

UTILIZAÇÃO DO CUSTO ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE PARA O CÁLCULO DA VIDA ÚTIL DE EQUIPAMENTOS: UMA APLICAÇÃO EM CÉLULAS DE FLOTAÇÃO

Robert Cruzoaldo Maria (IFMG)

robert.maria@ifmg.edu.br

Guilherme Alcantara Pinto (IFMG)

g.alcantara@live.com

Edilaine Goncalves Araujo (IFMG)

edilainegoncalvesaraujo@yahoo.com.br

Rodrigo Resende Passos (IFMG)

rodrigopassos@hotmail.com

Lucelia Aparecida Radin (IFMG)

lucelia.radin@ifmg.edu.br



A atividade de mineração é a maior fornecedora de produtos para uso do homem no seu cotidiano. Além disso, possui uma grande importância para a economia do Brasil. Como resultado, surge a necessidade de manter a disponibilidade física dos seus equipamentos, evidenciando assim, que é imperativo a realização de uma análise visando calcular a vida útil econômica de seus ativos. É neste contexto que este artigo propõe a utilização do Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) para determinar o momento ótimo de substituição dos equipamentos de flotação. Para tanto, realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre substituição de equipamentos e vida útil econômica, em seguida aplicou-se o CAUE sobre os dados, encontrando um período de substituição igual a 7 anos. Vale ressaltar que, no caso específico de mineração, a decisão da troca do ativo fixo precisa considerar a vida útil da mina.

Palavras-chave: CAUE, Células de flotação, Vida Útil

1. Introdução

Com o intuito de manter a disponibilidade física dos equipamentos, bem como garantir a qualidade do processo e conseqüentemente do produto, cada vez mais as organizações procurem otimizar à utilização de seus equipamentos. Neste sentido, torna-se extremamente útil a realização de uma análise visando calcular a vida útil econômica de seus ativos.

De acordo com Borgert et al (2006), as empresas adquirem bens que são mantidos com a expectativa de geração de benefícios futuros para a organização, os quais incluem, geralmente, veículos, máquinas e equipamentos, prédios, móveis entre tantos destinados a produzir outros bens ou serviços. No entanto, esses ativos, além da sua utilização na produção de bens ou serviços, geram custos e despesas para as empresas, visto que sofrem influências de fatores que reduzem o seu valor e a sua utilidade.

Nos investimentos em mineração ocorrem da mesma forma. Segundo Ferreira e Andrade (2010), estes investimentos se caracterizam pela limitação de sua vida útil, já que uma vez extraído todo o minério existente na jazida, não há outra alternativa a não ser o encerramento das operações. Desta forma, é necessário que o investidor receba de volta o capital aplicado, acrescido de remuneração compatível com os riscos do negócio, durante a vida útil da mina.

Ainda em consonância com estes autores, é de extrema importância selecionar cautelosamente o tipo de equipamento, visto que o mesmo impacta na eficiência do processo e na escala de produção. Pode ocorrer que um determinado grau de mecanização seja aplicável apenas a um certo volume mínimo de produção.

Assim, a avaliação de custo de uma jazida se baseia em estimativas de grandezas econômicas, a saber (FERREIRA; ANDRADE, 2010):

- vida útil da mina, obtida com base na reserva de minério existente;
- custos iniciais, vida útil dos equipamentos, instalações e substituições dos mesmos;
- custos anuais de produção, transporte, administração e comercialização;
- custos para reabilitação da área lavrada, ao fim da vida útil da mina;
- capital de giro;

- condições de financiamentos que possam ser obtidos para a instalação inicial da mina;
- despesas de administração correspondentes ao ciclo de produção e beneficiamento.

No que tange ao tratamento de minérios, de acordo com Abu-Ali e Sabour (2003), antes de especificar os equipamentos de flotação, é necessário considerar vários fatores, tais como o desempenho metalúrgico (recuperação e teor), consumo de energia e capital e os custos de operação do circuito de flotação.

