

"SCALE-UP" DE UM MISTURADOR-DECANTADOR DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS

Ruth L. Camilo; Christina A. L. G. O. Forbicini; Afonso S. T. Lobão; Bertha F. Araújo
 Comissão Nacional de Energia Nuclear - IPEN-CNEN/SP
 Travessa R, 400 - Cidade Universitária
 05508-900, São Paulo, SP

RESUMO

Apresenta-se o projeto de "scale-up" de um M-D de múltiplos estágios, visando sua implantação na instalação CELESTE-I do IPEN-CNEN/SP. O M-D CELESTE-I utilizado, apesar do bom desempenho, não é compatível com o fluxograma de processo na etapa de reversão, em razão do somatório das vazões ultrapassar o seu limite operacional. Fez-se o "scale-up" numa escala de 1:2, mantendo-se a proporcionalidade entre as dimensões das câmaras. O M-D, denominado CELESTE-II, foi executado no IPEN-CNEN/SP e os testes operacionais mostraram a viabilidade de sua utilização.

INTRODUÇÃO

A instalação de reprocessamento CELESTE-I (Célula de Estudos e Testes de Extração) da Supervisão de Química Quente (MQQ) do IPEN-CNEN/SP, opera segundo o processo PUREX, sendo os estudos de avaliação de fluxogramas realizados em "mock-up".

O equipamento utilizado na etapa de extração com solventes é o misturador-decantador (M-D) CELESTE-I (tipo CYRANO modificado). Este é constituído por um conjunto de 16 estágios montados em série, sendo que cada estágio compreende uma câmara de mistura, uma câmara de decantação e uma câmara de distribuição da fase aquosa. As fases aquosa e orgânica circulam em contra-corrente.

O fluxograma empregado na instalação CELESTE-I, apresentado na Figura 1, utiliza 4 M-Ds para as etapas de extração, lavagem, partição e reversão.

A necessidade de utilização de um M-D de maior capacidade foi verificada pela impossibilidade de se obter bons resultados na reversão com o M-D CELESTE-I, cujas vazões globais de processo atingiam 1300ml/h, enquanto que a sua capacidade é de no máximo 800ml/h. Portanto, trabalhando acima do seu limite, tornava-se difícil um bom controle hidrodinâmico, resultando em perdas do produto para a linha de rejeito. Como não se desejava alterar as condições já estabelecidas para as etapas anteriores, optou-se pelo desenvolvimento de um M-D de capacidade duplicada, CELESTE-II, que é um "scale-up" do M-D CELESTE-I.

O M-D CELESTE-II foi desenvolvido e avaliado na etapa de extração por CAMILO [1, 2].

O princípio estabelecido para o dimensionamento do M-D CELESTE-II foi o de duplicar a capacidade das câmaras, mantendo-se a proporcionalidade entre elas.

Os estudos de avaliação do M-D CELESTE-II foram feitos utilizando-se o M-D CELESTE-I na etapa de extração e lavagem e o M-D CELESTE-II na etapa de reversão. O critério de avaliação empregado foi a verificação da eficiência na reversão do urânio para a fase aquosa, onde o menor número de estágios empregados no processo associado a uma baixa perda de urânio para o rejeito orgânico, indicam um bom desempenho.

Finalizando os estudos, determinou-se a eficiência do processo de reversão, comparando-se os perfis de concentração do M-D CELESTE-II com os perfis obtidos pelo programa de simulação do processo PUREX, denominado URAPEX [3, 4], o que nos permite, também, verificar a adequação deste código computacional aos resultados experimentais.

DIMENSIONAMENTO DO M-D CELESTE-II

O dimensionamento baseou-se no cálculo da duplicação das câmaras e das passagens segundo suas formas geométricas e a proporcionalidade entre suas medidas.

