

ANÁLISE DE UM SISTEMA DE EVAPORAÇÃO DE LÍQUIDOS CONTENDO URÂNIO E OUTROS ELEMENTOS QUÍMICOS EM FUNÇÃO DAS LEIS E NORMAS VIGENTES

Valdir M. Lopes e Barbara M. Rzycki

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, CNEN/SP
Travessa R. 400, 05508-900 São Paulo, S.P.

RESUMO

A evaporação de líquidos tem sido mundialmente consagrada como técnica de redução de volume de efluentes de laboratório ou rejeitos radioativos, no âmbito da indústria nuclear. Esta técnica rápida, tem demonstrado eficiência na concentração de elementos químicos não voláteis e a lama resultante é quimicamente estável, fisicamente homogênea e biologicamente inerte. É muito comum que sejam evaporados líquidos contendo urânio com nível de radiação baixo, porém o seu teor na lama resultante pode não ser o fator limitante para o destino final do concentrado. Muitas vezes, dependendo do perfil dos líquidos a serem evaporados, outros elementos químicos como flúor e metais podem impedir a deposição da lama no meio ambiente. O evaporador proposto funciona com aquecimento solar, embora possa ser usada a energia elétrica, e permite evaporar 50 L de líquidos por dia. O fator de redução de volume chega a 95% e o custo de fabricação é muito baixo. Neste trabalho são analisados: as características do evaporador e os valores limites estabelecidos pelas leis e normas brasileiras, para os elementos presentes na lama de evaporação, com o intuito de justificar porque se visa a *descarga zero*, em vez de eliminar o concentrado no ambiente.

INTRODUÇÃO

O volume de rejeitos radioativos líquidos provenientes de operações de descontaminação e limpeza de componentes, dentro de muitas unidades do ciclo do combustível nuclear, é alto. Um dos compostos químicos mais usados nas instalações de descontaminação é o ácido cítrico cuja função química não é tão agressiva nos metais como a do ácido nítrico ou sulfúrico. Este trabalho mostra a operação de um evaporador piloto que funciona com luz solar ou energia elétrica e permite evaporar cerca de 0,25 m³ de rejeitos líquidos por semana.

O custo da confecção de um evaporador, do tipo proposto neste trabalho, é muito baixo e o benefício que se traduz pelo fator de redução de volume, que é de aproximadamente 10, é alto. A lama, resultante do processo, é neutralizada com cal e se necessário poderá ser encapsulada ou imobilizada com cimento em tambores de 200 L, para fins de deposição final.

Neste trabalho são citadas as leis e normas vigentes no país, evidenciando aquelas que se aplicam aos elementos químicos presentes na lama de evaporação do processo citado e discutida a proposição de *descarga zero*.

PARTE EXPERIMENTAL

Construção do Evaporador. O evaporador constitui-se de um corpo e uma tampa. O corpo é confeccionado com chapas de polipropileno, com 10 mm de espessura. A tampa, que contém um orifício de tamanho adequado, permite acomodar um vidro transparente e liso, que deixa passar a luz solar e aquecer o sistema durante o dia.

A Unidade Central. O corpo do evaporador tem secção horizontal de forma quadrada com 133 cm de lado e a secção vertical tem forma trapezoidal com 165 cm de base, 62 cm de altura menor e 124 cm de altura maior. Este corpo permite acomodar uma resistência elétrica, recoberta com teflon, um ventilador, um sensor de nível, um painel de controle e um sistema de alimentação em forma de funil. A Figura 1 mostra o desenho esquemático do evaporador.

Na parte inferior, ao fundo do evaporador, é acomodada, em um local rebaixado da placa, a resistência elétrica.

Sistema de Ventilação. O sistema de ventilação é usado para forçar a saída do vapor de água para o meio ambiente, pelas fendas abertas, localizadas na parte frontal do

sistema. Na etapa experimental, antes de permitir que este vapor saísse do evaporador, foram feitos testes exaustivos de controle do nível de atividade, tendo sido demonstrado que no vapor não havia nenhum traço de elementos radioativos.