Diante disso, torna-se necessário fazer uma análise da vida econômica dos equipamentos envolvidos neste processo. No campo da engenharia econômica, isso passa por métodos de análise de alternativas de investimentos e, nesta pesquisa, objetivo principal é realizar uma análise de permutação de ativos fixos que auxilie as empresas mineradoras na tomada de decisão, utilizando o método do custo anual uniforme equivalente (CAUE), que determinará o momento ótimo de substituição dos equipamentos de flotação, ou seja, calculará a vida útil econômica dos mesmos.

2. Fundamentação teórica

2.1. Substituições de equipamentos

As empresas, em geral, segundo Souza e Clemente (2008), orientam-se exclusivamente por aspectos técnicos para a tomada de decisão a respeito de baixa e substituição de equipamentos, e como consequência, acabam tomando decisões não ótimas. Especialmente quando se trata de equipamentos de grande valor, os prejuízos podem ser muito elevados.

Segundo Assaf Neto (2005), a necessidade de se avaliar o estado físico de um bem produtivo é de grande importância para uma empresa, sendo inclusive, interessante que isso seja feito periodicamente. Ainda de acordo com o autor supracitado, a não consideração dessa decisão no momento oportuno pode causar sérios transtornos no funcionamento normal das atividades das empresas, tais como interrupções mais frequentes no processo de produção, elevação do índice de produtos não-conformes, entre outros.

É fato que os equipamentos e instalações de uma empresa de mineração constituem um conjunto cujas partes têm vidas úteis diferentes. Ferreira e Andrade (2010) afirmam que normalmente os prédios e instalações fixas têm vida igual ou superior à vida da mina, apresentando ainda boas

condições de utilização quando todo o minério economicamente explorável estiver exaurido. No entanto, o mesmo não ocorre com as máquinas, equipamentos e instalações móveis: em regra é necessário substituí-las ao longo da exploração da jazida, e os custos dessas substituições constituem significativos desembolsos que devem ser incluídos no fluxo de caixa.

É importante destacar que o procedimento geralmente adotado é o estabelecimento de um prazo de vida útil para cada equipamento de valor significativo, seguindo as orientações do fabricante, e a partir dessa estimativa, desenvolver todas as implicações econômicas e financeiras do investimento.

Souza e Clemente (2008) ressaltam que a utilização de métodos e técnicas quantitativas para análise econômica de equipamentos é geralmente muito dificultada pela virtual ausência dos dados e informações relevantes. Mesmo em se tratando de máquinas e equipamentos de grande valor, os dados requeridos para a análise podem não estar prontamente disponíveis, o que implica necessidade de mudança cultural na empresa.

São várias as razões não exclusivas entre si que levam uma empresa a substituir um ativo fixo, isto é, fatores que tornam econômica uma substituição de equipamentos. Elas podem ser sintetizadas em três grupos, conforme apresentados por Casarotto Filho e Kopittke (2010):

- Deterioração: é causada pelo grau de utilização do equipamento. A deterioração se manifesta pelo aumento dos custos operacionais, de manutenções e aumento da ociosidade do bem;
- Avanço tecnológico: provoca a obsolescência de um determinado bem. Os equipamentos mais modernos oriundos desse avanço tecnológico trazem uma vantagem operacional à empresa, através de menores custos, maior grau de produção, agilidade e qualidade, fazendo com que o equipamento em uso torne-se desvantajoso ou obsoleto, comparando-o com os novos modelos disponíveis no mercado;
- Inadequação: em algumas situações ocorre uma alteração na linha de produção em busca de maior competitividade no mercado. Como consequência disto, um determinado equipamento pode perder a capacidade de operar eficientemente, ou seja, o equipamento torna-se inadequado à nova linha de produção.