Desta forma, considerando-se como exemplo a câmara de mistura, foram efetuados os cálculos, baseando-se no esquema abaixo:

Os volumes das câmaras foram expressos pelas equações:

$$V_1 = \pi \cdot d_1^2 \cdot h_1 / 4 \quad (1)$$

$$V_2 = \pi \cdot d_2^2 \cdot h_2 / 4 \quad (2)$$

e os comprimentos das circunferências são dados por:

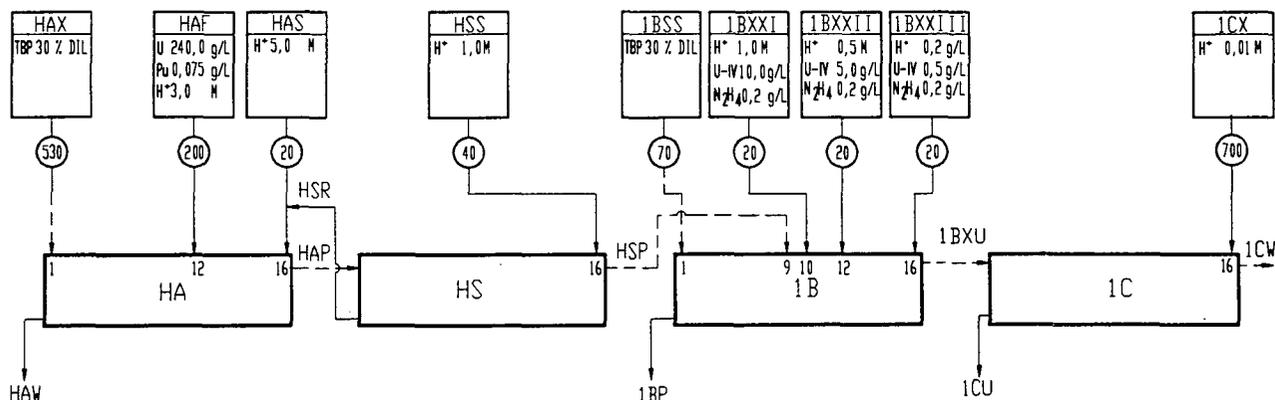


Figura 1 Fluxograma utilizado na instalação CELESTE-I

$$c_1 = \rho d_1 \quad (3)$$

$$c_2 = \rho d_2 \quad (4)$$

Considerando-se o fator de "scale-up" 1:2 e a proporcionalidade entre as medidas, define-se:

$$V_2 = 2V_1 \quad (5)$$

$$\frac{c_1}{h_1} = \frac{c_2}{h_2} \quad (6)$$

Substituindo-se a equação (4) na equação (6):

$$h_2 = \frac{\rho \cdot d_2 \cdot h_1}{c_1} \quad (7)$$

e a equação (7) na equação (2), tem-se que:

$$V_2 = \frac{\rho \cdot d_2^2}{4} \cdot \frac{\rho \cdot d_2 \cdot h_1}{c_1} = \frac{\rho^2 \cdot d_2^3 \cdot h_1}{4c_1} \quad (8)$$

onde V_2 , c_1 e h_1 são conhecidos, podendo-se, finalmente chegar ao cálculo de d_2 e h_2 :

$$d_2 = \frac{4V_2 \cdot c_1}{\rho^2 \cdot h_1} \quad (9) \quad ; \quad h_2 = \frac{d_2 \cdot h_1}{d_1} \quad (10)$$

Este mesmo princípio foi utilizado nos demais cálculos de dimensionamento.

Uma das características desejáveis para um M-D é a estabilidade hidráulica e termodinâmica, que está relacionada com a posição da interface e com a altura da saída da f.a.. A interface foi determinada segundo o princípio do "jackleg" [5] (Figura 2). Baseando-se na equação de Bernoulli, tem-se que a pressão no ponto P na f.a. a uma distância Z abaixo da superfície do líquido é dada por:

$$P = \rho^0 Y + \rho_a (Z - X) \quad (11)$$

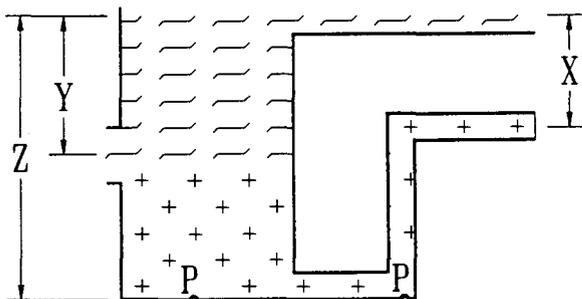


Figura 2 Esquema do princípio do "jackleg"

