

 DRM	PLANEJAMENTO DO PRAD DA UTM (TRATAMENTO DE ÁGUAS)	RT-UTM-10-16
		Rev.: 00 Data: 12/04/16 Página: 1 / 17

SUMÁRIO:

1. OBJETIVO
2. CAMPO DE APLICAÇÃO
3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
4. DEFINIÇÕES E SIGLAS
5. DESENVOLVIMENTO
6. CONCLUSÕES
7. EQUIPE TÉCNICA ENVOLVIDA NA ELABORAÇÃO/REVISÃO
8. ANEXOS

CONTROLE DE REVISÕES		
REV.	DATA	DESCRIÇÃO SUMÁRIA
00	12/04/16	Emissão inicial.

	Elaboração	Verificação Técnica	Verificação Qualidade	Aprovação
Nome	Dirnei Aparecido Machado COSAM.M	Thiago Fernando de Avila Navarro – GEDEC.M	Marcos Assunção Cagnani UQ-UTM	Maurício de Almeida Ribeiro GEDEC.M
Conselho Nº	CRQ 04147457	CREA 5063892517	-	CREA 36.325
IBAMA Nº	-	5800949	-	-
Data				
Assinatura				

ESTE DOCUMENTO POSSUI CONTROLE DE CÓPIAS, SENDO PROIBIDA SUA REPRODUÇÃO

1. OBJETIVO

O objetivo deste relatório é o planejamento da Unidade de Tratamento de Minérios, UTM, acerca do tratamento de águas e da recuperação de urânio e terras raras do resíduo deste tratamento.

2. CAMPO DE APLICAÇÃO

Esse documento aplica-se à Gerência de Descomissionamento da Unidade de Caldas, GEDEC.M, da Unidade de Tratamento de Minérios, UTM; à Gerência de Licenciamento e Qualidade, GELIQ.M, à Superintendência de Engenharia e Licenciamento, SULIQ.M, e à Diretoria de Recursos Minerais, DRM, da Indústrias Nucleares do Brasil S.A., INB.

3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- **Norma CNEN NN 1.16** – Garantia da Qualidade para a Segurança de Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações
- **Nota Técnica** - Precipitação Fracionada dos Efluentes de Drenagem Ácida de Mina (AA-440). COSAM.M
- **PSQ-UTM-12 R00**– Proteção Radiológica para a Operação da Unidade de Descontaminação de Urânio nas Águas Ácidas da UTM
- **RT-UTM-10-14 R00**– Resultados e Avaliação dos Controles Radiológicos Aplicados aos Testes da UTI - UTM
- **RT-UTM- OZONIO-01 Rev.01** – Relatório Técnico de Processo e Operação de Planta Piloto I – Projeto Ozônio 2014/2015
- **RT-UTM-01** – Relatório Técnico de Processo e Operação de Planta Piloto I - Projeto Ozônio 2014/2015
- **RT-UTM-04-15 R00** – Análise de Riscos – Unidade de Descontaminação de Urânio nas Águas Ácidas - UDUAA
- **RT-UTM-13-14 R00**– Operação da Unidade de Troca Iônica 2013-2014
- **RT-UTM-13-14 R01** – Operação da Unidade de Descontaminação de Urânio nas Águas Ácidas da UTM 2013/2014
- **CONAMA 430/11- Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

4. DEFINIÇÕES E SIGLAS

4.1 Definições

- **Barraginha** – Bacia de captação de drenagem ácida oriunda do barramento da Bacia de Rejeitos;
- **pH** – Potencial Hidrogeniônico;
- **TR_{totais}** – Terras Raras Totais;
- **U₃O₈** – Óxido de Urânio

4.2 Siglas

- **AA** – Área de Atividade
- **BF** – Bota-Fora
- **BIA** – Bacia Ivan Antunes
- **BNF** - Bacia Nestor Figueiredo
- **BR** – Barragem de Rejeitos
- **CIPC** – Complexo Mínero-Industrial do Planalto de Poços de Caldas
- **CNEN** – Conselho Nacional de Energia Nuclear
- **CONAMA** – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- **COSAM** – Coordenação de Segurança e Laboratório Ambiental
- **CREA** – Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia
- **CRQ** – Conselho Regional de Química
- **D** – Decantação
- **DAM** – Drenagem Ácida de Mina
- **DRM** – Diretoria de Recursos Minerais
- **DUA** – Diuranato de Amônio
- **DUCA** – Diuranato de Cálcio
- **GEDEC** Gerência de Descomissionamento de Caldas
- **GELIQ** – Gerência de Engenharia Licenciamento e Qualidade
- **IBAMA** – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- **INB** – Indústrias Nucleares do Brasil
- **PRAD** – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
- **PSQ** – Procedimento do Sistema da Qualidade
- **R** - Revisão

