</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 3 - Parâmetros geométricos da cava.</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 4 - Parâmetros geométricos das estradas e acessos.</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 5 - Programa de produção anual projetada.</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 6 - Características físicas dos materiais da Mina Fazenda Cachoeira.</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 7 - Caracterização do minério.</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 8 - Características físico/químicas do minério.</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 9 - Características físicas do estéril da mina.</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 10 - Características químicas do estéril da mina.</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 11 - Características do produto.</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 12 - Composição química média do rejeito sólido da lixiviação.</b>	<b>55</b>
<b>Tabela 13 - Especificação dos elementos perante a neutralização do efluente.</b>	<b>56</b>
<b>Tabela 14 - Classes de vulnerabilidade do aquífero à poluição.</b>	<b>69</b>
<b>Tabela 15 - Classificação de fontes de contaminação no sistema POSH.</b>	<b>75</b>
<b>Tabela 16 - Similaridades e diferenças entre Plano de Fechamento e PRAD.</b>	<b>79</b>
<b>Tabela 17 - Estratégias para o descomissionamento.</b>	<b>94</b>
<b>Tabela 18 - Procedimentos para o descomissionamento das instalações.</b>	<b>100</b>
<b>Tabela 19 - Cronograma Conceitual de Execução das Atividades.</b>	<b>101</b>
<b>Tabela 20 - Espécimes pioneiras cultivadas no horto da URA.</b>	<b>109</b>
<b>Tabela 21 - Espécimes fixadoras de nitrogênio cultivadas no horto da URA.</b>	<b>109</b>
<b>Tabela 22 - Espécimes clímax cultivadas no horto da URA.</b>	<b>110</b>
<b>Tabela 23 - Resumo da estimativa de custo de fechamento da URA.</b>	<b>117</b>

## **LISTA DE E SIGLAS SÍMBOLOS**

<b>ABNT</b>	<b>Associação Brasileira de Normas Técnicas</b>
<b>Bq</b>	<b>Bequerel</b>
<b>CBPM</b>	<b>Companhia Baiana de Pesquisa Mineral</b>
<b>CNEN</b>	<b>Comissão Nacional de Energia Nuclear</b>
<b>CONAMA</b>	<b>Conselho Nacional do Meio Ambiente</b>
<b>CPRM</b>	<b>Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais</b>
<b>DNPM</b>	<b>Departamento Nacional da Produção Mineral</b>
<b>DUA</b>	<b>Diuranato de Amônio</b>
<b>EIA</b>	<b>Estudo de Impacto Ambiental</b>
<b>IAEA</b>	<b>International Atomic Energy Agency</b>
<b>IBAMA</b> <b>Renováveis</b>	<b>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos</b>
<b>IEA</b>	<b>Instituto de Energia Atômica</b>
<b>IEN</b>	<b>Instituto de Engenharia Nuclear</b>
<b>INB</b>	<b>Indústrias Nucleares do Brasil S.A.</b>
<b>IPEN</b>	<b>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares</b>
<b>IRD</b>	<b>Instituto de Radioproteção e Dosimetria</b>
<b>kg</b>	<b>Quilograma</b>
<b>LR</b>	<b>Lagoa Real</b>
<b>m</b>	<b>Metro</b>
<b>MCT</b>	<b>Ministério de Ciências e Tecnologia</b>
<b>mg</b>	<b>Miligrama</b>
<b>ml</b>	<b>Mililitro</b>

<b>mm</b>	<b>Milímetro</b>
<b>mSv</b>	<b>Milisievert</b>
<b>MW</b>	<b>Megawatt elétrico</b>
<b>NUCLEBRAS</b>	<b>Empresas Nucleares Brasileiras S. A.</b>
<b>PEAD</b>	<b>Polietileno de Alta Densidade</b>
<b>ppm</b>	<b>Partes por milhão</b>
<b>PRAD</b>	<b>Plano de Recuperação de Áreas Degradadas</b>
<b>RFAS</b>	<b>Relatório Final de Análise de Segurança</b>
<b>RIMA</b>	<b>Relatório de Impacto Ambiental</b>
<b>Sv</b>	<b>Sievert</b>
<b>URA</b>	<b>Unidade de Concentrado de Urânio</b>

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O novo milênio trouxe novas oportunidades para a mineração. Juntamente com estas oportunidades, as empresas de mineração viram-se face a face com um novo desafio ambiental, o fechamento planejado de áreas mineradas. O novo paradigma em que se inserem as empresas de mineração apresenta significativos desafios para que a indústria alcance um fechamento de mina de forma satisfatória sobre o ponto de vista ambiental, sócio-econômico e cultural.

Reconhecendo a importância da proteção ambiental e do fechamento econômico de minas, agências financiadoras, em especial, estão requisitando das empresas a apresentação de evidências de que as exigências ambientais sejam satisfatoriamente cumpridas. As empresas estão sendo inquiridas a mostrar de maneira transparente suas responsabilidades ambientais e abri-las para auditorias externas independentes.

Do início dos anos 80 à meados dos anos 90, a produção mundial de  $U_3O_8$  declinou vertiginosamente. Esta retração na indústria de urânio resultou no fechamento permanente de muitas instalações em produção pelo mundo afora. A opinião pública mundial em franca oposição, os baixos preços do urânio no mercado da época, o excesso de oferta, e as baixas expectativas de futuro na demanda de urânio indicavam que provavelmente as usinas existentes não seriam reabertas. Devido a tal situação, várias minas de urânio e tório, eventualmente tiveram que ser descomissionadas. Surgiram aí os primeiros passos na busca de formas seguras de se processar esta fase.

Minerações de minérios radioativos resultam em equipamentos e instalações que devem ser descontaminadas, assim como grandes quantidades de rejeito e outros resíduos que também devem ser gerenciados de maneira segura até que não ofereçam riscos à saúde humana e ao meio ambiente, ou que isto se dê pelo menos em níveis aceitáveis.

Frente ao elevado número de instalações nucleares em encerramento das atividades, a Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA viu-se numa situação um tanto quanto preocupante com o fechamento das minas e instalações nucleares, bem como no gerenciamento de todo o passivo associado. É neste cenário que se torna necessário e

responsável perante a opinião pública internacional, o descomissionamento de instalações nucleares ou fechamento das minas de urânio e demais minérios radioativos, suas instalações e depósitos de rejeitos.

Atualmente 31 países das 191 nações que integram a Organização das Nações Unidas (ONU) possuem usinas nucleares, totalizando 440 unidades em operação, das quais 214 usam reatores a água leve pressurizada, similares aos utilizados no Brasil nas usinas de Angra 1 e 2 e futuramente em Angra 3. Outras 25 usinas se encontram em construção no mundo, das quais 9 na Índia, 4 na Rússia, 3 no Japão e 2 na China. Setenta e oito por cento da energia produzida na França é oriunda da energia nuclear. Na China, a geração nuclear corresponde a 12,4% e no Brasil a 3% do total. Um número maior de minas de urânio e respectivas instalações foram ampliados para produzir o urânio requerido para o combustível destas usinas. Estas minas e um grande volume de resíduos produzidos durante estas operações terão de ser futuramente fechadas (SOUZA, 1994).

O cenário atual para o urânio no mercado internacional é excelente, em vista do crescente preço praticado no mercado mundial. O urânio encontra-se hoje com um valor acima de US\$30/libra, com indicativo de alta (UXC THE UX CONSULTING COMPANY, 2005). Muitas usinas estão sendo reabertas e outras novas estão em fase de construção, conseqüentemente mais instalações para se descomissionar no futuro.

A necessidade de se desenvolver métodos e técnicas seguras para fechamento de minas de urânio, passou a ter grande importância. Com a desintegração da União das Repúblicas Socialistas Soviéticas - URSS, muitos países pertencentes ao bloco e produtores de minério de urânio para abastecer o projeto nuclear soviético se viram numa situação, na qual muitas de suas minas foram fechadas sem quaisquer critérios ou simplesmente abandonadas, (IAEA, 1999).

Atualmente, novas minas ou aquelas que já se encontravam em operação passaram a ser regidas por um número significativo de normas e processos de licenciamento mais rígidos no que tange aos assuntos relacionados à saúde humana, segurança e proteção ao meio ambiente. Inspeções e operações de monitoramento através das autoridades reguladoras para assegurar o compromisso com as medidas condicionantes das licenças são conduzidas rotineiramente. A adoção de medidas efetivas pela indústria para limitar efeitos adversos à

saúde e ao meio ambiente demonstrou que as minerações de urânio e o gerenciamento de rejeitos podem ser conduzidos seguramente e com impactos aceitáveis durante a vida operacional dos respectivos projetos (IAEA, 2000).

Para instalações que foram construídas há mais tempo e ainda estão em operação, as medidas condicionantes das licenças foram modificadas para assegurar que a saúde humana seja protegida e que os efeitos ambientais em longo prazo pós-fechamento sejam aceitáveis.

O principal objetivo do descomissionamento de um empreendimento como o da Usina de Concentrado de Urânio (URA) é a descontaminação ou desmantelamento do sítio, com suas edificações, estruturas e equipamentos ou itens que possam ser reusados ou reciclados, se for apropriado, ou enviado para um depósito em uma instalação aprovada para tal finalidade. Este trabalho deve ser executado até que os impactos à saúde humana e ao meio ambiente sejam reduzidos a níveis aceitáveis.

A maioria dos países membros da AIEA (IAEA) têm uma política e leis próprias, autoridades competentes, regulamentos e pesquisa para implementar a política e regular instalações nucleares e o uso de radionuclídeos na indústria, medicina e pesquisa. O desenvolvimento de uma estratégia para o descomissionamento/fechamento de instalações de minas deve ser empreendido dentro da estrutura desta política nuclear.

Em meados da década de 90, o Brasil se viu de frente com o problema mencionado acima. Com a exaustão da Mina de Urânio de Caldas em Minas Gerais, a INB partiu para a abertura de um novo projeto no interior baiano. Nascia aí a Usina de Concentrado de Urânio, URA. O Projeto, ancorado na sua anomalia mais rica, começou a operar no final de 1999. Mas a Mina de Caldas ficou parada, aguardando na expectativa do processamento de material armazenado em suas instalações.

No ano de 2004 a usina de beneficiamento de Caldas voltou a funcionar, mas a mina, pilhas de estéril e barragens de rejeitos continuam à espera de um plano de fechamento. Esta não será uma fase fácil, pois qualquer plano que venha a ser aprovado terá custos elevados, isto sem contar o fato de que há a presença de drenagem ácida na mina.

Por outro lado, na mina em operação, Mina Fazenda Cachoeira, em Caetité, não há condições favoráveis ao aparecimento de drenagem ácida. Nas demais anomalias e jazidas do projeto segue-se o mesmo padrão. Fato este que torna o processo de fechamento nesta unidade menos complexo.

A Indústrias Nucleares do Brasil, INB, empresa de economia mista, vinculada ao Ministério da Ciência e Tecnologia, possui quatro sítios mineiros em território brasileiro. O mais antigo em Caldas, MG, onde se lavrou por vários anos o minério de urânio. Outro sítio se encontra em Buena, RJ, onde há a lavra de areia monazítica. Um terceiro sítio localizado em Itataia, CE, ainda se encontra em fase de estudos. O quarto empreendimento da INB está funcionando e produzindo urânio no semi-árido baiano. Trata-se da Unidade de Concentrado de Urânio-URA, em Caetité, sudoeste da Bahia.

É na URA que está focado o presente estudo cujo objetivo foi o de elaborar um plano conceitual de fechamento de mina para, com base nos trabalhos técnicos realizados pela empresa, estudos realizados por consultores, revisão bibliográfica sobre as metodologias para fechamento de minas, em especial de urânio, e observações de campo. Este estudo inclui, ainda, uma estimativa de custo de fechamento para a referida unidade. Estimativa de custo de fechamento, especialmente, para um plano conceitual, é referenciado como um dos itens mais difíceis de se alcançar dado a magnitude das incertezas, falta de experiência dos profissionais/empresas envolvidos, metodologia empregada etc. Para auxiliar na estimativa dos custos de fechamento da Unidade de Concentrado de Urânio de Caetité, adaptou-se um aplicativo denominado “Sescfen” desenvolvido no programa de mestrado em Engenharia Mineral da UFOP.

A presente dissertação compreende a caracterização dos Objetivos e Metodologia adotada (Capítulo II); o levantamento da base de dados ambientais (Capítulo III); uma descrição do empreendimento, suas diversas operações e impactos delas decorrentes (Capítulo IV); o plano conceitual de fechamento da URA, o qual inclui objetivos, estratégias e critérios de fechamento a serem adotados, alternativas de fechamento, planos de descomissionamento e reabilitação dos diversos setores do empreendimento, programas de monitoramento e manutenção, alternativas de uso futuro e estimativa de custos, com ênfase na discussão da comparação PRAD – Plano de fechamento (Capítulo V). O Capítulo VI apresenta as conclusões do estudo.

## **CAPÍTULO 2 – CONCEITOS BÁSICOS, OBJETIVOS E METODOLOGIA**

Os termos fechamento, descomissionamento e reabilitação são originários de exigências formais para instalações nucleares, sendo, posteriormente, estendidas para a mineração de urânio. Subsequentemente, esta denominação se disseminou para as minas de outros bens minerais (WAGGITT, 1998).

### **2.1 Conceitos Básicos**

Alguns conceitos básicos importantes tornam-se necessários para um melhor entendimento de termos que aparecem ao longo deste estudo. (LIMA e CURI, 2002). assim os definiram.

**Áreas degradadas** - Áreas com diversos graus de alteração dos fatores bióticos e abióticos, causadas pelas atividades de mineração.

**Adequação paisagística** - Harmonização da paisagem de áreas mineradas, com o seu entorno, com o intuito de minimizar o impacto visual.

**Adequação topográfica** - Conformação topográfica com vistas ao uso futuro da área.

**Aprovação** – aprovação formal do fechamento de uma mina, por autoridade competente, indicando que os critérios de fechamento foram alcançados.

**Cenário comportamental** - É a antevisão do processo interativo, da área degradada, depois de implementadas as medidas de reabilitação.

**Compensação** - modalidade de ressarcimento complementar a reabilitação.

**Critério para de mina** – nível de desempenho, acordado entre os envolvidos no processo de fechamento da mina, que demonstra o sucesso do fechamento.

**Descomissionamento** – processo de remoção de toda a infra-estrutura e serviços não necessários quando da cessação da produção do empreendimento.

**Estabilização de rejeitos** – (ou simplesmente estabilização) – conjunto de medidas necessárias para minimizar, em longo prazo, a erosão por ventos e águas e a lixiviação de rejeitos para águas de superfície e subterrâneas, bem como para prevenir a superação de qualquer limite aplicável de exposição à radiação.

**Fechamento de mina** – processo que engloba toda a vida da mina desde a fase de viabilidade econômica até a fase de liberação da área. Inclui a reabilitação e descomissionamento.

**Fechamento planejado** – Aplicação do Plano Conceitual ao final das atividades.

**Fechamento súbito** – Envolve a necessidade de implementação de um acelerado plano de descomissionamento.

**Fechamento temporário** – “Custódia e Manutenção”. Envolve imediata preparação de um plano de descomissionamento levando em conta a potencial capacidade para futuras operações.

**Garantia** – instrumento financeiro cuja finalidade é cobrir o custo estimado do fechamento em caso de falta do operador, ainda não implementado no Brasil sob a forma de lei.

**Indicador ambiental** – parâmetro (ou valor derivado de um parâmetro) que fornece informação sobre um determinado fenômeno ambiental.

**Manejo auto-sustentável** - Conjunto de práticas e controles compatíveis com a manutenção dos parâmetros ambientais dentro de limites previamente estabelecidos, visando dispensar a ação antrópica futura.

**Manutenção e monitoração** – Programas de suporte desenvolvidos para acompanhar e garantir o sucesso do fechamento de mina.

**Medidas mitigadoras** - Ações e procedimentos visando minimizar os impactos nos meios físico, biótico e antrópico.

**Mina abandonada** – antiga mina onde o fechamento foi incompleto, mas que ainda possui um responsável.

**Mina órfã** – mina abandonada que não possui um responsável ou que não se pode localizá-lo.

**Minimização** - Redução ao nível mínimo possível dos impactos ambientais, considerado o contexto tecnológico atual.

**Provisão** – depósito ou fundo, baseado nas estimativas de custos das atividades de fechamento.

**Reabilitação** - Conjunto de procedimentos através do qual se propicia o retorno da função produtiva da área ou dos processos naturais, visando adequação ao uso futuro.

**Recuperação** - Conjunto de procedimentos através do qual é feita a recomposição da área degradada para o restabelecimento da função original do ecossistema.

**Restauração** - Conjunto de procedimentos através do qual é feita a reposição das exatas condições ecológicas da área degradada pela mineração, de acordo com o planejamento estabelecido.

**Sucessão natural** - Substituição progressiva de uma comunidade por outra em determinado ambiente, compreendendo todas as etapas desde a colonização ou estabelecimento das espécies até o clímax.

**Uso futuro** - Utilização prevista para determinada área, considerando suas aptidões, intenção de uso e fragilidade do meio físico e biótico.

## **2.2 A Radioatividade**

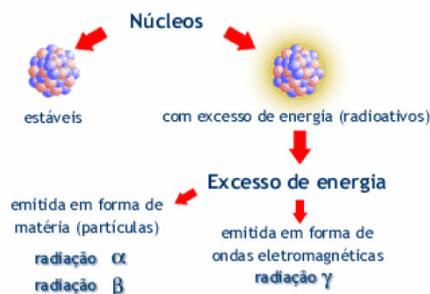
O núcleo do átomo é formado por partículas de carga positiva, chamadas prótons, e de partículas de mesmo tamanho, mas sem carga, denominadas nêutrons. O número de prótons (ou número atômico) identifica um elemento químico, evidenciando seu comportamento em relação aos outros elementos. O elemento natural mais simples, o hidrogênio, possui apenas um próton; o mais complexo, o urânio, tem 92 prótons, sendo o elemento químico natural mais pesado.

Um mesmo elemento químico pode ter massas diferentes. Átomos de um mesmo elemento químico com massas diferentes são denominados isótopos. O urânio, que possui 92 prótons no núcleo, existe na natureza na forma de 3 isótopos:

- ✓ U-234, com 142 nêutrons (em quantidade desprezível);
- ✓ U-235, com 143 nêutrons, usado em reatores nucleares, depois de enriquecido, com presença em torno de 0,7%;
- ✓ U-238, com 146 nêutrons no núcleo, com presença em torno de 99,3%.

A descoberta da radiação foi casual. O esquecimento de um fragmento de rocha contendo urânio sobre um filme fotográfico virgem, possibilitou uma descoberta. O filme fora marcado por alguma coisa que saía deste fragmento da rocha, na época denominada raios ou radiações. Outros elementos pesados, com massas próximas à do urânio, como o rádio e o polônio, também possuíam a mesma propriedade. O fenômeno foi denominado radioatividade. Os elementos que apresentavam essa propriedade foram chamados de elementos radioativos (CNEN, 2001).

Um núcleo muito energético, por ter excesso de partículas ou de carga, tende a estabilizar-se, emitindo algumas partículas, conforme demonstrado na figura 1.



**Figura 1 - Um núcleo emitindo partículas alfa e beta e radiação gama. Fonte: (CNEN, 2001).**

Geralmente, após a emissão de uma partícula alfa ( $\alpha$ ) ou beta ( $\beta$ ), o núcleo resultante desse processo, ainda com excesso de energia, procura estabilizar-se, emitindo esse excesso em forma de onda eletromagnética, da mesma natureza da luz, denominada radiação gama.

As radiações nucleares podem ser de dois tipos:

- Partículas, possuindo massa, carga elétrica e velocidade, esta dependente do valor de sua energia;
- Ondas eletromagnéticas, que não possuem massa e se propagam com a velocidade de 300.000 km/s, para qualquer valor de sua energia. A identificação desses tipos de radiação foi realizada utilizando-se certa quantidade de material radioativo, com o feixe de radiações passando por entre duas placas polarizadas com um forte campo elétrico (CNEN, 2001).

Os núcleos instáveis de uma mesma espécie (mesmo elemento químico) e de massas diferentes, denominados radioisótopos, não realizam todas as mudanças ao mesmo tempo. As emissões de radiação são efetuadas sem que se possa prever o momento exato em que um determinado núcleo irá emitir radiação. Entretanto, para a grande quantidade de átomos existente em uma amostra é razoável esperar-se certo número de emissões ou transformações em cada segundo. Essa taxa de transformações é denominada atividade da amostra (CNEN, 2001). A atividade de uma amostra com átomos radioativos (ou fonte radioativa) é medida em:

Bq (Becquerel) = uma desintegração por segundo

$$\text{Ci (Curie)} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

Um núcleo com excesso de energia tende a estabilizar-se, emitindo partículas alfa ou beta. Em cada emissão de uma dessas partículas, há uma variação do número de prótons no núcleo, isto é, o elemento se transforma ou se transmuta em outro, de comportamento químico diferente. Essa transmutação também é conhecida como desintegração radioativa. O termo mais apropriado para este fenômeno é decaimento radioativo, que implica na diminuição gradual de massa e atividade (CNEN, 2001).

Cada elemento radioativo, natural ou obtido artificialmente, decai a uma velocidade que lhe é característica. Para se acompanhar o período de duração de um elemento radioativo, tornou-se necessário estabelecer uma forma de comparação. Quanto tempo leva para um elemento radioativo ter sua atividade reduzida à metade da atividade inicial? Esse tempo foi denominado meia-vida do elemento. Meia-vida, portanto, é o tempo necessário para a atividade de um elemento radioativo ser reduzida à metade da atividade inicial (CNEN, 2001).

Para cada meia-vida que passa, a atividade vai sendo reduzida à metade da anterior, até atingir um valor insignificante, que não permite mais distinguir suas radiações das do meio ambiente.

Na natureza existem elementos radioativos que realizam transmutações ou desintegrações sucessivas, até que o núcleo atinja uma configuração estável. Isso significa que, após um decaimento radioativo, o núcleo não possui, ainda, uma organização interna estável e, assim, ele executa outra transmutação para melhorá-la, prosseguindo até atingir a configuração de equilíbrio.

No estudo da radioatividade, constatou-se a existência de 3 séries ou famílias radioativas naturais, conhecidas como Série do Urânio, Série do Actínio e Série do Tório. A Série do Actínio inicia-se com o urânio-235 e tem esse nome, porque se pensava que ela começava pelo actínio-227. As três séries naturais terminam em isótopos estáveis do chumbo, respectivamente, chumbo-206, chumbo-207 e chumbo-208 (CNEN, 2001).

Os principais elementos das séries acima mencionadas são apresentados na figura 2.

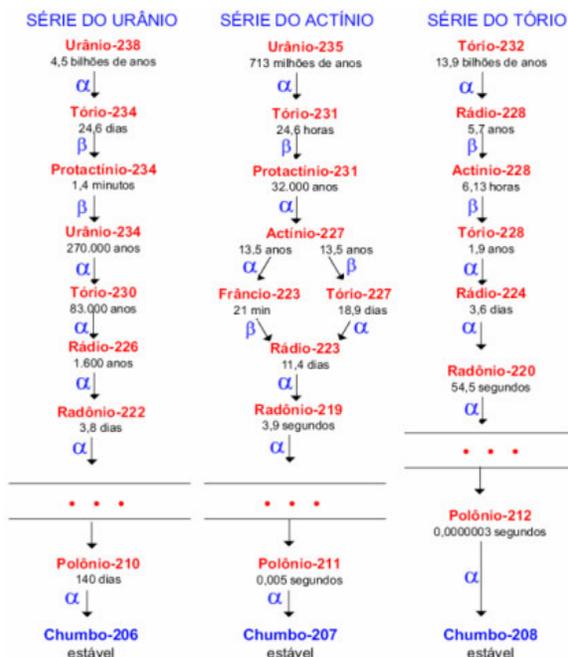


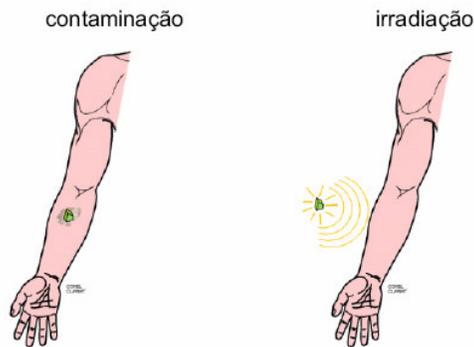
Figura 2 – Séries Radioativas Naturais. Fonte: CNEN (2001).

Alguns elementos radioativos têm meia-vida muito longa, como por exemplo, os elementos iniciais de cada série radioativa natural (urânio-235, urânio-238 e tório-232). Dessa forma, é possível explicar, porque há uma porcentagem tão baixa de urânio-235 em relação à de urânio-238. Como a meia-vida do urânio-235 é de 713 milhões de anos e a do urânio-238 é de 4,5 bilhões de anos, o urânio-235 decai muito mais rapidamente e, portanto, é muito mais consumido que o urânio-238.

## Contaminação

Há diferença entre contaminação radioativa e irradiação. Uma contaminação, radioativa ou não, caracteriza-se pela presença indesejável de um material em determinado local, onde não deveria estar.

A figura 3 apresenta a diferenciação entre contaminação radioativa e irradiação.



**Figura 3 – Contaminação radioativa e irradiação. Fonte: CNEN (2001).**

A irradiação é a exposição de um objeto ou um corpo à radiação, o que pode ocorrer a alguma distância, sem necessidade de um contato íntimo. Irradiar, portanto, não significa contaminar. Contaminar com material radioativo, no entanto, implica em irradiar o local, onde esse material estiver. Por outro lado, a descontaminação consiste em retirar o contaminante (material indesejável) da região onde se localizou. A partir do momento da remoção do contaminante, não há mais irradiação. Irradiação não contamina, mas contaminação irradia (CNEN, 2001).

De acordo com a normatização apresentada pela CNEM, denomina-se radiação a qualquer dos processos físicos de emissão e propagação de energia, seja por intermédio de fenômenos ondulatórios, seja por meio de partículas dotadas de energia cinética que se propaga de um ponto a outro no espaço ou num meio material. Radiação ionizante, por outro lado, trata-se da radiação cuja energia é superior à energia de ligação dos elétrons de um átomo com o seu núcleo e/ou radiações cuja energia é suficiente para arrancar elétrons de seus orbitais.

### **2.3 Objetivos Gerais do Fechamento de Mina**

Segundo (LIMA et al, 2001), alguns objetivos gerais para o fechamento de mina podem assim ser estabelecidos:

- ✓ Proteção ao meio ambiente e garantia à saúde e segurança pública, usando práticas responsáveis de descomissionamento e reabilitação;
- ✓ Redução ou eliminação dos impactos ambientais adversos após o fim das atividades do empreendimento;

- ✓ Redução da necessidade de monitoramento e manutenção em longo prazo através de efetiva estabilidade física, química e biológica das áreas degradadas;
- ✓ Estabelecimento de condições que sejam consistentes com os objetivos do uso futuro pré-determinado da área;
- ✓ Garantia da sustentabilidade das pessoas que trabalham e ou habitam no entorno do empreendimento, após o fim das operações.

#### ***2.4 Legislação Aplicável***

No Brasil, a legislação específica sobre o fechamento e reabilitação de minas ainda encontra-se em fase de discussão nos vários órgãos que possuem interface com o assunto. Com o intuito de fomentar a discussão no Congresso Nacional, Câmaras Estaduais e Municipais sobre o assunto, várias entidades ligadas ao meio ambiente e mineração, juntamente com a academia têm organizado eventos na busca por diretrizes mais concretas para as inúmeras minas espalhadas pelo país, dos mais variados tipos de minério.

A importância do fechamento planejado de minas está no fato de termos um meio ambiente respeitado, assim como desonerar o cidadão brasileiro de arcar com despesas de fechamento e reabilitação de áreas mineradas, das quais ele não obteve nenhum lucro, e na maioria das vezes nem sabia que existia. Isto só ocorre quando o operador, empresa de mineração, não recuperar o meio ambiente impactado por suas atividades extrativas, deixando ao setor público a conta pelo passivo.

A demanda por uma legislação específica requer:

- ✓ Um processo de fechamento de mina claro e transparente;
- ✓ Respeito e inclusão dos interesses de todos os envolvidos;
- ✓ Acessibilidade de todos os envolvidos;
- ✓ Requerimentos não-prescritivos, mas específicos em objetivos a serem atingidos;
- ✓ Que tenha força de lei.

O artigo 225 da Constituição Federal, no seu parágrafo segundo, é claro quando estabelece que: “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”.

A Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, modificada pela Lei 7.804, de 20 de julho de 1989, já previa a recuperação de sítios degradados no artigo segundo. O Poder Executivo Federal, através do Decreto 97.632, de 10 de abril de 1989, regulamentou a Lei 6.938 no que se refere à recuperação de áreas degradadas pela atividade mineira. Segundo o referido decreto, os novos empreendimentos no setor mineral deveriam apresentar, ao Órgão ambiental competente, Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental - EIA/RIMA, juntamente com o Plano de Recuperação da Área Degradada – PRAD pela atividade de mineração.

