

## Plano conceitual de fechamento para a unidade de concentrado de urânio da INB em Caetité, Bahia

Flávio Luiz Costa

*Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral  
Departamento de Engenharia de Minas/EM/UFOP  
E-mail: flavio.costa@rdmbr.com.br*

Hernani Mota de Lima

*Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Minas/EM/UFOP  
E-mail: hernani.lima@ufop.br*

### Resumo

O presente trabalho apresenta um plano conceitual de fechamento de mina, desenvolvido para a Usina de Concentrado de Urânio-URA da INB em Caetité, BA. O plano contém as ações de reabilitação a serem implementadas na mina, pilhas de estéril, barragem de rejeitos e pilhas de lixiviação com vistas ao fechamento da mina. Em adição, esse estudo apresenta uma estimativa de custo de fechamento.

**Palavras-chave:** Fechamento de mina, plano conceitual, urânio.

### Abstract

*The present study presents the conceptual closure plan developed for the Uranium Concentrate Plan – URA from INB in Caetité, BA. The plan includes the rehabilitation measures to be taken in the mine, waste piles, tailings dam e leaching piles in order to reach the closure. In addition, this study presents an estimate cost for the closure plan.*

**Keywords:** Mine closure, conceptual plan, uranium.

## 1. Introdução

Do início dos anos 80 a meados dos anos 90, a produção mundial de  $U_3O_8$  declinou vertiginosamente. Essa retração na indústria de urânio resultou no fechamento permanente de muitas instalações. A opinião pública em franca oposição, os baixos preços do urânio no mercado da época, o excesso de matéria-prima e a baixa expectativa de demanda futura de urânio indicavam que, provavelmente, as usinas existentes não seriam reabertas. Devido a tal situação, várias minas de urânio e tório foram “descomissionadas”. Frente ao elevado número de instalações nucleares em encerramento de atividades, a Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA viu-se preocupada com o fechamento de minas e instalações nucleares e com o gerenciamento de todo o passivo associado (IAEA, 2000).

Atualmente, novas minas ou aquelas que já se encontravam em operação passaram a ser regidas por normas e procedimentos 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 agências reguladoras, para assegurar os termos 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 (Waggitt, 1998).

Esse artigo trata do plano conceitual de fechamento para a unidade de concentrado de urânio da INB em Caetité, Bahia. O principal objetivo do fechamento de um empreendimento, como o da Usina de Concentrado de Urânio-URA da INB, é a descontaminação ou “descomissionamento” das instalações, com suas edificações, estruturas e equipamentos ou itens que possam ser reusados ou reciclados. Esse artigo, entretanto, descreve os procedimentos en-

volvidos na elaboração do plano conceitual de fechamento para a Mina Fazenda da Cachoeira e todo o complexo da Usina de Concentração de Urânio (URA) e apresenta uma estimativa de custo deste.

## 2. Caracterização do empreendimento

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. Essa classificação implica uma série de restrições e cuidados, usualmente, 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. A URA 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 1 apresenta todas as fases operacionais do complexo até a obtenção do “*yellow-cake*” e seu posterior entombamento.

## 3. O fechamento da URA

A URA entrou em funcionamento efetivo em 1999, criando novas perspectivas numa região distante dos principais centros consumidores, inclusive o complexo formado pelas usinas de Angra 1 e Angra 2. Quando da implantação, a INB optou por fazer a reabilitação concomitantemente com a operação de todo o complexo, de forma a minimizar os trabalhos quando ocorre o encerramento das atividades do empreendimento, inserindo os custos decorrentes desse trabalho nos custos operacionais. Várias atividades ligadas ao fechamento são desenvolvidas, num esforço multidisciplinar, com o intuito de se aprimorarem,

modificarem ou substituírem as metodologias de reabilitação adotadas.

Da Província Uranífera de Lagoa Real, apenas a anomalia 13 está em lavra - denominada Mina Fazenda Cachoeira. A vida útil prevista para essa mina é de 16 anos (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. Com base nessas condições, optou-se por realizar um plano conceitual de fechamento de todas as instalações do empreendimento, considerando-se, apenas, a atual mina em operação, estendendo-se, futuramente para as demais anomalias, aquilo que couber, pois cada mina tem suas características próprias.

## 4. Plano de ação

A seleção de técnicas de descontaminação e desmantelamento é um importante fator que influencia o caráter e a quantidade de material gerado que deve ser cuidadosamente considerado quando do planejamento e implementação do fechamento de forma a minimizar os procedimentos relativos a rejeitos. No caso da URA, as características das técnicas propostas são baseadas em exigências específicas para o local e para 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.