Sensor de Nível. O sensor de nível é interligado com um termostato e acusa o nível mínimo de líquido presente no evaporador. Desta forma, a operação de evaporação é finalizada quando o líquido atinge o nível mínimo prefixado.

Painel de Controle. O painel de controle fica localizado na parte frontal do evaporador e comporta todos os instrumentos usados no equipamento.

Bacia de Contenção. A bacia de contenção dos líquidos que por incidente possam vir a vazar do corpo do evaporador, foi colocada do lado externo do mesmo. Esta contenção foi construída com chapa de aço inoxidável, com 4,5 mm de espessura, 161,6 cm x 161,6 cm de secção por 13 cm de altura. A capacidade desta contenção é de 500 L. Este recipiente contém uma válvula, tipo gaveta, que permite a remoção dos líquidos.

O suporte da bacia de contenção foi construído com cantoneira de aço carbono e recebeu pintura protetora de tinta epóxi.

Classificação Técnica. O evaporador do tipo elétrico-solar, descrito neste trabalho, é considerado como de circulação natural do tipo ascendente porque o vapor formado circula em sentido ascendente.

Os evaporadores do tipo ascendente são mais vantajosos porque o acesso para se proceder a manutenção é mais fácil.

Taxa de Evaporação. A taxa de evaporação média é de 50 L/dia possibilitando que a redução de volume esteja próximo a 10. Para neutralizar a lama, ainda úmida após a evaporação, é usada a cal comum. Após a neutralização, a mistura é secada no ambiente sem nenhum outro artifício de aquecimento, retirando-se apenas a tampa do evaporador.

A operação, que consiste desde a alimentação do evaporador com o líquido a ser evaporado até a alimentação com nova batelada de líquidos, demora cerca de uma semana. Por este motivo, se o volume de líquidos destinados à evaporação for muito grande recomenda-se a instalação de dois ou mais evaporadores, embora possa ser feito o redimensionamento da unidade proposta.