Considerando-se que as densidades são constantes no estado estacionário e que Z é fixo pela altura da f.o., a posição da interface é dada em função da pressão. Como as vazões utilizadas no processo são baixas, a perda de carga na saída da f.a. é desprezível, a pressão no fundo do "jackleg" é dada pela

expressão:

$$P = \rho_a (Z - X) \quad (12)$$

Substituindo-se a equação (12) em (11) tem-se que:

$$Y = \frac{\rho_a}{\rho_a - \rho^0} X \quad (13)$$

Desta forma, a posição da interface ao longo do M-D é diretamente proporcional ao deslocamento do "jackleg". A interface da última câmara de decantação é controlada por um nivelador externo, que governa as pressões internas do sistema.

Na Tabela 1 tem-se a comparação entre os volumes dos M-Ds.

Tabela 1 Comparação entre os volumes dos M-D.

	VOLUME (mL)	
	CELESTE-I	CELESTE-II
C.M.	7,4	14,3
C.D.	16,8	32,5
Vtotal	430,0	780,0

Foram, ainda, introduzidas modificações na câmara de distribuição da f.a. e nas entradas das fases aquosa e orgânica, as quais podem ser vistas nas Figuras 3 e 4.

PARTE EXPERIMENTAL

Equipamentos e Reagentes. Foram utilizados os seguintes equipamentos e reagentes na avaliação experimental:

- M-D CELESTE-I, com motor de agitação de 1/25cv de potência, marca DIACTI (Brasil)
- M-D CELESTE-II, com motor de agitação de 1/15cv de potência, marca DIACTI (Brasil)
- bombas microdosadoras, marca PARVALUX (Inglaterra)
- fosfato de tri-n-butila (TBP) (agente extrator), lavado com carbonato de sódio para eliminação dos produtos de degradação, IEN (Brasil)
- isoparafina 17/21 (diluente), UNIPAR (Brasil)
- ácido nítrico, p.a., marca Merck (Alemanha)
- nitrato de urânio, preparado a partir da calcinação do DUA e dissolução do U_3O_8 com HNO_3

Arranjo Experimental. Os experimentos foram realizados na instalação "mock-up" da MQQ.

Na etapa de extração e lavagem (HA) utilizou-se o M-D CELESTE-I e na reversão (IC) o M-D CELESTE-II. Como nos experimentos foram empregadas somente soluções puras de nitrato de urânio, foi dispensado o uso dos M-Ds HS e 1B, referentes às etapas de lavagem e partição, respectivamente.