2.2. Vida útil e vida útil econômica

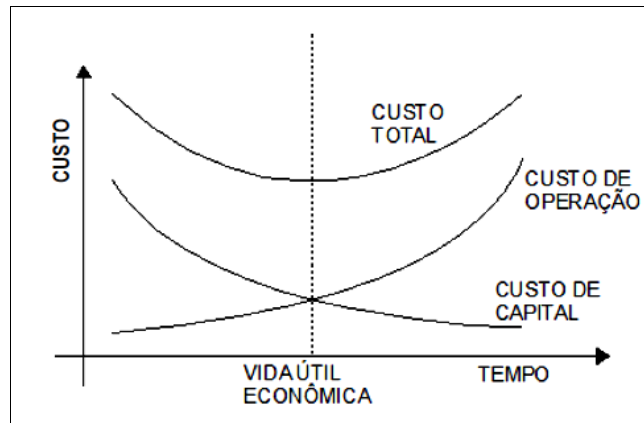
Um dos quesitos mais importantes para determinar o momento ideal da substituição de ativos depreciáveis, segundo Vey e Rosa (2003), é saber qual o período de vida útil e vida útil econômica que os mesmos possuem, uma vez que na hora de aplicar o método de análise de substituição é preciso saber o período de vida útil do bem, pois ele irá influenciar outro fator de extrema importância que é a depreciação. Logo, o entendimento desses conceitos é fundamental para o desenvolvimento de um programa de substituição de equipamentos.

Vida útil, de acordo com Vey e Rosa (2003), refere-se ao tempo máximo de utilização de um bem, estando relacionado com o esgotamento da capacidade produtiva do mesmo, não importando se ele está contribuindo positiva ou negativamente para formação do lucro. Neste caso, a substituição do bem dar-se-á somente pela incapacidade dele realizar a atividade a que se destina.

Por outro lado, segundo Souza e Clemente (2008), a vida útil econômica em vez de se referir à capacidade física de produção, diz respeito aos custos globais em que a empresa incorre para manter em operação certo equipamento. Nota-se, portanto, que está relacionado com a eficiência e a produtividade do bem.

Para Casarotto Filho e Kopittke (2010), para o cálculo da vida econômica existe o balanço de dois custos: o custo de investimento inicial, que tende a tornar a vida útil do bem o maior possível e os custos de operação/manutenção, que tendem a encurtar a vida útil do bem já que são crescentes. Assim, esses autores dizem que a determinação da vida econômica consiste em achar os custos ou resultados anuais uniformes equivalentes (CAUE ou VAUE) do ativo para todas as vidas úteis possíveis. O ano para o qual o CAUE é mínimo ou o VAUE é máximo, é o da vida econômica do ativo. Como pode ser visto na figura 1 apresentada a seguir.

Figura 1: Representação da vida útil e da vida útil econômica



Fonte: Casarotto Filho e Kopitke (2010)

2.2.1. Método do custo anual uniforme equivalente (CAUE)

O Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), ou valor presente líquido Anualizado (VPLa), como também é conhecido, segundo Duarte et al (2007), consiste em encontrar uma série anual uniforme que equipare-se aos fluxos de caixa (tanto receitas quanto despesas) dos investimentos descontados a taxa mínima de atratividade (TMA). O melhor projeto é aquele que tiver o maior saldo positivo.

O método do custo anual uniforme equivalente é semelhante ao do valor anual uniforme equivalente, porém o primeiro faz uma comparação entre os custos dos projetos de investimentos, ao passo que o segundo compara todos os componentes do fluxo de caixa das alternativas.

Vey e Rosa (2003) afirmam que ao transformar todos os custos do bem para custos anuais equivalentes, com a aplicação de uma determinada taxa de juro correspondente ao custo de capital sobre o investimento ou a taxa mínima atrativa, tem-se por objetivo determinar em que ano ocorre o menor custo anual equivalente, determinando assim, o período ideal de substituição do ativo depreciável, ou seja, a sua vida útil econômica, já definida anteriormente.

No entanto, para utilizar o método do custo anual uniforme equivalente é necessário obter algumas informações sobre o bem que estará sob análise, tais como (VEY; ROSA, 2003):

- valor do investimento ou de aquisição;
- valor de revenda ou valor residual ao final de cada ano da vida útil do bem;
- os custos operacionais;
- o custo de capital ou a taxa mínima atrativa.

Geralmente, o valor do investimento é um tipo de informação de obtenção relativamente fácil, uma vez que quando a empresa está estudando a viabilidade da aplicação de capital em um determinado bem, ela saberá o valor que custa o mesmo. Porém, quando se tem que encontrar a vida útil econômica de um ativo fixo que já pertence o ativo imobilizado da empresa, é comum ocorrer dificuldades caso a organização não possua uma prática contábil regular e bem estruturada, ocasionando a indisponibilidade dos dados referentes à aquisição.