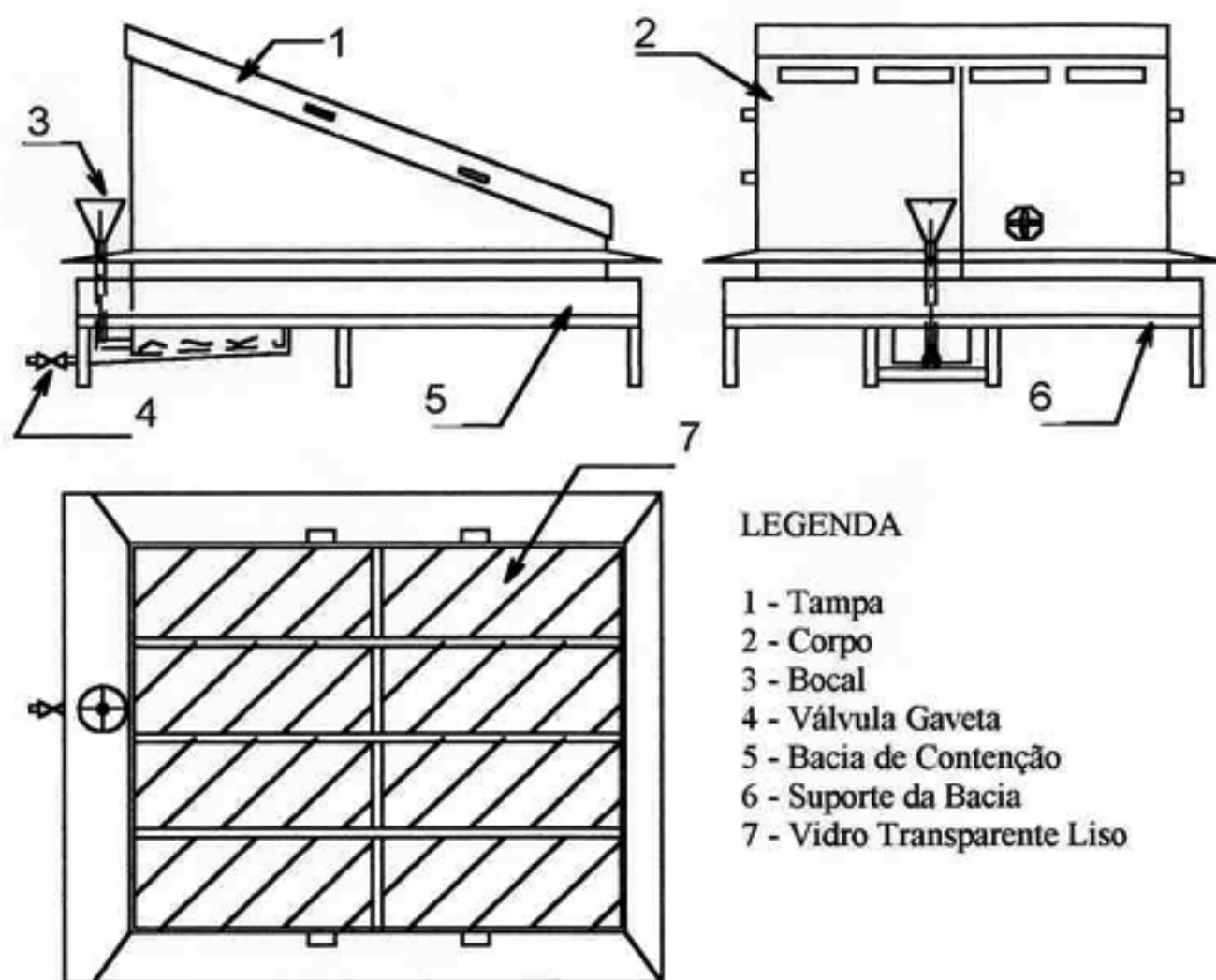


FIGURA 1. Desenho Esquemático do Evaporador para Rejeitos Líquidos Originários de Descontaminação de Itens.

RESULTADOS

Evaporação de Soluções de Descontaminação. O volume de líquidos provenientes de operações de descontaminação, em uma das unidades do CTM (Centro Tecnológico da Marinha/SP)-IPEN, é muito grande chegando a 3 m³/mês. São soluções aquosas contendo alto teor de ácido cítrico e íons metálicos como F⁻, Cu²⁺, Ni¹⁺, Al³⁺, Fe²⁺, U_{nat} e seus produtos de decaimento, ²³⁴Th. A concentração salina média da solução é de 0,5 g.L⁻¹. Este teor de sais não causa problemas no evaporador.

O ácido cítrico usado nas operações de descontaminação é biodegradável e é usado em solução aquosa em concentração de 75 g.L⁻¹. A descontaminação de componentes é feita em tanques por processo de imersão, com auxílio de equipamentos de ultra-som.

Os líquidos resultantes da descontaminação, após a análise radioquímica, passam para a fase de evaporação. O evaporador é alimentado, no início da operação, com 250 L de solução de descontaminação e em seguida a alimentação é feita à razão de 50 L por dia.

O aquecimento do líquido é feito com o auxílio da resistência elétrica, a temperatura de operação é de 50 ± 5 °C. A luz solar incidente permite economizar energia elétrica durante o dia. Nas estações em que a insolação é mais intensa esta economia é mais efetiva.

Análise Radioquímica da Lama. A análise radioquímica da lama gerada no processo de evaporação resultou nos valores médios seguintes:

| Elemento | Concentração (mg.L ⁻¹) |
|-------------------|------------------------------------|
| Urânio total | 90 a 110 |
| ²³⁵ U | 4,58 x 10 ⁻⁴ |
| ²³⁴ Th | 1,41 x 10 ⁻⁹ |
| Cu ²⁺ | 2,05 |
| Fe _{sol} | 12,5 |
| F ⁻¹ | 33,8 |
| Ni ⁺¹ | 1,74 |
| Ác.cítrico | 75000 |
| D.B.O. | 1240 |
| pH | 7 - 8 |

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A fase destilada (vapor) não contém elementos radioativos em níveis que impeçam a sua liberação para o meio ambiente. A fase concentrada contém todos os radionuclídeos que estavam presentes no líquido antes da operação de evaporação. Esta fase concentrada deve ser gerenciada conforme os procedimentos normais de

tratamento de rejeitos radioativos^[1] tornando-se, ou um efluente ou um material a ser imobilizado, para futura deposição em repositórios finais para rejeitos radioativos.