- RT – Relatório Técnico
- SULIQ – Superintendência de Engenharia, Licenciamento e Qualidade
- TAM – Tratamento de Águas Marginais
- UDUAA – Unidade de Descontaminação de Urânio nas Águas Ácidas
- UQ – Unidade da Qualidade
- URA – Unidade de Concentrado de Urânio
- UTI – Unidade de Troca Iônica
- UTM – Unidade de Tratamento de Minérios

5. DESENVOLVIMENTO

5.1 Histórico

O rejeito de mineração da UTM, inicialmente denominada Complexo Industrial de Poços de Caldas, CIPC, foi depositado em pilhas denominadas Bota-Fora, com destaque para os Bota-Fora “BF-4” e “BF-8”, que são pilhas de rejeito geradoras de drenagem ácida, conhecida como Drenagem Ácida de Mineração, DAM. Essas águas ácidas lixiviam os metais presentes nos Bota-Fora, aumentando as concentrações dos radionuclídeos naturais – urânio (U-nat), tório (Th-232 e Th-230) e rádio (Ra-226 e Ra-228) - e as concentrações dos elementos iônicos estáveis – manganês (Mn), alumínio (Al), fluoreto (F), sódio (Na), potássio (K), cloreto (Cl), bário (Ba), cálcio (Ca) e sulfato (SO_4) - em níveis de concentração acima dos valores permitidos pela legislação, para o lançamento direto no ambiente (CONAMA 430/11), tornando necessário o tratamento, atualmente feito pela neutralização da acidez com cal. Outras fontes de DAM são as pilhas de minério remanescentes, estocadas nos pátios das áreas AA-460 e AA-430, originalmente utilizadas para biolixiviação em pilhas. Essas drenagens são captadas nas bacias denominadas “B1” e “B2” e enviadas para o tratamento.

A drenagem ácida de mina, DAM, ocorre quando a pirita e outros minerais sulfetados se oxidam por exposição ao oxigênio e água, produzindo ácido sulfúrico. Este ácido promove a solubilização dos metais presentes no solo, inibindo o crescimento de vegetação e resultando em erosão, transporte de metais dissolvidos e acidificação dos cursos d’água. A presença de determinados micro-organismos no meio rochoso, *acidithiobacillus ferrooxidans*, por exemplo, catalisa a reação de oxidação da pirita e, por consequência, aumenta a geração de DAM.

O BF-4 possui 12,4 milhões de metros cúbicos de estéril. A água ácida flui da base da pilha na vazão de 60 m³/h a 150 m³/h para a Bacia Nestor Figueiredo, BNF, de onde é bombeada continuamente para o tratamento na área AA-440, com opção de estocagem na cava da mina para

posterior tratamento. O BF-8 possui 15,0 milhões de metros cúbicos de estéril e drena água ácida para a Bacia Ivan Antunes, BIA, na vazão de 60 m³/h a 130 m³/h, a qual é diretamente bombeada para a área AA-440 para tratamento.

Para possibilitar o descarte dos efluentes gerados na UTM, é necessária neutralização do pH ácido e precipitação dos metais solúveis até valores permitidos pela Legislação (CONAMA e CNEN). O tratamento da DAM é realizado por procedimentos convencionais, através da adição de cal hidratada. A lama resultante do processo, conhecida como DUCA, é bombeada para a cava da mina. Porém, esse processo apresenta o inconveniente de custo de insumos alto devido ao uso contínuo de cal e a geração de DUCA, que é um resíduo contendo urânio. Atualmente a UTM vem estudando e implantando otimizações no processo de tratamento com cal e também vem desenvolvendo o uso de tecnologias alternativas limpas, como a utilização de ozônio, através do projeto “Ozônio” e também a utilização de troca iônica, através do projeto “Unidade de Descontaminação de Urânio nas Águas Ácidas”, UDUAA (Unidade de Descontaminação de Urânio nas Águas Ácidas), visando diminuir a geração de DUCA. A seguir, estão descritos os projetos de otimização do tratamento com cal, o projeto UDUAA e o projeto Ozônio.

5.2 Processo de Tratamento de Águas Marginais, TAM, na Área AA-440

O processo de Tratamento de Águas Marginais, TAM, é o tratamento das águas ácidas realizado na área AA-440, que visa a descontaminação das águas de modo a torná-las passíveis de serem destinadas ao meio ambiente sem riscos de contaminação, com enfoque principal para a correção de pH e redução de contaminantes presentes, especialmente os sulfatos, fluoretos, o alumínio, ferro, manganês e urânio.

