

Recuperação de alumina e Fluxo de caixa de Refinarias

4 modos de operação e seus impactos econômicos e ambientais

Resumo

A maioria das refinarias de alumina destina-se a operar a alta recuperação de alumina e/ou menor custo operacional. Uma vez que esses modos de operação inerentemente limitam a produção, há margem para melhorar a economia da refinaria. Este documento descreve como uma refinaria pode determinar sua relação de licor de digestão mais econômica e calcular a associada melhoria do fluxo de caixa.

Uma vez que o modo mais econômico de operação implica em uma recuperação inferior de alumina da bauxita, há margem para melhorar a sustentabilidade da refinaria. Este documento descreve como uma refinaria pode recuperar a alumina que é perdida na digestão e clarificação, através de uma re-digestão da lama do espessador em Unidades-M2M.

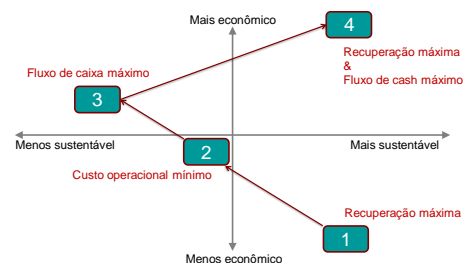
O custo da alumina adicional gerada nas Unidades-M2M é muito baixo, pois ela é produzida a partir de alumina que teria sido perdida com a lama. Este documento descreve as Unidades-M2M e como elas permitem a uma refinaria aumentar a taxa de produção e o fluxo de caixa, e ao mesmo tempo melhorar o desempenho ambiental.

1 Objetivos de Refinaria

Às vezes, operadores ou projetistas de refinarias vangloriam-se sobre a alta recuperação de alumina ou ao baixo custo operacional que conseguem. Embora as vantagens da alta recuperação de alumina ou do baixo custo operacional sejam óbvias, deve-se ter cuidado para simplesmente aderir a um destes objetivos sem considerar a imagem total. Afinal, o objetivo de cada refinaria é fazer o maior lucro possível e fazê-lo com pouco impacto possível.

Os quatro objetivos discutidos neste documento são:

1. Recuperação de alumina máxima
2. Custo operacional mínimo
3. Fluxo de caixa máximo
4. Fluxo de caixa máximo & recuperação de alumina máxima.



Cada objetivo envolve um modo diferente de operação em respeito à relação de licor de digestão. O quarto objetivo também requer a instalação de um equipamento denominado Unidade-M2M.

Cada modo de operação é elaborado em uma seção separada, que descreve como alcançar o objetivo escolhido e quanto esse modo de operação impacta no desempenho econômico e ambiental da refinaria. Os números apresentados são para uma refinaria "típica", com uma produção nominal de alumina ('SGA') de 2 Mt/a.

2 Objetivo 1: Recuperação de alumina máxima

2.1 Perdas de alumina

Obviamente, seria o mais desejável se 100% da alumina disponível em bauxita carregada à digestão fosse transformada em produto do calcinador. Perdas de alguns pontos percentuais, no entanto, são inevitáveis e recuperações de refinaria típicas estão na faixa de 90 a 96%. Recuperação de alumina é definida como a proporção peso 'SGA produzida / alumina disponível em bauxita' expressa em %.

Perdas de alumina em uma refinaria incluem:

- Perdas no auxiliar de filtração,

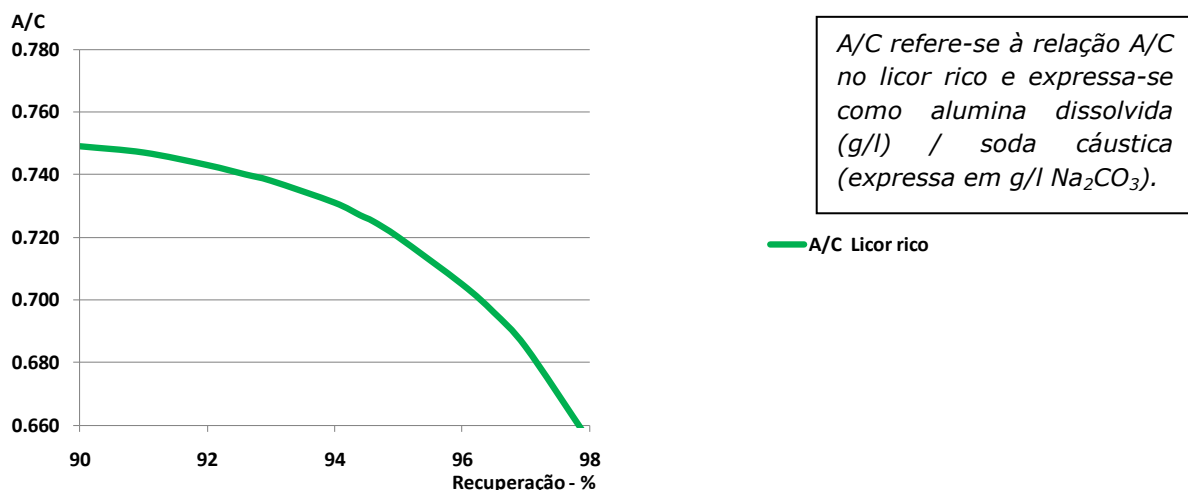
- Perdas de poeira de alumina,
- Perdas de alumina sólida, não liberada, devido á moagem grossa da bauxita,
- Perdas de alumina solúvel presente no licor dos resíduos,
- Perdas devidas á auto-precipitação (também chamada hidrólise ou reversão) nos espessadores e lavadores,
- Perdas de alumina não extraída na digestão devido à carga de bauxita muito alta.

A alumina perdida devido á auto-precipitação e á extração incompleta acabam no resíduo de bauxita, aumentando a quantidade de lama a ser armazenada. A quantidade destas perdas (recuperáveis) é variável e depende da escolha do determinado modo de operação.