A redução máxima de volume depende da quantidade de sais dissolvidos no rejeito, bem como das propriedades químicas do líquido a ser evaporado^[2]. O fator de descontaminação em evaporadores, do tipo apresentado neste trabalho, chega a ser de 10.000 e depende de fatores limitantes que podem ser, entre outros, a cristalização dos sais dissolvidos nas regiões mais frias do equipamento.

A concentração de sais nas soluções de descontaminação é considerada baixa 0,5 g.L⁻¹ por isso não se formam crostas por acúmulo de sais no final da evaporação^[3,4].

A lama seca é quimicamente estável, homogênea e permite que se trate o material conforme o tipo de gerenciamento mais adequado à questão. Caso seja necessário imobilizar o produto da evaporação, pode-se usar o cimento comum como matriz, pois a lama é quimicamente compatível com cimento.

Se nas operações de descontaminação forem usados ácidos mais fortes, por exemplo o ácido nítrico ou sulfúrico, deve-se manter a concentração dos mesmos em níveis que não reduzam a vida útil do evaporador, ou pré-tratar as soluções para torná-las quimicamente menos agressivas.

O Centro Experimental de Aramar, CEA, localizado em Iperó, São Paulo, terá como uma de suas atividades rotineiras a descontaminação de itens e conseqüentemente a evaporação dos líquidos resultantes desta operação, dentro dos moldes descritos neste trabalho. É necessário verificar se os teores dos elementos contidos na lama são mais baixos que os limites de liberação para o meio ambiente estabelecidos pelos órgãos competentes. Lembra-se que em Iperó, onde está o CEA, corre o rio Ipanema que abastece a região e cuja vazão é de 200 m³/min sendo classificado como rio de Classe 2^[5].

A Tabela 1 compara os valores médios dos elementos que compõem a lama e os limites de liberação estabelecidos pelas normas, resoluções e leis nacionais.

Como pode-se observar na Tabela 1, os valores estabelecidos na Lei Estadual/SP n^o 997^[6] e na resolução CONAMA 20, para águas interiores ou costeiras, são iguais.

Se o rejeito resultante da descontaminação fosse apenas neutralizado, e fosse permitida a sua liberação para o meio ambiente por não ser considerado rejeito radioativo, isto não seria possível porque a concentração de cobre, flúor e o valor da Demanda Biológica de Oxigênio, D.B.O., estão acima dos limites estabelecidos pela Lei 997 e pela resolução CONAMA 20.

Na prática, os limites de liberação são usualmente estabelecidos em níveis que correspondem somente a pequenas frações do limite derivado ambiental relevante.

O CEA é classificado como uma instalação nuclear portanto deve-se analisar certos aspectos que se referem a leis e normas estabelecidas por órgãos à nível nacional e estadual.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, órgão federal, criada pela Lei nº 4118 de 27 de agosto de 1962 possui, entre outras, as atribuições de: licenciar, em todo país, as instalações que usam material radioativo; fiscalizar as condições de radioproteção dessas instalações e manter um sistema de controle de fontes radioativas. A Lei nº 4118 foi alterada pela Lei nº 6189 em 16 de dezembro de 1974, permitindo à CNEN expedir normas, licenças e autorizações referentes às instalações nucleares, posse, uso, armazenagem e transporte de material radioativo; comercialização de material nuclear, minérios

nucleares e concentrados que contenham materiais nucleares. O tratamento e a eliminação de materiais contendo elementos radioativos também compete à CNEN.

Baseando-se em recomendações de órgãos internacionais, como a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), a CNEN adotou alguns limites estabelecidos em suas normas, para diversas atividades que fazem uso ou que, em suas operações, geram materiais contendo elementos radioativos.