A área AA-440 recebe os efluentes da BNF, da cava da mina, das bacias B1, B2 e da BIA. Nesta área as águas são neutralizadas com suspensão de cal, com concentração de setenta gramas por litro (70 g_{cal}/L), elevando o pH para a faixa entre 10 e 11. Esta adição de cal é necessária para precipitar o manganês e o fluoreto residual, e garantir que o efluente gerado atinja os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/11, art. 16.

A área AA-440 foi projetada para tratar continuamente uma vazão máxima de até 300 m³/h de água ácida. O reservatório da mina funciona como tanque pulmão, armazenando água da BNF até que o equilíbrio do sistema se restabeleça.

O efluente tratado é liberado para a bacia “D3” e segue para a segunda bacia, de polimento, bacia D4, local onde ainda pode ocorrer alguma precipitação. Posteriormente, a água transborda pelo vertedor de superfície para a Represa de Águas Claras, onde se encontra o ponto de interface da instalação com o meio ambiente, e segue pelo Ribeirão das Antas em direção a Poços de Caldas. A Fig. 1 mostra o esquema deste tratamento realizado na área AA-440.

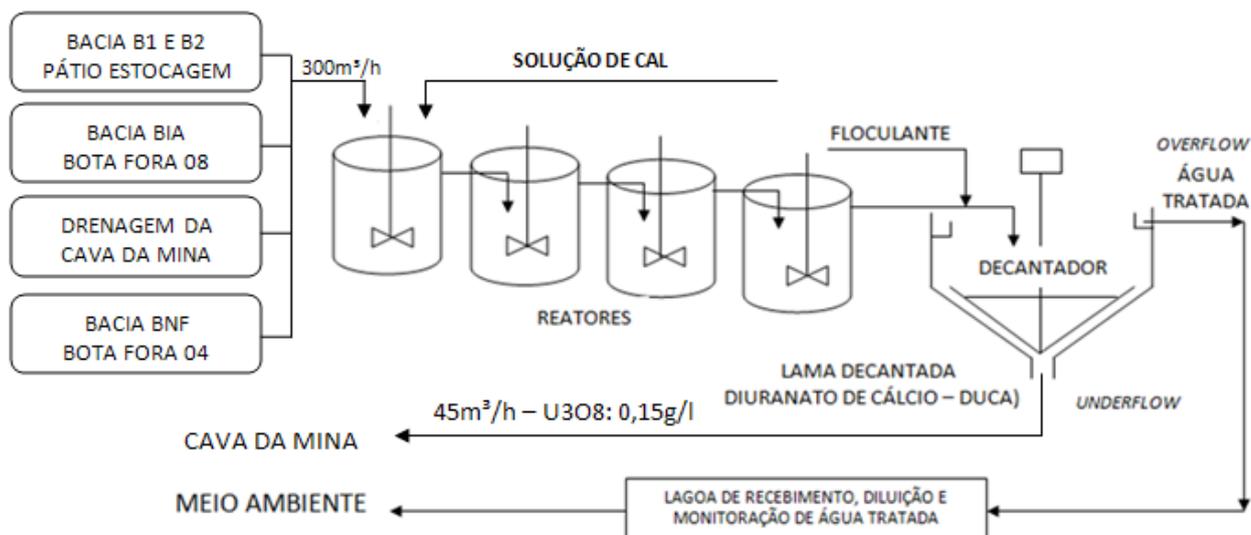


Figura 1 - Fluxograma esquemático do tratamento com cal hidratada

Os dados de projeto da área AA-440 são os seguintes:

- Volume anual médio de água tratada: 2.500.000 m³.
- Consumo anual médio de cal hidratada: 3.500 t.
- Consumo anual de energia elétrica: de 3.500.000 a 4.300.000 kW h.
- Operação contínua 24 horas por dia, 365 dias por ano.

As vantagens deste tratamento, que podem ser observadas são as seguintes:

- Metodologia convencional bem estabelecida;
- Processo de controle simples; não requer equipamentos sofisticados;
- Planta industrial já instalada;
- Pessoal treinado e habilitado para operar a planta;

As desvantagens observadas neste tratamento são as seguintes:

- O processo atual não é sustentável em longo prazo, devido ao enchimento do lago da cava da mina com o DUCA;
- Geração de DUCA com elevado teor de urânio (acima de 0,2 % em base seca), o que demanda armazenamento e controle específicos (gerenciamento e disposição do resíduo final);
- Geração de DUCA com densidade $1,03\text{g/cm}^3$ na polpa, o que significa volume circulante extra de água, com polpa de no máximo 30 gramas de sólidos por metro cúbico de DUCA. Esse volume extra retorna ao tratamento, consumindo quantidade significativa cal, polímero e energia;
- Custo operacional elevado, incluindo insumos, energia elétrica e pessoal operacional;
- Processo não sustentável ecologicamente, devido aos impactos na área de deposição do DUCA e também na cadeia de produção do principal insumo do tratamento, a cal hidratada.