Recuperação de alumina alta no processo implica perdas de alumina baixas. A recuperação pode alcançar até 98% mediante uma redução forte da carga de bauxita para digestão, levando a perdas de alumina recuperável de menos de 1%¹.

2.2 Recuperação e Relação de licor de digestão

É bem sabido que baixa carga de bauxita para digestão, e conseqüente baixa relação no licor rico, melhora a recuperação de refinaria devido à extração completa com poucas ou nenhuma perdas de auto-precipitação². Da mesma forma a alta carga de bauxita para digestão, acarretando um melhor rendimento do licor e alta relação digestão, reduz a recuperação devido a uma maior perda de auto-precipitação e a extração ainda incompleta, como é ilustrado pelo gráfico abaixo.



Deve-se notar que o gráfico acima e os seguintes servem apenas como ilustração. A posição exata das curvas varia de refinaria a refinaria. A Seção 4.2 descreve como uma refinaria pode determinar sua própria correlação entre relação digestão e recuperação.

2.3 Objetivos de digestão em conflito

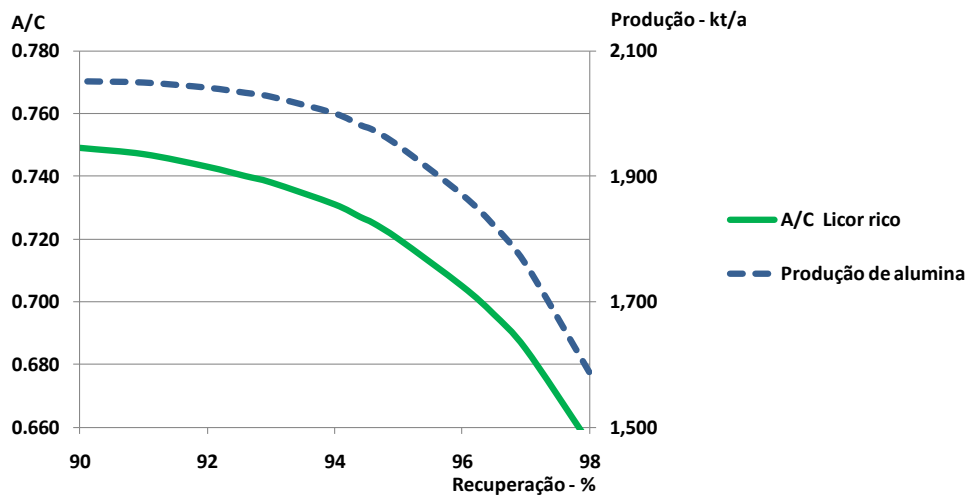
Uma refinaria aspirando a uma alta recuperação deve manter relação na digestão baixa, isto é carregar relativamente pouca bauxita, que resulta em uma produção relativamente baixa para o equipamento instalado e o investimento feito.

Uma refinaria que já opera com vazão máxima e concentração cáustica de licor ótima, somente pode aumentar sua produção por meio do aumento da carga de bauxita à digestão, isto é elevar a relação da digestão, aceitando a associada recuperação baixa. Isso é ilustrado no gráfico abaixo

¹ Teoricamente, recuperação de alumina global da refinaria sem perdas de alumina seria superior a 100% devido a cerca de 1.3 % de impurezas, principalmente LOI e sódio que acabam na SGA.

² Perdas de auto-precipitação também dependem de outros fatores como temperatura dos espessadores e lavadores.

onde além do mostrado no gráfico acima, a produção de alumina anual de uma refinaria típico de 2 Mt/a é notada (eixo vertical à direita).



O gráfico mostra que a produção de alumina aumenta à custa da recuperação.

Porém, à medida que a relação digestão chega mais perto da sua máxima, ou equilíbrio, carregar ainda mais bauxita tem cada vez menos efeito na produção de alumina, pois a alta relação digestão reduz a extração na digestão e aumenta a auto-precipitação nos espessadores e lavadores. Assim cada vez mais alumina disponível acaba com o resíduo de bauxita para ser lavado e armazenado na área de depósito de lama vermelha.

O dilema descrito acima é causado pelos seguintes objetivos conflitantes de digestão:

- Para maximizar a extração de alumina → sub-carrega o licor de digestão com bauxita
- Para maximizar a produção de alumina → sobre-carrega o licor de digestão com bauxita.

O gráfico ilustra o primeiro objetivo no lado direito e o segundo no lado esquerdo, e explica porque não é possível ter simultaneamente uma produção alta e também recuperação alta, pelo menos não num sistema de digestão singular.

2.4 Resumo Recuperação de alumina máxima

Modo de operação: baixa carga de bauxita, baixa relação digestão do licor rico, alta recuperação.

Impacto ambiental: boa utilização de bauxita (fator de bauxita), baixa produção de resíduos (fator de lama).

Impacto econômico: baixa produção de alumina, baixo rendimento do licor, má utilização do investimento, baixo fluxo de caixa.

Na realidade as refinarias não aspiram recuperação acima de 97%, pois metas de baixa produção de alumina tornam os projetos inviáveis economicamente.