A cava da Mina Fazenda Cachoeira deverá avançar até uma profundidade de 140 metros, sendo que as bermas e taludes são constituídos, praticamente, de rocha dura tipo granito/gnaiss. As paredes têm inclinação média em torno de 58°.

Tendo em vista que os estudos hidrogeológicos realizados pela empresa GEOSERVICE 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, no caso a Mina Fazenda do Engenho (anomalia 9) e rejeito do processo.

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.

A rocha portadora do minério é representada pelo albitito, sendo que os minerais envolvidos incluem o 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 perchblendita. O material estéril lançado na área é constituído, essencialmente, por granito/gnaisses, rochas encaixantes dos albititos portadores da mineração uranífera. Embora em quantidades ínfimas, as pilhas de estéril contêm mineralização uranífera.

Para minimizar a infiltração, a lixiviação e o carreamento de elementos está-

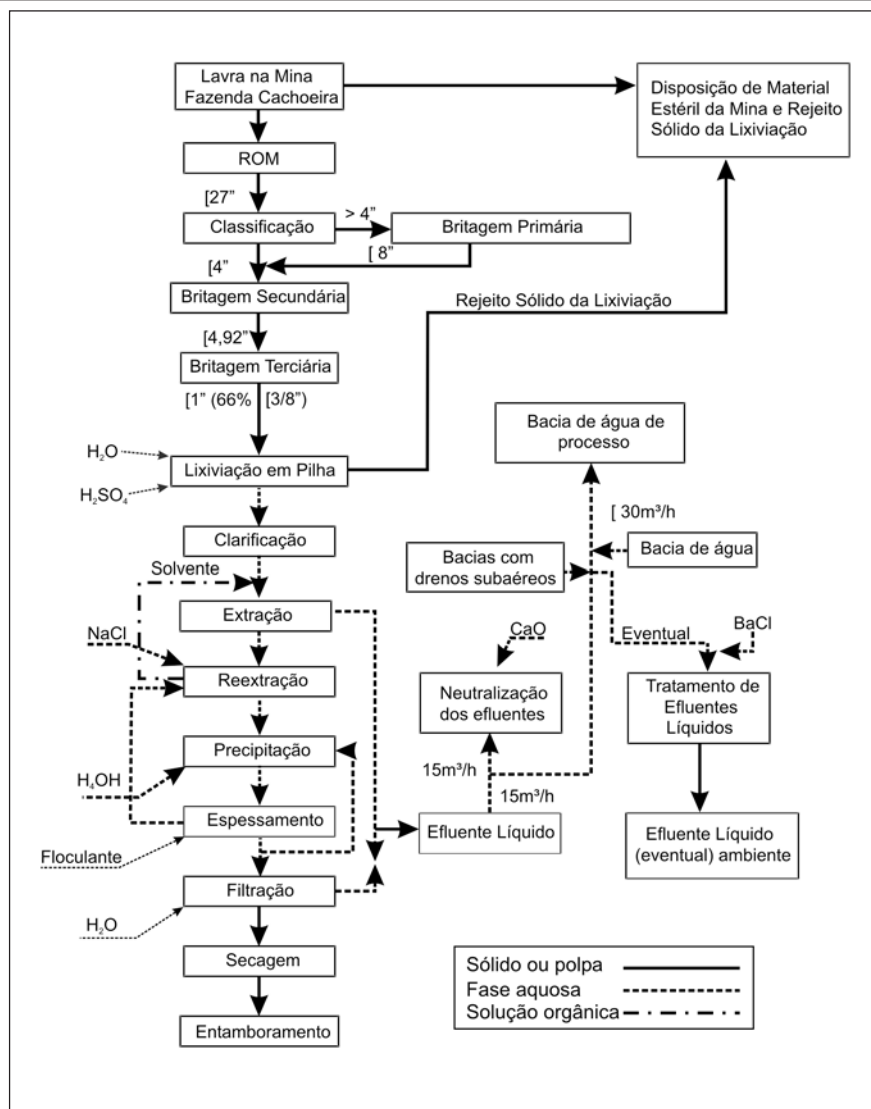


Figura 1 - Fluxograma do Processo de Produção de Concentrado de Urânio na URA. Fonte: INB (2004).

veis e radionuclídeos, as faces expostas das pilhas, imediatamente após atingir a cota limite, são adequadamente impermeabilizadas com uma camada de, aproximadamente, 20 cm de solo argiloso, complementada por uma cobertura vegetal (reposição de solo de topo armazenado) e um sistema de escoamento das águas pluviais associado a uma declividade adequada de sua superfície final. Como características básicas da rocha estéril para um plano de fechamento, destacam-se a não ocorrência de minerais sulfetados, tanto na rocha encaixante quanto na hospedeira, implicando a ausência de drenagem ácida, e rocha fresca competente e pouco fraturada, confe-

rindo à pilha características de um aterro de enrocamento.