5.2.1 Otimização da Dosagem de Cal Hidratada

Considerando as vantagens e desvantagens da metodologia de utilização de cal hidratada para o tratamento de efluentes da UTM, citadas no item 5.2, acima, buscou-se uma forma de realizar melhorias nesse processo, com foco na redução do consumo de cal e redução na geração de DUCA. Essa abordagem foi iniciada no Laboratório de Desenvolvimento de Processos e resultou na emissão da Nota Técnica “Precipitação Fracionada dos Efluentes de Drenagem Ácida de Mina - AA-440”, onde são apresentados os resultados de desempenho e caracterização de efluentes tratados com cal hidratada por meio de nova metodologia de adição, forma fracionada. Constatou-se que por meio da adição fracionada em dois pontos é possível reduzir o consumo de cal hidratada sem prejuízos da qualidade do efluente resultante do tratamento. Em alternativa ao uso de cal hidratada serão avaliados os desempenhos de outros agentes de precipitação, a fim de verificar eventuais melhorias no que diz respeito à eficiência de precipitação, custo e geração de efluentes sólidos. Nesse contexto, está inserido o cronograma de melhorias de processos relativos à dosagem de cal hidratada, apresentado no Anexo A.

5.2.2 Floculante

Uma das principais etapas do tratamento de efluentes é a floculação/decantação, que consiste na separação sólido-líquido por meio da utilização de um decantador ou tanque de clarificação, onde o sólido é direcionado para o fundo e o líquido tem a saída feita por transbordo na parte superior do tanque. A fim de acelerar a velocidade de decantação do sólido, é feita a adição de material polimérico que favorece a formação de flocos maiores, devido a interações intermoleculares entre o

polímero e os sólidos do meio. Essa operação pode ser otimizada na AA-440 através de melhorias no preparo da solução bem como a dosagem de floculante. Para tal, está proposta a realização de ensaios de bancada, para proposição de nova metodologia que resulte em melhor eficiência. O cronograma proposto para essa fase do projeto está descrito no Anexo A.

5.3 Projeto Troca Iônica

Essa técnica foi selecionada para testes de descontaminação de urânio em baixa concentração na água da bacia BNF, com concentrações entre 6 mg/L e 12 mg/L de U_3O_8 solúvel. A utilização de troca iônica não elimina a necessidade de tratamento com cal hidratada dando continuidade ao tratamento do efluente do processo na área AA-440. Ainda se faz necessária a correção de pH e a eliminação dos metais solúveis. A lama gerada no processo da área AA-440, o DUCA, será gerado a partir de um efluente com menor teor de urânio. A troca iônica é uma rota tecnológica de baixo custo e mundialmente utilizada para descontaminação de urânio em água.

Após uma série de testes de laboratório em escala de bancada visando a seleção de uma resina eficiente, a que apresentou melhor desempenho foi a resina “*Ambersep 920U CI*”, macrorreticular tipo 2, aniônica base forte, fabricante “Rohm&Haas”. Os dados obtidos nos testes serviram de base para dimensionamento do projeto da unidade industrial, que levou à implantação e operação em fase de testes da Unidade de Descontaminação de Urânio nas Águas Ácidas, UDUAA, da UTM. A UDUAA está instalada nas proximidades da área AA-440 e tem capacidade para tratar 150 m³/h de água da bacia BNF.

A UDUAA operou em fase de teste durante seis meses, de outubro de 2013 até abril de 2014. Nesse período, foram tratados cerca de 168 mil metros cúbicos de efluente da BNF, resultando na descontaminação de aproximadamente 770 kg de urânio. A operação durante o período de testes serviu para confirmar a eficiência desta tecnologia na descontaminação de urânio e também possibilitou a avaliação de aspectos radiológicos ocupacionais e ambientais da unidade. Os dados radiológicos levantados durante os testes, incluindo o balanço de radionuclídeos, foram utilizados nos documentos do licenciamento nuclear da Unidade. Deve-se observar que todas as exigências do órgão fiscalizador, da Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, até esta data, já estão atendidas.

A expectativa de descontaminação de urânio está entre 5 e 9 toneladas de U_3O_8 por ano, e este quantitativo poderá ser incorporado à produção da URA, em Caetité/BA, subsidiando os custos de manutenção na UTM.