3 Objetivo 2: Custo operacional mínimo

Parece óbvio que refinarias destinam-se ao menor custo operacional. Custo operacional, também chamado custo de produção ou custo de caixa, inclui:

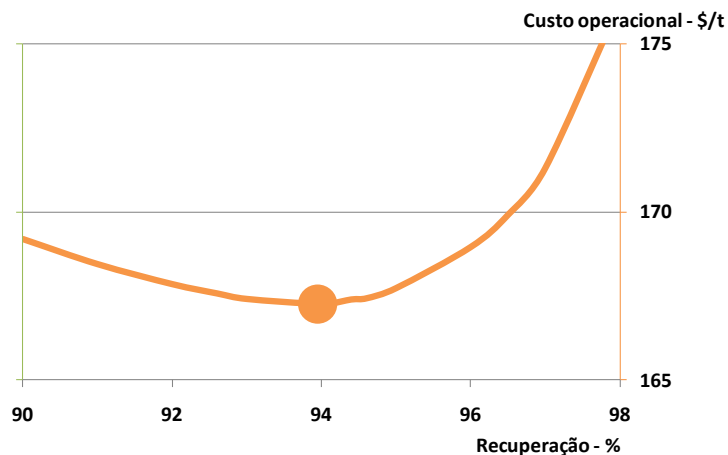
- Custo de bauxita
- Custo de soda cáustica
- Custo de energia (para caldeiras e calcinadores, etc.)
- Custo de armazenamento de resíduos
- Outros custos variáveis

- Custos fixos.

Com preços de matérias-primas estando fora do controle da refinaria, produzir ao custo operacional baixo deve ser realizado operando a refinaria com alta eficiência do consumo de matérias-primas, que por sua vez está diretamente relacionada à recuperação de alumina, relação digestão e taxa de produção da refinaria.

3.1 Recuperação e Custo operacional

Para uma recuperação muito elevada, a taxa de produção é tão baixa que os custos fixos pesam muito sobre o custo operacional por tonelada de alumina produzida. Carregando mais bauxita e assim aumentando a produção, faz com que os custos fixos sejam diluídos e o custo operacional decresça. Porém a recuperação piora e com mais perdas de alumina, o consumo de bauxita e soda cáustica por tonelada de produto aumentam, bem como a quantidade de lama para ser armazenada, levando o custo operacional a subir além de certo ponto, como é ilustrado no gráfico abaixo.



É de notar que o gráfico acima é específico da refinaria, e também depende de condições de mercado dos preços de matérias-primas.

O ponto de custo operacional mais baixo corresponde a uma recuperação de cerca de 94% neste gráfico. O gráfico também mostra que esse custo operacional muda apenas ligeiramente dentro do intervalo de recuperação de 92 a 95%.

A mesma unidade de digestão (investimento) poderia produzir mais alumina dissolvida se estiver operada em uma relação digestão mais alta. Apesar da relação elevada impacte negativamente na recuperação e no custo operacional, os rendimentos das vendas de alumina adicionais compensam o custo operacional mais alto, pelo menos até certo ponto, como elaborado na próxima secção.

Portanto, o foco sobre o custo operacional mínimo está deslocado quando se percebe a limitação de produção que está associada com o modo de operação.

3.2 Resumo Custo operacional mínimo

Modo de operação: média carga de bauxita, média relação de licor de digestão, média recuperação.

Impacto ambiental: média utilização bauxita (fator de bauxita), média geração de resíduos (fator de lama).

Impacto econômico: média produção de alumina, médio rendimento de licor, médio uso do investimento, médio fluxo de caixa.

Na prática, muitas refinarias aspiram ou até têm instruções para operar com custo operacional mínimo, e alcançar a recuperação relacionada é considerado de importância primordial. No entanto, quando o efeito custo - benefício da recuperação de alumina é bem entendido, é evidente porque o custo operacional mínimo não deve ser objetivo da refinaria em tudo.

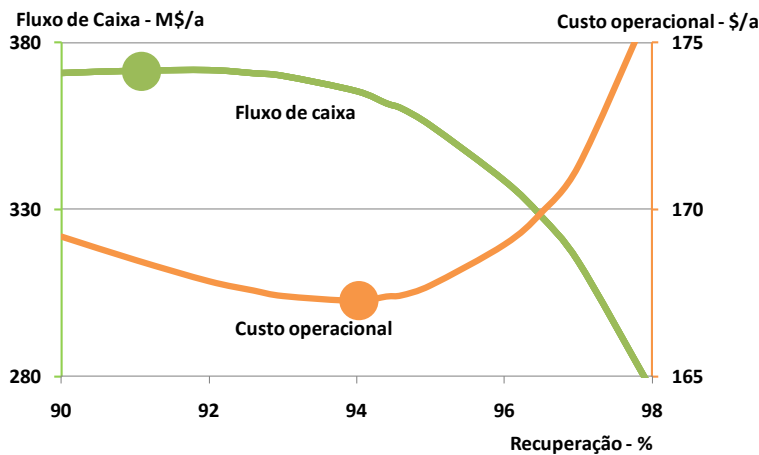
4 Objetivo 3: Fluxo de caixa máximo

Em suma, o objetivo principal da refinaria é maximizar o lucro. Uma vez que tenha sido feito o investimento, o lucro da refinaria está diretamente relacionado ao seu fluxo de caixa (\$/a).

4.1 Recuperação e Fluxo de caixa

Fluxo de caixa = Produção (t/a) * {Preço de venda de alumina (\$/t) – Custo operacional (\$/t)}

Preço de venda de alumina é uma condição de mercado fora do controle da refinaria. Conforme discutido antes, o custo operacional tem um mínimo num determinado ponto de recuperação, enquanto a taxa de produção (e vendas) sobe em detrimento da recuperação. O efeito líquido de ambos é ilustrado no gráfico abaixo onde além do gráfico do custo operacional, o fluxo de caixa para uma refinaria típica de 2 Mt/a é plotado (eixo vertical à esquerda).



Note-se que o gráfico acima é para uma refinaria específica, e também depende de condições de mercado dos preços de matérias-primas e do preço de venda de alumina.

Enquanto o menor custo operacional corresponde a uma recuperação de 94%, o maior fluxo de caixa corresponde a uma recuperação de cerca de 91% neste gráfico. Operar a refinaria a recuperações ainda mais baixas reduzirá o fluxo de caixa e terá também um impacto cada vez mais negativo no desempenho ambiental.