TABELA 1. Elementos Químicos Presentes na Lama de Evaporação e Valores Limites para Descarga no Meio Ambiente Determinados por Leis e Normas Brasileiras.

| LAMA DE EVAPORAÇÃO | | | LIMITES ESTABELECIDOS POR ÓRGÃOS COMPETENTES | | |
|--------------------|---|-----------------------------------|--|--|---|
| Elementos | Concentração média (mg.L ⁻¹) | Atividade (Bq.m ³) | NE -CNEN nº 6.05 ^[1] (Bq.m ³) | Lei Estadual nº 997 ^[6] (mg.L ⁻¹) | Resol.CONAMA nº 20 ^[5] (mg.L ⁻¹) |
| Urânio total | ~ 100 | - | - | - | 0,02 |
| Cu ²⁺ | 2,05 | - | N.A.* | 1,0 | 1,0 |
| Fe _{sol} | 12,5 | - | N.A. | 15,0 | 15,0 |
| F ¹⁻ | 33,8 | - | N.A. | 10,0 | 10,0 |
| Ni ¹⁺ | 1,74 | - | N.A. | 2,0 | 2,0 |
| D.B.O. | 1240 | - | - | 60,0 | 60,0 |
| ²³⁵ U | 4,58 x 10 ⁻⁴ | 1,8 x 10 ⁷ | 3,7 x 10 ⁷ | - | - |
| ²³⁴ Th | 1,41 x 10 ⁻⁹ | 1,3 x 10 ⁷ | 1,8 x 10 ⁷ | - | - |
| Ác. cítrico | 75000 | - | - | - | - |
| pH | 7 - 8 | - | - | 5 - 9 | 5 - 9 |

* N.A. = Não se aplica

O Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro - SIPRON foi instituído pela Lei nº 1809 de 07 de outubro de 1980 e regulamentado pelo decreto nº 623 de 04 de agosto de 1992. Tem como atribuição assegurar o planejamento integrado, coordenar a ação conjunta e a execução continuada de providências que visem atender as necessidades de segurança das atividades ligadas à área nuclear, das instalações e dos projetos nucleares brasileiros. Esta atribuição engloba todo o pessoal empregado nessas instalações, da população e do meio ambiente relacionado com elas.

A Companhia de Desenvolvimento Tecnológico Ambiental - CETESB é um órgão estadual cujas atribuições legais, no Estado de São Paulo, segundo a Lei Estadual nº 997 de 31 de maio de 1976, regulamentada pelo Decreto nº 8468 de 08 de setembro de 1976, são a prevenção e controle da poluição do meio ambiente. O

decreto 8468 inclui, entre suas atribuições, no seu Art. 6, inciso I: "estabelecer e executar planos e programas de atividades de prevenção e controle da poluição"; no inciso II: "efetuar levantamento, organizar e manter o cadastramento de fontes de poluição" e no inciso IX: "efetuar inspeções em estabelecimentos, instalações e sistemas que causem ou possam causar a emissão de poluentes". Neste mesmo decreto o Art. 3 define poluente como "toda forma de matéria ou energia, lançada ou liberada nas águas, no ar ou no solo" e em seu inciso V, adiciona "que tornem ou possam tornar as águas, o ar ou o solo impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde, inconvenientes ao bem estar público; danosos aos materiais, à fauna e à flora; prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade, bem como às atividades normais da comunidade". Estes artigos mostram claramente que, à nível estadual, a CETESB seria o órgão

de fiscalização em casos de despejo ao meio ambiente de materiais provenientes de atividades na instalação nuclear.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, criado pelo Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, aprovou em 18 de junho de 1986 a Resolução n^o 20 que estabelece os limites de concentração de elementos químicos em águas classificadas na mesma resolução.

Há diversos acordos, convênios ou propostas de convênios que foram estabelecidos entre órgãos, por exemplo:

- Cooperação entre a CNEN e o Governo do Estado, através da Secretaria da Saúde do Estado de São Paulo, para implantação de operação de Programa de Medidas de Proteção Radiológica e Controle de Qualidade, em apoio às ações de Vigilância Sanitária no campo das radiações ionizantes em Medicina e Odontologia e de fontes de águas minerais e potabilidade das águas para consumo humano.

- Convênio entre o IBAMA e a CNEN para que esta analise e dê pareceres técnicos sobre os Ensaio de Impacto Ambiental/Relatórios de Impacto no Meio Ambiente de empreendimentos que envolvem o risco de emissão de radiações ionizantes ou de material radioativo para o ambiente.