O efluente do processo, aquele que sai pelas colunas, será tratado com cal hidratada até pH 11 área AA-440, a fim de precipitar os outros contaminantes presentes no efluente, junto com as demais águas ácidas, da mina, da BIA, da B1 e da B2. No relatório de operação da UDUAA, RT-UTM-13-14 R01, é possível verificar que o teor de sólidos na polpa de concentrado de urânio obtida durante a operação ficou aquém da expectativa. Adicionalmente, com o intuito de minimizar o teor de contaminantes do concentrado de urânio, será necessário fazer a modificação da rota de precipitação, substituindo o hidróxido de sódio, por hidróxido de amônio. Desse modo o concentrado de urânio a ser obtido passará a ter características mais próximas do concentrado de urânio produzido na URA, o Diuranato de Amônio, DUA. Para atendimento a essas demandas, é proposto o cronograma de atividades apresentado no Anexo A, para realização de ensaios de bancada, a fim de subsidiar a alteração em escala industrial.

Posteriormente, tem-se por objetivo transferir o efluente do processo para as unidades de tratamento de efluentes da usina, área AA-540 e área AA-570. O rejeito deste processo, formado basicamente por gesso, será depositado em diques a serem construídos na área da Barragem de Rejeitos, BR, denominada Asa da Andorinha. O processo de Licenciamento da UDUAA e o projeto dos diques estão sendo avaliados aguardando aprovação da CNEN para autorização da operação da planta e os documentos pertinentes a esse licenciamento são o relatório de análises de riscos RT-UTM-04-15 R00, relatório de resultados e avaliação da operação da planta piloto RT-UTM-10-14 R00 e o procedimento de operação da planta piloto PSQ-UTM-12, todos eles já concluídos, atualmente.

Com a consolidação da utilização de troca iônica para descontaminação de urânio do efluente da BNF, será possível iniciar os trabalhos para ampliação da aplicação desta tecnologia, a fim de incorporar nesse tratamento os outros efluentes de drenagem ácida que contém urânio solúvel, principalmente, os efluentes provenientes da BIA e da Cava da Mina. Devido à incompatibilidade entre os teores de sólidos suspensos desses dois efluentes e os valores máximos permitidos para alimentação de uma planta de tratamento por troca iônica, é necessário introduzir uma etapa de pré-tratamento a fim de reduzir o teor de sólidos. Portanto, serão realizados estudos para definição da rota de pré-tratamento e posteriormente desenvolvimento da rota de descontaminação de urânio por troca iônica, passando pela escala de bancada, seguida dos ensaios em escala contínua e caracterização química e radiológica para fins de licenciamento, finalizando com a elaboração de relatórios. Nesse contexto, estão inseridas as atividades do Projeto Troca Iônica.



Figura 2 - Fotos da Unidade Industrial da UDUAA

5.4 Projeto Ozônio

O gás ozônio (O_3) é um forte agente oxidante. Sua redução para oxigênio, em meio ácido, é um dos maiores potenciais de redução da série eletroquímica. Com esse alto poder oxidante, o uso de ozônio para a oxidação de diversas espécies químicas pode ser aplicado com sucesso. À INB interessa a descontaminação de manganês remanescente, considerado o polimento final, via processo híbrido de tratamento, no efluente oriundo dos processos anteriores de tratamento convencional com cal hidratada e troca-iônica. A remoção é feita com injeção com auxílio de venturi de ozônio na água, através da reação de oxidação do manganês solúvel (Mn^{2+}), para dióxido de manganês (MnO_2) insolúvel em água.

A presença de manganês na drenagem ácida de mina, DAM, é um dos principais problemas ambientais da indústria de mineração. Este elemento tem sido frequentemente encontrado em DAM em concentrações de até 150 vezes acima do limite permitido de 1,0 mg/L, para lançamento de efluente de acordo Resolução CONAMA 430/11. O número atômico do manganês é 25, Z=25, e massa atômica é 54,938. Depois de ferro e titânio, ele é o terceiro elemento mais abundante entre os metais de transição do grupo VIIb da tabela periódica, podendo ser encontrado em diversos estados de oxidação, tais como 2⁺, 3⁺, 4⁺, 6⁺ e 7⁺. Essa diversidade química é comum e complica a remoção de manganês de águas de drenagem ácida.

A maior dificuldade para a remoção do manganês da água está na permanência deste elemento em sua forma iônica, como Mn²⁺, solúvel em valores de pH relativamente elevados. Os processos tradicionais têm mostrado que a remoção de manganês requer pH acima de 10, por adição de reagentes químicos alcalinos, como soda cáustica, hipoclorito de sódio ou cal hidratada. Este fato é responsável pelo aumento do custo de adequação dos efluentes, muitas vezes levando à criação de um água tratada que excede os limites de descarga de pH, apesar de adequarem Mn e Fe dentro dos limites. Isto gera conflito com o CONAMA N°430, que também estabelece, como padrão de lançamento, valores de pH entre 5,0 e 9,0. Estes valores de pH altos levam à ressolubilização de alumínio já precipitado. A remoção final de manganês é tipicamente um processo lento, devido à cinética e à complexidade das reações, requerendo tempo de reação superior a 24 horas, em lagoas de retenção.