A obtenção do valor residual, ao final de cada ano da vida útil do bem já pertencente à empresa, ou ao final de cada período do projeto em questão, pode ser de difícil mensuração. No primeiro caso, a solução pode ser obtida através da pesquisa, junto ao mercado especializado, do valor de mercado do bem em questão. Já no segundo caso, pode-se recorrer a consulta de manuais técnicos, revistas especializadas, entre outros, onde conste as curvas padrões das depreciações previstas para cada tipo de bem. Apesar de parecer de fácil solução, este problema é extremamente difícil, pois a empresa depende muito da existência de entidades ou órgãos que disponibilizem estes tipos de informações.

Os custos operacionais, para cada período dos projetos, deverão ser estimados, levando-se em consideração características de operação, tais como o princípio de funcionamento, condições de operação, condições do ambiente onde este equipamento está instalado, entre outras.

O último fator que deve ser considerado é a determinação do custo de capital ou da taxa mínima de atratividade, que será utilizada para transformar os valores do fluxo de caixa em anualidades. Este problema pode ser resolvido calculando-se o custo de capital ponderado da empresa ou determinando uma taxa mínima atrativa, que segundo Puccini et al apud Vey e Rosa (2003), deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco.

2.2.2. Custo de capital e custo de operação e manutenção

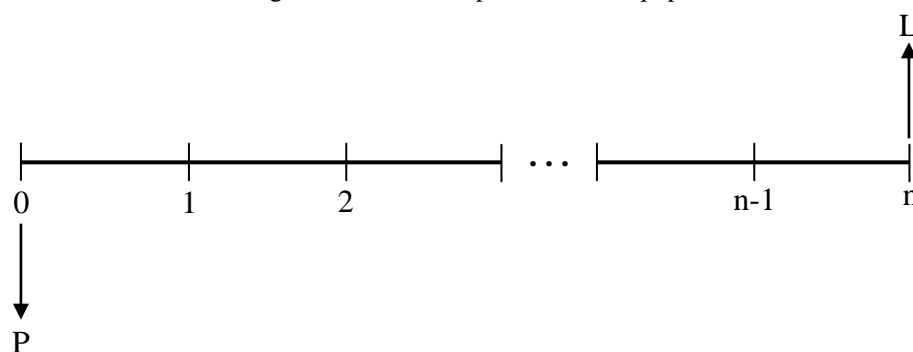
O custo de capital, segundo Cavender (1999), é o custo do investimento, ou seja, representa os investimentos na aquisição de equipamentos, das instalações industriais para a operação dos equipamentos, as construções civis necessárias entre outras. Já o custo de operação, é definido por Morgan (1994) como sendo aqueles que ocorrem durante a beneficiamento do produto, como por exemplo os custos de manutenção, insumos e impostos.

Sabe-se que o custo anual equivalente uniforme (CAUE) pode ser obtido através da soma do custo anual equivalente de capital (CAEC) e do custo anual equivalente de operação e manutenção (CAEM).

$$CAUE = CAEC + CAEM \quad \text{Equação (1)}$$

A figura 2 apresenta os fluxos financeiros referentes à aquisição e à alienação de certo bem de capital. O custo total de aquisição, incluindo transporte e instalação, é representado por P, enquanto a receita de venda ao final de n períodos é representado por L.

Figura 2: Custo de capital de certo equipamento



Fonte: Souza e Clemente (2008)

O custo anual equivalente de capital (CAEC) da decisão de manter o referido equipamento por n períodos, a uma taxa mínima de atratividade (TMA) i , é:

$$CAEC = \left[P - \frac{L}{(1+i)^n} \right] (A/P, i\%, n) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde o termo $(A/P, i\%, n)$ é encontrado em tabelas financeiras ou pode ser calculado pela expressão:

$$A/P, i\%, n = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \text{Equação (3)}$$

Seja f a taxa à qual as despesas de manutenção e operação, iguais a C no primeiro ano, crescem período a período. O custo anual equivalente de operação e manutenção (CAEM) pode, então, ser definido como (SOUZA; CLEMENTE, 2008):

$$CAEM = C \left[\frac{\left(\frac{1+f}{1+i} \right)^n - 1}{f-i} \right] (A/P, i\%, n)$$

Equação (4)

Ressalta-se que o termo $(A/P, i\%, n)$ é obtido de forma idêntica à apresentada anteriormente.