A Resolução 011/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, já havia mencionado de maneira implícita a recuperação das áreas degradadas por atividades de mineração através de medidas mitigadoras, conforme o artigo sexto, itens III e IV. Por outro lado, as Portarias 449/87 e 39/88 do ex-Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF estabeleciam que, para exploração de formações florestais, deveriam ser repostas a mesma área desmatada.

A partir daí, os estados brasileiros passaram a incorporar essas normas em suas legislações, como aconteceu na Bahia através do Conselho Estadual de Proteção Ambiental - CEPRAM em sua resolução nº 227 de 13/12/89 publicada no D.O.E. em 13/12/89.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, através da norma CNEN - NE - 1.13 - Licenciamento de Minas e Usinas de Beneficiamento de Minério de Urânio e/ou Tório, trata deste assunto em seu item 8.11 - Abandono da Instalação. Seguem-se ainda as recomendações existentes nas seguintes normas: CNEN-NE-3.01 - Diretrizes Básicas de Radioproteção; CNEN-NE-1.04 - Licenciamento de Instalações Nucleares; CNEN-NE-5.01 - Transporte de Materiais Radioativos e CNEN-NE-6.05 - Gerência de Rejeitos Radioativos, segundo (IAEA, 2000).

## ***2.5 Metodologia Adotada***

Utilizou-se para a realização do estudo a seguinte metodologia:

- ✓ **Revisão Bibliográfica** das questões envolvendo fechamento de mina;
- ✓ **Levantamento da Base de dados Ambientais;**

- ✓ **Caracterização do Empreendimento;**
- ✓ **Consulta à Legislação;**
- ✓ **Estimativa de Custos.**

### **2.5.1 Estima dos Custos de Fechamento**

Para estimativa do custo total do fechamento da URA adotou-se como ferramenta auxiliar, o software SESCOFEM, desenvolvido pelo professor Roberto Bráulio Guimarães em sua dissertação de mestrado, além de observações de campo e outras fontes como relatórios internos da empresa e órgãos como o IBGE. O levantamento de custos e atividades necessárias ao fechamento está baseado em quatro principais fontes de dados possíveis para uma boa estimativa:

O plano de operações e plano de recuperação, ambos contidos principalmente no Relatório Final de Análise de Segurança - RFAS, providos pela empresa;

- ✓ Manuais de produtividade e desempenho dos equipamentos (VOLVO EQUIPMENTS DO BRASIL,2005);
- ✓ Guia de Custos da Construção Civil, como exemplo o do IBGE (IBGE, 2005);
- ✓ Planos de Fechamento apresentados por outras empresas aos órgãos reguladores, (FRANCA, 1998).

Formatado: Português (Brasil)

### **2.5.2 Estimativa dos Custos Diretos de Fechamento**

- ✓ Custos diretos para o fechamento referem-se àqueles para as atividades que são realmente desempenhadas no trabalho de fechamento propriamente dito. Custos indiretos, por outro lado, referem-se aos custos necessários para dar suporte ao trabalho de fechamento. São exemplos de custos diretos os trabalhos que incorrem em remoção de estruturas, transporte de rejeito para enchimento da cava, gradeamento final do solo, manipulação da camada superficial do solo, revegetação, encapsulamento de materiais contaminados, etc. Exemplos de custos indiretos são os projetos de engenharia, mobilização, contingências, gerenciamento do fechamento, etc. Uma breve descrição dos custos de fechamento é apresentada a seguir, (VOLVO EQUIPMENTS DO BRASIL, 2005).

### **2.5.3 Remoção das Estruturas**

A URA dispõe de edificações, tanques, britadores, silos de armazenagem, sistemas de correias, fundações, etc. A estimativa de custos de demolição envolveu a coleta de dados e descrição das características de todas as estruturas, incluindo tamanho, volume, tipo de material utilizado na construção, tipo de fundações, acessos, e distância a área de disposição deste material demolido do sítio. Os custos para manusear entulhos são incluídos nos custos de transporte. Pode ser possível a disposição de alguns materiais inertes no sítio. Quando os custos de demolição são estimados, incluem-se aí os custos de todas as atividades relacionadas. Se qualquer tipo de material do sítio é reciclável ou reutilizável não entra como custo, somente aqueles referentes ao seu manuseio.

### **2.5.4 Remoção de Superfícies de Rodagem (estradas)**

- ✓ Uma variedade de equipamentos pode realizar este trabalho. Por exemplo, tratores de esteira, carregadeiras, motoniveladoras (patrol), caminhões, etc. Estes custos de remoção e revolvimento de materiais devem ser contabilizados (VOLVO EQUIPMENTS DO BRASIL, 2005);

### **2.5.5 Outras Estruturas**

São os custos estimados para remoção de pilhas de disposição de estéril/rejeito, correias transportadoras, bueiros, pontes, linhas de energia, cercas, tanques, tubulações, ou outros materiais ou instalações com base em algum caso específico. Em algumas situações específicas, que não são aquelas diretamente relacionadas com as atividades impactantes, pode-se deixar algumas edificações, tubulações, ou outras instalações desde que haja a permissão dos órgãos reguladores. Nenhum manual contém referências a todos os custos acima, entretanto, os guias de referência cobrem uma boa quantidade destas atividades.

### **2.5.6 Terraplenagem**

A reconformação topográfica de áreas mineradas e instalações, geralmente contabiliza um maior percentual dos custos de recuperação de áreas impactadas. Há duas metas principais a serem realizadas:

- ✓ Restabelecer a topografia mais próxima possível da que existia anteriormente, adequando-a aos padrões naturais remanescentes do sítio original. Isto envolve a movimentação de grandes quantidades de material para enchimento da cava da mina, de canais abertos para a circulação de águas pluviais e fluviais, de furos de sondagem ou para monitoramento hidrogeológico, do canal de desvio do Córrego Cachoeira e demais aberturas realizadas com fins operacionais (VOLVO EQUIPMENTS DO BRASIL, 2005);
  
- ✓ Restabelecer uma superfície estável para a recolocação do *topsoil* (camada superficial do solo) e revegetação. Isto envolve o nivelamento final para restabelecer o nível ao longo das drenagens, estradas, instalações remanescentes e recolocação final do *topsoil*. Outras atividades incluídas sob o contexto das operações de terraplenagem são: a remoção de estruturas de sedimentação, depósito de estéril/rejeito, escombros, estradas e a recondução do Córrego Cachoeira a sua calha natural.

Os passos para estimar os custos de terraplenagem são:

- ✓ Desenvolvimento de um plano de gerenciamento de materiais;
- ✓ A estimativa da produtividade dos equipamentos;
- ✓ Cálculo dos custos.

### **2.5.7 Plano de Gerenciamento de Materiais**

Busca-se através do plano de gerenciamento de materiais o *layout* final do sítio até o ponto da máxima recuperação requerida. Para este plano, produz-se estimativas para o volume de materiais a serem requeridos para o controle, distâncias de transporte, nivelamento das estradas, condições de tráfego e tipos de equipamentos necessários.

### **2.5.8 Estimativa do Volume de Materiais**

- ✓ Há vários métodos disponíveis para a determinação do volume de material a ser gerenciado. Estes métodos requerem tipicamente a comparação entre a topografia pré-recuperação com a topografia pós-recuperação. A determinação de volumes é feita através de formas geométricas ou através de secções verticais ao longo das

áreas onde ocorrem as operações de nivelamento e enchimento (VOLVO EQUIPMENTS DO BRASIL, 2005);

Quando gerenciados durante os processos de mineração, as características dos materiais podem mudar. Deve se tomar certo cuidado na estimativa de volumes. Por exemplo, o volume de material compactado, quando desmontado sofre um processo de empolamento, aumentando o seu volume.

### **2.5.9 Estimativa das Distâncias de Transporte**

A distância de transporte é um dos fatores primários que afetam a eficiência e o custo da recuperação da superfície. Distância de transporte inclui a utilização de caminhão, carregadeira, ou trator de esteira. No caso do trator de esteira, este é referenciado pela distância do material a ser empurrado. A utilização do planejamento de mina para determinar a distância de transporte para cada área onde haverá as operações de nivelamento e enchimento, ocorre para agilizar e qualificar a recuperação.

### **2.5.10 Estimativa do Gradiente**

- ✓ A rampa máxima para rodagem, condições da pista de rodagem (incluindo raios de curvatura), e condições da área de trabalho são também importantes fatores para a determinação da produtividade dos equipamentos. Geralmente a rampa usual para estradas está 6% para subidas e 8% para descidas (VOLVO EQUIPMENTS DO BRASIL, 2005);

### **2.5.11 Seleção do Equipamento**

A maior parte dos custos de recuperação é geralmente a combinação dos custos de equipamentos na terraplenagem. A seleção do equipamento tem uma influência crítica na estimativa dos custos de recuperação. Diferentes tipos de equipamentos pesados podem ser

- ✓ utilizados para os trabalhos de recuperação, dependendo da natureza da operação. Os manuais padrões fornecem a informação na seleção apropriada do equipamento e dão as linhas gerais de estimativas de custos (VOLVO EQUIPMENTS DO BRASIL, 2005);

### **2.5.12 Outras Atividades de Recuperação**

Em adição aos custos de recuperação do sítio, as áreas contíguas devem passar por processo de arranjo das superfícies impactadas, para que se efetive uma completa recuperação. Isto inclui estradas de acesso e demais obras de infra-estrutura, se estas não puderem ser utilizadas pelas comunidades do entorno do empreendimento.

### **2.5.13 Manuseio de Materiais Perigosos**

Todo rejeito contaminado e materiais tóxicos devem ser devidamente dispostos ou neutralizados se há a possibilidade tecnológica para isto. A geração de substâncias é parte do processo de produção ou usadas como insumo em determinada parte deste mesmo processo. Determinar a quantidade, tipo de material, e métodos especiais para o manuseio de materiais perigosos advindos da operação do complexo da URA tem um custo significativo no contexto de estimativas de custos (IAEA, 1999).

### **2.5.14 Controle Hidrogeológico da Área do Empreendimento**

Já se faz regularmente o controle hidrogeológico no âmbito do empreendimento, mas na medida em que se avança rumo ao fechamento, torna-se necessário a intensificação e qualificação deste controle. Estas operações são desempenhadas por profissionais usando técnicas e tecnologias que apresentam custos relativamente altos, e isto também deve ser computado na estimativa dos custos.

### **2.5.15 Restabelecimento da Vegetação**

O restabelecimento da vegetação é um trabalho importante e próximo do final das tarefas de recuperação em áreas impactadas. Oferecem um elo entre o meio biótico e a terraplenagem, com a colocação da camada superficial de solo, estabilização hidrogeológica e estabilização do sítio a longo prazo. É uma fase que já vem sendo realizada concomitantemente com as operações na URA. A equipe encarregada destes trabalhos já conta com grande experiência e técnica acumulada ao longo destes anos, e principalmente com grandes resultados obtidos, o que torna o custo da revegetação mais ameno na totalização geral.

### **2.5.16 Estimativa dos Custos Indiretos de Recuperação**

Os custos indiretos são aqueles que decorrem dos custos de recuperação direta e incluem a mobilização e desmobilização, contingências, engenharia e replanejamento, lucro do empreiteiro e taxa de administração do projeto.

### **2.5.17 Mobilização e Desmobilização**

Mobilização é um valor atribuído ao custo de movimentação de equipamento e materiais para dentro e fora do local de trabalho. Os custos irão variar em função do número e tipo de equipamento e a distância de deslocamento da área de trabalho para o local a se deslocar e vice-versa. Este valor irá variar entre 1 e 5% dos custos diretos totais (dependendo da distância de deslocamento). É bom lembrar que se deve computar tanto o custo de mobilização, quanto o de desmobilização.

### **2.5.18 Engenharia e Replanejamento**

O plano de recuperação, assim como submetido ao operador e aprovado pela Diretoria da empresa, é baseado na suposição de que as operações mineiras irão continuar por longo tempo. Então, um novo projeto de recuperação, ou mudanças naquele existente se tornam necessárias. Como na empresa não há um setor exclusivo voltado para as atividades de fechamento de mina, há a necessidade de se contratar empresas de consultoria.

### **2.5.19 Lucro do Empreiteiro**

Geralmente há a necessidade da contratação de empresas terceirizadas para a execução de muitos dos trabalhos, principalmente aqueles ligados a terraplenagem, pois a empresa não possui frota própria. Estes trabalhos envolvem custos relativamente altos e traduzem-se no que seria o lucro do empreiteiro.

### **2.5.20 Taxa de Administração do Projeto**

O gerenciamento dos trabalhos de recuperação inclui a inspeção do projeto, supervisão, e demais atividades correlatas. Aí estão incluídos os custos com consultorias especializadas no tipo de trabalho voltado para a recuperação e o fechamento como um todo.

### **2.5.21 Contingências**

Os valores atribuídos para custos de contingências são aqueles provenientes de necessidades fortuitas, em decorrência de variáveis que não se encontram no campo de controle do planejador, e nem do executor. O percentual atribuído a estes custos é aleatório, mas usualmente a experiência aponta para algo em torno de 4% dos custos diretos totais.

## CAPÍTULO 3 – BASE DE DADOS AMBIENTAIS

O empreendimento minero-industrial da INB está localizado na região sudoeste do Estado da Bahia, a nordeste da Cidade de Caetité. O acesso, partindo de Caetité, é pela BR-122, sendo 28 Km em estrada asfaltada e 12 km em estrada não-asfaltada, mas com excelentes condições de tráfego, conforme a figura 4.



Figura 4 – Localização e Acesso ao Empreendimento. Escala 1:2.000.000

Fonte: Guia Quatro Rodas Estradas (2005).

### 3.1 Um Breve Histórico

O auge da ditadura militar foi palco para o início daquele que iria se tornar o maior projeto uranífero da América Latina – o Projeto da Planície Uranífera de Lagoa Real. Foram vários anos de pesquisa com alternâncias no comando do projeto, que teve como um de seus

grandes precursores o geólogo Ernesto Geisel Sobrinho. Outros tantos, não menos dedicados como Cláudio Raposo e Evando Carele de Matos, também estiveram à frente do projeto.

A descoberta das primeiras anomalias de urânio na área do Projeto de Lagoa Real ocorreu em 1971, quando a Comissão Nacional da Energia Nuclear (CNEN) executou um levantamento auto-portado na região do Espinhaço Setentrional.

De 1976 a 1978, pesquisas de campo, levantamentos aerogeofísicos e radiogeológicos efetuadas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e pela NUCLEBRAS levaram à descoberta de novas anomalias.

A partir de 1978 a 1980 esses estudos foram sistematizados nas áreas de Lagoa Real e São Timóteo / Urandi, totalizando 34 anomalias significativas.

Em julho de 1980, a Secretaria de Minas e Energia da Bahia e a NUCLEBRAS assinaram convênio para o mapeamento geológico numa área de 1.126 km<sup>2</sup> na escala 1:25.000 do Distrito Uranífero de Lagoa Real. Esse mapeamento melhorou o conhecimento sobre as mineralizações uraníferas e as rochas hospedeiras, além de ter identificado outras ocorrências de urânio.

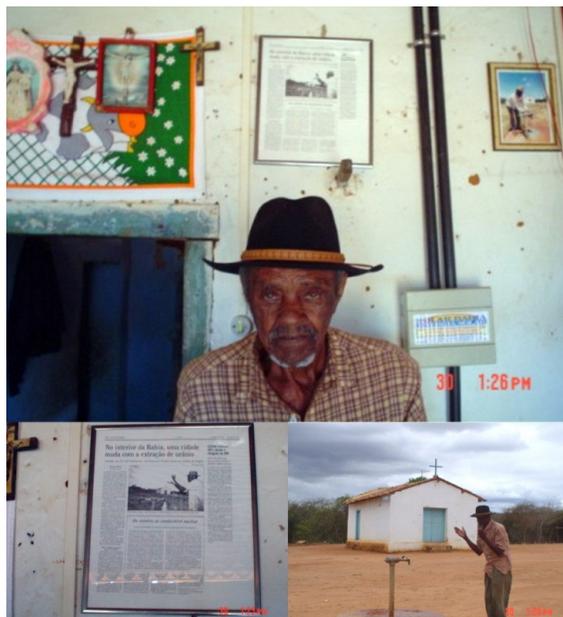
Em agosto de 1988 em substituição a NUCLEBRAS foi criada a Urânio do Brasil S.A, que reforçou as pesquisas locais, principalmente para as anomalias 08, 09 e 13.

Em 1984, foi firmado acordo com a Construtora Andrade Gutierrez para a realização do Estudo de Viabilidade Econômica do Empreendimento.

Em 1990, deu-se início ao programa de sondagem, envolvendo conjuntamente as equipes técnicas da Urânio do Brasil - UB e da Construtora Andrade Gutierrez - AG, com o objetivo de definir as reservas geológicas de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> das Jazidas das Quebradas (LR-08/11) e Cachoeira (LR-13), para o Estudo de Viabilidade Técnico-Financeiro.

Em 1994 a Urânio do Brasil S/A foi incorporada a Indústrias Nucleares do Brasil S/A.

Em dezembro de 1999, entra em operação a Unidade de Concentrado de Urânio da INB, conforme registrado na figura 5.



**Figura 5 – Sr. José Sabino, pessoa marcante e símbolo de um período que se iniciava.**

Quando da implantação do empreendimento, O GLOBO publicou em 2000 a matéria intitulada de “No interior da Bahia, uma cidade muda com a extração de urânio”. Este artigo ficou imortalizado na parede da sala do Sr. José Sabino, grande liderança das festas de reisado. Em 2004, ilustrando a chegada de água proveniente de poços tubulares perfurados pela INB, ele repete o gesto que o consagrou enquanto símbolo de uma era que estava se iniciando na comunidade onde reside.

No dia 6 de dezembro de 2004 comemorava-se em evento solene, a milésima tonelada de urânio processada e o recorde de produção anual de 350 toneladas lavradas naquela que era antes anomalia 13, hoje Mina Fazenda Cachoeira.

### **3.2 Reservas Uraníferas**

A partir de 1978, com a implantação do Projeto Lagoa Real e a sistematização da pesquisa, trabalhos de reconhecimento, sondagem, cubagem e avaliação econômica de várias anomalias, os resultados obtidos foram sendo tratados e as reservas geológicas de urânio, no âmbito da província, tiveram seus volumes calculados (RAPOSO e MATOS, 1983).

Atualmente, são consideradas como jazidas/depósitos, dez áreas (doze anomalias) que possuem trabalhos de pesquisa suficientes para uma avaliação confiável, apresentando um total geral de 100.770 toneladas de  $U_3O_8$ , com teor médio de 2100 ppm. Um demonstrativo das anomalias detectadas e suas respectivas cubagens é apresentado na Tabela 1.

<b>Tabela 1 – Demonstrativo das anomalias detectadas e suas cubagens. LR – Lagoa Real.</b>			
<b>Anomalias</b>	<b>Classe de Reserva</b>	<b>Tonelada <math>U_3O_8</math> (t)</b>	<b>Teor Médio (ppm) aproximado</b>
LR -13 – Fazenda Cachoeira <i>Obs: Atualmente, a Mina Fazenda Cachoeira, em plena atividade.</i>	Medida	12010	3400
	Indicada	8450	3600
	Total	20460	3500
LR - 08/11 – Fazenda das Quebradas	Medida	2800	1600
	Indicada	1780	1500
	Total	4580	1550
LR- 01- Baixa do Almeida	Inferida	600	2700
	Total	600	2700
LR – 02/12 – Monsenhor Bastos	Inferida	2200	2200
	Total	2200	2200
LR – 03 - Da Rabicha	Medida	8310	1800
	Indicada	15000	2600
	Total	23310	2200
LR – 04 – Umbu	Inferida	370	3650
	Total	370	3650
LR – 05 – Brejal	Inferida	2700	1000
	Total	2700	1000
LR – 06 – Laranjeiras	Medida	2950	2150
	Indicada	580	1500
	Inferida	900	1650
	Total	4430	1900
LR – 07 – Modesto	Medida	4760	1200
	Indicada	9730	1200
	Total	14490	1200
LR – 09 – Fazenda do Engenho	Medida	12390	1900
	Indicada	15240	2000
	Total	27630	1950
Total Acumulado	Medida	43220	2000
	Indicada	50780	2050
	Inferida	6770	2250
Total Geral	Méd/Ind/Inf.	100770	2100

### **3.3 Áreas de Influência**

#### **Área de Influência Direta**

Quando da elaboração do EIA/RIMA pela (PLANARQ, 1997), considerou-se como área de influência direta o conjunto das áreas que, por suas características, eram potencialmente aptas a sofrerem os impactos diretos decorrentes da implantação do empreendimento. Dentre elas, destacam-se as comunidades de Riacho da Vaca, Juazeiro e Maniaçu.

### **Área de Influência Indireta**

Os estudos realizados levaram a uma caracterização que vai além de Caetité, Lagoa Real e Livramento de Brumado. Municípios como Guanambi, Ibiassucê e até Brumado fazem parte do contexto ora apresentado.

### **3.4 Meio Físico**

Quando dos estudos relativos ao meio físico, foi definida como área de influência direta a Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, incluindo seus afluentes: Riacho das Vacas, Córrego Cachoeira e Córrego do Engenho. O povoado de São Timóteo foi considerado limite extremo da área, devido a sua situação geográfica a jusante do empreendimento. Estudos foram também realizados na Bacia de Drenagem do Açude Cachoeirinha, área onde se encontra a sede do Distrito de Maniaçu.

#### **3.4.1 Clima**

O clima regional apresenta verões quentes e invernos frescos a quentes, com chuvas concentradas no verão e estação seca no inverno, e umidade do ar média anual de 69%.

O mês mais quente é outubro, com temperaturas médias de 22,6° C e mínimas de 17,0°C, e o mês mais frio é julho, com temperaturas médias de 19,1° C e mínimas de 13,7° C. De acordo com a tipologia climática elaborada por Koppen, o clima da região é classificado como Aw - transição para o Bsh, isto é, transição de um clima quente e úmido, com estação seca no inverno, para o clima semi-árido quente (PLANARQ, 1997).

A precipitação na região de Caetité é em média de 600 a 800 mm de chuva por ano, sendo que em Caetité a precipitação média anual é de 797,1 mm/ano, em São Timóteo é de 672,3 mm/ano, e em Maniaçu, mais próximo ao empreendimento, de 834,7 mm/ano. As chuvas são concentradas no verão e final da primavera, principalmente nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro. Nessa região o período correspondente ao inverno é o que apresenta a maior redução nos índices pluviométricos (PLANARQ, 1997).

### **3.4.2. Geologia**

A área do empreendimento está inserida no contexto tectônico do Cráton São Francisco, sendo objeto de diversos estudos geológicos, entre eles os realizados pela CPRM pelo convênio NUCLEBRAS / Secretaria de Minas e Energia da Bahia e pelo projeto RADAMBRASIL (GEISEL SOBRINHO et alii., 1980).

#### **Geologia Regional**

O Complexo Mínero-Industrial de Caetité encontra-se sobre rochas do Complexo Lagoa Real, sendo que à nordeste do sítio têm-se seqüências vulcano-sedimentares do Supergrupo Espinhaço (denominada de Chapada Diamantina Ocidental); a leste têm-se rochas do Complexo Metamórfico-Migmatítico e do Complexo Ibitira-Brumado; a sul e a norte continuam aflorando as rochas do Complexo Lagoa Real; a oeste ocorrem as rochas do Complexo Urandi-Licínio de Almeida e do pediplano de Maniaçu; e a noroeste têm-se as rochas do Supergrupo Espinhaço (Serra do Espinhaço Setentrional), (GEISEL SOBRINHO et alii., 1972).

#### **Complexo metamórfico-migmático**

O Complexo Metamórfico-Migmatítico é composto pelos gnaisses, migmatitos e outras rochas granitóides, de idade Arqueana Superior, que afloram nas regiões de Anagé, Brumado, Iguatemi, Lagoa Real, São Timóteo e Sussuarana.

#### **Complexos Ibitira-Brumado e Urandi-Licínio de Almeida**

É composto por rochas metamórficas de origem vulcano-sedimentar, de idade Proterozóica Inferior, que afloram em uma faixa que se estende desde Dom Basílio até Ibiassucê e Cristalândia.

#### **Complexo Lagoa Real**

Corresponde a rochas gnáissicas e granitóides, de idade Proterozóica Média, as quais estão associadas as mineralizações de urânio da Província Uranífera Lagoa Real.

#### **Supergrupo Espinhaço**

Engloba as rochas metamórficas vulcano-sedimentares, de idade Proterozóica Média, que afloram na Serra do Espinhaço Setentrional e na Chapada Diamantina Ocidental.

### **Rochas Intrusivas Básicas**

Corresponde aos diques de diabásio, subverticais, de distribuição areal restrita, relacionados à reativação da Plataforma Sul Americana. São de idade mesozóica (Jurocretácea) e geralmente preenchem fraturas de direção NW.

### **Coberturas Terciárias-Quartenárias**

Englobam as coberturas detríticas depositadas durante o ciclo de erosão Sul-Americano na região de Maniaçu, ocorrendo na porção oeste da área de interesse.

### **Depósitos Aluvionares Recentes**

Distribuem-se pelas calhas dos rios, sendo compostos por sedimentos argilosos e arenosos, inconsolidados, associados às cascalheiras e blocos de dimensões variadas.

### **Estruturas**

Regionalmente, as feições estruturais que se destacam são:

- ✓ Falhamentos de orientação NW-N/SE-S, de carácter transcorrente ou de empurrão;
- ✓ Os lineamentos e a foliação cataclástica presente nos litotipos do Complexo Lagoa Real.

### **Geologia Local**

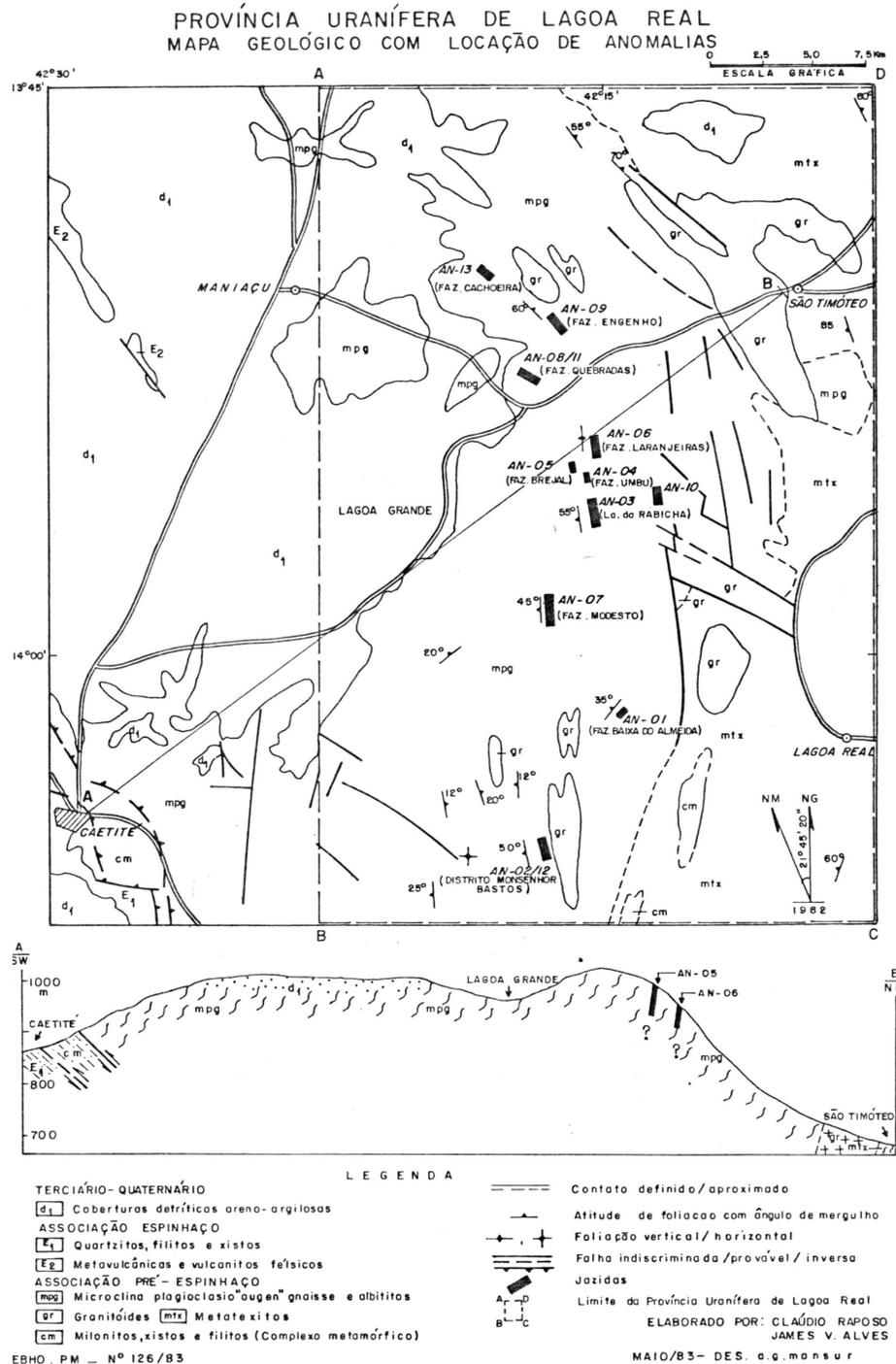
No âmbito restrito das anomalias uraníferas da Planície Uranífera de Lagoa Real, afloram rochas metamórficas-metassomáticas do embasamento cristalino, com estrutura cataclástica, notadamente granitóides, microclina plagioclásio augen-gnaisses e albitos, parcialmente sob cobertura de sedimentos terciários quaternários (GEISEL SOBRINHO et alii., 1972).