Outro fator que pode tornar essa remoção ainda mais difícil é a diversidade química do efluente, que normalmente possui uma grande quantidade de metais dissolvidos e outros compostos, quando se trata da drenagem ácida de minas, como é o caso da UT, ou efluentes aquosos das operações de mineração e metalurgia.

Os ensaios em laboratório com amostras de efluentes da UTM comprovaram a eficácia da oxidação química por ozônio para remoção do manganês de DAM "in natura". A matéria prima do processo de ozonização é o ar atmosférico que passa por um separador/concentrador de oxigênio, deixando o ar com mais de 95% de oxigênio. Esse oxigênio concentrado passa por placas com elevada tensão, que abrem descarga elétrica e transformam o oxigênio em ozônio. A meia vida do ozônio é de aproximadamente sete minutos. O decaimento deste o faz retornar a oxigênio.

As concentrações de manganês na DAM, inicialmente da ordem de até 170 mg/L, diminuíram para abaixo do limite máximo aceitável para emissões em corpos d'água (< 1 mg/L) em menos de 60 minutos. Após esse máximo de remoção, a concentração de manganês solúvel aumenta e a solução

adquire uma coloração arroxeada, devido à continuação da reação para permanganato pela ação do ozônio.

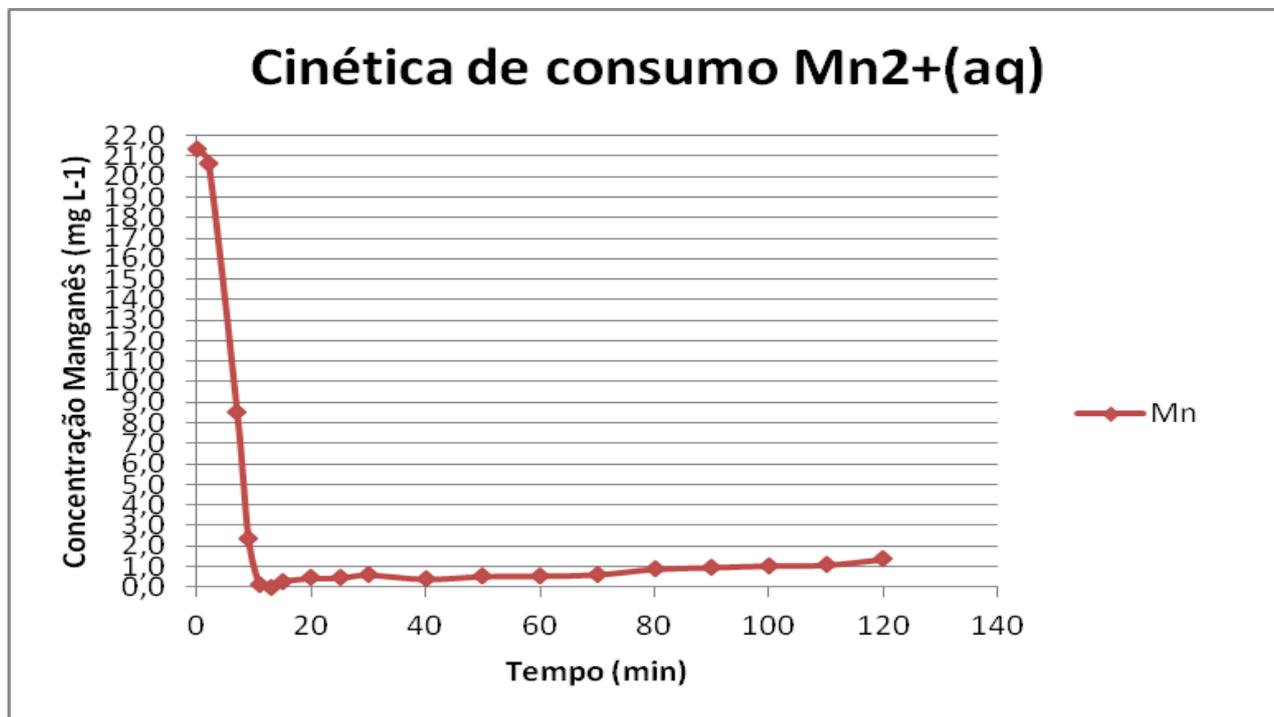


Figura 3 - Cinética de consumo de manganês (II) presente na água a ser tratada na AA 540

Diante dos resultados obtidos, abrem-se possibilidades de utilização de ozônio nas seguintes aplicações:

- descontaminação direta de manganês em água ácida sem tratamento prévio;
- descontaminação de manganês residual do efluente do tratamento com cal hidratada - TAM (polimento final) antes de ser liberado para as bacias D3 e D4;
- descontaminação direta de manganês em água ácida da Barraginha, que coleta água de percolação da BR;
- descontaminação de manganês residual (polimento final) do efluente da BR após tratamento com cal hidratada, antes de ser liberado para as bacias D1 e D2;
- Remoção do manganês residual complementar, via integração das alternativas tecnológicas dos efluentes da troca iônica.