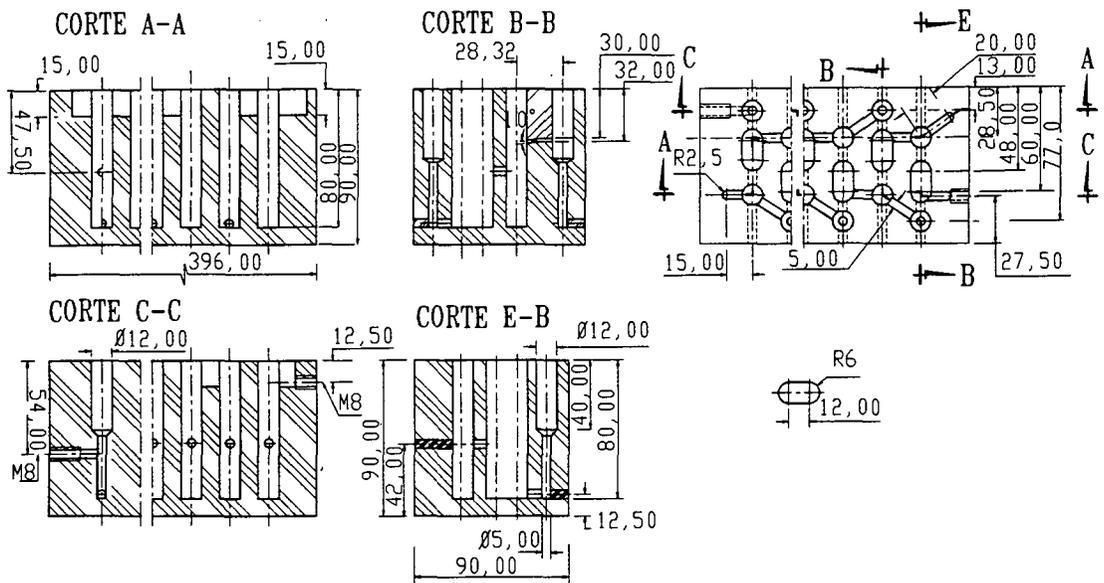


Figura 3 Vistas do M-D CELESTE-I

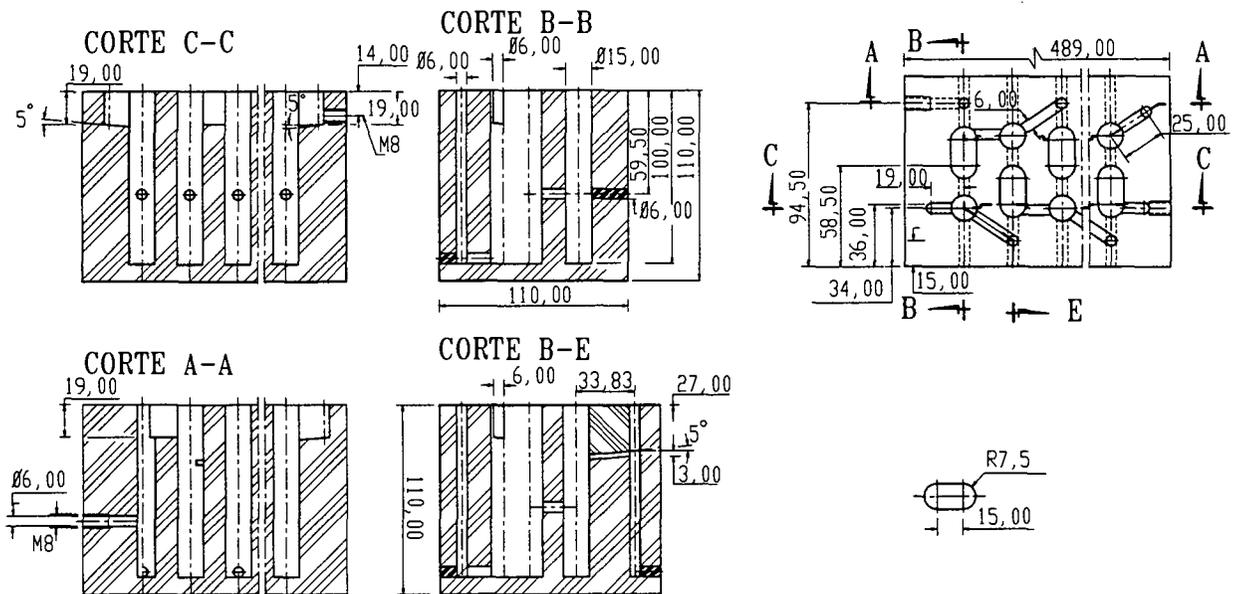


Figura 4 Vistas do M-D CELESTE-II

RESULTADOS

Os experimentos visaram determinar as condições ideais de operação do M-D CELESTE-II. Assim, variou-se o fluxo da solução aquosa de reversão, 1CX, de 700 a 900mL/h, já que o fluxo da f.o. está estabelecido pelas condições de operação dos M-Ds anteriores (Figura 1).

Os tempos de residência, t_r (tempo de contato entre as fases na câmara de mistura), empregados nos experimentos encontram-se na Tabela 2 e foram calculados pela expressão:

$$t_r = \frac{V_m \cdot 3600}{v_a + v_o} \quad (14)$$

Tabela 2 Tempos de residência utilizados nos experimentos de avaliação do M-D CELESTE-II.