4.2 Determinar o fluxo de caixa máximo e suas condições operacionais

A relação da digestão necessária para operar no fluxo de caixa máximo pode ser facilmente definida por um teste na refinaria. Neste teste a relação digestão é elevada em pequenos incrementos, com tempo suficiente entre as etapas para permitir que os efeitos das alterações operacionais alcancem o último lavador de lama e que o tanque de licor de extração obtenha uma nova operação da refinaria estável. Durante o teste a refinaria opera (mais ou menos) ao fluxo de licor máximo. Enquanto não são encontrados gargalos ou outras limitações operacionais, a carga de bauxita pode ser aumentada até que a relação digestão atinja seu máximo, como já foi determinado no teste 'breakpoint' no laboratório.

Para cada etapa a relação A/C do licor rico e as associadas produções de SGA e recuperação de alumina são observadas, conforme ilustrado pelo exemplo na tabela abaixo.

Licor de digestão A/C (-)	0.720	0.727	0.731	0.738	0.740	0.743	0.746	0.747
Produção de SGA (kt/a)	1949	1982	2000	2027	2033	2041	2047	2051
Recuperação (%)	95.0	94.4	94.0	93.0	92.6	92.0	91.0	90.0

Recuperação para cada etapa é calculada a partir das perdas de alumina fixas bem conhecidas, em combinação com o conteúdo de alumina-na-Gibbsita variável (recuperável) na lama para o armazenamento. O conteúdo de alumina-na-Gibbsita é medido prontamente por *Diferencial Scanning Calorimetry* (DSC).

Custo operacional e fluxo de caixa podem ser facilmente calculados com os dados acima, em combinação com dados operacionais da fábrica e dados de custo como rotineiramente relatados. Os resultados desse cálculo são apresentados na tabela abaixo, com mais informações sobre o cálculo apresentadas em anexo no final deste documento.

Recuperação (%)	95.0	94.4	94.0	93.0	92.6	92.0	91	90
Custo operacional (\$/t SGA)	167.73	167.39	167.27	167.41	167.57	167.85	168.44	169.19
Fluxo de caixa (M\$/a)	355	362	365	370	371	372	372	371

Como mostra a tabela, as condições operacionais para o menor custo operacional, correspondem a uma recuperação de 94% (com relação digestão A/C de 0.731). Do mesmo modo as condições operacionais para o maior fluxo de caixa correspondem a uma recuperação de 91% (com relação digestão A/C de 0.746). Mudar a operação de 'Custo operacional mínimo' para 'Fluxo de caixa máximo' aumenta o fluxo de caixa da refinaria "típica" com $372-365 = 7$ M\$ / a, sem nenhum investimento adicional!

4.3 Resumo Fluxo de caixa máximo

Modo de operação: alta carga de bauxita, alta relação digestão, baixa recuperação de alumina.

Impacto ambiental: má utilização de bauxita (fator de bauxita), alta geração de resíduo (fator de lama).

Impacto econômico: alta produção de alumina, alto rendimento de licor, bom uso do investimento, maior fluxo de caixa.

Fluxo de caixa máximo deveria ser o objetivo comum das refinarias e cada fabrica deveria estar ciente das suas condições de fluxo de caixa máximo e como essa melhor relação digestão muda com mudanças de condições de mercado.

A próxima seção apresenta uma solução para o impacto ambiental negativo de operar uma refinaria no fluxo de caixa máximo, enquanto aumentando ainda mais o fluxo de caixa da refinaria.

5 Objetivo 4: Fluxo de caixa máximo & Recuperação máxima

Operando uma refinaria com relação digestão muito elevada resulta no fluxo de caixa mais alto possível, mas infelizmente também num desempenho ambiental muito indesejável, tais como má utilização da bauxita (fator de bauxita) e alta produção de resíduo (fator de lama). As altas perdas de alumina, causadas pela baixa extração no licor de digestão de alta relação e pela auto-precipitação nos espessadores e lavadores, podem ser recuperadas por re-digestão da lama do espessador, como mostrado abaixo.

5.1 Re-digestão

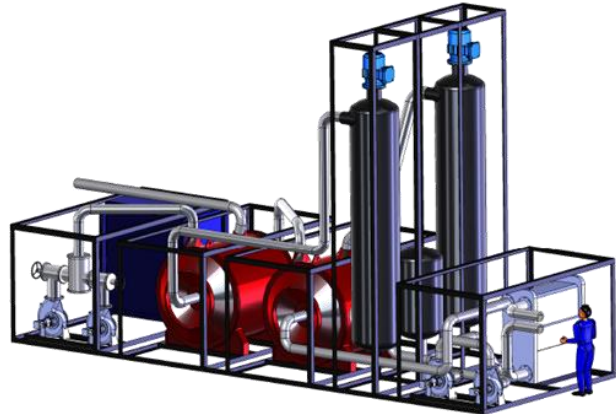
Dupla digestão é habitualmente conhecida para bauxitas mistas Gibbsita-Bohemita, onde a etapa de re-digestão é a alta temperatura de digestão (180-240°C) e alta pressão, que exigem altas despesas de capital.

Dupla digestão de bauxita Gibbsita, com re-digestão da lama do espessador, para recuperar Gibbsita do resíduo de bauxita, baseia-se nos mesmos princípios, mas é mais simples e a custo relativamente baixo, porque permite a digestão a baixa temperatura (145°C) e equipamentos de baixa pressão. A figura abaixo representa a digestão dupla de bauxita Gibbsita, com re-digestão de lama de espessador no círculo menor para a direita. O de fluxo de licor na re-digestão é apenas uma fração pequena do fluxo de licor principal.