A correção da acidez com cal hidratada ainda se faz necessária para remoção de íons fluoreto que permaneceram solúveis, em atendimento a Legislação. Entre outros testes serão realizados os estudos seguintes:

- Se constatada a redução de gasto com esse insumo, o ozônio pode substituir parcialmente a cal hidratada no tratamento de efluentes, contribuindo para uma diminuição ainda maior no volume de lama gerado. O material precipitado não possui características radioativas e, portanto, talvez possa ser depositado em áreas em que não há obrigatoriamente licença nuclear.
- O ozônio também pode desempenhar papel importante no pré-tratamento dos efluentes que irão alimentar a troca-iônica, tendo em vista que a presença de algumas espécies químicas, principalmente íons ferro, com poder de inibição/degradação de resinas e membranas, inviabilizariam a utilização desta técnica. Logo, o ozônio pode fazer a adequação parcial ou até mesmo total dos efluentes da BIA e da Cava da Mina, para permitir o emprego de troca-iônica.

Propõe-se aplicação do processo de ozônio como forma de redução de custos no tratamento da DAM, contribuindo para a redução de urânio nos resíduos gerados e para grande economia de energia e insumos. A partida da planta piloto instalada na área AA-570 permitiu a coleta de amostras para o balanço de radionuclídeos e forneceu informações importantes para a solicitação do licenciamento junto à CNEN, para operação da planta.

A aprovação de testes em escala piloto, visando a comprovação da tecnologia depende de autorização da CNEN. Os dados obtidos em escala piloto servirão de base para orientar ações futuras do processo de tratamento de águas ácidas, TAM.

Além disso, no intuito de aperfeiçoar e implementar operação unitária de separação sólido/líquido, foi realizada a implantação física e operacional de filtro prensa e testes de filtração foram iniciados, apresentando, desde o início, excelentes resultados em termos de taxa de filtração, com valores acima de 98%, mesmo com a concentração de sólidos sendo baixa, de aproximadamente 8% de sólidos.

Com esse panorama inicial do uso do ozônio, foi emitido um relatório técnico com os parâmetros essenciais de operação, o RT-UTM- OZONIO-01 Rev.01. Em seguida será iniciado o processo de monitoramento da aplicação de ozônio no tratamento de efluentes em escala contínua com operação mínima de 160 horas para levantamento de informações sobre a eficiência, condições de operação e monitoramento da planta para tratamento da água da Barraginha. As variáveis de processo a serem monitoradas são:

- vazão de entrada de oxigênio, $Q(O_2)$, (L/min);
- concentração de ozônio, $[O_3]$, (g/Nm³);
- vazão de alimentação da água ácida Q_{Al} , (L/h);
- produção em massa de O_3 , g/h; e
- consumo energético (KW/h).

Paralelamente à monitoração da eficiência da planta, será feita uma caracterização química e radiológica dos efluentes gerados para subsidiar o licenciamento de uma planta industrial de tratamento de efluentes com ozônio para a área AA-570. E finalizando essa etapa do projeto, será emitido um relatório de viabilidade econômica da planta piloto. O cronograma do processo de monitoramento na área AA-570 está descrito no Anexo A.

Dando continuidade ao projeto, os parâmetros da planta piloto de área AA-440 serão monitorados com a mesma sistemática utilizada para o processo com o efluente da Barraginha. Nesta área, o tratamento de efluentes é efetuado de várias fontes geradoras, tais como Cava da Mina, BNF e BIA. Cada fonte geradora terá os parâmetros monitorados, inclusive a possível mistura de duas ou mais fontes geradoras, conforme a necessidade de tratamento da área. Cada tipo de efluente tratado terá um monitoramento contínuo com operação mínima de 160 horas com caracterização química e radiológica para subsidiar o licenciamento da área AA-440. Após essa etapa do projeto, será elaborado um pré-projeto que será a base de dados para iniciar o processo de contratação do projeto básico, executivo e implantação de planta industrial para tratamento de efluentes utilizando ozônio. O cronograma do processo de monitoramento na AA-440 está descrito no Anexo A.

5.5 Descontaminação de Urânio do DUCA e Produção de Terras Raras

Este item trata de uma operação para remover e processar o DUCA estocado na cava da mina, e recuperar os elementos de valor nele contidos, principalmente urânio e terras raras. O urânio pode ser transferido para a URA, em Caetité, para ser incorporado à produção da unidade. As terras raras, que têm mercado e alto valor agregado, podem ser comercializadas pela INB, gerando recursos financeiros para a empresa.