EXPERIMENTO	FLUXOS (mL/h)		t_r (seg)
	f. a.	f. o.	
1	600	700	40
2	600	850	36
3	600	900	34

Nas Figuras 5, 6 e 7 tem-se os perfis de concentração obtidos nos experimentos. Verificou-se que com uma vazão do 1CX igual a 700mL/h ($R_a^0=0,86$), não se obteve uma boa reversão do urânio, com perdas para o rejeito orgânico (Figura 5). Aumentando-se o fluxo para 850mL/h ($R_a^0=0,71$), observou-se uma melhora no perfil de concentração, mas ainda com um número excessivo de estágios para a reversão (Figura 6). Atingindo-se uma vazão de 900mL/h ($R_a^0=0,67$) verificou-se a utilização de 9 estágios para a reversão, garantindo não haver perdas de urânio para o rejeito, mesmo que ocorram perturbações momentâneas durante o processo (Figura 7).

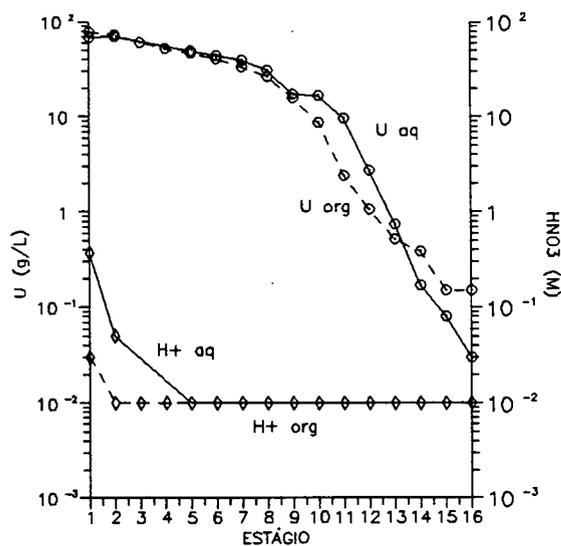


Figura 5 Perfis de concentração no M-D CELESTE-II para $R_a^0=0,86$

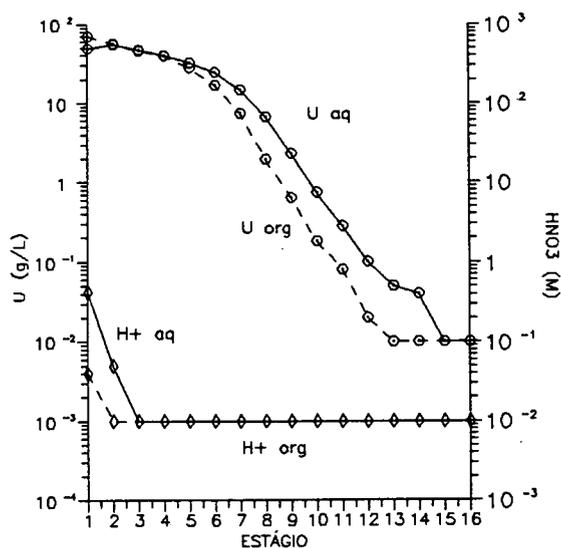


Figura 6 Perfis de concentração no M-D CELESTE-II para $R_a^0=0,71$

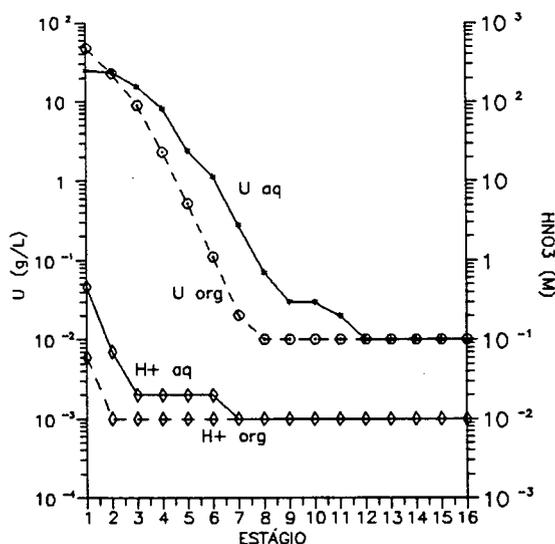


Figura 7 Perfis de concentração no M-D CELESTE-II para $R_a^0=0,67$

CONCLUSÃO

O M-D CELESTE-II, de capacidade duplicada em relação ao M-D CELESTE-I, mostrou-se completamente adequado ao uso na etapa de reversão, operando em boas condições na vazão global estabelecida de 1500mL/h. Manteve um comportamento hidrodinâmico estável durante toda a operação, facilitando o controle do processo, o que não ocorria com o M-D CELESTE-I por estar operando fora de seus limites.

Para finalizar, fez-se uma comparação entre os perfis obtidos experimentalmente e os perfis simulados pelo programa URAPEX, podendo-se desta forma obter a eficiência alcançada no processo. Na Tabela 3 tem-se as eficiências obtidas para ambas as fases nos três experimentos, as quais indicaram que empregando uma relação de fases de 0,67 e um tempo de residência de 34 segundos, atingiu-se uma eficiência de 80%, resultado totalmente satisfatório para o processo.

Tabela 3 Eficiências dos experimentos de reversão obtidas pelo programa de simulação URAPEX.