Torna-se necessário observar que a taxa de crescimento do custo de operação e manutenção (f) não pode ser igual à taxa mínima de atratividade (TMA), denotada na equação pela letra i , para se evitar a indeterminação.

Apresenta-se a seguir a metodologia utilizada para a realização da aplicação do Custo Anual Equivalente Uniforme (CAUE) em células de flotação.

3. Metodologia

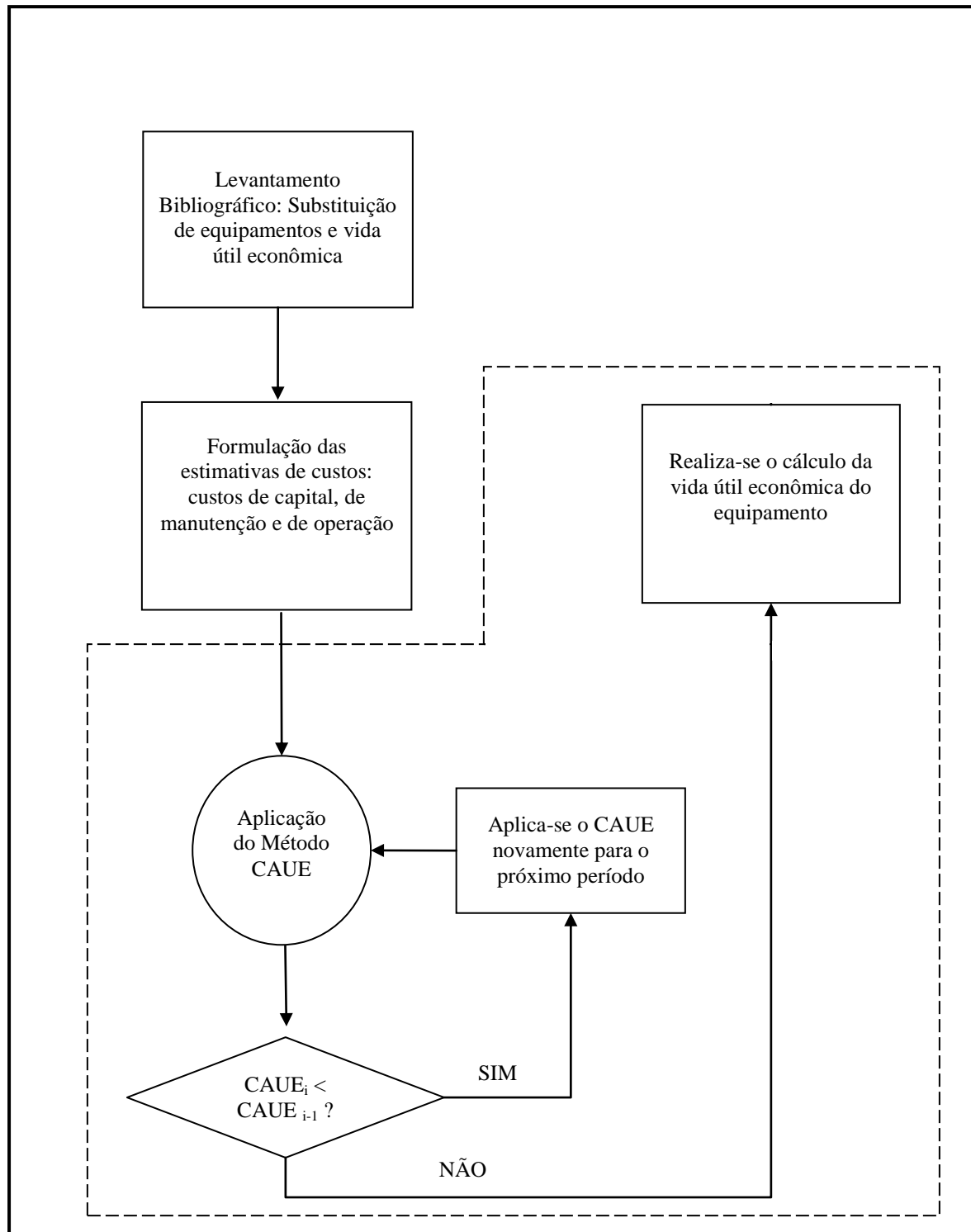
Para este estudo, considerou-se que o custo total de um circuito de flotação é composto pelo custo de capital e pelo custo de operação. O custo de capital é a quantidade monetária total despendida para comprar e instalar os equipamentos na planta, enquanto o custo de operação consiste nas despesas com energia, insumos, trabalhadores e manutenção.