Como já explicitado, o DUCA é a lama resultante do processo de tratamento das águas ácidas, resultante da neutralização deste efluente com cal hidratada, para precipitação dos metais solúveis, realizado na área AA-440. Esta lama é espessada e transferida através de bombeamento para a cava da mina. O teor de urânio no DUCA varia entre 0,1% a 0,4% em U_3O_8 , em base seca. Essa lama não é inerte, é dissolvida em pH abaixo de 9,0, representa um passivo ambiental com

características de resíduo radioativo e contém, além de terras raras, outros metais, tais como ferro, manganês e alumínio. Os dados estimados a partir de registros de época de sua geração são os seguintes:

- Volume de DUCA lançado na Cava da Mina: entre 120.000 e 150.000 m³/ano;
- Massa total de urânio na Cava da Mina: 300 t em U₃O₈ (valor estimado a partir dos dados de operação);
- Massa total de terras raras na cava: 6.000 t (valor estimado);
- Composição mineralógica:
 - Etringita: > 50 %;
 - Gipsita: < 20%;
 - Calcita: < 10%;
 - Outros: < 20%;
- Composição química (resultados expressos em base seca):
 - pH da lama: > 11;
 - U₃O₈: 0,2 % a 0,4 %;
 - TR_{totais}: 3 % a 7 %;
 - CaO: 16 % a 30 %;
 - SO₄: 14 % a 22 %;
 - MnO: 1,5 % a 7,5 %;
 - Al₂O₃: 5 % a 11 %;

O enchimento do lago da mina em médio prazo é previsto, devido à contínua geração e transferência de DUCA para a cava. Sem solução de curto prazo, essa rota não é sustentável e deverá entrar em colapso.

Como alternativa tecnológica, a recuperação do DUCA permite a remoção do material da cava da mina liberando o espaço para demais disposições, e gera um resíduo de gesso com menores concentrações de radionuclídeos, que poderia diminuir os custos de sua disposição final, ou talvez pudesse ser usado como insumo na construção civil, como por exemplo, agregado de asfalto como carga. A recuperação é iniciada via lixiviação ácida dinâmica ou estática. Posteriormente o urânio seria separado via processos de troca iônica ou extração por solvente e as terras raras seriam separadas via processo de precipitação direta ou extração por solvente.

Para a implantação de um processo de recuperação como este, é necessário o estudo dos parâmetros reacionais em escala de bancada para cada operação unitária, observando os critérios de eficiência e de custo de cada operação. Estes testes irão demandar pessoal, equipamentos tais como agitadores e filtros, reagentes para a lixiviação, troca iônica e extração por solvente, para subsidiar dados para a escala piloto.

Com os parâmetros dos testes em bancada, serão efetuados os dimensionamentos das condições operacionais e de utilização de insumos para subsidiar o escalonamento industrial com as etapas de preparo de polpa de DUCA, lixiviação, separação de urânio; e separação de terras raras e tratamento de efluentes. Paralelamente ao dimensionamento planta piloto, parte-se para o licenciamento dessa planta nos órgãos competentes e a equipe de processos fornecerá os dados necessários de caracterização radiológica para a efetivação desse licenciamento.

Com as informações técnicas desse projeto, será gerado um relatório de viabilidade econômica do processo de recuperação de urânio a ser apresentado para avaliação dos investimentos da INB. Este projeto fornecerá os dados pertinentes para a equipe técnica da UTM iniciar a contratação do projeto básico e executivo da planta industrial de recuperação do DUCA da cava da mina. Todo o cronograma do projeto está descrito no Anexo A.

5.6 Estimativa de Prazos

O cronograma de execução dos projetos está apresentado no Anexo A.

6. CONCLUSÕES

Os projetos de ampliação e otimização do tratamento de águas marginais e de recuperação de urânio a partir do DUCA apresentam-se como alternativas viáveis para a os planos de fechamento de mina da UTM/Caldas

7. EQUIPE TÉCNICA ENVOLVIDA NA ELABORAÇÃO/REVISÃO

Nome	Função/Cargo	Participação
Fabio William Rodrigues	Químico	Coelaborador
João Paulo Barolli Reis	Coordenador COSAM.M	Coelaborador
Walter Scassiotti Filho	Químico	Coelaborador

8. ANEXOS

Anexo A – Cronograma de Atividades do Tratamento de Águas e Recuperação de Urânio do DUCA

Anexo A

Cronograma de Atividades do Tratamento de Águas e Recuperação de Urânio do DUCA (em Mídia Eletrônica – CD)