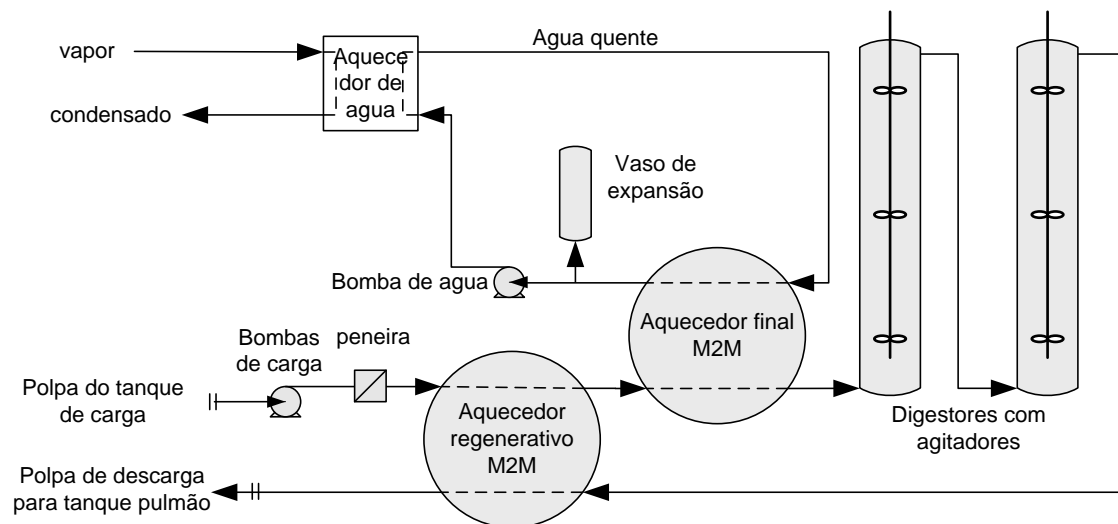
3. Com praticamente toda alumina disponível extraída, há menos resíduos a ser armazenados.
4. A linha de transbordo garante uma operação contínua da fábrica principal. Uma vez que o transbordo seja montado, a instalação de Unidades-M2M não interfere com a operação da refinaria.

5.2 Unidades-M2M

Cada Unidade-M2M tem um peso de aproximadamente 60 toneladas e pode processar aproximadamente a quantidade de lama do espessador que está associada com a produção de alumina de 0.5 Mt/a. O tamanho de uma Unidade-M2M é relativamente pequeno em comparação com as unidades de digestão regulares devido ao uso de trocadores de calor espiral em vez de sistemas de aquecedor de tanque de flash.



As funções dos principais componentes de uma Unidade-M2M são indicadas na figura esquemática abaixo.

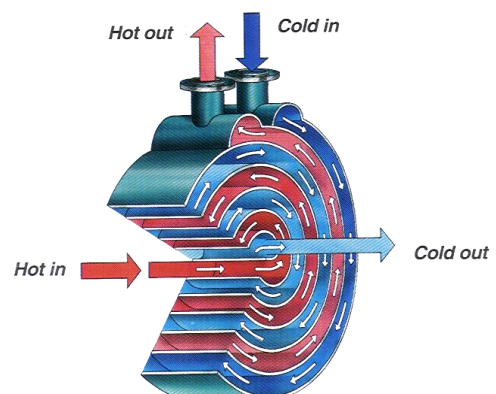


A alimentação da Unidade-M2M é pré-aquecida em um trocador de calor espiral regenerativo em contra-corrente com a polpa de produto quente, e é levada à temperatura de digestão em um trocador de calor espiral final contra água quente.

Dois digestores agitados em série permitem tempo de residência suficiente para extrair a alumina disponível na polpa. Com a alimentação já dessilicada na unidade de digestão principal, não há nenhuma necessidade de tempo de residência para dessilicacão, e assim a formação de crosta por DSP não será um problema. Um filtro evita que qualquer objeto grande entre na Unidade-M2M.

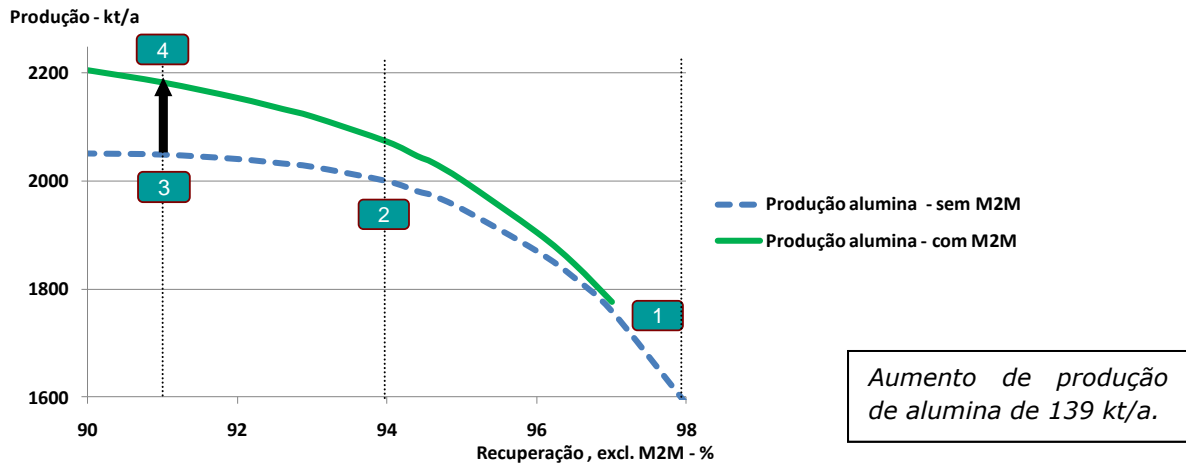
A redução de armazenamento de lama resulta em menor entrada de água (de lavagem) e, portanto, menos requisitos de evaporação. Isto permite o uso de trocadores de calor espiral, que são muito mais eficientes do que sistemas de aquecedor flash, porque a transferência de calor é contínua (sem escadas) e sem elevação de ponto de ebulição.