Os granitóides localizam-se mais precisamente nas imediações das anomalias AN-02/12 (Monsenhor Bastos) e AN-09/13 (Engenho/Cachoeira) e ainda nas regiões de São Timóteo. Segundo Moraes et al, são rochas isotrópicas a semi-isotrópicas, de coloração cinza a cinza-rosada, de granulação fina a média, localmente grossa a pegmatítica, tendo como minerais máficos dominantes a biotita e a hornblenda. Em alguns casos apresentam estrutura augen e em outras estrutura gnáissica, devido à atuação de esforços cisalhantes. Em muitos locais, esses granitóides exibem uma textura granoblástica poligonizada, com

claros sinais de orientação cataclástica, e ainda fortes indícios de ação metassomática. Os microclina plagioclásio augengnaisses são rochas metamórficas quartzo-feldspáticas bandeadas, geralmente encaixantes dos albitos portadores de mineralização uranífera. Apresentam granulação fina a média, coloração acinzentada a esbranquiçada e exibem comumente evidências de intensa ação cataclástica. Esses gnaisses são caracterizados, de um modo geral, pelas suas proporções variáveis de microclina e plagioclásio. O quartzo está presente nessas rochas em percentagens da ordem de 5 a 20% e os máficos dominantes são a biotita e o anfibólio. (GEISEL SOBRINHO et alii., 1972). classificaram essas rochas por critérios de campo e para fins de mapeamento de detalhe, como “Metassomatitos”.

Os albitos ocorrem sob a forma de numerosos corpos intermitentes, tabulares, tendo como encaixantes as rochas gnáissicas acima descritas. (GEISEL SOBRINHO et al, 1972) definem esse litotipo na área de Lagoa Real, como uma suíte de rochas metamórficas metassomáticas, constituídas por albita em percentagem igual ou superior a 70%, distinguindo os diferentes tipos, em função da relativa abundância de seus constituintes varietais (piroxênio, anfibólio, biotita, granada, etc.). Sobre esse último aspecto, foi considerado em cada caso uma percentagem mínima de 5% para cada varietal. Ainda de acordo com os mesmos autores, a presença do quartzo nessas rochas se verifica, de um modo geral, em percentagem sempre abaixo de 10%.

A figura 6 dá uma visão da geologia local e da localização das anomalias na Planície Uranífera de Lagoa Real.



**Figura 6 – Mapa geológico Local com Localização das Anomalias.**  
**Fonte: Indústrias Nucleares do Brasil, (1983).**

### **Estruturas Locais**

Os albititos, cujo modo de ocorrência reflete uma das feições estruturais mais notáveis da região, se distribuem basicamente segundo dois alinhamentos principais em forma de arco, com “trend” que varia de NE na extremidade meridional a N-S no centro, fletindo após para NW, no sentido dos limites setentrionais da Província Uranífera de Lagoa Real. Tais rochas e suas encaixantes mergulham para W na extremidade sul dos alinhamentos, verticalizam-se na parte central e mudam de mergulho para E na extremidade norte, caracterizando uma longa estrutura sigmoidal (torção helicoidal), desde a Jazida Lagoa da Rabicha-AN-03, até Mina Fazenda Cachoeira, numa extensão de 15 km. A Jazida Laranjeiras-AN-06 localiza-se próxima à zona de inversão de “plunge” – (RAPOSO e MATOS,1983).

O falhamento principal é representado pelas falhas subparalelas de direção N80°E indicadas pela gravimetria, passando por Lagoa Real e Tanque Novo. Elas mostram um jogo sinistral induzindo inflexões estruturais dentro do bloco por elas delimitadas, cuja feição mais importante é a torção helicoidal.

Raras zonas de cisalhamento rúptil (falhas) são observadas nas regiões das anomalias uraníferas. As existentes são pequenas rupturas que provocam a acomodação da foliação.

A foliação predominante (Sn), de origem cataclástica, é a feição planar mais notável e resulta do cisalhamento dúctil sub-horizontal característico do Evento Jequié. Essa foliação, controlando estruturalmente a mineralização, predomina e transpõe-se sobre uma foliação pretérita (Sn-1) com baixo ângulo (1° a 15°) , de modo que, dificilmente é observada no campo a relação genética entre ambas.

Nos planos de intersecção dessas foliações oblíquas, desenvolvem-se lineações minerais cataclásticas, de direção regionalmente constante, com os vetores apontados para SW/35° - 55° na Jazida Lagoa da Rabicha e NE/45° - 60° na Mina Fazenda Cachoeira. Tais lineações minerais parecem condicionar zonas de maior enriquecimento de urânio, principalmente nos corpos mineralizados da Mina Fazenda Cachoeira.

Na Jazida Lagoa da Rabicha-AN-03, situada ao sul dessa área, a direção da foliação é

praticamente invariável, da ordem de N10°W, com mergulhos de 45°-75°SW; na Jazida Laranjeiras-AN-06, próxima à zona de inversão de “plunge”, a direção permanece ainda invariável, mas com valores angulares de mergulho verticalizados da ordem de 80°SW; no extremo norte, na Mina Fazenda Cachoeira, a foliação passa a N50°W, com mergulhos de 60°NE.

O fraturamento é definido por dois sistemas principais geralmente sub-verticais: um paralelo à direção geral da foliação e outro perpendicular; fraturas sub-horizontais de deslocamento, paralelas à superfície topográfica, são também encontradas.

O dobramento é incipiente e posterior ao cisalhamento dúctil. As dobras existentes são intrafoliais, do tipo em bainha (“sheath folds”), todas as dimensões são decimétricas. Na Mina Fazenda Cachoeira, foi individualizada uma megadobra de 200 metros de largura (ápice composto por duas ondulações), do tipo reclinado (eixos de forte mergulho), considerada como uma dobra intrafolial do tipo em bainha, com eixo paralelo à direção de estiramento máximo. Na região de Monsenhor Bastos, a oeste da AN-02/12, a CBPM mapeou uma estruturação do tipo antiformal de dobras abertas (ângulos de 10°-20°), com eixos submeridianos. No restante da área da Província Uranífera, predominam ondulações suaves, com planos axiais empinados de direção em torno de NE (RAPOSO et al., 1983).

As seções geológicas verticais e horizontais das várias jazidas uraníferas construídas com base em trabalhos de sondagem, mostram a existência de inúmeros corpos de albitos tabulares descontínuos, concordantes com a foliação geral das rochas encaixantes. As descontinuidades dos albitos - fenômenos de “pinch and swell” são imprevisíveis e, até o momento, parcialmente inexplicáveis, (RAPOSO et al., 1983). A geometria dos corpos é a de charutos achatados paralelamente a Sn e alongados segundo a lineação.

A extensão dos corpos de albitos varia desde alguns metros até quilômetros. A espessura é variável entre centímetros até uma centena de metros. A continuidade dos albitos já foi constatada por sondagem em até 850 metros de extensão em profundidade, (RAPOSO et al., 1983). As rochas transicionais quartzo-feldspáticas, encaixantes dos albitos, dispõem-se, a exemplo daqueles, concordantemente segundo a foliação cataclástica regional. A inexistência de um nível guia dificulta o estabelecimento da posição estratigráfica dessas

rochas no contexto regional do embasamento cristalino, ao qual elas pertencem. A figura 7 dá uma idéia da conformação estrutural na Mina Fazenda Cachoeira.



**Figura 7 – Aspectos da Geologia Estrutural na Mina Fazenda Cachoeira.  
Fonte: Indústrias Nucleares do Brasil (2004).**

### **3.4.3 Geomorfologia Local**

Na área da URA (e proximidades) são encontradas 4 unidades geomorfológicas principais: o Pediplano cimeiro, as serras marginais, os pedimentos e as baixadas aluvionares.

Pediplano cimeiro – Ocorre na porção oeste da área estudada, a oeste da portaria da URA, e é representada por uma superfície de aplainamento, de relevo plano a quase plano (declividade em geral menor que 10%), com cotas altimétricas entre 900 e 1000 m.

O material que sustenta o pediplano cimeiro é provavelmente de origem eluvio-coluvionar, de composição areno a areno-argilosa, cor marrom amarelado. Em algumas áreas podem ser observados restos de canga ferruginosa.

A rede de drenagem é pouco densa, devido ao baixo gradiente topográfico, e exhibe padrão dendrítico. Do ponto de vista hidrogeológico, as características naturais do pediplano cimeiro propiciam uma boa taxa de infiltração de águas pluviais (recarga), pois além do baixo gradiente topográfico e da baixa densidade da rede de drenagem, os solos são de

composição arenosa a areno-argilosa, e espessos, o que favorece a rápida percolação das águas pluviais em subsuperfície (PLANARQ, 1997).

Serras marginais – É o principal domínio geomorfológico da área estudada, ocorrendo desde as bordas do pediplano cimeiro até as proximidades de São Timóteo. É representado por um relevo muito ondulado (declividades geralmente entre 20 e 50%), com cotas altimétricas variando entre 650 e 1000 metros, esculpidos sobre as litologias do Complexo Lagoa Real. Este domínio geomorfológico apresenta serras, morros e picos que podem atingir a cota altimétrica de 1000 metros, sendo que estes possuem topos quase planos. As feições de relevo exibem forte controle geológico, sendo que as serras, como as da Jurema e Pau de Copa, possuem linhas de escarpas bem definidas e de direção NW-SE.

As drenagens também exibem controle geológico, possuindo preferencialmente orientação NW-SE, e secundariamente SW-NE (padrão retangular). O controle geológico-estrutural das drenagens é observado em quase todas as drenagens, mas principalmente no alto curso dos riachos Fundo, Mangabeira, das Vacas e Córrego do Engenho. Na borda leste do domínio geomorfológico, as drenagens exibem padrão dendrítico.

Os solos, neste domínio geomorfológico, são argilosos a argilo-arenosos, resultado da alteração das rochas ou do transporte de materiais (coluvionares), de cor marrom. O moderado a elevado grau de declividade destes terrenos, aliado à composição predominantemente argilo-arenosa dos solos favorece o escoamento superficial das águas pluviais, em detrimento à infiltração nos solos (PLANARQ, 1997).

Pedimentos – Ocorrem a leste e nordeste da área estudada, e são representados por um relevo aplainado, com cota altimétrica entre 500 e 600 metros. Os solos são de composição arenosa a areno-argilosa, de cor marrom clara a avermelhada. A drenagem é pouco densa, e sem padrão textural aparente.

Baixadas Aluvionares – Ocorrem associadas aos principais canais de drenagem, e estão cobertas por material de origem aluvio-coluvionar de composição areno-silto-argilosa, com espessura variável de poucos centímetros a até 25 metros.

### 3.4.4 Pedologia

Na área estudada há a presença de 4 tipos de solo, de acordo com o EIA/RIMA apresentado pela (PLANARQ, 1997): cambissolo eutrófico, latossolo vermelho-amarelo distrófico e podzólico vermelho-amarelo distrófico, e solos hidromórficos.

Cambissolos eutróficos são solos de textura média, argilosa ou muito argilosa, rasos a moderadamente profundos. O horizonte A é normalmente moderado, de espessura entre 10 e 25 cm, e cor amarelo-avermelhado a vermelho amarelado. O horizonte B é pouco espesso a espesso (30 a 80 cm), textural, e segue-se um horizonte C de alteração de rochas graníticas e gnáissicas. Essa classe é dividida em duas subclasses, de acordo com o grau de declividade do terreno: os cambissolos eutróficos em áreas de relevo suave a ondulado e os cambissolos eutróficos em áreas de relevo ondulado a fortemente ondulado.

Latossolos vermelho-amarelo caracterizam-se por solos profundos ou muito profundos (profundidade efetiva maior que 1 metro), textura muito argilosa, argilosa e média, e saturação de bases baixa a extremamente baixa. Apresentam horizonte A normalmente moderados (20 a 30 cm), horizonte B de cores amarelo-avermelhado a vermelho amarelado.

Podzólico vermelho-amarelo são solos profundos, apresentando os horizontes A, Bt e C. Apresentam horizonte A normalmente moderados (20 a 40 cm), de textura arenosa, média e argilosa; horizonte B espesso (1 a 2 m) e de caráter textural, com textura argilosa a média e cores vermelho amarelado a amarelo-avermelhado. Essa classe é dividida em duas subclasses, de acordo com o grau de declividade do terreno: os solos podzólicos em áreas de relevo suave a ondulado e os solos podzólicos em áreas de relevo ondulado a fortemente ondulado.

Solos hidromórficos compreendem solos minerais cuja característica é a presença do horizonte glei, de cor cinzenta, à no máximo 50 cm da superfície. São medianamente profundos, mal a muito mal drenados, que ocorrem nas calhas dos principais cursos d'água da área. São desenvolvidos a partir de sedimentos recentes.

### **3.4.5 Hidrologia e Hidrogeologia**

O empreendimento está situado na bacia hidrográfica do Riacho das Vacas, que tem como afluentes o Córrego Cachoeira e Córrego do Engenho, ambos de muita importância no contexto hidrológico da URA. A bacia hidrográfica do Riacho das Vacas é afluente do Riacho Fundo, que está inserida na bacia hidrográfica do Rio de Contas.

O Riacho das Vacas é afluente da margem esquerda do Riacho Fundo; o Riacho Fundo é afluente da margem esquerda do Rio São João, que é afluente da margem direita do Rio Brumado, e este, por sua vez, deságua na margem direita do Rio de Contas.

O Riacho Fundo, como os outros rios que afluem para o Rio Brumado, têm suas nascentes nas vertentes da Serra do Espinhaço Setentrional, correndo preferencialmente de oeste para leste. Como a bacia hidrográfica do Rio Brumado está em uma zona de grande restrição pluviométrica, a contribuição (de água) desta bacia para o Rio de Contas ocorre principalmente nas épocas de chuvas intensas (CONESP, 1998).

A bacia hidrográfica do Rio de Contas é mostrada na figura 8.

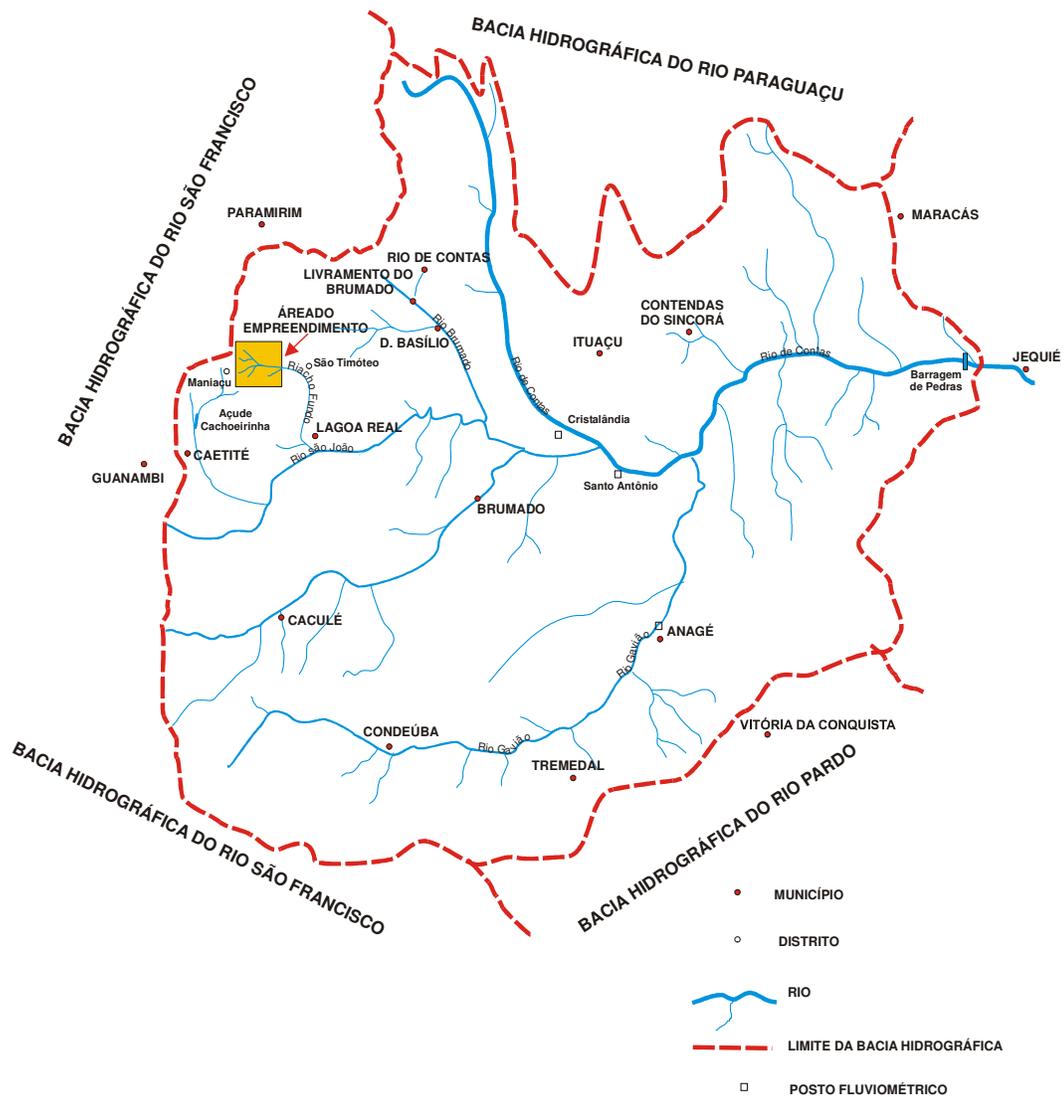


Figura 8 – Bacia Hidrográfica do Rio de Contas.  
Fonte: Indústrias Nucleares do Brasil.

## Hidrogeologia

No EIA/RIMA (PLANARQ, 1997) foram identificados três domínios hidrogeológicos na região estudada: Domínio A, associado às coberturas detríticas; Domínio B, associado às rochas do Complexo Lagoa Real; e Domínio C, associado aos terrenos aluvio-coluvionares. Quanto à porosidade, estes sistemas aquíferos podem ser separados em dois grupos:

- ✓ Aquífero granular: aquífero no qual a água subterrânea percola por entre os poros do material sedimentar (porosidade primária). Os domínios A e C são aquíferos granulares, conforme mostra a tabela 2.
- ✓ Aquífero fissural: aquífero no qual a água percola através das fraturas, falhas, foliação ou fissuras da rocha (porosidade secundária). O domínio B representa um aquífero fissural, conforme mostra a tabela 2.

<b>Sistema Aquífero</b>	<b>Unidades Litológicas Abrangidas</b>	<b>Domínio Hidrogeológico</b>
Granular	Coberturas Detríticas Terciárias-Quaternárias	A
	Solo de Alteração das rochas do Complexo Lagoa Real	C
	Aluviões	C
Fissural	Rochas Gnáissicas do Complexo Lagoa Real	B1
	Rochas Graníticas do Complexo Lagoa Real	B2

Quando a água da chuva infiltra-se no solo, ela o percola até atingir o topo rochoso. Chegando ao contato solo/rocha, parte da água percolada infiltra-se nas fissuras/foliações das rochas subjacentes, vindo a compor o aquífero fissural. O resto da água que percolou, fica na camada de solo, constituindo o aquífero granular, e o fluxo desta água é paralelo ao contato solo/rocha, com sentido às áreas de menor cota topográfica.

No aquífero granular, constituído pela camada de solo residual das rochas do embasamento, coberturas detríticas terciárias-quaternárias e depósitos aluvionares, o fluxo das águas subterrâneas ocorre entre os poros do material sedimentar (porosidade primária).

O fluxo das águas subterrâneas através do aquífero fissural ocorre principalmente através de discontinuidades da rocha. Nestas rochas, devido à sua baixa porosidade primária, o fluxo das águas subterrâneas dá-se através dos planos de foliação e, principalmente, através das linhas de intersecção entre a foliação e outras discontinuidades, como fraturas, falhas e juntas.

No sítio, o aquífero granular tem caráter efêmero, existindo basicamente no período chuvoso. Neste período do ciclo hidrológico, o aquífero granular constitui uma fonte de

recarga para o aquífero fissural, além de originar nascentes e constituir o fluxo de base das drenagens.

### **Hidrologia**

A bacia hidrográfica do Riacho das Vacas, pertencente à bacia hidrográfica do Rio de Contas, ocupa uma área de 94,5 km<sup>2</sup>. A rede de drenagem possui extensão de 314,9 km, e a densidade de drenagem é de 3,33 km/km<sup>2</sup>. O Riacho das Vacas e seus principais afluentes (Córrego do Engenho, das Mangabeiras, Cachoeira) possuem cabeceiras no sopé do Pediplano Cimeiro, e correm, de maneira geral, de oeste para leste na área estudada. O alto curso do Riacho das Vacas e de seus principais afluentes é controlado estruturalmente. Possuem trechos com canais meandantes nos locais de baixa declividade topográfica, onde há a acumulação de sedimentos aluviais, intercalados por trechos com canais retilíneos.

O escoamento superficial, nesses cursos d'água, ocorre basicamente nos períodos de maior precipitação dentro da estação chuvosa. Na estação seca, os leitos desses rios geralmente se apresentam secos, exceto em um trecho do Córrego Cachoeira abaixo da cava da mina, e de pequenos trechos do alto curso do Córrego do Engenho e do Riacho das Vacas, que conservam porções descontínuas com pequena lâmina d'água (milimétrica a centimétrica), ou ao menos, sinais de umidade aparente.

### **3.5 Meio Biótico**

A área do empreendimento está inserida numa região de Caatinga. Estudos levantados no EIA/RIMA (PLANARQ, 1997) revelam que a baixa biodiversidade na região da Caatinga é mais uma função da intervenção antrópica no ambiente, que da natureza biológica deste ecossistema. As áreas que apresentam baixos índices de intervenção antrópica apresentam uma vegetação bastante diversificada, com uma grande variedade de espécies. Essas áreas também suportam uma fauna característica e diversa de mamíferos, aves, répteis, anfíbios e insetos. Os ecossistemas aquáticos são mais limitados devido à escassez de água, particularmente rios, que são intermitentes. Isto limita o desenvolvimento de comunidades aquáticas a lagos, poços e açudes artificiais. No entanto, onde ocorre, a vida aquática mostra-se razoavelmente diversa.

As populações bióticas da Caatinga sofreram o processo de seleção natural, condicionado fundamentalmente pelos períodos de disponibilidade e escassez de água. Portanto, as populações deste ambiente apresentam um grande número de organismos adaptados a longos períodos secos, alternados com períodos curtos de disponibilidade de água. Uma outra adaptação consiste na acumulação de água para uso durante o período seco. Isto se reflete numa diversidade biológica menor na estação seca, alternada com explosões nas populações de Caatinga no período chuvoso, utilizado pelas espécies animais e vegetais como o período reprodutivo, visando à perpetuação das espécies.

Foi criada uma área de Reserva Legal no âmbito da URA e sua implantação se deu conforme legislação em vigor. Esta serve como elemento de referência, como porta de acesso aos estudos da ecologia da região, refúgio da vida silvestre e ainda como banco de sementes para garantir a perpetuação das espécies ali existentes. A figura 9 nos dá uma visão parcial da área em preservação.



**Figura 9 - Área de reserva legal dentro do polígono do empreendimento.**  
Fonte: Indústrias Nucleares do Brasil (2005).

### **3.6 Meio Antrópico**

Caetitê tem uma boa infra-estrutura, se comparada com a média local, com hospital de referência regional, bons hotéis, rede de telefonia fixa e móvel, faculdade estadual e rede de ensino fundamental bem instalada. Possui ligação rodoviária asfaltada interligando a malha estadual e federal, além de um aeroporto, entretanto sem regularidade de vôos.

Caetité dista 757 Km da capital, Salvador. Tem como rodovias de acesso a BR 030 e BR 430. O município compreende os distritos de Brejinho das Ametistas (a 24 Km), Caldeiras (a 60Km), Maniaçu (a 28 Km) e Pajeu dos Ventos (a 26 Km). O município conta hoje com aproximadamente 46.000 habitantes numa superfície de 1902 Km<sup>2</sup>.

A economia local baseia-se na mineração, na atividade das cerâmicas, confecções, pecuária de corte insipiente e agricultura de subsistência, a qual tem como ponto forte a produção de mandioca, com destaque para as típicas “Casas de Farinha”. São locais onde os pequenos agricultores processam a mandioca proveniente de suas plantações, obtendo a farinha de mandioca.

Comunidades rurais, povoados vinculados ao Distrito de Maniaçu, formam o entorno habitado do empreendimento, vivendo numa relação pacífica e de colaboração recíproca. Muitos destes habitantes se tornaram empregados da INB-URA, fato que lhes trouxe uma visível melhora na qualidade de vida.

## CAPÍTULO 4 – O EMPREENDIMENTO

### 4.1 Caracterização do Empreendimento

O empreendimento objeto deste estudo não é enquadrado como uma atividade de mineração convencional. Os trabalhos mineiros na Província Uranífera de Lagoa Real são regidos pelo regime de monopólio estatal. O complexo mínero-industrial da Unidade de Concentrado de Urânio-URA é classificado como Instalação Nuclear. Esta classificação traz consigo uma série de restrições e cuidados não requeridos à mineração de outros bens minerais. Além da legislação aplicável a qualquer empreendimento mineral, aplica-se a uma instalação nuclear, legislação própria devido ao caráter das operações realizadas. Tem como atividades principais a extração de urânio e a produção de Diuranato de Amônio (DUA), conhecido como “*yellow-cake*”. As fases que compõem o conjunto de atividades passam pela pesquisa, lavra e beneficiamento de minérios de urânio. A figura 10 apresenta uma visão geral das instalações de concentração de urânio. A mina se apresenta à direita, ficando fora de foco.



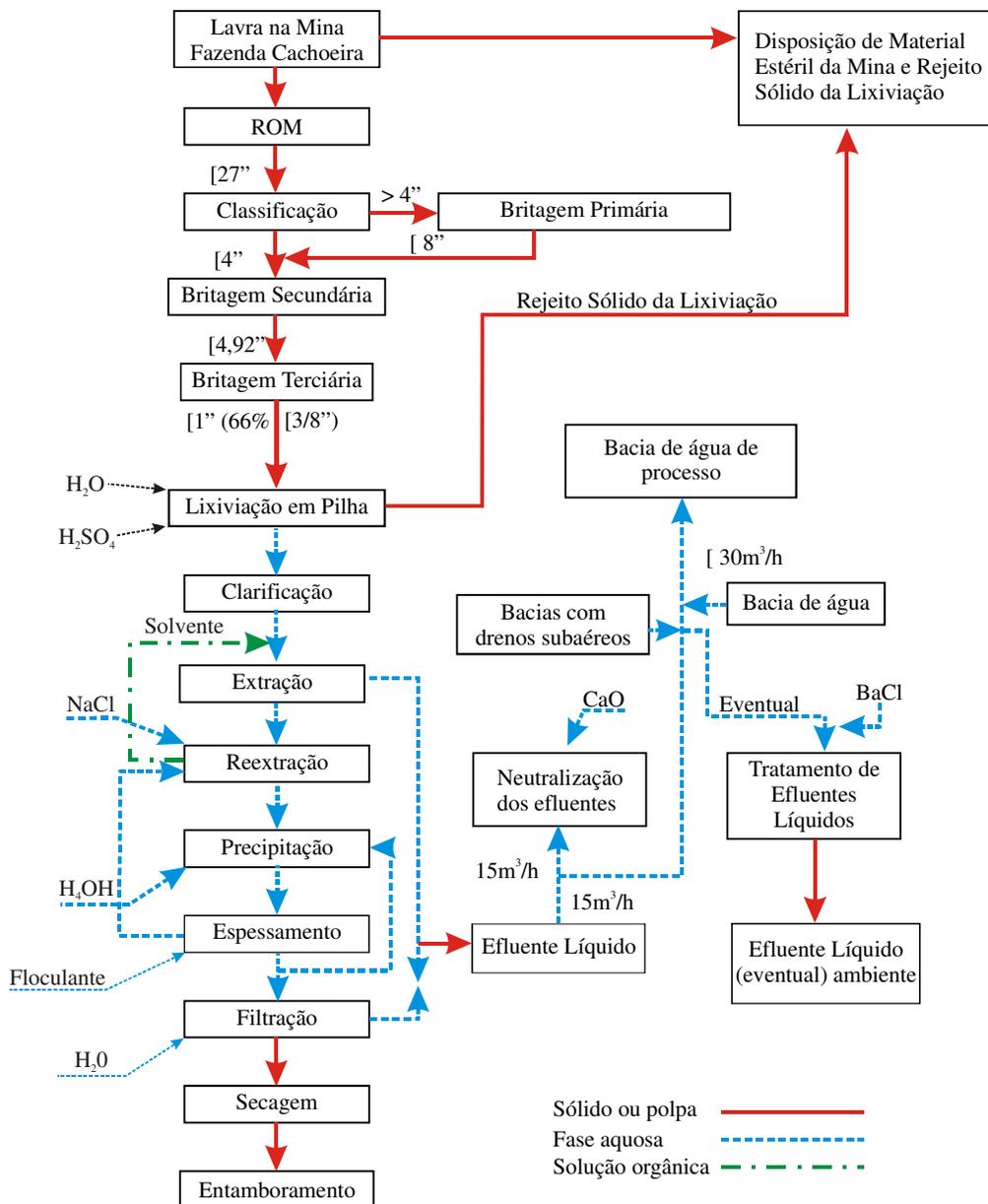
Figura 10 - Vista aérea das instalações de concentração de urânio.  
Fonte: INB (2001).