EXPERIMENTO	EFICIÊNCIA MÉDIA (%)	
	f.a.	f.o.
1	62,5	60
2	75	75
3	80	80

NOMENCLATURA

f.a.: fase aquosa
 f.o.: fase orgânica
 M-D: misturador-decantador
 C.M.: câmara de mistura
 C.D.: câmara de decantação
 C.D.F.A.: câmara de distribuição da f.a.
 R: relação de fases
 d: diâmetro (mm)
 h: altura (mm)
 c: comprimento (mm)
 V: volume (mL)
 t_r: tempo de residência (seg)
 v: vazão (mL/h)
 P: pressão
 Z: altura da C.M até a saída da f.o.
 X: distância entre as saídas da f.a. e f.o.
 Y: altura da f.o.
 o: densidade (g/cm³)
 a: fase aquosa
 o: fase orgânica
 m: câmara de mistura
 1: M-D CELESTE-I
 2: M-D CELESTE-II

REFERÊNCIAS

- [1] CAMILO, R.L. Avaliação do misturador-decantador CELESTE-II. Relatório interno.
- [2] CAMILO, R.L.; GONÇALVES, M.A.; CARVALHO, E.I.; NAKAZONE, A.K.; ARAÚJO, B.F.; ARAÚJO, J.A. Avaliação de desempenho de misturadores-decantadores na extração de actínídeos. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR. II Congresso Geral de Energia Nuclear, vol.2, p. 325-36. Rio de Janeiro, Abr. 1988.
- [3] CUNHA, J.W.S.D. Um modelo matemático de extração do urânio, plutônio, neptúnio e ácido nítrico pelo tri-butil-fosfato. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR. I Congresso Geral de Energia Nuclear. Rio de Janeiro, 1986, v. 1.
- [4] CUNHA, J.W.S.D. Simulação de vários componentes do processo PUREX. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR. I Congresso Geral de Energia Nuclear. Rio de Janeiro, 1986, v. 1, p. 264-7.
- [5] LONG, J.T. Engineering for nuclear fuel reprocessing. New York, Gordon & Breach Science, 1967.

ABSTRACT

A multiple stage mixer-settler scale-up, for using in CELESTE-I reprocessing installation at IPEN-CNEN/SP, is presented. The mixer-settler CELESTE-I, now used in the extraction process, is not suitable for stripping step, due to the high flow that exceeds its operational limits. At the 1:2 scale-up, the proportionality between the chambers were kept. The evaluation of the mixer-settler, named CELESTE-II, has proved the viability of its use in the extraction process.