A Alfa-Laval projeta trocadores de calor espiral de tal forma que eles são auto-limpantes, equilibrando incrustação e erosão.

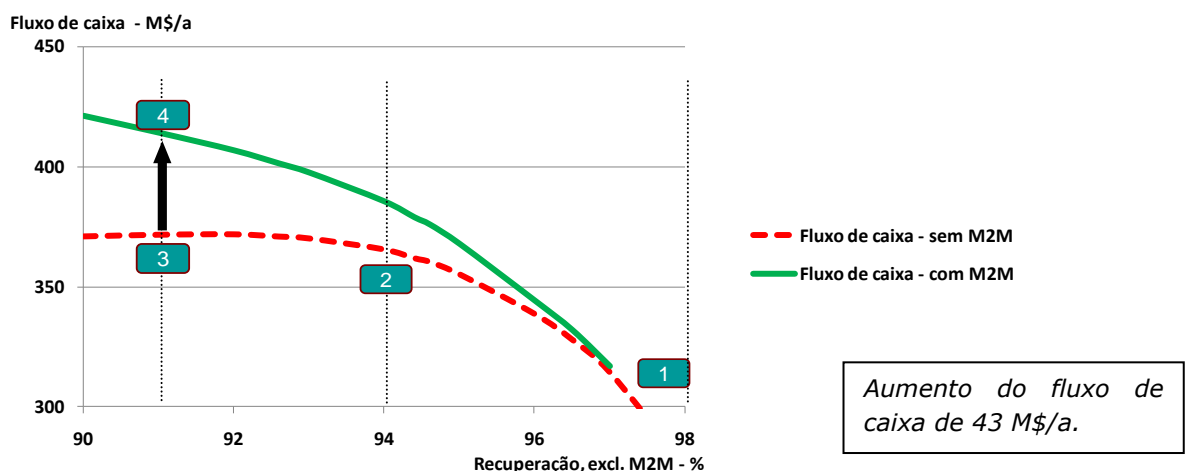


5.3 Recuperação v. Produção & Fluxo de caixa com Unidades-M2M

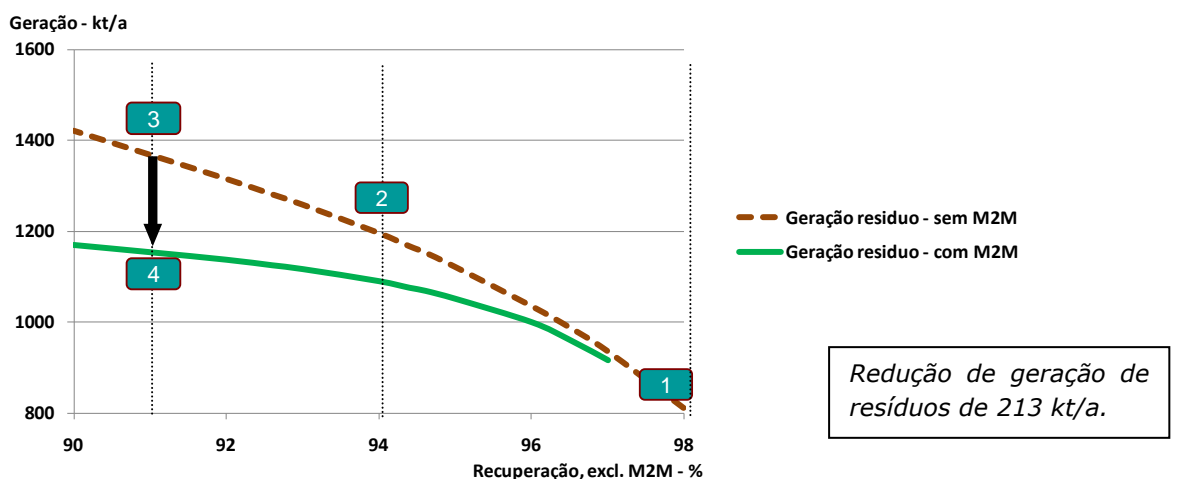
Para digestão singular as correlações entre recuperação e produção ou fluxo de caixa foram apresentadas graficamente nas seções 3.2 e 4.1. Os gráficos abaixo mostram o benefício de instalar Unidades-M2M na produção de alumina (SGA), no fluxo de caixa e na geração de lama a ser armazenada para uma refinaria típica de 2 Mt/a. Os números de 1 a 4 nos gráficos referem-se aos quatro modos de operação. As setas indicam as melhorias.



Deve notar-se que as percentagens no eixo de recuperação apresentam a recuperação da refinaria de modo digestão singular. Em caso de digestão dupla, com Unidades-M2M instaladas (objetivo 4), recuperação final sobe até $\approx 97\%$, graças à recuperação das perdas alumina na re-digestão.



Uma vez que a alumina produzida por Unidades-M2M não exige nenhuma bauxita, nem soda cáustica, e nem armazenamento de lama, o custo operacional para esta alumina adicional é muito baixo, com um efeito favorável no fluxo de caixa.



Em resumo, a instalação de Unidades-M2M umenta a produção por permitir um maior fluxo de licor na digestão mediante uma re-digestão de baixo custo de capital, que opera em paralelo quanto ao fluxo de licor da refinaria, e que ao mesmo momento reduz o custo operacional por alimentar a re-digestão com polpa do fundo (underflow) do espessador sendo relativamente rica em alumina disponível por operar o digestor principal com alta relação na digestão, e que também reduz a geração de resíduos de bauxita devido à baixa relação na re-digestão.

5.4 Desempenho ambiental

Os indicadores de desempenho ambiental relacionados aos modos operacionais de 2, 3 e 4, conforme discutidos neste documento, são mostrados na tabela abaixo.