A principal aplicação comercial do urânio é como fonte de energia nuclear para geração de eletricidade em reatores nucleares (IAEA, 2002). Outras utilizações são encontradas em várias áreas das atividades humanas: emprego na Medicina (tratamento de câncer,

diagnóstico clínico); na Agricultura (conservação e melhoria da qualidade de alimentos), etc.

#### 4.2 O Processo de Produção de Urânio

O processo operacional executado na URA vai da mina ao entamboramento do yellow cake, que segue para ser enriquecido no exterior (INB, 1996). A figura 11 ilustra este processo operacional.

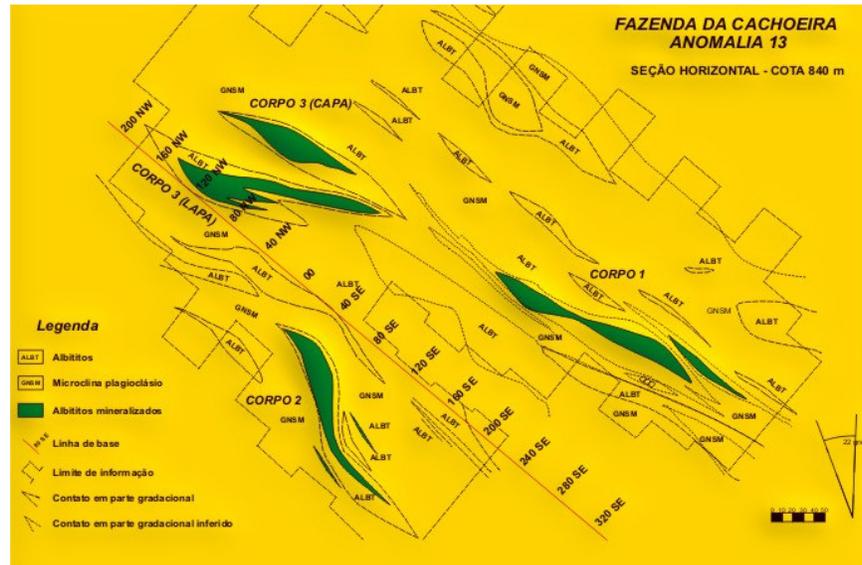


**Figura 11 - Fluxograma do Processo de Concentrado de Urânio na URA.**  
Fonte: INB (2001).

Apresentamos a seguir de maneira sucinta, uma descrição elucidativa das etapas que compõem as atividades operacionais desempenhadas na URA.

#### 4.2.1 A Lavra

A lavra é realizada a céu aberto em bancos de 5m, prevendo-se para a cava final, bancos com altura de 10 m (INB, 1996). A Mina Fazenda Cachoeira é composta de três corpos mineralizados denominados de Corpo 1, Corpo 2 e Corpo 3, conforme demonstrado na figura 12. Atualmente estão sendo lavrados apenas os Corpos 1 e 3.



**Figura 12 – Vista Horizontal dos três corpos da Mina Fazenda Cachoeira.  
Fonte: INB (2004).**

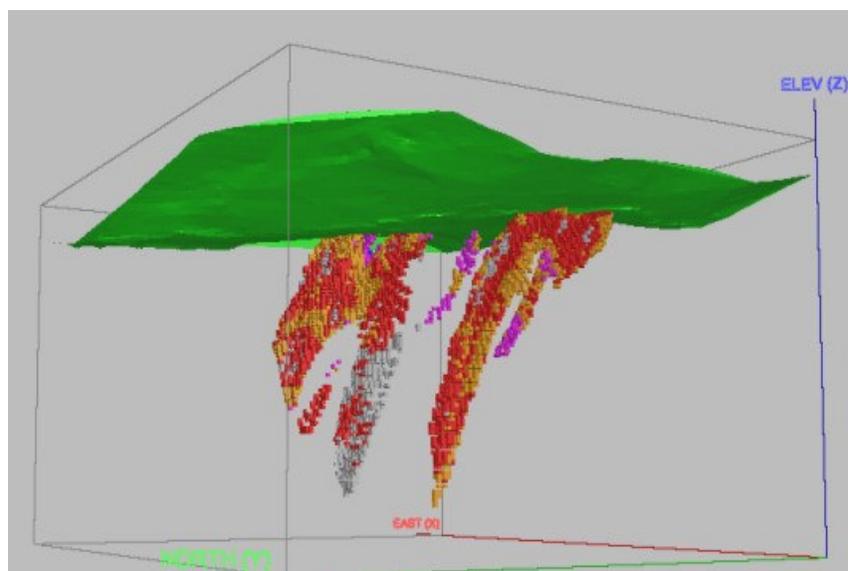
Para a lavra, os blocos (5x5x5m) de minério são definidos através de acompanhamento litológico e radiométrico e do conhecimento da distribuição dos teores de urânio na jazida.

A figura 13 mostra uma visão geral das operações de lavra.

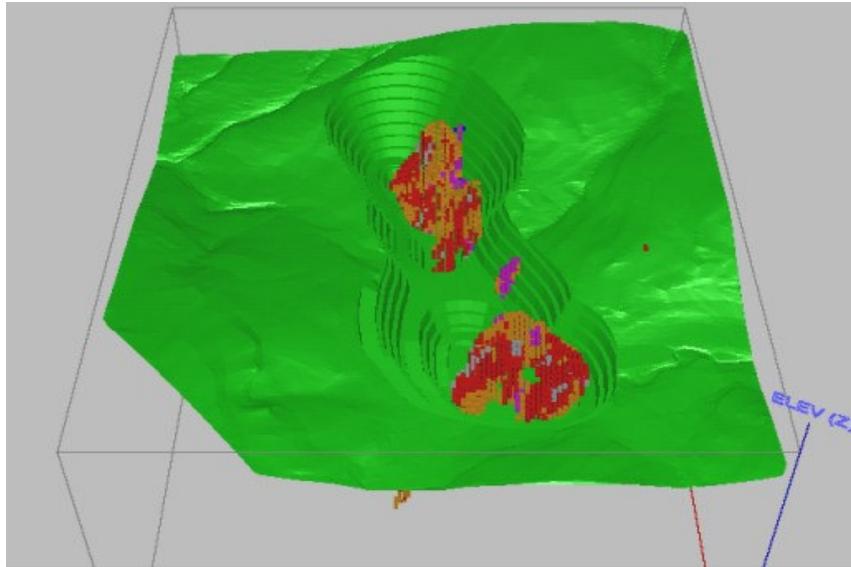


**Figura 13 - Vista da cava em operação na Mina Fazenda Cachoeira.**  
Fonte: INB (2004).

As figuras 14 e 15 apresentam o modelamento dos corpos mineralizados, de blocos e cava final, respectivamente, da Mina Fazenda da Cachoeira, gerados pelo software GEMCOM.



**Figura 14 - Os Blocos Mineralizados na Mina Fazenda Cachoeira.**  
Fonte: INB (2004).



**Figura 15 – A cava da mina com os seus respectivos blocos mineralizados.**  
**Fonte: INB (2004).**

As tabelas 3, 4, 5 e 6 apresentam parâmetros e características relativas ao material extraído na mina e programação anual de produção (INB, 1996).

Ângulo médio do talude final		58°
Ângulo da face dos bancos		75°
Altura dos bancos	em operação	5m
	na cava final	10m
Largura das bermas de proteção		5m
Largura mínima do fundo da cava		30m

Rampa máxima	10%
Largura	12m
Raio de curvatura mínimo	30m

Minério	200.000t
Estéril	1.200.000t

Peso específico aparente do minério seco ("in situ")	2,78 t/m <sup>3</sup>
Unidade natural média (minério e estéril)	4%
Peso específico aparente do minério úmido ("in situ")	2,89 t/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente do estéril seco ("in situ")	2,7 t/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente do estéril ("in situ")	2,81 t/m <sup>3</sup>
Fator de empolamento (FE)	1,50
Ângulo de Repouso	35°
Índice de trabalho (Wi) (britagem)	7,75 kwh/st

O minério apresenta a composição mineralógica descrita na tabela 7.

Albita	65 a 75%
Piroxênio	10 a 20%
Granada	2 a 5%
Epidoto	2 a 5%
Magnesita	1 a 3%
Carbonatos	1 a 2%

As características físico/químicas do minério são as descritas na tabela 8:

Densidade Real	2,74 t/m <sup>3</sup>	
Densidade aparente	1,6 t/m <sup>3</sup>	
Umidade	4% (máxima)	
Análise Química	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0,29%
	SiO <sub>2</sub>	57%
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15%
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,5%
	CO <sub>3</sub>	1,0%
	TiO <sub>2</sub>	0,3%

O estéril da mina é constituído, basicamente, por gnaisses, e material com teores de urânio abaixo do limite econômico da lavra, que é de 800 ppm. Apresenta composição mineralógica semelhante ao minério (albitito mineralizado), exceto quanto ao conteúdo de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. Basicamente, sem quantificar, o estéril é composto de albita, piroxênio, granada, epidoto, magnetita, carbonatos e uraninita (INB, 1996).

A tabela 9 apresenta as características físicas encontradas para o mesmo material.

<b>Tabela 9 – Características físicas do estéril da mina. Fonte INB (1996)</b>	
Peso específico aparente do estéril seco ("in situ")	2,7 t/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente do estéril úmido ('in situ')	2,81 t/m <sup>3</sup>
Fator de empolamento FE	1,50
Granulometria	≤ 0,7 m <sup>3</sup> (blocos)
Umidade	4%
Densidade Real	2,76 t/m <sup>3</sup>
Densidade Aparente	1,8 t/m <sup>3</sup>

A tabela 10 apresenta as características químicas encontradas para o material estéril.

<b>Tabela 10 – Características químicas do estéril da mina. Fonte INB (1996)</b>														
ELEMENTOS	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BaO	ZnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
%	1,59	4,33	10,4	69,1	0,50	0,30	3,42	3,88	0,08	0,009	0,0002	0,04	<0,002	0,0070

A disposição do estéril da Mina Fazenda Cachoeira, consorciado com o rejeito sólido das pilhas de lixiviação, é realizada à jusante da cava da mina, na margem direita e sem qualquer interferência com o Riacho Cachoeira, pelo método de pilhas construídas de forma ascendente, com disposição em módulos (INB, 1996).

A figura 16 mostra a área de disposição de estéril da mina.

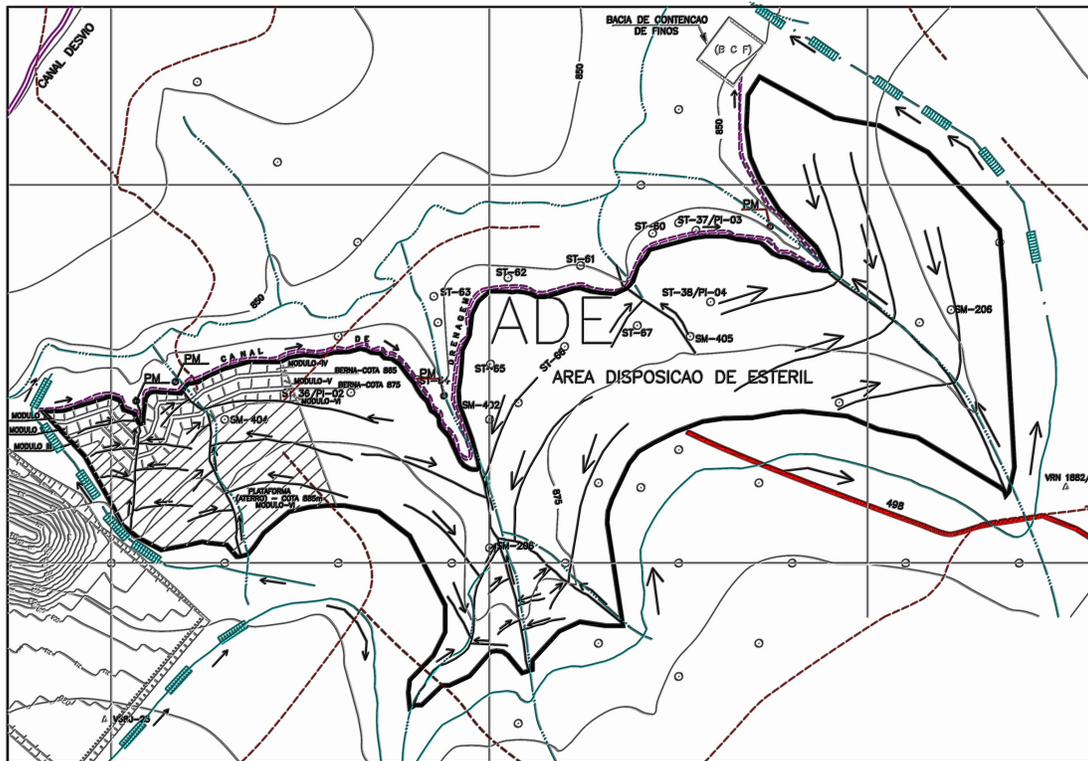


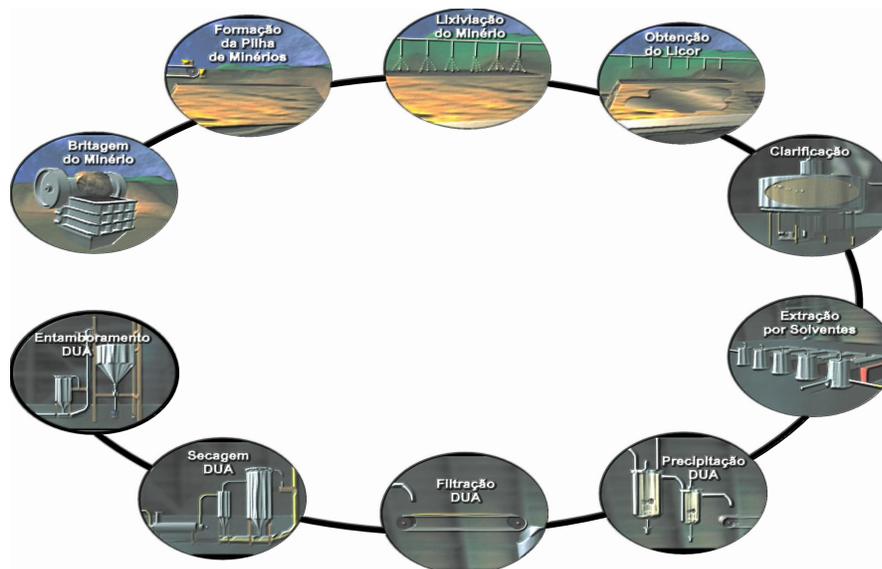
Figura 16 – Área de disposição de estéril da mina e rejeito sólido da lixiviação.  
Fonte: indústrias (INB, 1996).

#### 4.2.2 A Britagem

A britagem compreende a fase relacionada ao processo físico de cominuição do minério, divide-se em: britagem primária, britagem secundária e britagem terciária. Todas essas fases de britagem são controladas por uma sala de controle.

O minério após percorrer os três estágios de britagem cai sobre um transportador que recolhe a granulometria menor que 10 mm da peneira vibratória e ambos são conduzidos até a uma moega.

Após a britagem, segue-se o fluxo operacional, conforme ilustrado pela figura 17.



**Figura 17 – Fluxograma do Processo, da britagem ao produto final.**

Fonte: (INB, 1998).

#### 4.2.3 A Unidade de Tratamento Químico

##### Descrição do Processo

O processo de tratamento de minerais uraníferos consiste de uma associação de operações físicas e químicas, tendo como principais, o ataque ácido, a extração do urânio, sua concentração e sua obtenção em um estado sólido de grande pureza.

Estas operações permitem à Unidade de Tratamento Químico de Urânio, a produção de Diuranato de Amônio com uma concentração aproximada de 80% de  $U_3O_8$ , a partir de minérios onde as concentrações médias, são segundo suas origens, de 0,3 % de  $U_3O_8$ .

A seqüência das operações de Tratamento Físico e Químico de Urânio é a seguinte:

- Cominuição (Britagem)
- Lixiviação (em Pilhas)
- Clarificação dos Licores
- Extração de Urânio
- Reextração de Urânio
- Precipitação do Diuranato de Amônio
- Filtração e Lavagem do Diuranato de Amônio

- Secagem e Condicionamento do Diuranato de Amônio

A Cominuição compreende três estágios de britagem que convergem em uma granulometria em torno de 3/4 de polegada, visando na seqüência à formação das pilhas de lixiviação e exposições dos minerais de urânio ao ataque de ácido sulfúrico.

Após percorrer todo o trajeto do britador primário à moega, o minério é homogeneizado e lançado no pátio de lixiviação através de *stackers*, conforme figura 18, formando pilhas trapezoidais com altura aproximada de 5 metros.



**Figura 18 - Vista lateral no pátio de lixiviação.**  
Fonte: (INB, 2004).

Após formação das pilhas é montada toda uma rede de tubos finos interligados a um tubo de diâmetro maior que serve como tronco principal ao processo de irrigação da solução ácida.

A solução é transmitida ao tronco principal e este às suas ramificações, que por sua vez vão ser distribuídas na massa de minério da pilha, conforme mostrado na figura 19.



**Figura 19 - Tronco irrigando a pilha de lixiviação com ácido sulfúrico.**  
Fonte: (INB, 2003).

A lixiviação em pilha é sem dúvida uma alternativa econômica frente aos métodos convencionais e agride menos ao meio ambiente. A experiência tem mostrado que a lixiviação *in situ* provoca danos de grande magnitude ao conjunto das águas subterrâneas, devido a ser um processo que tem interface direta com este tipo de água.

O sistema empregado para a lixiviação em pilha consiste na montagem de pilhas de minério que são submetidas à lixiviação por ataque de ácido sulfúrico (aproximadamente de 3 dias), seguida de recirculação do licor efluente destas (aproximadamente de 20 dias) e uma etapa final de lavagem (aproximadamente de 6 dias). Após esse período, as pilhas lixiviadas são removidas e transportadas para as pilhas de estéril/rejeito. A área impermeabilizada é então novamente utilizada para a montagem de uma nova pilha, repetindo-se o processo.

A lixívia coletada das pilhas passa, a seguir, por uma etapa de clarificação que tem como objetivo produzir licor uranífero com as características necessárias para o tratamento por extração com solvente.

O licor proveniente das pilhas, contendo urânio em solução, é enviado para etapa de clarificação.

O licor é então clarificado com adição de flocculantes, para separação de micro partículas de minério ainda presentes na lixívia e que podem prejudicar a extração de urânio pela fase orgânica. Após a clarificação, o licor ácido é filtrado em filtros de carvão e enviado para a área de extração por solventes, onde o urânio da fase aquosa é extraído em células de extração para a fase orgânica, constituída de uma mistura de alamina, tridecanol e querosene.

Esta extração, além da purificação, permite o aumento da concentração de urânio na fase orgânica. Da extração, a fase orgânica é enviada a reextração de urânio, onde este é extraído por uma solução de cloreto de sódio. As fases de extração e reextração de urânio permitem que se consiga um aumento na concentração de urânio de 36 vezes à inicial.

Após estas etapas, a solução ácida de cloreto de sódio carregada com urânio, é enviada para a unidade de precipitação, filtração e secagem de diuranato. Nessa unidade, o urânio é precipitado com solução de hidróxido de amônio à temperatura de 70°C, em dois reatores em série para a formação de diuranato de amônio.

Em seguida a precipitação, a lama contendo diuranato de amônio é espessada em um decantador e enviada a um filtro esteira horizontal a vácuo. Para evitar a contaminação do produto pelo sódio, que estaria presente como diuranato de sódio, o precipitado passa por uma lavagem, no filtro esteira, com solução de sulfato de amônio onde ocorre a troca iônica dos íons  $\text{Na}^+$  pelos íons  $\text{NH}^+$ .

Da descarga do filtro, a lama de diuranato de amônio é enviada para o sistema de secagem onde a umidade é reduzida. Na unidade de secagem a umidade do DUA é reduzida de 50% para menos de 1%, retirando a água presente através da troca térmica com vapor saturado de 10  $\text{Kgf/cm}^2$ , encamisado no interior do secador.

Da secagem, o diuranato de amônio é levado por transporte pneumático para o silo de estocagem conforme apresentado na figura 20.



**Figura 20 – Etapa final do processo de produção do *yellow cake*.**

**Fonte: (INB, 2003).**

Deste silo, com capacidade de 20t, o Diuranato de Amônio é descarregado periodicamente em tambores de 200 litros.

O *overflow* do espessador, juntamente com os filtrados, são enviados para a unidade de Estocagem e Preparação de Reagentes para a preparação da solução de cloreto de sódio.

Para evitar perdas de produto e poluição ambiental, todos os sistemas de manuseio de sólidos são conectados a um sistema de despoeiramento por via seca.

Para transporte do *yellow cake*, o produto é armazenado em tambores de 200 litros (processo denominado de entamboramento) até a totalização de 15 a 17t para embarque rumo ao porto de Salvador. Uma amostra primária é, periodicamente, retirada para controle de qualidade do produto final.

O produto obtido é o diuranato de amônio. A tabela 11 abaixo dá uma visão geral do produto (INB, 1996).

<b>Tabela 11 – Características do produto. Fonte INB (1996)</b>		
Densidade Real	1,14 a 1,4 t/m <sup>3</sup>	
Densidade aparente	6,0 a 8,0 t/m <sup>3</sup>	
Umidade	< 5% (máxima)	
Análise Química	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	≈ 84%
	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	≈ 3,2%
	PO <sub>4</sub>	≈ 0,0028%
	Fe	≈ 0,0021%
	Ca	≈ 0,001%
	SO <sub>4</sub>	≈ 3,2%
	K	≈ 0,05%

A usina de processamento químico do urânio, construída pela Andrade Gutierrez é uma instalação moderna e segura, tendo sido concluída sua construção no ano de 1999. A figura 21 mostra alguns aspectos na área da usina.



**Figura 21 – Vista geral da usina de processamento químico do minério.**  
**Fonte: INB (2005).**

## Gerenciamento de Rejeitos

O gerenciamento dos rejeitos engloba as atividades de identificar, qualificar, tratar e dispor ou liberar esses materiais. Rejeitos sólidos do beneficiamento do minério são gerados na lixiviação em pilhas. O rejeito ainda nas pilhas, é submetido a duas lavagens com água levemente acidulada durante 10 dias (5 dias para cada lavagem), para a total eliminação do urânio lixiviado, sendo, ainda, realizada uma lavagem com água durante 5 dias para o esgotamento do ácido utilizado. A tabela 12 apresenta a composição química do rejeito sólido da lixiviação.

U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0,08%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,4%
TiO <sub>2</sub>	0,3%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,3
SiO <sub>2</sub>	57,0%

O rejeito sólido é retirado das pilhas de lixiviação em caminhões basculantes com capacidade para 23 t e, transportados para as áreas de disposição de rejeito, as quais também são para disposição de material estéril proveniente da mina. Os materiais (rejeito e estéril) são dispostos em camadas intercaladas de estéril, rejeito e argila (INB, 1996).

A disposição de rejeitos, na fase de operação, implica na criação de novos módulos que também demandam decapeamento do solo. As camadas de solo superficial existentes nessas áreas, ricas em húmus e com espessura média de 20 cm são decapeadas e acondicionadas em “leiras” construídas junto às áreas de disposição de estéril/rejeito para serem posteriormente aproveitadas enquanto recobrimento e substrato para revegetação das superfícies expostas das pilhas de rejeito sólido.

O rejeito líquido, numa vazão de aproximadamente 25m<sup>3</sup>/h, é um efluente aquoso sulfúrico (pH = 2,0) contendo valores de urânio inferiores a 3 ppm. Há a recirculação direta de 64% deste efluente e tratamento do restante.

O tratamento consiste na neutralização em dois estágios sendo no 1º com adição de calcário até atingir-se um pH = 4,0 e no 2º estágio com adição de leite de cal até o pH final de 8,0. Nestas condições o efluente é neutralizado, permitindo a precipitação dos

complexos metálicos formados de tal maneira que a sua especificação atinja as concentrações apresentadas na tabela 13.

pH = 7 a 8	Fe < 0,1 ppm
U < 0,1 ppm	PO <sub>4</sub> < 4 ppm
SO <sub>4</sub> < 615 ppm	Mn < 0,04 ppm
Mo < 0,1 ppm	As < 0,02 ppm
Na < 52 ppm;	Ca < 49 ppm
Ca < 49 ppm	Mg < 0,4 ppm

Para garantir que estas características se mantenham abaixo dos limites exigidos pelos órgãos ambientais, o empreendimento dispõe este efluente neutralizado na bacia de efluentes líquidos, onde após a decantação, é também recirculado, para o processo industrial na área de lixiviação em pilhas. A fração restante do processo de neutralização é encaminhada para reservatórios próprios para esta finalidade, denominados bacias de disposição de soluções líquidas. As figuras 22 a 25 mostram etapas do processo construtivo deste tipo de bacia.

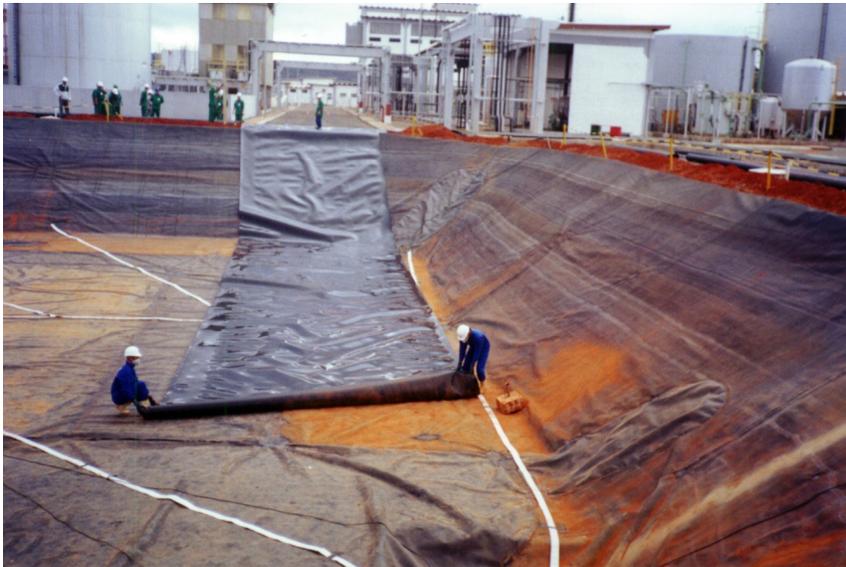


**Figura 22 – Construção das bacias de disposição de líquidos, terraplenagem.**  
Fonte: (INB, 2001).

São realizadas escavações no solo com dimensões determinadas em projeto, sendo o piso compactado com a presença de argila, aferindo-se através de ensaios de laboratório o grau de compactação deste piso para que atenda às necessidades requeridas. Após a compactação do piso e dos flancos da escavação, esta é revestida com mantas de PEAD, polietileno de alta resistência. Estas mantas impermeabilizam a escavação e são soldadas em faixas umas as outras, perfazendo uma única manta de PEAD.



**Figura 23 - Ensaio de compactação.**  
**Fonte: (INB, 2001).**



**Figura 24 - Colocação do revestimento de PEAD.**  
**Fonte: (INB, 2001).**



Figura 25 – Utilização de uma bacia de disposição de soluções líquidas.  
Fonte: (INB, 2001).

### ***4.3 Impactos Ambientais Provocados pelo Empreendimento***

Um impacto ambiental decorre de alguma atividade humana, ou seja, de ações que produzam alterações no meio, em alguns ou em todos os fatores componentes do sistema ambiental. O setor mineral visto sob a ótica da produção, é um fator indutor de investimentos, capaz de gerar empregos, melhorar as condições de infra-estrutura, aumentar a arrecadação de impostos e, conseqüentemente, promover o desenvolvimento de uma região.