Ressalta-se que em função da indisponibilidade de acesso a dados reais, por se tratarem de informações confidenciais e de caráter estratégico, optou-se por desenvolver e utilizar valores aproximados, presentes em bibliografias específicas da área, visando estimar os custos supracitados.

De posse destes dados oriundos das estimativas de custos, aplica-se o método do custo anual uniforme equivalente (CAUE) para cada período. Este processo deverá ser repetido até que o CAUE do período subsequente seja superior ao CAUE do período precedente. Quando este fato ocorrer, calcula-se a vida útil econômica deste equipamento.

A figura 3, apresentada a seguir, sintetiza as etapas a serem realizadas visando estimar a vida útil econômica dos equipamentos de flotação.

Figura 3: Fluxograma da metodologia utilizada



4. Aplicação do CAUE em células de flotação

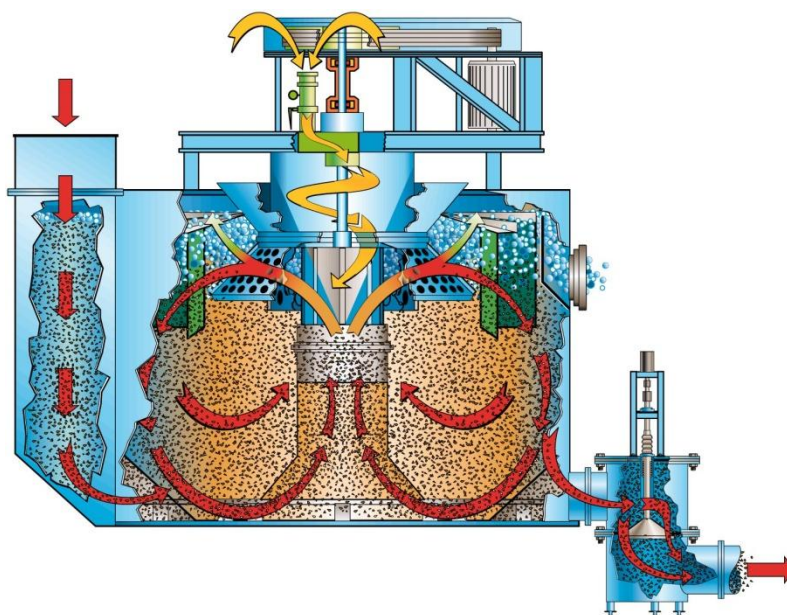
4.1. Célula de flotação modelo

As células mecânicas foram as primeiras a serem desenvolvidas para utilização no processo de concentração de minérios por flotação. De acordo com Guimarães e Peres apud Peres (2005), as primeiras células mecânicas foram do tipo “*cell to cell*”, porém, devido à complexidade do projeto e ao seu elevado custo de construção foram desenvolvidas as células “*open flow*”.

As células de flotação convencionais são tanques que recebem a alimentação por um de seus lados e descarregam o afundado pelo lado oposto e a espuma pela sua parte superior. Dentro da célula é instalado um rotor acionado e suspenso por um eixo. O rotor, segundo Chaves (2013), é responsável por impedir as partículas de sedimentar, e com seu movimento intenso de rotação, gera uma pressão negativa no interior da célula, fazendo com que o ar atmosférico seja aspirado através do tubo que envolve o eixo de acionamento do rotor. Sendo assim o rotor tem a função de agitar e aerar a polpa. Junto do rotor existe uma peça chamada de estator responsável por quebrar as bolhas de ar gerando um grande número de bolhas de pequeno diâmetro.

A figura 4 ilustra uma máquina de flotação Wemco do tipo “*cell to cell*”, utilizada nos circuitos de flotação da Fosfertil.