	Modo 2	Modo 3	Modo 4	
Recuperação de refinaria	94.0	91.0	97.2	%
Fator de resíduo	0.60	0.67	0.53	t/t SGA
Fator de bauxita	2.13	2.20	2.06	t/t SGA

Deve notar-se que outros benefícios ambientais do modo 4 incluem uma exigência menor de ingestão de água, devido ao fator de resíduo inferior reduzindo a saída líquida de umidade por tonelada SGA produzida. O fator de energia melhora quando se muda de modo 2 para o modo 3, e fica praticamente igual com a adição de Unidades-M2M mudando de modo 3 para modo 4.

5.5 Resumo Fluxo de caixa máximo & Recuperação máxima

Modo de operação: Digestão dupla com alta carga de bauxita, elevada relação digestão e baixa recuperação na primeira digestão (como no objetivo 3); baixa relação de licor e alta recuperação na re-digestão (como no objetivo 1).

Impacto ambiental: Alta recuperação total, melhor utilização de bauxita possível (fator de bauxita), e menor geração de resíduos possível (fator de lama).

Impacto econômico: Alta produção de alumina na primeira digestão além da produção de alumina adicional na re-digestão, alto rendimento de licor, melhor aproveitamento do investimento, maior fluxo de caixa devido à alta produção e custo muito baixo para a produção da alumina adicional na re-digestão.

Este modo de operação deveria ser um padrão ambiental internacional porque minimiza a mineração de bauxita e a quantidade de resíduos a serem armazenados por tonelada de alumina produzida e dá como bônus produção e fluxo de caixa adicionais.

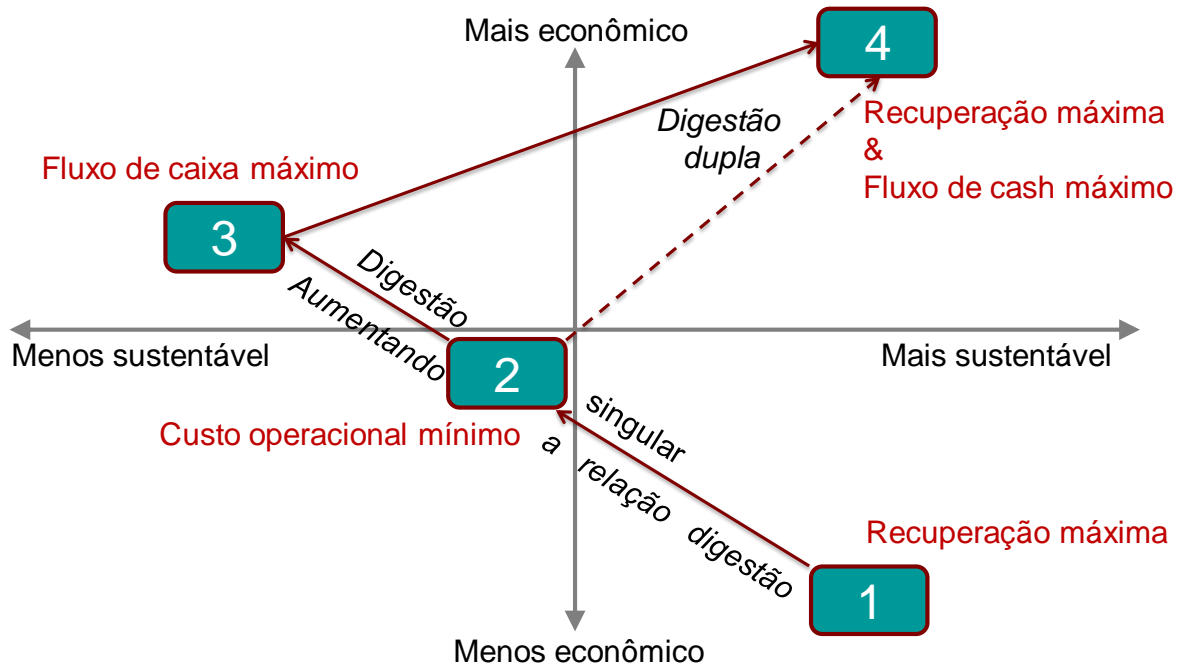
6 Conclusões

Uma refinaria com alta recuperação não gera seu máximo fluxo de caixa. Movendo de 'Recuperação de alumina máxima' via 'Custo operacional mínimo' para 'Fluxo de caixa máximo', implica uma redução na recuperação de alumina com o impacto ambiental associado, como:

- Aumento das perdas de alumina nos espessadores e lavadores
- Redução da utilização de bauxita
- Aumento de geração de lama.

Através da instalação de Unidades-M2M uma refinaria pode recuperar por re-digestão a alumina disponível presente na lama do espessador a uma relação digestão baixa e assim combinar o fluxo de caixa máximo com recuperação máxima.

Com um eixo horizontal de impacto ambiental (sustentabilidade) e um eixo vertical de impacto econômico, os quatro objetivos e seus modos de operação tomam as posições relativas como mostrado abaixo.



Instalar Unidades-M2M libera uma refinaria do compromisso entre o ambiente (alta recuperação) e fluxo de caixa alto (economia). Assim se combina o melhor de dois mundos, fazendo uma operação de refinaria mais sustentável e mais econômica.

A linha tracejada na visão geral acima fornece uma rota alternativa, no caso, não é viável para realmente aumentar a relação na digestão principal até o ponto de fluxo de caixa máximo devido a certas restrições da refinaria fora da digestão principal. Exemplos são perda de alumina alta por auto-precipitação nos lavadores e problemas de incrustação de hidrato nos filtros.

Nestes casos é possível chegar ao ponto 4 da recuperação máxima & fluxo de caixa máximo, instalando Unidades-M2M enquanto a refinaria ainda está operando em torno do ponto de custo operacional mínimo. Uma vez a re-digestão M2M esteja instalada, a relação de licor da digestão principal pode ser aumentada, movendo a operação da digestão principal para modo 3, sem o impacto negativo de perdas de alumina disponível em espessadores e lavadores de lama.