Por outro lado, devido a sua própria natureza, a mineração constitui-se em uma atividade que implica em alterações das condições ambientais, afetando tanto o ambiente interno como o ambiente externo da área minerada, provocando expressivo impacto sobre os meios físico, biótico e antrópico. Alguns impactos chegam a atingir proporções consideráveis, muitas vezes tornando áreas totalmente inaproveitáveis, tanto pelo aspecto físico como econômico.

Na área da URA, parte da área do empreendimento encontra-se em seu estado natural. A via de acesso principal ao empreendimento é através de estrada de terra utilizada pela comunidade da região. Os locais de captação de água consistem de 139 poços tubulares, que provêm água não só para o empreendimento, mas abastecem a comunidade local, que antes se servia de água proveniente de poços amazonas. Estes poços amazonas são

provenientes de águas livres no solo e constituem na maioria das vezes, grandes fontes de patologias.

É importante salientar que o empreendimento em questão segue à risca o controle de impactos ambientais apresentados em sua área de atuação. Há um controle rigoroso e progressivo, na medida em que a legislação ambiental avança e que o há surgimento de novas técnicas e tecnologias de ação na tentativa de mitigar os impactos ambientais apresentados.

Durante a concepção e o desenvolvimento dos projetos da URA, adotou-se como premissa básica a eliminação ou, quando impossível, a minimização da geração e disposição de resíduos e efluentes. Procurou-se, também, avaliar esses resíduos e efluentes pelos seus respectivos potenciais de contaminação química do meio ambiente, introduzindo sistemas de contenção e tratamento que, a rigor, seriam dispensáveis se avaliados pelos aspectos radiológicos.

#### **4.3.1 Parâmetros de Referência Adotados na URA**

O gerenciamento de rejeitos radioativos na URA segue parâmetros de referência estabelecidos pela CNEN. Estes parâmetros estão aqui descritos de maneira sucinta como mostrado a seguir.

Gerência de Rejeitos Radioativos (Norma CNEN-NE-1.13): conjunto de atividades administrativas e técnicas envolvidas na coleta, segregação, manuseio, tratamento, acondicionamento, transporte, armazenamento, controle e disposição de rejeitos radioativos.

Rejeito radioativo (Norma CNEN-NE-6.05): é qualquer material resultante de atividades humanas, que contenha radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados na Norma CNEN-NE-6.02 - Licenciamento de Instalações Radioativas, e para o qual a reutilização é imprópria ou não prevista.

Material Estéril: é qualquer material que não seja classificado como rejeito radioativo.

Material Radioativo (Norma CNEN-NE-6.05): material que contém substâncias emissoras de radiação ionizante.

Resíduos Sólidos (Norma NBR 10004 — Resíduos Sólidos): resíduos nos estados sólido ou semi-sólido, que resultam de atividades de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

O processo de produção de diuranato de amônio – DUA - na URA gera os seguintes “resíduos”:

Na Lavra - Sólidos: estéreis da mina; Líquidos: águas de drenagem da mina; Gases: emanção de radônio, gases e vapores da queima de combustíveis e explosivos.

Poeiras: de estéreis e minério.

Na Usina - Sólidos: rejeito sólido do processo de lixiviação com teor de urânio reduzido); equipamentos obsoletos e deteriorados, luvas, papéis, roupas e outros; Líquidos: refinado (Denomina-se refinado aquoso ao licor de urânio após a extração desse elemento na área de extração e reextração do urânio. O refinado aquoso mantém as características físicas e químicas do licor de urânio, com exceção da concentração desse elemento, que se reduz para  $< 0,003$  g/l) da extração de urânio; polpa da descarga (“underflow”) do decantador da clarificação do licor de urânio; polpa da retrolavagem dos filtros de licor de urânio; solução sobrenadante (“overflow”) do decantador de polpa de DUA; filtrado da filtração de DUA; água de lavagem dos efluentes gasosos dos sistemas de secagem e embalagem de DUA. Gases: emanção de radônio das pilhas de minério; produtos da queima de combustíveis na caldeira e veículos; gases e ar de exaustão dos sistemas de secagem e embalagem de DUA. Poeiras: de minério na britagem e na formação das pilhas; de cal no sistema de estocagem, transferência e preparação de leite de cal; de DUA na secagem e embalagem do produto final.

### **Gerência de Rejeitos**

Nomenclatura adotada pela CNEN (INB, 1996). A gerência de rejeitos da URA foi desenvolvida para atender aos seguintes requisitos:

- ✓ Preservar a integridade do meio-ambiente local;
- ✓ Reciclar totalmente a água utilizada nos processos industriais;
- ✓ Dispor os estéreis da mina em encostas, em pilhas executadas por via seca, pelo método ascendente;
- ✓ Dispor o minério esgotado das pilhas de lixiviação consorciado com o estéril da mina;
- ✓ Utilizar todos os procedimentos e equipamentos disponíveis para eliminar a geração e/ou promover a retenção de poeiras em geral;
- ✓ Reciclar a maior quantidade possível dos líquidos, de forma a reduzir o tratamento ao mínimo necessário;
- ✓ Dispor a polpa resultante do tratamento dos resíduos líquidos em reservatórios fechados, tipo dique anelar, dotados de drenagens de fundo e nas laterais, que retêm a fase sólida e permitem a reciclagem da fase líquida (drenos sub-aéreos);
- ✓ Precipitar e reter os isótopos de rádio que, nos resíduos industriais líquidos, estejam presentes em concentrações superiores às permitidas para eventuais lançamentos ao meio-ambiente. As origens, quantidades, características, tratamentos aplicados e disposição final de cada resíduo são apresentados em seguida.

### **Sistema de Contenção e Reciclagem de Resíduos Líquidos**

O sistema compõe-se das seguintes unidades:

- a) Recalque e Adução do Efluente Líquido Tratado - desde a área de tratamento de efluentes líquidos da usina até a área de disposição;
- b) Bacias de disposição de soluções líquidas - construídas em terreno natural, entre a mina e a usina, para retenção do precipitado do efluente líquido e regularização, em circuito fechado, da água de chuva precipitada sobre as próprias bacias de disposição de soluções líquidas e da água agregada no processo de beneficiamento;
- e) Drenos Subaéreos - Implantados na base e taludes internos das bacias de disposição de soluções líquidas para promover o adensamento do precipitado e a recirculação controlada da fração líquida;
- d) Captação e Recalque da Água Recirculada desde a Caixa de Coleta dos Drenos Subaéreos até os tanques da água de processo da usina;

e) Sistemas de Controle Ambiental - trata-se de sistemas auxiliares, implantados com a finalidade de avaliar e monitorar o sistema operacional, tomando assim medidas preventivas e/ou corretivas para evitar ou minimizar eventuais danos ambientais causados pelo sistema de bacias de disposição de soluções líquidas - Drenos Subaéreos;

- ✓ Drenagem -Superficial - promove a captação, condução e desvio para a rede de drenagem natural das águas de chuva precipitadas nas áreas adjacentes à montante das bacias de disposição de soluções líquidas
- ✓ Impermeabilização das bacias de disposição de soluções líquidas evita que as águas retidas percolem pela fundação e, assim, protege o lençol freático de contaminação;
- ✓ Poços de Monitoração - instalados à montante e à jusante das bacias de disposição de soluções líquidas permitem monitorar as águas subterrâneas para detectar eventuais infiltrações;
- ✓ Reabilitação da Área - exaurida a capacidade de cada célula das bacias de disposição de soluções líquidas e após o adensamento do precipitado, sua superfície será impermeabilizada com uma camada de argila e recoberta com solo local, promovendo-se a drenagem superficial, conformação do relevo e condições paisagísticas adequadas à futura utilização da área.

As bacias de disposição de soluções líquidas com drenos subaéreos recebem os efluentes líquidos tratados resultantes do processamento químico do minério de urânio. Na neutralização desses efluentes líquidos são gerados precipitados finos que ficam retidos nas bacias de disposição de soluções líquidas na medida em que a fração líquida é drenada pela base e conduzida a um tanque, de onde é reciclada ao processo.

#### **4.3.2 Efeitos da Radiação**

Devido às atividades próprias do empreendimento, há a exposição à radiação do meio ambiente como um todo e principalmente dos profissionais que ali trabalham. Esta exposição é controlada seguindo os padrões adotados pela CNEN de forma a não deixar que as pessoas que trabalham em áreas propícias a grandes exposições, como a mina, por exemplo, apresentem elevadas doses de radiação (INB, 1996).

Este controle é realizado utilizando-se um filme dosimétrico, popular dosímetro. O trabalhador ao chegar à empresa coloca o dosímetro em suas vestimentas, como um crachá, vai para sua respectiva área de trabalho. No final do período laboral, este trabalhador

devolve o seu dosímetro para um quadro onde ficam todos os dosímetros pessoais do empreendimento.

Periodicamente os dosímetros são recolhidos pelo setor de radioproteção da empresa para que sejam feitas as devidas leituras e análises dos mesmos. Constatando-se, com antecedência, alguma medida de dose fora dos padrões permissíveis, o trabalhador é retirado temporariamente do local de trabalho, sendo substituído em sistema de rodízio, até que haja um tempo plausível, perante análise do setor de radioproteção, para o seu retorno àquele local de trabalho. Há também dosímetros afixados nos locais de trabalho, como medida garantidora da medição e até mesmo como possível retificadora das medidas individuais de cada trabalhador.

As doses permissíveis são de 50 milisievert/ano, valor aceito universalmente para trabalhadores e de 1 milisievert/ano, para a população em geral. Em linhas gerais, o milisievert representa uma dose capaz de causar um dano biológico. No caso do empreendimento, as doses apresentadas pelos trabalhadores estão muito abaixo da metade do limite permitido, que é de 50 milisievert/ano (INB, 1996).

#### **4.3.3 Águas Superficiais**

Quando se fala em Riacho das Vacas, Córrego do Engenho, Córrego Cachoeira, logo vem à mente fluxos de água como é comum se ver em outras regiões do país. Pois bem, estamos no semi-árido nordestino, região de caatinga, onde estes cursos d'água não são perenes. Só há água em suas calhas quando há precipitação. Sem a presença de precipitação há a interrupção do fluxo de água em suas respectivas calhas. Apesar da média pluviométrica do local se situar na faixa de 800 mm/ano, constatou-se no ano de 2004 e início do corrente ano de 2005, uma precipitação superior a 1000 mm/ano. O fato foi comemorado na região, pois várias pequenas barragens construídas na região não tinham sequer a metade de sua capacidade contemplada. Com as chuvas intensas não só encheu as pequenas barragens, como também houve o sangramento pelos vertedouros (INB, 1996).

#### **4.3.4 Avaliação do Risco de Poluição da Água Subterrânea**

Ao longo dos últimos dois anos vêm sendo realizados estudos hidrogeológicos na área de intervenção do empreendimento pela empresa de engenharia geológica GEOSERVICE engenharia geológica. Neste trabalho identificaram-se muitas variáveis que fazem e outras

que de certa forma irão fazer parte do escopo do estudo hidrogeológico da URA até, pelo menos, o seu fechamento.

A água subterrânea constitui o principal manancial de água para a URA e para as comunidades rurais vizinhas ao empreendimento. Considerando a importância desse recurso natural para a manutenção das atividades humanas na área do empreendimento, torna-se necessária a proteção dos sistemas aquíferos locais para evitar a deterioração da qualidade da água subterrânea (GEOSERVICE, 2004).

A poluição de aquíferos ocorre, geralmente, através da infiltração pelo solo de contaminantes existentes na superfície do terreno. Em poucos casos os contaminantes são liberados diretamente no aquífero, como, por exemplo, nos poços de injeção de efluentes, ou em vazamentos de tanques subterrâneos de armazenamento situados próximos ao nível d'água subterrânea (GEOSERVICE, 2004).

Normalmente, os perfis de solos naturais agem ativamente na atenuação da poluição subsuperficial. Enquanto são transportados por entre as partículas de solo, os contaminantes são degradados por bactérias e outros microorganismos que vivem no solo, e por reações químicas com minerais e compostos químicos que estão presentes no solo.

Grande parte da degradação química e biológica ocorre na parte superior do perfil do solo, onde os solos normalmente são mais quentes, úmidos, apresentam alto conteúdo de matéria-orgânica e são bem aerados. A matéria orgânica presente no solo, além de propiciar um excelente ambiente para a degradação biológica e química de muitos contaminantes, contribui para a retardação da contaminação, já que muitos contaminantes são adsorvidos pela matéria orgânica (GEOSERVICE, 2004).

Porém, nem todos os perfis de solos são igualmente efetivos na atenuação de poluentes. O grau de atenuação também varia conforme os tipos de poluentes e de processos causadores da poluição em um determinado ambiente (GEOSERVICE, 2004).

A capacidade natural do solo em atenuar poluentes presentes em subsuperfície é limitada. Em certas situações, como chuvas intensas, irrigação e vazamentos químicos, a capacidade

de atenuação do solo pode ser excedida, permitindo o transporte subsuperficial de contaminantes.

Nesses casos, a constituição do material geológico em subsuperfície e a distância em que os contaminantes devem percorrer para atingir a água subterrânea são fatores importantes para determinar se os contaminantes realmente atingirão a água subterrânea, e o tempo necessário para que isto ocorra.

### **Conceitos Fundamentais**

O termo vulnerabilidade do aquífero à poluição é utilizado para representar as características intrínsecas da camada que separa o aquífero da superfície do terreno que determinam sua sensibilidade para ser adversamente afetado pela aplicação de uma carga de contaminantes em superfície (GEOSERVICE, 2004).

Segundo FOSTER et al. (2002), a vulnerabilidade do aquífero é basicamente função da:

- ✓ Acessibilidade do aquífero, em termos hidráulicos, à penetração de poluentes;
- ✓ Capacidade de atenuação da camada sobreposta à zona saturada, resultante da retenção físico-química ou reação dos poluentes.

O risco de poluição da água subterrânea pode ser definido como a probabilidade de contaminação da água subterrânea, na parte superior de determinado aquífero, por atividades que ocorrem na superfície do terreno, e que tornam a água subterrânea inadequada ao consumo humano (FOSTER et al., 2002).

O risco de poluição da água subterrânea, ainda segundo esses autores, é função da interação entre:

- ✓ A vulnerabilidade do aquífero à poluição, resultado das características naturais da camada que separa o aquífero da superfície do terreno;
- ✓ A carga de contaminantes que é, será ou pode ser aplicada ao ambiente subsuperficial como o resultado de atividades humanas.

A vulnerabilidade dos aquíferos à poluição pode ser apresentada na forma de mapas. Os resultados do inventário das potenciais fontes de contaminação são sobrepostos aos mapas de vulnerabilidade para a avaliação de risco de poluição dos aquíferos.

Segundo FOSTER et al. (2002), a poluição de um determinado aquífero poderá resultar na degradação da qualidade da água subterrânea de um poço utilizado para abastecimento de água potável (ou para quaisquer outras finalidades), dependendo primeiramente da localização da zona contaminada em relação à zona de captura de água subterrânea do poço em questão, e secundariamente da mobilidade e dispersão dos contaminantes presentes no aquífero.

A avaliação do risco de poluição de poços de abastecimento de água é realizada sobrepondo o mapa das zonas de captura de água subterrânea dos poços investigados sobre o mapa de vulnerabilidade do aquífero, e relacionando as zonas delimitadas às informações do inventário de atividades/indústrias potencialmente poluidoras (FOSTER et al., 2002).

Os principais conceitos relativos à avaliação de risco de poluição de águas subterrâneas estão descritos acima. Porém, durante as avaliações de risco de poluição das águas subterrâneas, deve-se levar em conta que:

- ✓ Todas as águas subterrâneas são, em algum grau, vulneráveis à poluição;
- ✓ A incerteza é inerente em todas as avaliações de vulnerabilidade à poluição;
- ✓ Em sistemas complexos de avaliação da vulnerabilidade existe o risco do óbvio ser obscurecido, e do sutil ficar indistinguível.

### **Mapa da Vulnerabilidade do Aquífero à Poluição**

O mapeamento da vulnerabilidade de aquíferos é utilizado para identificar e classificar áreas susceptíveis à contaminação da água subterrânea. Assim, os mapas de vulnerabilidade são utilizados de modo preventivo para priorização de áreas onde a proteção ou o monitoramento das águas subterrâneas é crítico.

Para o mapeamento da vulnerabilidade dos aquíferos, na área de influência do empreendimento, foi adotada a metodologia desenvolvida pela Organização Mundial de Saúde para utilização em países em desenvolvimento, o método GOD. Partiu-se de mapas topográficos e potenciométricos da área.

O método GOD (abreviação das palavras *Groundwater Occurrence, Overlying strata e Depth to Groundwater*) faz a caracterização da vulnerabilidade dos aquíferos à poluição utilizando informações fundamentais e comumente disponíveis para as áreas avaliadas:

- ✓ Grau de confinamento da água subterrânea no aquífero em questão;
- ✓ Composição litológica e grau de consolidação da zona vadosa ou da camada confinante;
- ✓ Profundidade do nível d'água.

A metodologia desenvolvida por (FOSTER et al., 2002) envolve os seguintes estágios.

- ✓ Identificação do tipo de confinamento da água subterrânea, e atribuição de um índice entre 0 e 1 de acordo com a escala apresentada;
- ✓ Especificação das características da camada existente entre o aquífero e a superfície em termos da composição litológica e grau de consolidação, e atribuição de um índice entre 0,4 e 1;
- ✓ Estimativa da profundidade do nível d'água subterrânea, e a sua classificação na escala de 0,6 a 1.

O índice de vulnerabilidade do aquífero à poluição é dado pelo produto dos índices atribuídos para cada componente acima, conforme mostrado na figura 26.

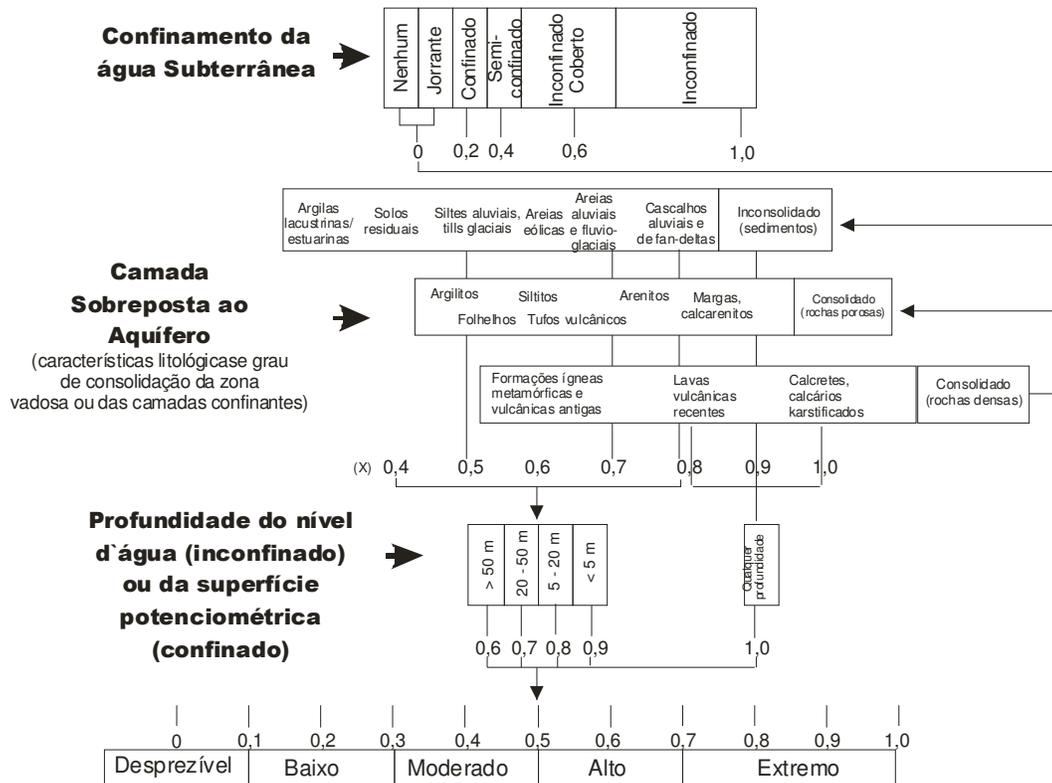


Figura 26 – Método GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero.

A tabela 14 apresenta definições práticas das classes de vulnerabilidade do aquífero à poluição.

<b>Tabela 14 -Classes de vulnerabilidade do aquífero à poluição. Fonte: GEOSERVICE (2002).</b>	
<b>Classe de Vulnerabilidade</b>	<b>Definição Correspondente</b>
Extremo	Vulnerável a grande parte dos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de poluição.
Alto	Vulnerável a muitos poluentes (exceto aqueles fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados) em muitos cenários de poluição.
Moderado	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando estes vazam ou infiltram continuamente.
Baixo	Vulnerável, em longo prazo, somente a poluentes conservativos, quando estes vazam ou infiltram continuamente e de forma expressiva.
<b>Desprezível</b>	O aquífero possui camadas confinantes com desprezível fluxo vertical de águas (percolação).

### **Resultados Obtidos**

A aplicação da metodologia GOD para o mapeamento da vulnerabilidade dos aquíferos na área do empreendimento foi realizada ponderando-se os fatores confinamento da água subterrânea, características da zona vadosa e profundidade do nível d'água (GEOSERVICE, 2004).

Quanto ao confinamento da água subterrânea tem-se que nos vales dos principais cursos d'água da área, o nível d'água subterrânea é mais raso, por vezes atingindo a camada de sedimentos aluvionares e coluvionares. Neste caso, o aquífero é de caráter livre (inconfinado). No restante da área, onde o nível d'água é mais profundo, o aquífero é formado pelas rochas gnáissicas e graníticas do Complexo Lagoa Real. Este aquífero é de caráter inconfinado coberto, pois sobre as rochas do aquífero fissural existe uma camada de solo, produto do intemperismo *in situ* das rochas cristalinas ou de processos sedimentares de transporte e deposição. Devido às suas características hidrodinâmicas, a camada de solo residual não pode ser considerada uma camada confinante do aquífero fissural (GEOSERVICE, 2004).

A atribuição dos índices de confinamento da água subterrânea foi realizada com base nos resultados de um modelo numérico de fluxo de águas subterrâneas. Nas áreas onde o nível d'água subterrânea do sistema aquífero estudado está acima da base da camada 1 do modelo, ou seja, o nível d'água subterrânea atinge a camada de sedimentos aluvionares e coluvionares, foi atribuído o valor 1 – aquífero inconfinado, de acordo com o proposto por FOSTER *et al.* (2002).

Nas outras áreas, onde o nível d'água subterrânea está abaixo da base da camada 1, foi atribuído o valor 0,6 – aquífero inconfinado coberto, pois neste locais existe uma camada de sedimentos aluvionares e coluvionares recobrindo as rochas gnáissicas e graníticas do aquífero fissural. A figura 27 ilustra a caracterização dos aquíferos inconfinos cobertos e aquíferos inconfinos.

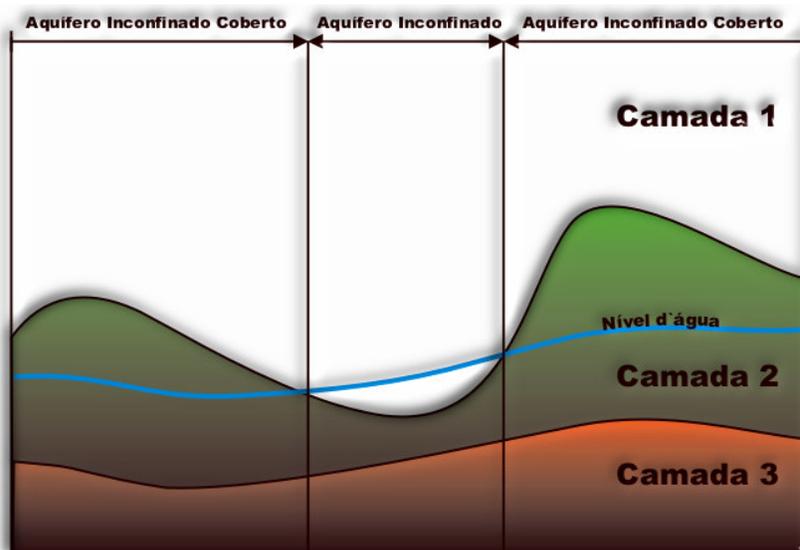


Figura 27 - Atribuição dos índices de confinamento da água subterrânea.  
Fonte: GEOSERVICE (2004).

### Características da Zona Vadoza

Para a atribuição dos índices para este fator foi utilizado o mapa pedológico da área. Os solos podzólicos, os latossolos e os cambissolos são solos residuais, ou seja, que se desenvolveram sobre os produtos da decomposição *in-situ* das rochas do Complexo Lagoa Real. Os solos hidromórficos são solos que se desenvolveram sobre os sedimentos aluviais quaternários.

Utilizando-se a classificação para os materiais da zona vadosa proposta por FOSTER *et al.* (2002), para os latossolos, cambissolos e solos podzólicos foi atribuído o índice 0,4. Para os solos hidromórficos, constituídos predominantemente por aluviões arenosos, foi atribuído o índice 0,7. O resultado é um mapa com os índices de cada um dos diferentes materiais constituintes da zona vadosa no local.

### **Profundidade do Nível d'água**

Para a elaboração do mapa de profundidade do nível d'água foram utilizados os mapas topográfico e potenciométrico da área. O mapa potenciométrico utilizado foi o obtido através do modelo numérico de fluxo de águas subterrâneas.

#### Mapa Profundidade do NA = Mapa Topográfico – Potenciométrico

O mapa de profundidade do nível d'água obtido foi então classificado conforme proposto por FOSTER *et al.* (2002):

- ✓ Profundidades menores que 05 metros: atribuído o índice 0,9;
- ✓ Profundidades entre 05 e 20 metros: atribuído o índice 0,8;
- ✓ Profundidades entre 20 e 50 metros: atribuído o índice 0,7;
- ✓ Profundidades maiores que 50 metros: atribuído o índice 0,6.

O resultado é um mapa com índices determinados conforme as diferentes faixas de profundidade do nível d'água local.

### **Resultados**

Concluída a fase de atribuição de índices, é realizada a multiplicação dos mapas obtidos para cada um dos fatores avaliados para a obtenção do mapa de vulnerabilidade dos aquíferos à poluição.

O mapa de vulnerabilidade dos aquíferos à poluição é apresentado na figura 28. Nesse mapa é possível observar que:

- ✓ Em aproximadamente 66,82% da área o aquífero apresenta desprezível a baixa vulnerabilidade;
- ✓ Em 26,68% da área o aquífero apresenta baixa vulnerabilidade à poluição;
- ✓ Em 4,50% da área o aquífero apresenta moderada vulnerabilidade à poluição;

- ✓ Em 2,00% da área o aquífero apresenta alta vulnerabilidade à poluição.

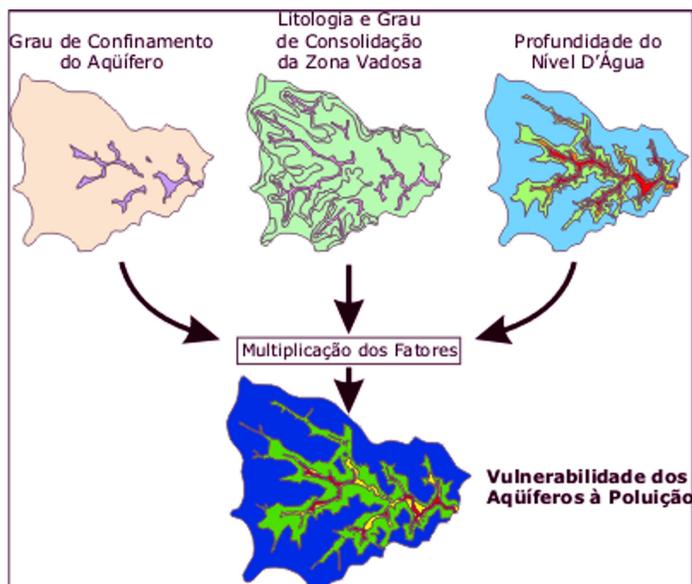


Figura 28 – Mapa de vulnerabilidade dos aquíferos à poluição.  
Fonte: GEOSERVICE (2004).

As áreas de maior vulnerabilidade do aquífero à poluição estão concentradas nos vales dos principais rios da região, onde o nível d'água subterrânea está à menor profundidade. Conforme aumenta a distância aos cursos d'água, menor é a vulnerabilidade do aquífero.

Nesse mesmo mapa é possível observar que a unidade industrial e os ponds da URA estão assentadas sobre áreas de desprezível a baixa vulnerabilidade do aquífero. A área da cava da mina está disposta, em grande parte, em área de baixa vulnerabilidade. Porém uma parte da cava está sobre área de alta vulnerabilidade do aquífero.