Figura 4: Representação esquemática da célula Wemco



Fonte: Oliveira e Aquino (2005)

4.2. Aplicação do CAUE

A fim de ilustrar a aplicação da utilização da técnica do Custo Anual Uniforme Equivalente para o cálculo da vida útil econômica de um equipamento de flotação, analisando a viabilidade de promover a sua substituição, adotou-se os seguintes dados de entrada:

- Valor de aquisição: R\$ 1.200.000,00
- Valor de transporte: R\$ 30.000,00
- Valor de instalação: R\$ 600.000,00
- Valor residual: Será considerada uma taxa anual de depreciação de 10% ao ano
- Taxa mínima de atratividade: 12% ao ano
- Custo estimado no primeiro ano: R\$ 200.000,00
- Taxa anual de crescimento dos custos: 10%
- Vida útil estimada da mina: 20 anos

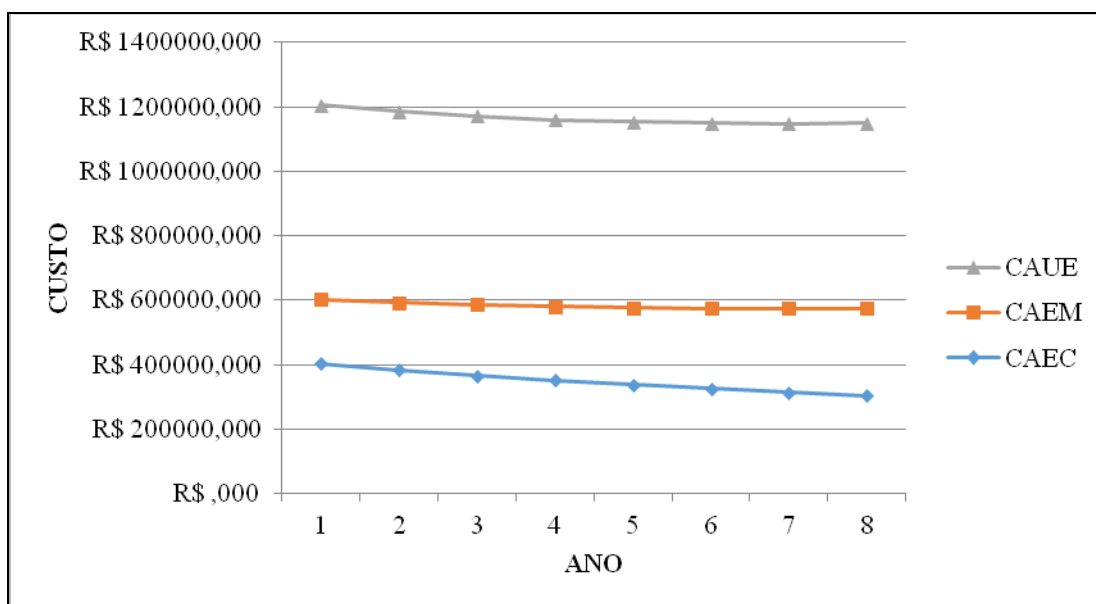
A tabela 1 mostra os valores calculados para o custo anual equivalente de capital (CAEC) e para o custo anual equivalente de operação e manutenção (CAEM). O custo anual equivalente uniforme (CAUE) é obtido através da soma dos dois anteriores.

Tabela 1 - Custos da vida útil econômica

Período	CAEC	CAEM	CAUE
1	R\$ 402.600,00	R\$ 200.000,00	R\$ 602.600,00
2	R\$ 383.609,00	R\$ 209.434,00	R\$ 593.043,00
3	R\$ 366.568,00	R\$ 219.085,00	R\$ 585.653,00
4	R\$ 351.279,00	R\$ 228.943,00	R\$ 580.222,00
5	R\$ 337.563,00	R\$ 238.998,00	R\$ 576.561,00
6	R\$ 325.261,00	R\$ 249.238,00	R\$ 574.499,00
7	R\$ 314.229,00	R\$ 259.653,00	R\$ 573.882,00
8	R\$ 304.337,00	R\$ 270.230,00	R\$ 574.567,00

O comportamento dos custos pode ser melhor visualizado através da figura 5.