Analisando esta série de tópicos verifica-se que do ponto de vista radiológico, os valores limitantes para os elementos químicos presentes nas soluções, resultantes da descontaminação de itens no CEA-CTM/SP, permitiriam lançar no esgoto o líquido neutralizado, ou no sistema de coleta comum de lixo domiciliar a lama resultante da evaporação. Qualquer uma das formas de eliminação resultaria no contato com a biota. No entanto isto se torna inviável para qualquer uma das duas práticas de eliminação, porque o teor de alguns elementos e a demanda biológica de oxigênio não o permitem. Desta forma pode-se reforçar a proposição dada pela instalação que é o da *descarga zero* para os líquidos gerados em atividades de descontaminação no CEA-CTA/SP. Desta maneira, o CEA-CTM/SP, como instalação nuclear é "limpa", isto é, não causa danos ao meio ambiente por poluição de qualquer espécie, nem elimina em seu esgoto ou no sistema de coleta municipal de lixo, qualquer tipo de material que contenha elementos químicos acima dos limites estabelecidos pelos órgãos estaduais ou federais.

Do exposto conclui-se que:

Quanto ao evaporador:

- pode ser aplicado a qualquer instalação industrial, ou não, que precise reduzir o volume de seus efluentes, desde que os mesmos não contenham compostos voláteis que possam ser arrastados pelo vapor e atingir o meio ambiente;

- o evaporador tipo elétrico-solar permite economizar até 40 % de energia elétrica, em épocas de insolação alta, mormente no verão;

- o fator de redução de volume do evaporador chega a quase 10;

- a construção, operação e manutenção do equipamento é muito fácil;

- o custo da montagem de um evaporador tipo elétrico-solar de circulação natural está entre 10 a 15% do valor de uma instalação convencional. Atualmente, o custo do evaporador descrito neste trabalho está avaliado em aproximadamente R\$ 1.000,00;

Quanto aos limites de descarga:

- pelas normas referentes à eliminação de materiais contendo elementos radioativos a solução de descontaminação pode ser descartada no meio ambiente;

- os limites para o Cu, F e D.B.O. estabelecidos pela lei estadual e pelo CONAMA obrigam a reter estes líquidos nas instalações;

- propõe-se a filosofia de *descarga zero* e sugere-se a imobilização da lama ou o seu encapsulamento. Os custos devem ser analisados para verificar se não sobrecarregam o benefício líquido do processo de destino final da lama.

REFERÊNCIAS

[1] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas. CNEN-NE-6.05, 1985.

[2] RZYSKI, B.M. **Tratamento de Rejeitos Radioativos Sólidos e Líquidos.** Publicação IPEN 242, São Paulo, S.P., 1989.

[3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
The reduction of Low Active Solid Waste. Technical Reports Series 106, IAEA, Vienna, 1970.

[4] TANG, Y. and GODBEE, H.W. **Radioactive Waste Management.** U.S.A., 1990.

[5] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE,
Classificação de águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Resolução CONAMA n^o 20, 1986.

[6] LEI ESTADUAL N^o 997. 31 de maio de 1976, do Estado de São Paulo, 1976.

ABSTRACT

Liquid evaporation has been world-wide sanctioned in the nuclear industry as a volume reduction technique for laboratory effluents or radwastes. This fast technique has showed efficiency for non volatile chemical elements concentration. The resulting mud is chemically stable, physically homogeneous and biologically inert. It is common that low radiation level liquids, containing uranium undergo evaporation, although its quantity in the mud can be not the limiting factor for the final deposition.

It often occurs that depending on liquids to be evaporated other chemical elements as fluor or heavy metals could avoid the deposition of the mud in the environment. The proposed evaporator works with solar heating, although electric energy could be used, and allow to evaporate 50 L of liquids per day. Volume reduction factor can reach 95%

and the construction cost is very low. In this work there are analysed evaporator characteristics and the limiting values established by Brazilian laws and standards, for those elements that are present in the resulting mud. The aim is to justify why "zero discharge" is preferred instead the deposition of the concentrate in the environment.