### Potenciais Fontes de Contaminação

Frente ao conjunto de atividades relativas à operação no empreendimento, foram definidas as potenciais fontes de liberação de contaminantes ao ambiente na área estudada:

- ✓ Área da Mina;
- ✓ Pilhas de lixiviação;
- ✓ Tanques de solução ácida;
- ✓ Área de Extração por Solventes Orgânicos;
- ✓ Ponds;
- ✓ Área de Disposição de Estéril e Rejeitos Sólidos da Lixiviação;

- ✓ Tanques de Armazenamento de Compostos Químicos (ácido sulfúrico, solventes, etc.).

### **Área da Mina**

- ✓ Modificações no sistema de fluxo das águas subterrâneas, tanto diretamente quanto indiretamente, como o resultado da abertura e operação de minas a céu aberto ou escavações subterrâneas;
- ✓ Aumento na vulnerabilidade dos aquíferos à poluição, como o resultado da remoção de partes da zona vadosa ou de camadas confinantes que oferecem proteção natural ao aquífero;
- ✓ Mobilização de metais pesados e outros compostos devido a mudanças no regime de fluxo das águas subterrâneas nas áreas lavradas e às mudanças nas condições hidrogeoquímicas.

### **Área da Usina de Processamento**

Mensalmente, são utilizados cerca de 18.000 m<sup>3</sup> da solução ácida. Grande parte desta solução (85%) é reciclada, voltando para o sistema. Após a saturação da solução ácida em urânio, esta é encaminhada para os tanques de solução ácida. No processo de extração de urânio são utilizados aproximadamente 300 m<sup>3</sup>/dia de solvente, que é totalmente reciclado.

Em várias etapas do processo de beneficiamento do minério para a obtenção do diuranato de amônia são produzidos efluentes líquidos, que são enviados para a bacia de contenção e reciclagem de efluentes líquidos. São enviados para a referida bacia aproximadamente 750 m<sup>3</sup>/dia de efluentes líquidos, com densidade igual a 1,05 g/cm<sup>3</sup> e cerca de 7% de sólidos. Os efluentes líquidos são reciclados e 100% reaproveitados. A fase sólida é enviada a área de disposição de rejeitos.

No processo de beneficiamento do minério uranífero, o principal resíduo sólido gerado constitui-se no rejeito sólido de urânio provindo da pilha de lixiviação. Este resíduo é lavado, para a retirada de todo o material solubilizado, e depois lavado com água neutra e lançado na área de disposição de estéril/rejeito. Não são detectados resíduos de acidez nestes rejeitos.

### **Classificação**

Existem, na literatura especializada, vários métodos para a avaliação do potencial de poluição de atividades provocadas pelo homem, porém são poucos os métodos que relacionam a atividade ao potencial de contaminação do subsolo. Maior ênfase é geralmente dada ao risco de poluição do ar ou de rios (FOSTER *et al.*, 2002).

Para a classificação das potenciais fontes de contaminação é bastante utilizado o sistema POSH. O sistema POSH (abreviação de *Pollutant Origin and Surcharge Hydraulically*) classifica as potenciais fontes de contaminação com base no tipo de atividade antrópica exercida e no potencial de contaminação do solo. As atividades potencialmente poluidoras podem ser classificadas em três níveis qualitativos de “potencial para geração de cargas contaminantes subsuperficiais”: reduzido, moderado e elevado.

No sistema POSH as potenciais atividades poluidoras são divididas em dois grupos principais:

- ✓ Fontes de poluição difusa: não geram plumas de poluição de água subterrânea facilmente delimitáveis, porém normalmente impactam uma grande área (volume) do aquífero;
- ✓ Fontes de poluição pontual: normalmente produzem plumas definidas e facilmente delimitáveis, porém afetam uma pequena área do aquífero (em comparação às fontes de poluição difusa).

As potenciais atividades poluidoras observadas na área estão incluídas no grupo de potenciais fontes de poluição pontual, como mostrado na tabela 15.

<b>Tabela 15 - Classificação de fontes de contaminação no sistema POSH.</b>					
<b>Fonte: GEOSERVICE (2004)</b>					
<b>POTENCIAL PARA CONTAMINAÇÃO SUBSUPERFICIAL</b>	<b>FONTE DE POLUIÇÃO</b>				
	<b>Disposição de Resíduos Sólidos</b>	<b>Áreas Industriais*</b>	<b>Lagoas de Efluentes</b>	<b>Miscelânea, Urbana</b>	<b>Lavra e Exploração de Minérios, Petróleo e Gás</b>
<b>Elevado</b>	Resíduos de indústrias tipo 3, resíduos de origem desconhecida	Indústrias tipo 3, qualquer atividade com manuseio de >100 kg/dia de compostos químicos perigosos	Todas as indústrias tipo 3, qualquer tipo de efluente (exceto esgotos residenciais) se área >5 ha		Campos petrolíferos, lavra de metais
<b>Moderado</b>	Resíduos domiciliares, resíduos de indústrias tipo 1, agroindustriais, se precipitação >500 mm/ano; todos os outros casos	Indústrias tipo 2	Esgotos residenciais, se ocupar área >5 ha; outros casos não descritos acima ou abaixo	Postos de gasolina, rotas de transporte com tráfego regular de produtos perigosos	Lavra de materiais inertes
<b>Reduzido</b>	Resíduos domiciliares, resíduos de indústrias tipo 1, agroindustriais, se precipitação <500 mm/ano	Indústrias tipo 1	Efluentes residenciais, misturados, agroindustriais e efluentes de lavra de não-metais se área <1 ha	Cemitérios	

\*Áreas contaminadas de indústrias abandonadas devem seguir a mesma classificação das áreas industriais ativas  
**Indústrias tipo 1:** mercenárias, fabricantes de comidas e bebidas, usinas de açúcar e álcool, processamento de materiais não-metálicos.  
**Indústrias tipo 2:** fabricantes de borracha, fabricantes de papel e celulose, indústrias têxteis, fabricantes de fertilizantes, materiais elétricos, sabão e detergente.  
**Indústrias tipo 3:** refinarias de petróleo/gás, fabricantes de produtos químicos, farmacêuticos, plásticos e pesticidas, curtumes, indústrias de eletrônicos e processamento de metais.

Utilizando a tabela do sistema POSH para classificar as diversas atividades realizadas na área estudada, obtemos:

- ✓ Cava da Mina: elevado potencial para contaminação subsuperficial;
- ✓ Área da Usina: elevado potencial para contaminação subsuperficial;
- ✓ Lagoa de Estocagem e Reciclagem de Efluentes: elevado potencial para contaminação subsuperficial;
- ✓ Área de Disposição de Resíduos: elevado potencial para contaminação subsuperficial.

### **Avaliação do Risco de Poluição do Aquífero**

O risco de poluição da água subterrânea pode ser definido como a probabilidade de contaminação da água subterrânea por atividades que ocorrem na superfície do terreno, e que tornam a água subterrânea inadequada ao consumo humano (FOSTER et al., 2002).

O risco de poluição da água subterrânea é função da interação entre:

- ✓ A vulnerabilidade do aquífero à poluição, resultado das características naturais da camada que separa o aquífero da superfície do terreno;
- ✓ A carga de contaminantes que é, será ou pode ser aplicada ao ambiente subsuperficial como o resultado de atividades humanas.

Os riscos de poluição da água subterrânea são maiores quando atividades capazes de produzir uma grande carga de contaminantes ao subsolo estão localizadas em áreas de alta ou extrema vulnerabilidade do aquífero, e vice-versa.

Para a avaliação do risco de poluição de água subterrânea, o mapa das atividades potencialmente poluidoras foi sobreposto ao mapa de vulnerabilidade do aquífero à poluição. O resultado é mostrado na figura 29.

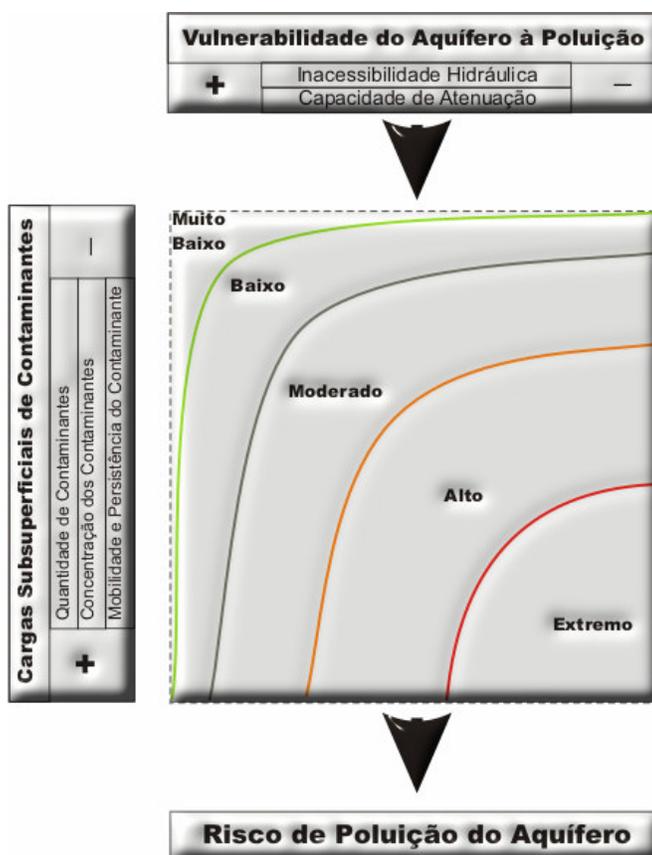


Figura 29 - Esquema de avaliação do risco de poluição da água subterrânea.  
Fonte: GEOSERVICE (2004).

Na figura 29 podemos observar que:

- ✓ A Usina e a Lagoa de Contenção de Efluentes (que são classificadas no sistema POSH como pontos de elevado potencial para contaminação subsuperficial) estão localizadas sobre área de desprezível a baixa vulnerabilidade do aquífero.
- ✓ A Área de Disposição de Rejeitos Sólidos (classificado como ponto de elevado potencial para contaminação subsuperficial) está localizado sobre área de baixa vulnerabilidade do aquífero;
- ✓ A Cava da Mina (classificada como ponto de elevado potencial para contaminação subsuperficial) está localizada sobre área de baixa a alta vulnerabilidade do aquífero.

Utilizando o sistema de avaliação do risco de poluição das águas subterrâneas sugerido por FOSTER et al. (2002):

- ✓ A Usina e a Lagoa de Contenção de Efluentes são pontos que oferecem baixo a moderado risco de poluição do aquífero local;
- ✓ A Área de Disposição de Rejeitos Sólidos oferece moderado risco de poluição das águas subterrâneas;
- ✓ A Cava da Mina oferece alto risco de poluição das águas subterrâneas (GEOSERVICE, 2004).

#### **4.4 Plano de Fechamento e PRAD**

No Brasil, a obrigação básica imposta a uma mineradora detentora de uma concessão de lavra, em relação ao fechamento de mina, é reabilitar a área minerada de acordo com o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), aprovado por uma agência ambiental competente. As exigências para a reabilitação segundo o PRAD usam conceitos estabelecidos mundialmente, de que a área deva ser deixada em um estado satisfatório, ou apropriada conforme estabelecido ou acordado para o uso final desta. Geralmente, as exigências requeridas são genéricas e de curta abrangência. O que se exige de um PRAD perante a legislação em vigor é: “O PRAD deve considerar uma solução técnica satisfatória na visão da mineradora para reabilitar o solo, degradado por eventual atividade de mineração, para uso futuro (IBAMA, 1990)”. Um PRAD aprovado pode ser revisto ou alterado mais tarde, com a concordância da agência ambiental competente, para incorporar inovações tecnológicas ou alternativas mais aceitáveis devido ao desenvolvimento dos trabalhos de mineração.

O desenvolvimento de um plano de fechamento necessita levar em conta as exigências ambientais, econômicas e aspectos sociais da operação. A tabela 16 mostra um esboço de comparação entre Plano de Fechamento e um PRAD. Na coluna da esquerda estão os conteúdos típicos de um Plano de Fechamento, com variada dependência nas circunstâncias individuais. A coluna da direita indica o conteúdo similar (+) e diferenças ou ausências (-) de um PRAD para típicos conteúdos de um plano de fechamento.

A tabela 16 apresenta comparações entre Plano de Fechamento e PRAD.

<b>Tabela 16 – Similaridades e diferenças entre Plano de Fechamento e PRAD.</b>	
<b>Plano de Fechamento</b>	<b>PRAD</b>
• Introdução e Descrição do Projeto	+
○ Posse da Terra	+
• Objetivos do Fechamento	-
• Base de Dados Ambientais	+
• Obrigações Legais e Outras	+
○ Estatutos Fundamentais e Regulamentos	+
○ Autoridade Responsável	+
○ Instrumentos Reguladores	-
• Envolvimento dos Atores Envolvidos	-
○ Identificação dos Atores Envolvidos	-
○ Consulta à Comunidade	-
• Avaliação dos Riscos	-
○ Legados Existentes	-
○ Riscos Futuros	-
○ Análise de Custo/ Benefício	-
• Critério de Fechamento	-
• Custos de Fechamento	-
○ Provisões	-
○ Garantias	-
• Plano de Ação para o Fechamento	-
○ Recursos Humanos/Responsabilidades	-
○ Reabilitação Progressiva	+
○ Descomissionamento	+
○ Remediação	+
○ Avaliação Geotécnica	+
○ Reconformação Topográfica	+
○ Revegetação	+
○ Aspectos Estéticos	+
○ Herança	+
○ Saúde e Segurança	+
○ Manutenção e Monitoramento Pós-Fechamento	-
• Monitoramento	+
○ Inspeção (estruturas remanescentes e áreas de contaminação)	+
○ Documentação	+
• Renúncia ao Título Minerário	-

## **Objetivos**

Em termos gerais, os Objetivos dos PRADs são similares aos de um plano de fechamento. Os objetivos maiores dos PRADs são para proteger o ambiente, saúde pública pela reabilitação da área de uma mina, levando-a um estado satisfatório em concordância com um uso pós-mineração. Entretanto, os meios para se alcançar estes níveis de satisfação são totalmente diferentes quando os conteúdos são comparados.

## **Envolvimento da Sociedade Civil – Atores Envolvidos**

O envolvimento público na tomada de decisão sobre o empreendimento em questão e o processo de gerenciamento são importantes fatores no reconhecimento da legitimidade da indústria, em desenvolver a confiança pública na habilidade e desejo da INB para conduzir seus negócios e uma maneira de responsabilidade ambiental, melhorando a qualidade das decisões sendo tomadas de acordo o gerenciamento. Os atores envolvidos são as partes que são potencialmente possíveis de ser afetadas pelo processo de fechamento de mina. Eles são distintos das partes interessadas, que têm interesse no processo ou resultados do fechamento de mina. A chave é a identificação dos atores envolvidos e as partes interessadas, desenvolvendo um bom relacionamento com eles. É fundamental para o sucesso do processo de fechamento. O objetivo é habilitar todos os atores envolvidos, para que eles tenham seus interesses considerados durante o processo de fechamento da mina.

## **Avaliação dos Riscos**

A avaliação de risco no planejamento para o fechamento de mina poderia reduzir custos e incertezas. Tendências atuais no planejamento em fechamento de mina envolvem a revisão e análise de risco e custo benefício em situações de engenharia e meio ambiente. O objetivo da aproximação do risco é reduzir custos e incertezas, já não se vê isto nos PRADs.

## **Critério de Fechamento**

Devido à falta de critério para fechamento de mina no Brasil, a maioria dos PRADs não especificam nem mencionam nenhum tipo de indicador que irá seguir para demonstrar uma conclusão próspera do plano de reabilitação. Ao Governo Brasileiro e à indústria de mineração faltam estes critérios.

## **Custos de Fechamento**

O objetivo da provisão financeira e garantias para a proposta de fechamento é assegurar que o custo de fechamento é adequadamente representado nas contas da empresa e que a comunidade não fica com a obrigação de recuperar o passivo deixado. A maioria dos PRADs não incluem a estimativa dos custos de reabilitação, assim como não demonstram que a provisão financeira foi provida. Somando-se a isto o fato de que o sistema regulatório vigente não requer qualquer forma de garantia. Há um risco de uma triste herança de obrigação perante o passivo deixado para a comunidade.

## **Plano de Ação**

A maioria dos PRADs analisados referem-se somente à reabilitação como um processo de revegetação. A maioria deles não inclui um programa de manutenção e monitoramento pós-fechamento.

## **Renúncia**

O objetivo final de um plano de fechamento é alcançar um ponto onde a companhia atingiu os critérios para conclusão do fechamento de forma satisfatória de acordo com a autoridade

responsável. Apesar da magnitude e complexidade do fechamento de mina, com o passar do tempo a maioria das empresas mineradoras irão ser capazes de satisfazer suas obrigações perante os órgãos reguladores.

Em resumo, na maioria dos programas de fechamento de mina das nações, como detalhado em um estudo de viabilidade, um plano de fechamento, um EIA ou um plano ambiental para mineração, são normalmente pré-condições para se adquirir uma licença. No Brasil, o PRAD é parte integrante do processo do EIA. O PRAD era para ser algo pelo menos mais próximo de um plano de fechamento. Entretanto, a realidade apresentada nos PRADs nos leva a algo bem longe disto.

## **CAPÍTULO 5 – PLANO DE FECHAMENTO**

### **5.1 Introdução**

Quando da implantação do empreendimento mineiro-industrial da INB em Caetité, Bahia, a empresa optou, sabiamente, por fazer o descomissionamento/fechamento simultaneamente com a operação de todo o complexo. Na medida em que as atividades ligadas à lavra e beneficiamento do minério vão avançando, vai-se recuperando em alguns lugares, de forma que os trabalhos a serem realizados quando da paralisação final das atividades do empreendimento sejam menos complexos e onerosos (INB, 1996).

Várias atividades ligadas ao descomissionamento/fechamento estão sendo desenvolvidas por vários profissionais num esforço multidisciplinar com o intuito de se atingir um elevado grau de respostas frente aos trabalhos empreendidos simultaneamente à operação do complexo. Há que se destacar a seriedade e a dedicação das pessoas envolvidas em tais atividades, não só na garantia de um ambiente protegido, mas também na construção de uma mentalidade pró-ativa junto aos funcionários da empresa e as comunidades circunvizinhas ao empreendimento.

Torna-se importante reafirmar que, apenas uma das 34 anomalias da Província Uranífera de Lagoa Real está sendo lavrada, a antiga anomalia 13, hoje Mina Fazenda Cachoeira. A vida útil desta mina estava prevista para 16 anos (envolvendo lavra a céu aberto e subterrânea). Estudos preliminares da cava final indicam uma vida útil da mina a céu aberto de mais 5 anos, ou seja, até 2010. Baseado nestas condições, optou-se por realizar um estudo conceitual de descomissionamento/fechamento de todas as instalações do empreendimento, considerando-se apenas a atual mina em operação, extendendo-se futuramente para as demais anomalias aquilo que couber, pois cada mina tem suas características próprias. Havendo necessidade de diferenciações específicas no plano de fechamento para cada anomalia/jazida/mina, estas se farão necessárias e prontamente planejadas e executadas.

Desde a implantação do empreendimento várias atividades ligadas ao meio ambiente vêm sendo desenvolvidas, dentre elas:

- ✓ Monitoramento e acompanhamento dos processos erosivos e de assoreamento;
- ✓ Acompanhamento da alteração da estrutura do solo;
- ✓ Acompanhamento da remoção de nutrientes e matéria prima;
- ✓ Recuperação das áreas degradadas;
- ✓ Educação ambiental;
- ✓ Gerenciamento dos resíduos sólidos das áreas administrativas e de apoio;
- ✓ Monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas;
- ✓ Monitoramento da qualidade do ar;
- ✓ Monitoramento ambiental da fase operacional.

## **5.2 Objetivo**

Um Plano de Fechamento tem por objetivo garantir que o processo de fechamento ocorra de uma maneira ordenada e com um custo efetivo segundo um cronograma definido, tendo por princípios:

- ✓ O fechamento de mina como parte do ciclo de vida da mina;
- ✓ Planejamento baseado em análise de riscos para redução de custos e incertezas;
- ✓ Plano de Fechamento representativo do status do projeto;
- ✓ Plano de Fechamento conceitual é requerido para assegurar que o processo seja tecnicamente, economicamente e socialmente exequível;
- ✓ Revisão periódica para refletir mudanças circunstanciais.
- ✓ Reabilitação progressiva com as operações
- ✓ Elaboração de um plano de descomissionamento – a pelo menos de 2 a 4 anos antes do fim das operações.
- ✓ Implementação de um Programa de Monitoramento e Manutenção – aproximadamente 5 anos após paralisação das atividades de lavra.

### **5.3 Critérios para Fechamento da Mina Fazenda Cachoeira**

Têm como objetivo estabelecer um conjunto de indicadores que demonstrem o sucesso do processo de fechamento (YOUNGER,2000). Seguem como princípios alguns pressupostos assim elencados:

1. A legislação aplicável à época do fechamento deverá ser clara sobre os requerimentos para um processo de fechamento.
2. É importante que seja de interesse de todos os atores envolvidos, o desenvolvimento de critérios de fechamento atingíveis e aceitáveis por todos os envolvidos.
3. Um conjunto de indicadores ambientais, acordado, será necessário para demonstrar o sucesso da reabilitação.
4. Critérios de fechamento são específicos para cada mina e devem refletir as características ambientais, sócio-econômicas e culturais da área.
5. Pesquisas são necessárias para auxiliar governo e indústria, na tomada de decisões.

### **5.4 Compromisso com os Atores Envolvidos**

É a possibilidade de que todos os atores envolvidos tenham seus interesses considerados durante o processo de fechamento (IAEA, 2004). Segue os seguintes princípios:

- ✓ A identificação dos envolvidos;
- ✓ A contínua consulta junto aos envolvidos durante toda a vida do projeto, efetivo envolvimento de todos os grupos na consulta;
- ✓ A estratégia de comunicação deve refletir as necessidades dos grupos envolvidos e os recursos adequados devem ser alocados para garantir a eficiência do processo.

#### **5.4.1. Benefícios do Processo de Consulta**

- ✓ Melhor qualidade das decisões;
- ✓ Maior motivação dos funcionários;
- ✓ Melhora das relações com o poder público constituído;
- ✓ Melhor aceitação das decisões;
- ✓ Melhora na reputação e imagem pública;
- ✓ Melhora na receptividade da comunidade para o projeto atual e projetos futuros.

### **5.4.2. Grupos Envolvidos**

#### **A INB-URA**

- ✓ Empregados (orgânicos e terceirizados)
- ✓ Coordenadores
- ✓ Gerência Local
- ✓ Comando Central no Rio de Janeiro

#### **A Comunidade**

- ✓ Executivo Municipal
- ✓ Legislativo Municipal
- ✓ Judiciário Municipal
- ✓ Empresários locais
- ✓ Proprietários de terra e vizinhos
- ✓ Sociedade Civil Organizada

#### **O Estado**

- ✓ Autoridades Responsáveis
- ✓ Agências Estaduais
- ✓ Agências Federais
- ✓ Ministério Público

### ***5.5 A Herança Deixada pelo Empreendimento***

Freqüentemente, o passivo ambiental permanece após o fechamento de uma mina. No contexto atual, governos, comunidades e companhias mineradoras mostram-se preocupados com estas responsabilidades, em longo prazo, associadas ao fechamento de minas. Passivos associados a fechamentos não planejados resultantes de falências durante operações são preocupações para todos. Há em muitos países o instrumento da garantia financeira que regula o cumprimento destas responsabilidades, e hoje a mesma abordagem se aplica também às responsabilidades de pós-fechamento, isto é, garantia financeira posta depois do fechamento para cumprir com as responsabilidades de longo prazo. Medidas pró-ativas para limitar estas responsabilidades de pós-fechamento e simultaneamente

prover novas oportunidades econômicas para as comunidades estão sendo implementadas por muitas companhias de mineração e pelas comunidades.

Como a INB optou por fazer o fechamento da unidade ao longo do tempo de vida do projeto, pode-se afirmar, com base nos relatórios e procedimentos da empresa, que esta vertente social tem, também recebido alguma atenção. A empresa utiliza de um espaço bem estruturado, no Centro de Estudos Ambientais (CEAM), para aplicar cursos voltados à comunidade do entorno. É algo ainda insipiente se comparado com o que poderia ser, mas, entretanto o plano de fechamento já deve considerar tais circunstâncias. A Figura 30 mostra um destes treinamentos para a população do entorno.



**Figura 30–Treinamento oferecido à comunidade do entorno pela INB, nas dependências do CEAM.  
Fonte: INB (2002).**

Além disto, a empresa perfurou vários poços tubulares com a finalidade de abastecer as comunidades do entorno do empreendimento, assim como o provimento de infra-estrutura para que esta água chegasse às casas destas pessoas. A empresa regularmente dá manutenção nas vias de acesso, não asfaltadas, da região. O poço apresentado na Figura 31 deu origem a um grande projeto agro-social para a região.



**Figura 31 - Poço do Pinga.**  
Fonte: INB (2004).

Poço do Pinga, perfurado na última das várias campanhas à procura de água para o funcionamento do empreendimento e abastecimento da comunidade local.

Há espaço para que se implante um projeto de assistência social no entorno do empreendimento, com atendimento médico, odontológico, psicológico, etc, bem como o oferecimento de cursos padrão SESC, SESI e SEBRAE à comunidade. Há também a possibilidade de se disparar várias outras ações no sentido de deixar algo para aqueles que ficam.

Hoje, a INB-URA já poderia ter uma pequena estação transmissora de FM, para se comunicar com as populações do entorno. Apresentar programas voltados para o melhor entendimento das operações realizadas dentro do complexo, treinamentos via rádio e até mesmo se fazer de elo entre aquelas pessoas, que por quaisquer motivos, não tenham condições momentâneas de comunicação.

## **5.6 Plano de Ação**

### **5.6.1. Descomissionamento**

A seleção de técnicas de descontaminação e desmantelamento é um importante fator que influencia o caráter e a quantidade de material gerado e que deve ser cuidadosamente considerado quando do planejamento e implementação do descomissionamento de forma a minimizar os procedimentos relativos a rejeitos (IAEA, 2004).

O processo de avaliação de tecnologia e seleção sempre é um intercâmbio entre eficiência no alcance da meta desejada e o custo global da opção selecionada. Uma razoável quantidade de tecnologias disponíveis é apresentada. Informações mais detalhadas podem ser obtidas sobre técnicas particulares em publicações específicas (IAEA, 1999).

A experiência em descomissionamento mostra que um processo desta envergadura, universalmente aplicável, não existe. No caso da URA deve-se familiarizar com as características das técnicas propostas, para se fazer escolhas adequadas fundamentadas em exigências específicas para o local e as instalações existentes.

A descontaminação é definida como a remoção de contaminação das superfícies de instalações ou equipamentos pelo processo de lavagem, aquecimento, ação química ou eletroquímica, limpeza mecânica, ou outras técnicas.

Em programas de descomissionamento de instalações nucleares, os objetivos da descontaminação são:

- ✓ Reduzir a exposição à radiação;
- ✓ Salvar equipamentos e materiais;
- ✓ Reduzir o volume de equipamentos e materiais que requerem armazenamento e disposição em instalações de disposição autorizadas;
- ✓ Restaurar o local e instalação, ou separar para um estado de uso incondicional;
- ✓ Remover contaminantes radioativos dispersos e fixar a contaminação restante dentro de um local em preparação para armazenamento protetor ou disposição permanente;
- ✓ Reduzir a magnitude da fonte radioativa residual em um módulo de armazenamento protetor ou reduzir o período de armazenamento protetor.

Em várias publicações da IAEA, aparecem três fases básicas de descomissionamento, que mencionam a remoção de combustível gasto, fluidos de processo e rejeitos operacionais, normalmente como atividades denominadas de pré-descomissionamento. Estas definições são, principalmente, aplicadas ao descomissionamento de instalações que têm a presença de reatores nucleares, não é o caso da URA. As definições adaptadas das fases básicas estão resumidas abaixo:

Estágio 1 – Fechamento seguro com vigilância. Não menciona a liberação do local para uso não nuclear.

Estágio 2 – Extensiva descontaminação do empreendimento, demolição parcial e remoção de sistemas da usina. Limitada à liberação parcial do local para uso não nuclear.

Estágio 3 – Descontaminação e demolição da usina até a liberação incondicional do sítio para uso não nuclear.

As possíveis estratégias de descomissionamento são, em geral, como se segue logo abaixo:

- ✓ Completo descomissionamento imediatamente depois da paralisação final das operações;
- ✓ Manutenção da usina em condições de fechamento seguro durante vários anos;
- ✓ Desmantelamento em vários passos, subseqüentes até o fechamento seguro no espaço de tempo apropriado.

Além disso, o descomissionamento de uma instalação nuclear normalmente abrange três fases principais:

- I. Limpeza inicial e descontaminação preliminar, onde for necessário e possível;
- II. Desmantelamento e remoção dos sistemas e equipamentos, com descontaminação de forma apropriada;
- III. Demolição ou reutilização (condicional ou incondicional) de edificações e estruturas.