Figura 5: Custos da vida útil econômica



Pode-se observar pelos dados que o valor do Custo Anual Uniforme Equivalente é decrescente até o sétimo ano. No oitavo ano, a curva do CAUE muda de inflexão e começa a subir. Assim, verifica-se que para o caso, a vida útil econômica do circuito de células de flotação é de 7 anos.

Uma particularidade do setor produtivo de mineração que precisa ser considerada nessa análise, é a estimativa de duração das reservas da jazida mineral em questão, uma vez que, diferentemente de outros setores econômicos, a viabilidade de se realizar investimentos nas mineradoras, precisa ponderar esse parâmetro. Neste caso, como a expectativa de vida útil da mina é de 20 anos, torna-se viável a substituição das mesmas ao término do sétimo ano de uso.

5. Considerações finais

O propósito desta trabalho foi apresentar a utilização do Custo Anual Uniforme Equivalente para a realização da análise de permutação de ativos fixos capaz de servir como suporte para os gestores das empresas tomarem decisões no que tange a substituição dos equipamentos através do cálculo de sua vida útil econômica.

Diante do modelo apresentado, conclui-se que o método CAUE pode ser aplicado às empresas do setor de mineração como um mecanismo de avaliação para a substituição de seus equipamentos, em especial as células de flotação.

É importante destacar que para a eficiência na utilização desse método, as empresas precisam de uma contabilidade bem organizada, que possua informações confiáveis e atualizadas, capaz de permitir que a coleta de dados ocorra com facilidade visando a aplicação prática do método em estudo.

Por fim, salienta-se que o cálculo da vida útil econômica de equipamentos de flotação deve ser realizado, preferencialmente, de forma individual, tendo em vista que o ambiente em que se encontram esses equipamentos podem contribuir para a determinação do valor dos custos operacionais, tais como viscosidade e escoamento da polpa, a hidrodinâmica do sistema, velocidade de suspensão, reagentes, entre outros. O cálculo da vida útil econômica, utilizando-se o método do custo anual uniforme equivalente, indica o período ótimo de substituição dos equipamentos, o que é muito importante para a empresa não se desfazer de bens que contribuem positivamente na formação de lucros ou manter em funcionamento bens que lhe tragam prejuízos.

REFERÊNCIAS

- ABU-ALI, M. H. e SABOUR, S. A. **Optimizing the design of flotation circuits an economic approach**. Minerals Engineering, 2003.
- ASSAF NETO, A. **Finanças Corporativas e Valor**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2005.
- BORGERT, A., HUNTTEMANN, E. S. SCHULTZ, C. A. **Custo anual uniforme equivalente (CAUE) aplicado à avaliação de veículos populares**. XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2006.
- CASAROTTO, F.N. ; KOPITKE, H.B. **Análise de investimentos: Engenharia econômica, Tomada de decisão, Estratégia empresarial**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- CAVENDER, B. **Mineral Production Costs: Analysis and Management**. USA: Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME), 1999.
- CHAVES, A. P. **A Flotação no Brasil**. 3. ed. São Paulo: Signus, 2013.
- DUARTE, C. L. G.; ALMEIDA, S. F.; ALMEIDA, P. L. P. e ROCHA, J. S. **Método do custo anual uniforme equivalente como ferramenta para a substituição de frota**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 09 a 11 de outubro de 2007.
- FERREIRA, G. E.; ANDRADE, J. G. **Elaboração e avaliação econômica de projetos de mineração**. In Tratamento de Minérios. CETEM: Rio de Janeiro, 2010.

MORGAN, B. **Cost effective equipment applications zones. Mine Planning and Equipment Selection.** Rotterdam: Balkema, 1994.

OLIVEIRA, M. L. M.; AQUINO, J. A. **Aspectos relevantes das colunas de flotação.** XXI ENTMMME, Natal-RN, novembro, 2005.

SOUZA, A; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos técnicas e aplicações.** 6a. Edição. São Paulo: Atlas, 2008.

VEY, I. H.; ROSA R. M. **Substituição de frota em empresa de transporte municipal de passageiros: um estudo de caso.** IX convenção de contabilidade do Rio Grande do Sul. Gramado – RS. 13 a 15 de agosto de 2003.