As pilhas de disposição de estéril/rejeito formadas nas subáreas constantes de projetos são, regularmente, revegetadas e drenadas. O fechamento da Mina Fazenda Cachoeira inclui obras de reconformação topográfica, inclusive com a quebra de angulosidades formadas pela deposição em bancos ascendentes, cobertura com *topsoil* e revegetação.

Os rejeitos sólidos, minério “exaurido” das pilhas de lixiviação da usina, são dispostos junto à pilha de estéril,

nas áreas de disposição implantadas no vale do córrego Cachoeira. Condutas específicas possibilitam a otimização da capacidade de retenção dos radionuclídeos solúveis, presentes no rejeito, pela massa de estéril previamente depositada na base da pilha. Considera-se 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 disso, dispõe-se o rejeito na porção mais central do banco de cada módulo da pilha, de maneira que tal rejeito fique totalmente encapsulado, assentado sobre um considerável leito de estéril, que funciona como proteção superior e lateral, contra a exposição aos agentes erosivos.

A britagem consiste de uma unidade de britagem primária, secundária, terciária, demais componentes do circuito de britagem e pátios, onde se promove a lixiviação ácida em pilhas. O descomissionamento da referida Mina se dará através da limpeza dos equipamentos e sua inspeção radiológica, promovendo-se, assim, sua descontaminação. Após limpeza e inspeção radiológica, os equipamentos e acessórios poderão ter novas alternativas de uso em outras unidades industriais.

A instalação de beneficiamento químico 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, caracterizado antes da implantação do referido pátio será o critério a ser atingido pelas medidas mitigadoras, de forma a reintegrá-lo ao meio

ambiente natural. As medidas para a reabilitação do pátio incluem a retirada das mantas impermeabilizantes e a monitoração do solo. Caso sejam encontrados valores acima do *background* da área, esse solo deverá ser recoberto com camadas de material estéril, com níveis iguais ou menores ao do *background* local. Após esse sistema de “blindagem” natural, uma camada de solo de topo deverá ser adicionada para posterior revegetação.

Existem quatro bacias 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 de tais bacias, o precipitado contido será recoberto com uma manta de material polimérico de natureza idêntica ao usado na impermeabilização de fundo e, sobre essa manta será colocada uma camada estéril com *background* radiométrico igual ou menor ao do local. No fechamento, uma camada de solo de topo com cobertura vegetal com espécies existentes na flora local será adotada. 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 ou menores que o *background*.

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 1.

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. Cronograma de execução dos trabalhos

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 e longo prazo, constitui-se em uma tarefa difícil, dado as particularidades do empreendimento (Tabela 2).

## 6. Monitoramento - pós-fechamento

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

Tabela 1 - Procedimentos a serem adotados para o descomissionamento das instalações.

	Inventário	Desmontagem	Monitoração	Descontaminação	Liberação	Demolição
<b>Equipamentos</b>	√	√	√	√	√	
<b>Edificações</b>	√		√	√	√	√
<b>Estruturas</b>	√	√	√	√	√	√

Tabela 2 - Cronograma Conceitual de Execução das Atividades.

		Fase de fechamento após encerradas as atividades												Pós-fechamento							
		ANO				ANO II				ANO III				ANO?							
		TRIMESTRE				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	?			
Atividades	Equipamentos	Inventário	x																		
		Desmontagem		x	x																
		Monitoração				x															
		Descontaminação					x														
		Liberação					x														
	Edificações	Inventário	x																		
		Monitoração		x																	
		Descontaminação			x																
		Liberação			x																
		Demolição				x	x	x													
	Estruturas	Inventário	x																		
		Desmontagem		x																	
		Monitoração			x																
		Descontaminação				x															
		Liberação				x															
	Adequação topográfica e paisagística	Terraplenagem							x	x	x										
		Obras de controle de erosão e sistema de drenagem							x	x	x										
		Tratos na superfície do solo										x									
		Revegetação, inclusive no entorno da cava											x	x						?	
		Isolamento do Sítio													x						
		Controle das formigas cortadeiras													x					?	
		Retorno do córrego Cachoeira ao seu leito original	x	x	x	x															
		Enchimento da cava da mina com água do córrego Cachoeira e precipitações					x	x	x	x	x	x	x	x	x						?
		Área de disposição de estéril/rejeito								x	x	x	x								
		Estradas								x	x	x	x								
Monitoramento		x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			?	
Manutenção		x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			?	