Qualquer sucessão deverá forçosamente envolver períodos intervenientes de fechamento seguro, dependendo das opções escolhidas para o projeto em questão. A escolha de uma estratégia de descomissionamento é principalmente baseada na técnica empregada, segurança, órgãos reguladores e considerações de custo, requerendo um exame variado de possíveis ações, junto com a comparação das vantagens e desvantagens de cada uma (IAEA, 1999).

As políticas gerais de um país em desenvolvimento, no que tange a energia nuclear e sua política particular de gerenciamento de rejeitos podem ser fatores principais na decisão e na seleção de uma estratégia de descomissionamento. Levando em conta estas considerações gerais e dependendo do porte, do tipo de instalação para ser descomissionada e na estratégia escolhida, diferentes tipos e quantidades de material contaminado serão produzidos através das operações de descomissionamento.

Para cada opção, é necessário considerar a minimização da geração de atividades, o volume de rejeitos para armazenamento e disposição e o impacto ambiental conseqüente, como também a minimização dos custos totais associados com o gerenciamento de material contaminado. Como resultado, as estratégias e técnicas selecionadas para atividades de descomissionamento têm um impacto grande na minimização de rejeitos e isto precisa ser considerado ao selecionar opções satisfatórias.

Quando for decidido finalmente pelo descomissionamento da URA, ou ao se planejar as operações para uma paralisação final das atividades, um conjunto de decisões estratégicas, táticas e técnicas devem ser considerados. Um adequado programa de minimização e gerenciamento de rejeitos são componentes importantes em todas estas conseqüentes decisões.

Decisões estratégicas de descomissionamento recorrerão às decisões que estão preocupadas em estabelecer o melhor momento para dismantelar a instalação completamente, e as fases para um melhor dismantelando (IAEA, 2004). Escolhas adequadas devem ser feitas, baseadas em um exame das várias e possíveis ações, com uma comparação, das vantagens, desvantagens e custos de cada uma, e levando em consideração a política nuclear do país. Isto deve incluir:

- ✓ A responsabilidade de órgãos oficiais;
- ✓ Os regulamentos pertinentes que regem a segurança nuclear e a proteção radiológica (inclusive organização e procedimentos);
- ✓ Legislação trabalhista e normas de segurança industrial;
- ✓ Considerações sociais e econômicas.

Na seleção de uma estratégia de descomissionamento, as seguintes considerações técnicas, econômicas, sociais e órgãos reguladores devem ser levadas em conta, algumas das quais fazem parte dos principais elementos da estratégia de minimização de rejeitos:

- ✓ Condição material da instalação após a paralisação das atividades. Isto envolve uma avaliação do estado de envelhecimento dos equipamentos, estruturas e retenções; A condição material define a manutenção, vigilância e exigências de inspeção necessárias para que se mantenha em um estado seguro de paralisação das atividades no período exigido, evitando degradação de equipamentos, estruturas e retenções, minimizando a expansão de contaminação, e prevenindo para o descomissionamento não ficar mais difícil em uma fase posterior.
- ✓ Contaminação radiológica da instalação. Envolve a avaliação de perigos potenciais. Irá prover a orientação no gerenciamento de rejeitos e as opções de minimização de rejeitos para ser adotadas. Restrições devido à segurança nuclear e proteção radiológica, segurança industrial e os estudos de análise de risco relacionados tornam possível avaliar os melhores meios de proteção, avaliar como os aspectos radiológicos podem ser aperfeiçoados, e para determinar as exigências de manutenção, inspeção, monitoramento e vigilância. A possível deterioração de equipamentos, estruturas e retenções, também devem ser consideradas, como também a minimização e a expansão de contaminação (IAEA, 2004).
- ✓ Disponibilidade de uma infra-estrutura de gerenciamento de rejeitos. Isto inclui armazenamento e disposição e uma avaliação das quantidades diferentes de materiais radioativos que serão produzidas pelas operações de desmantelando.
- ✓ Regulação da reciclagem de materiais e equipamentos no domínio público e as várias possibilidades para armazenamento de rejeitos. Isto é para evitar armazenamento desnecessário de quantidades grandes de rejeitos radioativos e levar em consideração a política nacional, a existência de um local e o gerenciamento e condições técnicas de armazenamento.
- ✓ Serviços referentes à operação, manutenção, instrumentação e vigilância. Estes representam a garantia da segurança em manter os equipamentos que permanecem em serviço (controlando equipamentos, materiais elétricos, ventilação, instrumentos de vigilância radiológica, monitoramento de incêndio, etc.), com atenção particular para as partes da usina que podem deteriorar em longo prazo.

- ✓ Possibilidade de reutilização do sítio e edificações, e de recuperação da usina, equipamentos e materiais para outras instalações nucleares ou outras propostas (sem negligenciar os aspectos políticos e sociais). Isto apresenta incentivos importantes pela consideração nas práticas de descontaminação e significativa redução na quantidade potencial de rejeitos radioativos remanescentes (IAEA, 2004).
- ✓ Existência de recursos técnicos e equipes de especialistas e suporte local para desmantelando, descontaminação e controle de material contaminado.
- ✓ Custos e Financiamento. Conhecimento do custo de cada possível tarefa a ser executada é necessário, inclusive o custo de mão de obra, materiais e suprimentos, como também custos de financiamento e custos poupados em função de se aplicar princípios e técnicas de minimização de rejeitos.
- ✓ Considerações Sociais. Estes incluem a opinião pública sobre tratamento de rejeitos radioativos versus a reciclagem e as opções de reutilização, que normalmente são levadas em consideração por meio de procedimentos e propostas que são submetidos à aprovação de órgãos reguladores.

A tabela 17 estabelece as estratégias para o descomissionamento.

<b>Tabela 17 – Estratégias para o descomissionamento. Fonte: IAEA (2004)</b>		
Fase	Decisão Requerida	Fatores na Tomada de Decisão
Decisões Estratégicas	Cronograma para execução	Avaliação técnica e econômica para a decisão de descomissionamento.
	Estágios antes da execução	Política nacional de descomissionamento e gerenciamento de rejeitos.
		Considerações técnicas, regulatórias, econômicas e sociais:
		1. Condições materiais para o fechamento após a paralisação das atividades.
		2. Condições radiológicas da instalação após a paralisação das atividades.
		3. Restrições devido à segurança nuclear e proteção e segurança industrial.
		4. Disponibilidade de infra-estrutura para gerenciamento de rejeitos.
		5. Regulação da reciclagem e reutilização de materiais.
		6. Serviços referentes à operação, manutenção, instrumentação e vigilância.
		7. Possibilidade de reutilização do sítio, edificações, estruturas da planta, equipamentos e materiais.
8. Existência de recursos técnicos, equipe de especialistas e suporte local.		
9. Custos e Financiamento.		
10. Considerações sociais, opinião pública.		
Decisões Táticas	Inventário das atividades de descomissionamento	Restrições por órgãos reguladores
	Gerenciamento das atividades de descomissionamento	A reunião de melhores condições de proteção segurança a custos mais baixos.
	Otimização dos custos, Cronograma de trabalhos, Medidas de doses dos trabalhadores.	Doses individuais e cumulativas dos trabalhadores
	Determinação de ações técnicas sobre:	Minimização das quantidades de rejeitos e efluentes produzidos e otimização dos custos e seu gerenciamento
	1. Descontaminação ou fixação de Contaminação	Ferramentas e Processos
	2. Remoção de grandes peças ou redução de tamanho	
	3. Cortes sob água ou ar	
	4. Controle do rejeito no sítio ou centralizado	
5. Modos de acesso e Rastreamento de material contaminado		
6. Métodos de proteção, segurança física e segurança industrial, estimativa de custos e esquema das operações.		
Decisões Técnicas	Instalações técnicas mais apropriadas	Características técnicas de equipamentos e processos para fomentar as decisões táticas
	Retirando ferramentas e sistemas remotamente controlados	
	Processo de descontaminação	
	Gerenciamento de materiais radioativos e efluentes	
	Métodos de proteção radiológica e segurança industrial	

Decisões táticas levam em consideração as restrições regulatórias e características específicas da instalação a ser descomissionada. Dentro de uma determinada estratégia, é necessário determinar as tarefas que precisam ser levadas a cabo para determinar as ações técnicas para suas respectivas implementações, e administrar estas tarefas em ordem de

forma a otimizar os custos, respeitar o cronograma das atividades, minimização de rejeitos e acompanhamento das doses medidas em trabalhadores.

Durante estas avaliações, as principais técnicas são escolhidas por:

- ✓ Decisão entre descontaminar ou fixar a contaminação, se equipamentos ou partes de equipamentos que possam ser reutilizados em outras instalações do gênero ou não.
- ✓ Decisão de se cortar materiais em partes grandes, redução de tamanho em determinados equipamentos, ou se cortar componentes radioativos diretamente *in situ* para se tornar compatível com as exigências de transferência e disposição;
- ✓ Decisão de se controlar materiais radioativos diretamente no local ou em instalações centralizadas;
- ✓ Escolha dos meios e modos de acesso às áreas de trabalho e rastreamento de possíveis materiais contaminados;
- ✓ Identificação e manipulação satisfatória de equipamentos controlados (robôs, manipuladores, etc.);
- ✓ Determinação de métodos a serem usados para proteção, segurança física e segurança industrial.

Uma vez que estas decisões táticas forem levantadas, o plano de trabalho detalhado, incluindo solicitações de compra ou locação de equipamentos e contratos de trabalho pode ser preparado. A preparação também pode constar no cronograma de trabalhos, estimativas de custo e esquemas de operações, inclusive estudos de segurança, análises de risco e uma descrição de ferramentas e processos, e opções relacionadas à minimização de rejeitos.

### **Cava da Mina**

No que tange a cava da Mina Fazenda Cachoeira, pretende-se, observadas as implicações relativas aos estudos hidrogeológicos do complexo realizados pela GEOSERVICE ENGENHARIA GEOLÓGICA, promover o preenchimento da cava com material estéril proveniente da segunda mina a ser aberta no complexo, a Mina Fazenda do Engenho (anomalia 9), e rejeito sólido do processo de lixiviação, mantendo o desvio do Córrego Cachoeira. O enchimento da cava será executado segundo a mesma metodologia seguida para a disposição na pilha de estéril/rejeito, ou seja, a disposição intercalada de estéril, rejeito e solo argiloso. Atingindo o topo da superfície original, parte-se para a

reconformação topográfica e em seguida a colocação de camada superficial do solo, culminando com a revegetação.

No que se refere à recuperação dos taludes das paredes das cavas, através da revegetação, deve ser ressaltado que, face à constituição das mesmas por rochas compactas (gnaisses estéreis), estas não apresentam condições edáficas satisfatórias que as caracterizem como coberturas portadoras de vegetação. Mediante esse fato, a empresa deverá incorporar solo fértil aos taludes da cava, para que possibilitem a implantação de uma cobertura vegetal, constituída por espécies nativas.

### **Áreas de Disposição de Estéril/Rejeito**

#### **Material Estéril**

O material estéril lançado na área é constituído essencialmente por granito/gnaisses, que são rochas encaixantes dos albitos portadores da mineração uranífera – apresentam granulação fina a média e são caracterizadas pelas suas proporções variáveis de microclina e plagioclásio, com o quartzo presente em percentagens da ordem de 5 a 20%; os máficos dominantes são a biotita e o anfibólio.

A disposição dos estéreis da mina, por si só, determina a presença, ainda que em quantidades ínfimas, da rocha hospedeira da mineralização uranífera, resultante de perdas na lavra também consideradas desprezíveis. A rocha portadora do minério é representada pelo albitito, definida na área como uma rocha fanerítica, leucocrática, foliada ou não, apresentando plagioclásio como conteúdo variável de anortita, desde aquela que corresponde a albita pura, até a albita-oligoclásio (albitaclásio). Os minerais envolvidos são: plagioclásio (albita e/ou oligoclásio), microclina biotita, quartzo, piroxênio, anfibólio, magnetita, granada e carbonato. Como minerais de urânio, destacam-se o uranofano e a uraninita e/ou perchblenda.

Para minimizar a infiltração, a lixiviação e o carreamento de elementos estáveis e radionuclídeos, as faces expostas da pilha, imediatamente após atingir a cota limite, são adequadamente impermeabilizados com uma camada de aproximadamente 20 cm de solo argiloso, complementada por uma cobertura vegetal (reposição de camada superficial do

solo armazenado) e um sistema de escoamento das águas pluviais, associado a uma declividade adequada de sua superfície final.

Existem aspectos importantes a serem levados em consideração quanto ao material rochoso que constitui o depósito de estéril, a saber:

- ✓ Não ocorrência de minerais sulfetados, tanto na rocha encaixante quanto na hospedeira, implicando na ausência de drenagem ácida;
- ✓ Presença de rocha fresca competente e pouco fraturada, tanto na rocha mineralizada quanto na estéril, conferindo ao depósito de estéril, características de um aterro de enrocamento, atribuindo-lhe maior estabilidade contra possíveis rupturas. O material rochoso proveniente da mina, resultante do desmonte com explosivos, é constituído de uma distribuição granulométrica bem diversificada, desde dimensões centimétricas até  $0,7 \text{ m}^3$  para os blocos maiores (matacões). A Figura 32 dá uma visão de um dos flancos da pilha de estéril.



**Figura 32 – Pilha de disposição de estéril/rejeito.**  
Fonte: INB (2005).

### **Rejeitos Sólidos (rejeito da lixiviação)**

Os rejeitos sólidos, minério exaurido das pilhas de lixiviação da usina, são dispostos junto ao estéril da Mina, nas áreas de disposição de estéril/rejeito implantadas no vale do Córrego Cachoeira. Conduatas específicas possibilitam a otimização da capacidade de

retenção dos radionuclídeos solúveis, presentes no rejeito, pela massa de estéril previamente depositada na base da pilha.

Parte-se da hipótese de que quanto maior for a superfície de contato entre estéril e rejeito, mais eficiente será a propriedade de retenção dos Radionuclídeos pelo estéril. Em função disto, dispõe-se o rejeito na porção mais central do banco de cada módulo do depósito, de maneira que este fique totalmente encapsulado, assentado sobre um considerável leito de estéril, previamente formado na base da pilha, que funcionará como proteção superior e lateralmente, contra a exposição aos agentes erosivos, pelo estéril da pilha.

### **Central de Britagem**

Essa unidade industrial é constituída por unidade de britagem primária, secundária, terciária, demais componentes do circuito de britagem e pátios onde se promove a lixiviação ácida em pilhas. Portanto o seu descomissionamento se dará através da limpeza dos mesmos e sua inspeção radiológica, promovendo-se, assim, sua descontaminação. Após a limpeza e inspeção radiológica, esses equipamentos e seus acessórios poderão ter novas alternativas de uso em outras unidades industriais.

### **Instalações de Beneficiamento Químico (Usina)**

Consiste de um pátio de lixiviação e várias bacias escavadas em terreno natural. Os pátios de lixiviação, bem como as bacias, são revestidos com mantas de PEAD objetivando uma impermeabilização eficaz.

O background do pátio de lixiviação do minério foi caracterizado através do Programa de Investigação e Caracterização do Local das instalações do Complexo da URA antes de sua implantação. Através desse levantamento será possível adotar medidas mitigadoras de forma a reintegrá-lo ao meio-ambiente natural. Tais medidas incluirão o revestimento com a camada de *topsoil*, com espessura suficiente de forma a ser possível retornar o local aos padrões pré-operacionais e posterior revegetação com espécies nativas.

O processo de reabilitação será iniciado com a retirada das mantas impermeabilizantes e a monitoração do solo. Caso se encontre valores acima do *background* da área esse solo

deverá ser recoberto com camadas de material estéril, com níveis iguais ou menores que o background local. Após esse sistema de “blindagem” natural, será colocada uma camada de *topsoil* sobre essas áreas para que seja realizado a revegetação.

### **Bacias para o Processo de Lixiviação (ponds)**

São em número de quatro as bacias existentes para atender aos processos de lixiviação em pilhas, sendo usadas para estocagem/recirculação do licor de urânio, estocagem/recirculação de águas de lavagem das pilhas, estocagem de água de processo e mistura/estocagem de licor.

Essas bacias são providas de drenagens dos líquidos existentes nas mesmas; as que possuem efluentes ácidos são neutralizadas.

Após a drenagem das bacias, o precipitado contido nas mesmas é recoberto com uma manta de material polimérico de natureza idêntica ao usado na impermeabilização de fundo. Após a colocação da manta é executada a cobertura dessas bacias com material estéril com *background* radiométrico igual ou menor ao do local. Posteriormente, será colocada uma camada de *topsoil* com cobertura vegetal com espécies existentes na flora local. Dessa forma o precipitado contido nas bacias será encapsulado. Em todas as etapas serão medidas as taxas de exposição, de forma a assegurar um retorno às condições originais de background ou a níveis de exposição menores que os originais, através da blindagem com barreiras físicas (cobertura com solo).

### **Demais Instalações**

As demais instalações industriais compõem-se basicamente de prédios em alvenaria, estruturas em aço, concreto, madeira e equipamentos diversos.

Quando de seu descomissionamento serão seguidos os procedimentos apresentados na tabela 18.

<b>Tabela18 - Procedimentos para o descomissionamento das instalações.</b>						
	Inventário	Desmontagem	Monitoração	Descontaminação	liberação	Demolição
Equipamentos	√	√	√	√	√	
Edificações	√		√	√	√	√
Estruturas	√	√	√	√	√	√

Todas as instalações e/ou equipamentos após o descomissionamento poderão ser novamente utilizados, caso haja novas alternativas, desde que observadas as restrições impostas pela CNEN e demais Órgãos.

### **5.7. Cronograma de Execução dos Trabalhos**

Ao partir-se para esta fase, pressupõe-se que já tenha havido o cumprimento de várias ações que antecedam a esta, como o diálogo transparente e permanente com todos os atores envolvidos, que algumas alternativas de cunho social estejam implementadas, ou pelo menos em andamento.

Prevê-se que o descomissionamento/fechamento do empreendimento com a reabilitação das áreas degradadas será realizado em três anos. Entretanto, a estimativa das atividades de monitoramento e manutenção em médio a longo prazo, faz-se difícil, dado as particularidades do empreendimento.

As técnicas a serem utilizadas, descritas nesse estudo são frutos de revisão bibliográfica e de visitas técnicas a minas em processo de fechamento, como a Mina de Águas Claras da MBR em Belo Horizonte, MG. A tabela 19 apresenta um cronograma de implantação do descomissionamento/fechamento proposto para a Unidade de Concentrado de Urânio.



### **5.8. Implementação**

Tem por objetivo garantir a transparência da contabilidade e recursos para a implementação do plano de fechamento. Inclui os seguintes princípios:

- ✓ A responsabilidade pela implementação do plano de fechamento deve ser claramente e previamente identificada;
- ✓ Recursos adequados devem ser providos para garantir conformidade com o plano de fechamento;
- ✓ Um gerenciamento para as ações após o fechamento deve ser implementado;
- ✓ Plano executivo deve incluir ações, responsabilidades, recursos e cronograma;
- ✓ A implementação do plano de fechamento deve refletir o status da operação (IAEA, 2002).

#### **Descrição e Caracterização das Áreas Degradadas**

As áreas degradadas pelas operações da URA incluem:

- ✓ Áreas de intervenção que correspondem às áreas da mina, do depósito de estéril/rejeito e bacia de contenção de finos, e bacia de disposição e reciclagem de efluentes líquidos;
- ✓ Áreas de servidão, tais como, áreas de preparação do minério abrangendo usina de britagem e lixiviação do minério, áreas de acesso e áreas de processamento químico (usina);
- ✓ Áreas de apoio, tais como, prédios administrativos, prédios da manutenção e edificações outras;
- ✓ Áreas da “barragem de captação de água” e do sistema de desvio do Córrego Cachoeira com barragem de contenção;
- ✓ Piscinas de recepção de água dos poços e que posteriormente são bombeadas para o sistema de abastecimento do Complexo;
- ✓ Bacia de expansão;
- ✓ Bacia de Evaporação;
- ✓ Estradas.

## **5.9. Reabilitação Progressiva**

Um programa de reabilitação progressiva vem sendo empreendido desde a implantação do empreendimento em áreas finalizadas, como por exemplo, bancos finais da pilhas de estéril, taludes finais da cava. A reabilitação progressiva permite, não apenas, a diluição dos custos ambientais na fase de produção da mina, como também serve de parâmetro para definição da melhor metodologia a ser empregada quando da reabilitação final (ALVARENGA, 1998).

Na área da mina o minério presente ocorre na forma de corpos lenticulados, com afloramento à época da abertura da mina no nível 900, ou semi-cobertos por uma camada de solo. Hoje a lavra encontra-se no nível 840 da mina, prevendo-se atingir o nível 760. A camada de solo superficial extraída mostrou-se adequada para ser utilizada na revegetação de áreas descobertas e taludes da pilha de disposição de estéril/rejeito.

Atualmente, a frente de lavra encontra-se em fase de lavra nos corpos 1 e 3. Como previsto, no EIA/RIMA e demais documentos de licenciamento, as áreas no entorno da mina são recuperadas, concomitantemente com o avanço dos trabalhos.

O impacto visual e paisagístico, causado pelas escavações, disposição de material estéril/rejeito, estradas de acesso, imposições de superfícies diferentes do relevo original e pelas eliminações parciais dos morros, resultando em cavidades, atingem proporções consideráveis, alterando a paisagem local. Trabalhos de reabilitação progressiva têm buscado minimizar tais impactos, através de cobertura vegetal em áreas descobertas, e definir melhores técnicas para uma reabilitação final do empreendimento como um todo, restando algumas como a cava da mina que receberá cuidados ao final dos trabalhos de lavra (ALVARENGA, 1998).

### **5.9.1. Plano de Recuperação**

As equipes de monitoramento ambiental da URA, através de levantamento de campo, executam regularmente o diagnóstico ambiental das áreas mineradas e demais áreas de intervenção. Procura-se identificar os problemas, delinear procedimentos, desenvolver cronogramas de execução e apontar alternativas. Estas informações formam a base para a

determinação do plano utilizado na recuperação permanente da área, visando sua reabilitação quando as atividades forem paralisadas em definitivo.

### **5.9.2. Isolamento da Área**

As áreas devem ser completamente isoladas com cercas, de modo que, animais e pessoas estranhas não tenham acesso. Os locais, na época crítica de incêndios, deverão passar por medidas preventivas de controle, como a vigilância e o aceramento das divisas. Há ainda a necessidade de sinalizações visuais informando as proibições e demais comunicações concernentes à operação.

### **5.9.3. Controle da Erosão e Sistemas de Drenagem**

Erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas dos solos causado pela água e pelo vento. A erosão do solo constitui, sem dúvida, a principal causa do depauperamento acelerado das terras. As enxurradas, provenientes das águas de chuva que não ficaram retidas sobre a superfície ou não se infiltraram, transportam partículas de solo em suspensão.

Algumas das causas do carreamento de sólidos pela erosão podem ser controladas através de práticas consideradas conservacionistas. Estas são divididas em vegetativas, edáficas e mecânicas. Cada uma delas resolve parcialmente o problema, assim, para melhor solução, deverão ser aplicadas simultaneamente, a fim de abranger com a maior amplitude possível os diversos aspectos do problema.

Após os trabalhos de recomposição paisagística, os sistemas de drenagens das águas pluviais deverão ser compatíveis com a nova topografia, procurando, sempre que possível algo próximo do original. Os pontos de lançamento deverão possuir proteções contra a erosão.

#### **5.9.4. Práticas Vegetativas**

Utiliza-se da vegetação para proteger o solo contra a erosão. A densidade da cobertura vegetal é o princípio fundamental de toda proteção que se oferece ao solo (VALE, F. R et al., 1997). A erosão do solo é tanto menor quanto mais densa é a vegetação que o recobre e protege. Consiste em:

- ✓ Plantio adensado;
- ✓ Revegetação com várias espécies e nos três estratos: arbóreo, arbustivo e herbáceo;
- ✓ Plantio em nível;
- ✓ Capinas, em alguns casos, apenas de coroamento;
- ✓ Não atear fogo nas áreas circunvizinhas, cobertas com vegetação, inclusive nas pastagens;
- ✓ Evitar a bateção de pastos em relevo muito íngreme.

#### **5.9.5. Práticas Edáficas**

São práticas que procuram manter ou melhorar a fertilidade do solo, causando indiretamente um melhor desenvolvimento da vegetação (maior cobertura vegetal) e com ela, melhor proteção do solo (VALE, F. R et al., 1997). Incluem:

- ✓ Correção da fertilidade do solo, quando houver necessidade;
- ✓ Aplicação da adubação química e orgânica, recomendada para o plantio e cobertura;
- ✓ Promover a manutenção da fertilidade do solo, por meio de um plano de adubações, embasado em análises químicas do solo.

#### **5.9.6. Práticas Mecânicas**

Recorre-se a estruturas artificiais mediante a disposição adequada de porções de terra (terraços), com a finalidade de quebrar a velocidade de escoamento da enxurrada e facilitar-lhe a infiltração no solo (BAHIA e RIBEIRO, 1998). Emprega-se:

- ✓ Construção de leiras de proteção;
- ✓ Terraceamento.

### **5.9.7. Colocação da Camada Superficial do Solo**

Após o remodelamento do relevo, a superfície do solo deve ser recoberta com camada superficial do solo, inclusive o entorno da cava da mina, obedecendo à conformação topográfica. A distribuição deve ser feita com tratores de esteiras. Na operação, deve-se minimizar a movimentação de máquinas sobre as áreas que já tenham recebido a camada, para evitar a compactação do solo.

### **5.9.8. Correção da Fertilidade do Solo**

O solo que receberá a semeadura e ou plantio das mudas é um subsolo revolvido durante a remodelagem do relevo, às vezes sobre fragmentos de rocha. Embora tenha sido recomendada a colocação da camada de solo superficial, verifica-se que abaixo desta o material não constitui um solo ideal para o crescimento das plantas é desprovido de nutrientes e apresenta acidez. Assim, a correção da fertilidade e sua manutenção são imprescindíveis na recuperação das áreas.

Devem ser realizadas análises físicas e químicas do solo para definição dos níveis de correção da fertilidade ao longo do tempo. Seria importante a realização de análises periódicas para verificar se os níveis de fertilidade atingidos são adequados para o bom desenvolvimento das plantas.

### **5.9.9. Descompactação do Solo**

A intensa movimentação de equipamentos gera um alto grau de compactação dos solos nas áreas de servidão do empreendimento. Frente ao exposto, torna-se imprescindível a prática de escarificação e gradeamento, com o auxílio de tratores em sentido transversal à declividade do terreno. Recomenda-se utilizar as práticas culturais, como o plantio de espécies herbáceas com sistema radicular profundo, capaz de romper camadas compactadas, espécies com diferentes características de desenvolvimento e espécies com densidade radicular para aumentar a porosidade do solo.

### 5.9.10. Revegetação

A revegetação é a prática principal para se obter a formação de um novo solo, controlar a erosão, evitar a poluição das águas, e se for escolhida a manutenção da vida selvagem como uso futuro da área, promover o retorno dessa vida. A boa prática recomenda a revegetação com o plantio de espécies nativas. A Figura 33 apresenta diversas sementes coletadas das matas nativas no entorno do empreendimento.



**Figura 33 - Coleta e preparo das sementes no horto botânico da INB-URA.  
Fonte: INB (2005).**

No plantio das mudas, a URA adota a metodologia da sucessão ecológica, onde a colonização se inicia com espécies de crescimento rápido e a pleno sol, espécies pioneiras, que preparam o ambiente de modo a possibilitar o crescimento das espécies secundárias e clímaxes. Esta metodologia é recomendada quando do fechamento, dado ao sucesso já obtido.

Nas áreas mais planas aonde a regularização conduzir a formação de superfícies com declividades pouco acentuadas, os taludes se encontram praticamente estáveis e a recomposição se aproximará do perfil natural.

Nas áreas de declividade superior a 20% recomenda-se a regularização do terreno e implantação de coletores de águas pluviais. O local deve receber subsolo e camada fértil para posterior revegetação. Devem ser introduzidos vegetais herbáceos, arbustivos e se

houver condições, arbóreos, de tal forma arranjados que juntos promovam a estabilidade dos taludes à erosão, bem como melhorem o efeito estético da paisagem.

Em áreas de taludes acentuado deve-se proceder uma suavização destes de forma a permitir uma melhor recomposição com solos orgânicos e revegetação.

Visando obter uma recuperação racional, devem ser utilizadas as seguintes recomendações:

- ✓ Uso de equipamentos específicos para separação, movimentação e percolação do horizonte A do solo, rico em material orgânico;
- ✓ Preparação do local a receber o solo orgânico (regularização, cobertura com material impermeável e inerte ou retirada de mantas impermeáveis);
- ✓ Práticas de conservação do solo, com terraceamento, plantio em nível, irrigação quando necessário e combate a pragas e formigas;
- ✓ Implantação de uma cortina arbórea;
- ✓ Acompanhamento da 1<sup>a</sup>. fase de revegetação;
- ✓ Replântio/adubação/ trato fitossanitário.