As Unidades-M2M eliminam os problemas mencionados acima, porque elas reduzem a auto-precipitação nos lavadores e fazem com que se possa ajustar a relação do licor no fluxo de descarga da re-digestão M2M a fim de obter uma relação aceitável no fluxo através do filtro para precipitação.

Anexo: Cálculo de Custo operacional mínimo e Fluxo de caixa máximo

O ponto de partida para definir as condições operacionais para o custo operacional mínimo e fluxo de caixa máximo é um teste 'breakpoint' no laboratório, seguido por um teste na refinaria. O teste no laboratório serve para determinar a maior relação digestão, após a qual se há um rápido declínio na recuperação e produção. No teste na refinaria a relação A/C de licor de digestão é elevada em pequenos incrementos, com tempo suficiente entre etapas para permitir que os efeitos das alterações operacionais alcancem o último lavador e que o tanque de licor de extração obtenha uma nova operação da refinaria estável. Durante estas experiências a refinaria opera (mais ou menos) ao fluxo de licor máximo.

Para cada etapa a relação A/C do licor de digestão e as associadas produção de SGA e recuperação de alumina são observadas, conforme ilustrado pelo exemplo na tabela abaixo.

A/C do licor de digestão	-	0.720	0.727	0.731	0.738	0.740	0.743	0.746	0.747
Produção de SGA	kt/a	1949	1982	2000	2027	2033	2041	2047	2051
Recuperação	%	95.0	94.4	94.0	93.0	92.6	92.0	91.0	90.0

A recuperação para cada etapa é calculada a partir das perdas de alumina fixas bem conhecidas, em combinação com recuperação dependente do conteúdo de alumina-na-Gibbsita na lama para o armazenamento. O conteúdo de alumina-na-Gibbsita é medido prontamente por *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).

O custo operacional e fluxo de caixa podem ser facilmente calculados com os dados acima, em combinação com os dados operacionais da fábrica e dados de custo como rotineiramente relatados, conforme mostrado na tabela a seguir.

Main plant - excl M2M									
Process data - not depending on recovery									
Coal consumption - Boilers	t/tSGA	0.117							
Oil consumption - Calciners	t/tSGA	0.070							
Power consumption	kWh/tSGA	183							
Av Al ₂ O ₃ (dry basis) in bauxite	% (by mass)	50.00							
Re SiO ₂ (dry basis) in bauxite	% (by mass)	3.65							
Impurities in SGA	%	1.2							
NaOH consumption by DSP	t NaOH / t SiO ₂	0.89							
NaOH consumption by other uses	t NaOH / t SGA	0.015							
Av Al ₂ O ₃ loss, excl. gibbsite in mud to storage	kg/tSGA	26							
Prices									
Coal price	\$/t Coal	100							
Oil price	\$/t Oil	400							
Power price	\$/kWh	0.040							
SGA price	\$/t SGA	350.00							
NaOH Price	\$/t NaOH	315.00							
Bx Price	\$/t Bauxite	20.00							
Res Storage Costs	\$/t Residue	2.00							
Costs									
Coal	\$/t SGA	11.70							
Oil	\$/t SGA	28.00							
Power duty	\$/t SGA	7.32							
Energy	\$/t SGA	47.02							
Other proc & maint mat'ls, rail & port	\$/t SGA	5.00							
Fixed cost	M\$/y	90.00							
Plant trial data									
Digestion liquor A/C	-	0.720	0.727	0.731	0.738	0.740	0.743	0.746	0.747
Alumina production	kt/y	1949	1982	2000	2027	2033	2041	2047	2051
Recovery - no M2M	%	95.0	94.4	94.0	93.0	92.6	92.0	91.0	90.0
Process data - depending on recovery. Main plant									
Bauxite factor	t Bx/t SGA	2.11	2.12	2.13	2.15	2.16	2.17	2.20	2.22
SiO ₂ consumption	t SiO ₂ /t SGA	0.077	0.077	0.078	0.078	0.079	0.079	0.080	0.081
NaOH consumption by DSP	t NaOH / t SGA	0.068	0.069	0.069	0.070	0.070	0.071	0.071	0.072
Residue factor	t Res / t SGA	0.58	0.59	0.60	0.62	0.63	0.64	0.67	0.69
Bauxite consumption	kt/y	4102	4198	4255	4359	4391	4437	4499	4559
Residue production	kt/y	1121	1166	1195	1258	1280	1314	1367	1420
Cash cost									
NaOH to non-DSP	\$/t SGA	4.73							
Energy	\$/t SGA	47.02							
Other proc & maint mat'ls, rail & port	\$/t SGA	5.00							
Sub total - constant variable costs	\$/t SGA	56.75							
Bauxite	\$/t SGA	42.11	42.37	42.55	43.01	43.20	43.48	43.96	44.44
NaOH to DSP	\$/t SGA	21.54	21.68	21.77	22.01	22.10	22.25	22.49	22.74
Residue disposal costs	\$/t SGA	1.15	1.18	1.20	1.24	1.26	1.29	1.34	1.38
Sub total - recovery depending variable costs	\$/t SGA	64.80	65.23	65.52	66.26	66.56	67.01	67.78	68.57
Fixed cost - production rate depending	\$/t SGA	46.19	45.42	45.00	44.41	44.27	44.09	43.96	43.87
Cash cost	\$/t SGA	167.73	167.39	167.27	167.41	167.57	167.85	168.49	169.19
Cash flow									
Cash out Ref	M\$/y	327	332	335	339	341	343	345	347
Cash in Ref	M\$/y	682	694	700	709	712	714	717	718
Cash flow	M\$/y	355	362	365	370	371	372	372	371