? - Significa uma incerteza quanto ao intervalo de tempo necessário de monitoramento e manutenção pós-fechamento. Em geral, esse tempo é estipulado pelo órgão ambiental competente e órgão regulador.

## 7. Uso futuro

O semi-árido baiano está inserido em um bioma frágil, a caatinga, encontrando-se bastante antropizado pela agricultura de subsistência e pelo extrativismo vegetal de suas matas nativas, as quais são utilizadas para abastecer as

cerâmicas locais e as siderúrgicas de Minas Gerais. Torna-se importante a formação de uma filosofia ambientalmente voltada para combater esses problemas na região. Caso isto não venha acontecer, a região, futuramente, tende à desertificação e à exaustão dos aquíferos locais.

Perante a necessidade de um ambiente saudável e equilibrado nessa 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. O código florestal disciplina a criação das unidades de conservação possíveis em território brasileiro, as quais incluem: estação ecológica, reserva biológica, parque nacional, monumento natural e refúgio de vida silvestre.

## 8. Custo de fechamento da URA

O custo de fechamento da URA foi estimado, usando-se, como ferramenta de cálculo, o software CES-CFEM (Guimarães, 2005), aplicativo em ambiente de desenvolvimento Delphi, para estimativa de custos de fechamento de mina. A Tabela 3 apresenta a estimativa do custo de fechamento para a URA.

**Tabela 3** - Resumo de estimativa de custo de fechamento da URA, utilizando-se o software fecha mina.

<b>CUSTOS DIRETOS</b>	
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>
<b>CUSTOS INDIRETOS</b>	
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 Fechamento da URA</b>	<b>R\$ 20.286.000,00</b>

## 9. Considerações finais

Na apresentação do plano conceitual de fechamento para a URA, buscou-se adotar, como referência, as melhores práticas em fechamento de mina, associadas aos critérios 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.

Esse estudo concentrou-se em três elementos-chave para o processo de fechamento de uma mina: o plano de fechamento, as ações a serem implementadas e a estimativa de custos. Com base no que foi apresentado, reitera-se, de forma contundente, a opção positiva da INB pela reabilitação progressiva de áreas da URA e a maneira como estão sendo encaminhadas as questões ligadas ao meio ambiente na empresa.

O plano conceitual apresentado está longe de esgotar o assunto e ser conclusivo quanto a um plano executivo. Entretanto é importante como alerta para a INB e outras empresas quanto à necessidade de se elaborar um plano de fechamento conceitual. Muitas empresas acreditam possuir um plano de fechamento de mina com base no PRAD apresentado na fase de licenciamento do empreendimento. PRAD é e deve ser tomado como parte de um plano de fechamento de mina. Diferenças entre PRAD e Plano de Fechamento de Mina podem ser mais bem observadas no artigo “Plano de recuperação de áreas degradadas versus plano de fechamento de mina: um estudo comparativo” (Lima et al., no prelo).

Na estimativa de custos adotaram-se apenas, os custos com reabilitação, considerado como um dos itens de maior custo no fechamento de mina.

## 10. Referências bibliográficas

- GUIMARÃES, R. B. *Desenvolvimento de um aplicativo para estimativa de custo de fechamento de mina*. Ouro Preto: UFOP - Departamento de Engenharia de Minas - DEMIN, 2005. 72p. (Mestrado em Engenharia Mineral).
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Predisposal management of radioactive waste, including decommissioning*. Vienna: IAEA, 2000.
- LIMA, H. M., FLORES, J. C. C., COSTA, F. L. *Plano de recuperação de áreas degradadas versus plano de fechamento de mina: um estudo comparativo*. REM, no prelo.
- WAGGITT, P. W. *The decommissioning and rehabilitation of the narbarlek uranium mine*. In: *Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production*. Balkema, 1998. p.431-436.

Artigo recebido em 29/05/2006 e aprovado em 06/09/2006.