Para o êxito na escolha das espécies é fundamental que se considere:

- ✓ O levantamento de espécimes típicos locais;
- ✓ O cadastramento e o inventário, considerando a frequência, densidade e rusticidade das espécies;
- ✓ O conhecimento das técnicas de reprodução e manejo; o grau de adaptação às condições edafoclimáticas regionais das espécies exóticas.

Recomenda-se a utilização de espécies frutíferas regionais, a exemplo do umbuzeiro (*Spondias Tuberosa*) e da umburana (*Burserá Leptophloeos*) as quais podem ser utilizadas em qualquer época do ano dado a resistência das espécies.

O plantio deverá ser feito através de três fases:

Na primeira fase deve-se proceder a revegetação com espécies arbustivas fixadoras de nitrogênio espécies pioneiras, conforme tabela 20.

<b>Tabela 20 – Espécimes pioneiras cultivadas no horto botânico da URA. Fonte:INB (2004)</b>			
<b>NOME VULGAR</b>	<b>NOME CIENTÍFICO</b>	<b>TIPO</b>	<b>PROPAGAÇÃO</b>
Capim panasco	<i>Aristida elliptica</i>	capim	semente
Capim mimoso	<i>Gymnopogon rupestris</i>	capim	semente
Milhã dourada	<i>Brachiaria fasciculata</i>	capim	semente
Jitirana	<i>Merremia aegyptia</i>	herbácea	semente
Crotalaria	<i>Crotalaria mucronata</i>	leguminosa herbácea	semente
Crotalaria	<i>Crotalaria spectabilis</i>	leguminosa herbácea	semente
Feijão camaratuba	<i>Cratylia mollis</i>	leguminosa herbácea	semente
Mucunã	<i>Dioclea grande</i>	trepadeira	semente
Cará	<i>Neoglaziovia veriegata</i>	herbácea	semente/muda
Macambira	<i>Bromelia lasiocosa</i>	herbácea	semente/muda

Na segunda fase, plantam-se espécies com o plantio de herbáceas e ou rastejantes com boa capacidade de recobrimento dos solos desnudos e com rápido crescimento e com vistas à fixação dos solos, constituindo o grupo de espécies secundárias que possuem crescimento tardio em relação às da primeira fase, de acordo com a Tabela 21.

<b>Tabela 21 - Espécimes fixadoras de nitrogênio cultivadas no horto da URA. Fonte:INB (2004)</b>			
<b>NOME VULGAR</b>	<b>NOME CIENTÍFICO</b>	<b>TIPO</b>	<b>PROPAGAÇÃO</b>
Moleque duro (pequeno)	<i>Cordia globosa</i>	Arbusto	semente
Moleque duro	<i>Cordia leucocephala</i>	Arbusto	semente
Carqueija	<i>Calliandra depauperata</i>	Arbusto	semente
Stylosanthes	<i>Stylosanthes guianensis</i>	Arbusto	semente
Stylosanthes	<i>S. grandiflora</i>	Arbusto	semente
Jurema preta	<i>Minosa hostilis</i>	Arbusto	semente
Mata pasto	<i>Senna cericia</i>	Arbusto	semente
Mororó	<i>Bauhinia baugardii</i>	Arbusto	semente
Mororó	<i>B. microphylla</i>	Arbusto	semente

Na terceira fase considera-se o recobrimento da área e a melhoria do nível de fertilidade, permitindo o plantio das espécies clímax, arbóreas de importância ecológica para a região e que darão a conformação final do ambiente recuperado, a exemplo da Tabela 22.

<b>Tabela 22 - Espécimes clímax cultivadas no horto da URA. Fonte: INB (2004)</b>			
<b>NOME VULGAR</b>	<b>NOME CIENTÍFICO</b>	<b>TIPO</b>	<b>PROPAGAÇÃO</b>
Catingueira	<i>Caesalpinia pyramidadles</i>	árvore	semente
Canafistula	<i>Senna ferruginea</i>	árvore	semente
Catingueira	<i>Caesalpinia microfilla</i>	árvore	semente
Brinco	<i>Ptecelobium diversifolium</i>	árvore	semente
Tamboril	<i>P. contortiliquem</i>	árvore	semente
Angico	<i>Anadenathera macrocarpa</i>	árvore	semente
Pau-ferro	<i>Caesalpinia férrea</i>	árvore	semente
Umbuzeiro	<i>Spondias tuberosa</i>	árvore	semente
Joazeiro	<i>Ziziphus zoazeiro</i>	árvore	semente
Umburana de cambão	<i>Bursera leptophloeos</i>	árvore	semente
Umburana de cheiro	<i>Tottosia acaraneio</i>	árvore	semente
Aroeira	<i>Astronium urundeuva</i>	árvore	semente
Brauna	<i>Schinopsis brasiliensis</i>	árvore	semente
Pereiro	<i>Aspidosperma multiflorum</i>	árvore	semente
Cagaita	<i>Stenocalyx disinthericus</i>	árvore	semente
Carqibera	<i>Tabebuia caraíba</i>	árvore	semente
Ipê(s)	<i>Tabebuia</i> sp.	árvore	semente

A figura 34 mostra o horto botânico mantido pela URA, o qual faz parte do Centro de Estudos Ambientais – CEAM.



**Figura 34 – Estufa do Horto Botânico da INB-URA.  
Fonte: INB (2005).**

### 5.9.11. Adequação Topográfica e Paisagística

A mineração causa impactos visuais, e na recuperação das áreas impactadas por esta atividade há a necessidade de se recompor a topografia e a paisagem de forma que estas fiquem moldadas o mais próximo possível da original.

Quando da recuperação final, após a paralisação das atividades, deve-se preparar o relevo resultante, através de obras de terraplenagem, para receber a vegetação, dando-lhe uma forma estável e adequada para um possível o uso futuro do solo, caso este seja liberado pelos órgãos reguladores. Poderá usar-se do desmonte por explosivos nos casos onde couber, como por exemplo, no desmonte de rochas com a finalidade de desobstrução e ou quebra de angulosidades topográficas de maneira a torná-las suaves.

O trabalho de recomposição paisagística, incluindo seu monitoramento, requer suporte através da vegetação, com espécies nativas ou adaptadas ao ambiente considerado, visando atender o que estabelece a Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, lei que instituiu a política nacional de meio ambiente, regulamentada pelo Decreto nº 97.632 de 10 de abril de 1989.

O trabalho paisagístico consiste em reparar, na medida do possível, os danos causados e adotar soluções técnicas que harmonizem e integrem o meio ambiente natural com as soluções criadas. Além da regularização topográfica, colocação de camada de solo orgânico, implantação de sistemas de drenagens das águas pluviais, a vegetação é o fator mais importante neste processo de recuperação da paisagem e no controle da erosão, especialmente porque constitui barreira física ao transporte de material.

Um programa de recomposição paisagística, com ênfase para a revegetação deve seguir os seguintes objetivos primordiais:

- ✓ Constituir uma barreira física natural ao transporte de material, com vistas a evitar os processos erosivos e de assoreamento;
- ✓ Conservação e recuperação da fauna e da flora regional, a fim de promover o retorno da biodiversidade à região;
- ✓ Proteção dos recursos hídricos, com vistas a evitar a poluição das águas, retomarem as condições de drenagem do escoamento superficial e a recarga dos mananciais subterrâneos.

As áreas que deverão ser reabilitadas e ou revegetadas são: superfícies mineradas, áreas de materiais de empréstimo, área de disposição de estéril/rejeito, área de disposição de rejeitos sólidos e de disposição e reciclagem de rejeitos líquidos, áreas de beneficiamento, estradas e vias de acesso, área da barragem e demais áreas de servidão.

#### **5.9.12. Canal de Desvio do Córrego Cachoeira**

O canal de desvio do Riacho Cachoeira após a desativação do empreendimento continuará funcionando, pois este não mais passará na cava da mina, devido ao fato do enchimento da cava com material estéril e rejeito da lixiviação. A barragem de captação de água pode ser mantida, caso não haja algum tipo de restrição com vistas ao aproveitamento das águas do lago, pela comunidade.

#### **5.9.13. Estabilidade dos Taludes**

A estabilidade dos taludes faz parte do plano de recuperação e deverá ser atenuado com inclinações que ofereçam condições propícias à erosão e serão revegetados. Os taludes de cortes e aterros e parâmetros de jusante da barragem de captação de água e bacias artificiais em geral deverão sofrer soluções paisagísticas específicas; estes taludes deverão ser regularizados mecanicamente, escarificados manualmente e revestidos com cobertura vegetal. O revestimento vegetal se dará através da cobertura de uma camada de solo vegetal de 20 cm de espessura com espalhamento uniforme e plantio de gramíneas e leguminosas plantadas manualmente com distância máxima de 15 cm entre mudas.

#### **5.9.14. Destinação das Superfícies Mineradas**

##### **Preenchimento da Cava**

A cava da mina deverá avançar até uma profundidade máxima da ordem de 140 metros, sendo que as bermas e taludes são constituídos praticamente de rocha dura tipo granito/gnaiss. O talude geral da mina tem inclinação média em torno de 58°.

Tendo em vista que os estudos hidrogeológicos realizados pela empresa GEOSERVICE ENGENHARIA GEOLÓGICA, apontam a cava como área de maior vulnerabilidade para contaminação do aquífero, recomenda-se a manutenção do desvio do Córrego Cachoeira e o preenchimento da cava com estéril da nova mina que será aberta e rejeito do processo.

Durante campanhas recentes de sondagem constatou-se grande capeamento envolvendo o minério, portanto grandes volumes de material estéril poderá ser utilizado no preenchimento da cava da Mina Fazenda Cachoeira.

Tal procedimento, apesar do maior custo envolvido, reduzirá o risco de contaminação do aquífero, principalmente se adotado o mesmo processo de disposição utilizado nas pilhas de estéril/rejeito, ou seja, camadas intercaladas de estéril da mina, rejeito da lixiviação e solo argiloso. Somando-se a isto, tal alternativa permitirá uma melhor recomposição da topografia local.

#### **5.9.15. Destinação da Área de Disposição de Estéril/Rejeito**

As pilhas de disposição de estéril e de rejeito formadas nas sub-áreas constantes de projetos para tal finalidade são regularmente revegetadas e drenadas. O que se sugere para tais sub-áreas é simplesmente obras de reconformação topográfica, inclusive com a quebra de angulosidades formadas pela deposição em bancos ascendentes, cobertura com camada superficial do solo, seguida de revegetação.

#### **5.9.16. Destinação da Área de Beneficiamento**

##### **Desativação do Pátio de Lixiviação**

A desativação do pátio de lixiviação implica na total lavagem e retirada de material remanescente, para em seguida retirar as mantas impermeabilizantes que protegem o solo na operação. Este local deverá ser terraplanado, para melhor regularização da superfície e recoberto com uma camada de camada superficial do solo, e em seguida ser revegetada.

Serão também descomissionadas as lagoas de solubilização. Os líquidos remanescentes serão neutralizados e drenados para a bacia de efluentes líquidos. A parte sólida precipitada também será conduzida para a citada bacia. As mantas de PEAD deverão ser retiradas para em seguida se processar a terraplanagem, enchimentos das aberturas escavadas com solo previamente estocado, não contaminado ou solo proveniente de áreas de empréstimo. Posteriormente será colocada uma camada de solo fértil e cobertura vegetal com espécies típicas locais, promovendo a recomposição original e a adequação da paisagem.

### **5.9.17. Reaproveitamento das Edificações e Equipamentos**

As edificações que por ventura forem liberadas segundo critérios estabelecidos pelos órgãos reguladores farão parte do contexto proposto como uso futuro da área. Quanto aos equipamentos após passarem por todas aquelas fases previstas antes de uma possível liberação, poderão ser utilizadas em outras unidades da empresa ou, conforme o caso, em outras empresas com atividades similares.

### **5.10. Pós-Fechamento**

#### **Monitoramento**

O programa de monitoramento tem por finalidade permitir o acompanhamento da atuação dos processos erosivos e de assoreamento, o monitoramento das águas subterrâneas visando identificar potenciais contaminações dessas águas por radionuclídeos e/ou elementos estáveis, bem como possíveis interferências na dinâmica de circulação e na disponibilidade destas; o controle operacional do reservatório de regularização do Riacho das Vacas e a avaliação das características físicas e químicas dos solos durante após o fechamento.

### **5.11. Uso Futuro**

O semi-árido baiano está inserido em um bioma frágil, a caatinga e encontra-se bastante antropizado pela agricultura de subsistência e o extrativismo vegetal de suas matas nativas para abastecer com carvão vegetal as cerâmicas locais e as siderúrgicas de Minas Gerais. Torna-se importante a formação de uma filosofia ambientalmente voltada para combater estes problemas na região. Caso isto não venha acontecer, a região futuramente tende à desertificação e a exaustão dos aquíferos locais.

Perante a necessidade de um ambiente saudável e equilibrado nesta região, propõe-se como uso futuro para a área do empreendimento, após a reabilitação, a destinação do sítio como unidade de conservação. A opção poderá acontecer de forma colegiada entre os atores envolvidos no processo de fechamento da mina, lembrando que a implantação e gestão das unidades de conservação são realizadas por ato do Poder Público.

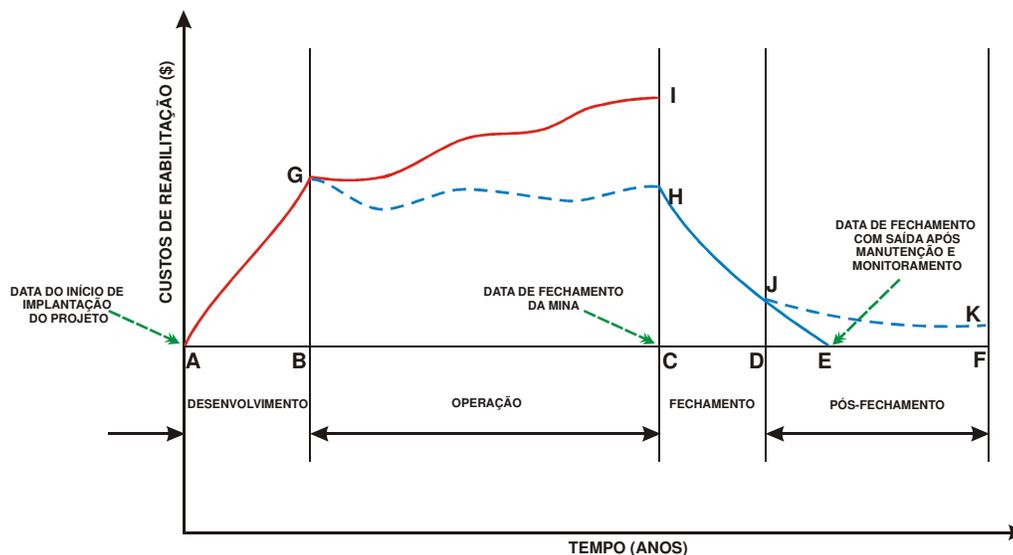
A legislação ambiental federal disciplina a criação de área de proteção e interesse ambiental no país, existindo também leis estaduais e municipais que tratam do assunto.

### ***5.12.Custo de Fechamento do Empreendimento***

A economia ambiental encontra-se excessivamente na análise dos custos da despoluição e na alocação destes, de acordo com o princípio do poluidor pagador. Na medida em que a responsabilidade ambiental se traduz por um custo adicional, o custo da poluição passa a estar internalizado no custo do produto final, a competitividade da empresa é afetada. Em decorrência disto, no plano macroeconômico há uma arbitragem entre um maior crescimento selvagem ou um menor crescimento selvagem ou um menor crescimento em harmonia com a natureza. O desafio é gerenciar mediante soluções eficientes nos planos econômico, ambiental e social.

Quando a INB optou por fazer o descomissionamento da URA concomitantemente com o conjunto das operações no complexo, acertou e demonstrou estar sintonizada no moderno pensamento ambiental praticado pelo mundo afora. O gráfico ilustra duas tendências, uma de fechamento após o encerramento das atividades e a outra mostra o fechamento ao longo do período de operação. No início da implantação do projeto há a igual obrigação para o montante no ponto G. Se não há a recuperação ao longo do período de operação, então o custo de recuperação do sítio se elevará a um valor no ponto I. Se há a recuperação do sítio durante o período de operação, representado pelo segmento GH, então o custo de fechamento para a recuperação do sítio será o montante no ponto H. Durante o período de fechamento, na medida em que o trabalho de recuperação é conduzido, a obrigação de fechamento se reduzirá ao montante no ponto J. No período de pós-fechamento há dois tipos de cenários potenciais: manutenção e monitoramento são requeridos por um curto período para demonstrar que os objetivos foram alcançados, segmento JE, ou há a solicitação por atividades intermitentes ou de forma contínua, segmento JK.

A Figura 35 mostra de maneira simplificada que a opção da INB foi correta não só sob o aspecto ambiental, mas também pelo aspecto econômico.



**Figura 35 – Avaliação temporal das possibilidades de fechamento.**

Fonte: Lima (2001).

Utilizando-se do software SESCOFEM e de experiência de campo chegou-se ao montante, apresentado sob a ordem de grandeza. A alimentação do software passou por dados recolhidos de planilhas de produção dos equipamentos ora utilizados na URA e outras fontes de dados como IBGE, que foi fonte para avaliação do custo de mão de obra.

A Tabela 23 apresenta a estimativa do custo de fechamento para a URA.

<b>Tabela 23 - Resumo de Estimativa de custo de fechamento da URA.</b>	
<i>Custos Diretos</i>	
Custo Total de Remoção de Equipamentos e Estruturas	R\$ 5.000.000,00
Custo Total de Terraplenagem	R\$ 9.000.000,00
Custo Total de Revegetação	R\$ 500.000,00
Outros Custos Totais de Reabilitação	R\$ 200.000,00
<b>Total dos Custos Diretos</b>	<b>R\$ 14.700.000,00</b>
<b>Custos Diretos com Inflação fator: 1,00</b>	<b>R\$ 14.700.000,00</b>
<i>Custos Indiretos</i>	
Mobilização e Desmobilização 5,00%	R\$ 735.000,00
Contingenciais 4,00%	R\$ 588.000,00
Engenharia e Replanejamento 4,00%	R\$ 588.000,00
Lucro do Empreiteiro 20,00%	R\$ 2.940.000,00
Taxa de Administração do Projeto 5,00%	R\$ 735.000,00
<b>Total dos Custos Indiretos</b>	<b>R\$ 5.586.000,00</b>
<b>Custo Total para a Reabilitação do Sítio</b>	<b>R\$ 20.286.000,00</b>

## **CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Ao partirmos para apresentar um plano conceitual de fechamento para a URA, tivemos todo o cuidado de nos substanciar no que se tem sobre o assunto no meio mineral, de uma forma vinculada aos conceitos técnicos próprios que norteiam as ações da Agência Internacional de Energia Atômica.

O empreendimento objeto de estudo, a URA, tem características peculiares de uma instalação nuclear e assim foi tratado. Obteve-se neste estudo uma gama de conhecimentos que o tornam um caso diferenciado daquilo que se tem, quando tentamos traçar paralelos com outros empreendimentos que lavram o mesmo tipo de minério ou outros minérios, no Brasil e no Mundo. A base de dados ambientais apresentados neste estudo dá uma visão sintética da amplitude de um plano de fechamento para uma mineração de urânio.

O Descomissionamento de muitas instalações nucleares pelo mundo afora, inclusive nos Estados Unidos, não é a palavra final em processo de fechamento. Na medida em que os programas de fechamento avançam em vários sítios, futuros trabalhos neste campo do conhecimento irão se beneficiar de uma gama maior de dados específicos sobre o assunto.

Este estudo concentrou-se em três elementos chave para o processo de descomissionamento: Plano de Fechamento, Atividades a Serem Desenvolvidas e Custos. Com base no que foi apresentado, reitera-se, de forma contundente, a opção positiva da INB pelo processo de fechamento ao longo do tempo de operação do empreendimento e a maneira como estão sendo encaminhadas as questões ligadas ao meio ambiente na empresa. Entretanto, algumas ressalvas são necessárias de se enfatizar, as quais são discutidas a seguir.

A empresa considera possuir um plano de fechamento, que foi apresentado no momento em que se licenciou o empreendimento. Na realidade o que se tem é um plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD), em atendimento à legislação. Entretanto, um PRAD não é um Plano de Fechamento. É errôneo considerar PRAD como plano de fechamento, devido ser este mais abrangente, mais ainda em se tratando mineração de urânio. O plano de fechamento, objeto desta dissertação, aponta para uma solução mais completa, inclusive sob uma visão holística do assunto. O desenvolvimento de um plano de

fechamento necessita levar em conta as exigências ambientais, econômicas e aspectos sociais da operação.

Pelo estudo ora apresentado, temos a visão de que há a necessidade premente de que a INB invista de forma coordenada e concentrada no controle hidrogeológico da URA. Vimos através de revisão bibliográfica que um dos custos mais problemáticos sobre o aspecto financeiro e ambiental é aquele relacionado com a recuperação das águas subterrâneas. Por se tratar de uma região deficiente de recursos hídricos, altamente dependente da exploração de poços tubulares. Torna-se fundamental um acompanhamento rigoroso do comportamento dos fluxos das águas subterrâneas nas imediações do empreendimento. Há não somente o risco da exaustão destes aquíferos por deficiência na recarga, mas há em longo prazo o risco da contaminação do aquífero, devido às atividades desempenhadas pelo empreendimento.

Há um trabalho de educação ambiental sendo aplicado nas comunidades do entorno, mas o que se percebe é a necessidade da inclusão cidadã destas pessoas, pois são carentes de necessidades primárias típicas da presença institucional das três esferas de poder. Por sua vez, estas pessoas vêem na INB a possibilidade da materialização do verdadeiro Estado que irá resolver todos seus problemas. Pois se a empresa extrai o urânio dali, cabe a ela dar o retorno social que os governos não provêm, assim pensam aqueles que ali habitam.

A INB além de empregar pessoas da região, gerando salários e aquecendo a economia local, faz também algumas obras de infra-estrutura. Mas há ainda muito por fazer em prol daqueles que estão mais próximos do empreendimento. Há que se deixar um legado de realizações e de inserção social destas comunidades, respeitando suas tradições culturais e apresentando um horizonte de possibilidades quando as luzes se apagarem e o empreendimento deixar de existir.

Este estudo enfatiza a necessidade de interlocução permanente com os atores envolvidos no processo e a necessidade da empresa em oferecer alternativas sócio-econômicas para aqueles que ficam após o apagar das luzes.

No que tange às questões de cunho técnico, o fechamento da URA poderá ocorrer num processo controlado e satisfatório, desde que sejam observadas principalmente as questões

relativas ao Controle Hidrogeológico. Passa a ser fundamental que a alta direção da empresa tenha sensibilidade para o assunto a fim de evitar um cenário futuro dramático em relação ao aproveitamento dos aquíferos na região.

Um programa de fechamento de mina deve ser claro, com objetivos gerais estabelecidos e os critérios de fechamento, negociados e acordados com todos os atores envolvidos. Fechamento de mina é um programa que envolve não somente a questão técnica ambiental da reabilitação ambiental das áreas degradadas mas também questões socio-econômica e culturais, as quais devem ser tratadas de forma interdisciplinar para atender aos conceitos de desenvolvimento sustentável.

A formação de uma equipe permanente para este fim dentro da empresa é de fundamental importância, pois há a necessidade de engajamento orgânico com o processo de fechamento. A opção pela reabilitação concomitante com a operação do empreendimento foi uma atitude acertada, mas carece do perfeito entendimento por parte daqueles que comandam a operação, para que haja a formação de uma cultura interna a respeito do assunto.

Atualmente o preço do urânio no mercado mundial sobe vertiginosamente, este fatalmente será um elemento de elevação na produção do complexo, se houver mudanças na constituição a respeito da comercialização de urânio. Numa hipótese de liberação constitucional para a comercialização internacional do urânio, conseqüentemente a pressão por maior produção do bem mineral será uma realidade. Um plano de fechamento conceitual deve ser submetido a revisões periódicas de modo a atender as mudanças circunstanciais. Tal fato é bastante real na URA com a possibilidade do incremento da produção. Por outro lado, as possibilidades relativas à elevação das atividades operacionais do complexo são por ora reais e vitais para a sobrevivência do Projeto.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M.I.N.; SOUZA, J.A. **Atributos do Solo e o Impacto Ambiental**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998.
- BAHIA, V.G.; RIBEIRO, M.A.V. **Conservação do Solo e Preservação Ambiental**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Segurança de Sistemas de Barragem Contendo Radionuclídeos: CNEN-NE-1.10**. Rio de Janeiro: CNEN 1980.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Licenciamento de Minas e Usinas de Beneficiamento de Minérios de Urânio e/ou Tório: CNEN-NE-1.13**. Rio de Janeiro: CNEN, 1989.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Radioatividade**. Rio de Janeiro: CNEN, 2001.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Licenciamento de Instalações Nucleares: CNEN-NE-1.04**. Rio de Janeiro: CNEN, 2002.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Segurança de Sistemas de Barragem Contendo Radionuclídeos: CNEN-NE-1.10**. Rio de Janeiro: CNEN, 2002.
- COMPANHIA NORDESTINA DE SONDAGENS E PERFURAÇÕES. **Levantamento dos Recursos Hídricos da Região do Projeto Lagoa Real, BA**. Recife: CONESP, 1998.
- FOSTER at al. **Groundwater Quality Protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies**. Washington: The World Bank, 2002. 103p.
- GEISEL SOBRINHO, E. et alii. **O Distrito Uranífero de Lagoa Real Bahia**. Camboriu: Anais XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, 1972.
- GEOSERVICE ENGENHARIA GEOLÓGICA. **Estudo Hidrogeológico da URA**. São Paulo: GEOSERVICE, 2004.
- GUIA QUATRO RODAS. **Localização da Unidade de Concentrado de Urânio da Indústrias Nucleares do Brasil**. São Paulo: Editora Abril, 2005.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores-Preços-Contrução Civil-SINAPI**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 jun de 2005.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração: Técnicas de Revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **Planejamento de Lavra da Jazida Cachoeira.** Poços de Caldas: INB, 1996. 6 p.

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **Pilhas de Deposição de Estéril da Jazida Cachoeira.** Poços de Caldas: INB, 1996. 8 p.

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **Caracterização dos Agentes Poluentes. Projeto Lagoa Real: Lixiviação em Pilhas.** Poços de Caldas: INB, 1996. 9 p.

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **Relatório Final de Análise de Segurança.** Poços de Caldas: INB, 1996.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **IAEA Technical Co-operation: Building Development Partnerships.** Vienna: IAEA, 1998.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities.** Vienna: IAEA, 1999.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources.** Vienna: IAEA, 2000.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Predisposal Management of Radioactive Waste, Including Decommissioning.** Vienna: IAEA, 2000.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Radioactive Waste Management - Turning Options Into Solutions.** Vienna: IAEA, 2000.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Building a Sustainable Future.** Vienna: IAEA, 2002.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Science Serving People.** Vienna: IAEA, 2002.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Radiation, People and the Environment.** Vienna: IAEA, 2004.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **The IAEA At Work.** Vienna: IAEA, 2004.

LIMA, H. M., P. WATHERN, et al. **Águas Claras Mine Closure Liability Assessment.** Huelva, Spain: I Jornada Iberoamerica sobre Cierre de Minas, 2000.

LIMA, H. M. e CURI, A. **Mine Closure Principles.** Ouro Preto: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 2002.

PLANEJAMENTO AMBIENTAL E ARQUITETURA – **Estudo de Impacto Ambiental – EIA do Complexo Uranífero Mínero-Industrial de Lagoa Real, Caetité**. Salvador: PLANARQ,1997.

RAPOSO, C. e MATOS. E. C. **Relatório Síntese da Jazida da Cachoeira**. Poços de Caldas: NUCLEBRAS,1983.

RAPOSO, C. et al. **Síntese da Geologia na Província Uranífera de Lagoa Real**. Poços de Caldas: NUCLEBRAS, 1983.

UXC THE UX CONSULTING COMPANY. **Ux U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> Price**. Disponível em: <http://www.uxc.com>. Acesso em 12 de agosto de 2005.

VALE, F. R et al. **Manejo da Fertilidade do Solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997.

VOLVO EQUIPMENTS DO BRASIL. **Volvo Construction Equipment**. Disponível em: <http://www.volvo.com/constructionequipment/brazil>. Acesso em 8 de junho de 2005.

WAGGITT, P. W. **The Decommissioning and Rehabilitation of the Nabarlek Uranium Mine**. *In: Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production*. Balkema, (1998).p. 431-436.

YOUNGER, PAUL. **Holistic remedial Strategies for Short and Long Term Water Pollution from Abandoned Mines**. Doncaster, UK, 2000. Vol. 109.