

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS EM ADMINISTRAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO ESTRATÉGICA

GESTÃO ECONÔMICA DE EQUIPAMENTOS MÓVEIS DE MINERAÇÃO

BRUNO GONÇALVES PEREIRA

Belo Horizonte

2019

Bruno Gonçalves Pereira

GESTÃO ECONÔMICA DE EQUIPAMENTOS MÓVEIS DE MINERAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Estratégica de Negócios.

Trabalho de conclusão de curso apresentado a banca examinadora em 08 de maio de 2019.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Vidal Barbosa

Belo Horizonte

2019

Ficha catalográfica

P436g Pereira, Bruno Gonçalves.
2019 Gestão econômica de equipamentos móveis de mineração
 [manuscrito] / Bruno Gonçalves Pereira. – 2019.
 28 f.

 Orientador: Francisco Vidal Barbosa.
 Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas
 Gerais, Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração.
 Inclui bibliografia.

 I. Administração. I. Barbosa, Francisco Vidal. II.
 Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Pós-Graduação
 e Pesquisas em Administração. IV. Título.

CDD: 658

Elaborado por Fabiana Pereira dos Santos CRB-6/2530
Biblioteca da FACE/UFMG. – FPS/094/2020



Universidade Federal de Minas Gerais
Faculdade de Ciências Econômicas
Departamento de Ciências Administrativas
Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração
Curso de Especialização em Gestão Estratégica

ATA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO do Senhor **BRUNO GONÇALVES PEREIRA**, REGISTRO N° 2017708830. No dia 08/05/2019 às 09:00 horas, reuniu-se na Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, a Comissão Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso - TCC, indicada pela Coordenação do Curso de Especialização em Gestão Estratégica - CEGE, para julgar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "**GESTÃO DE ATIVOS NA MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÓVEIS DE MINERAÇÃO**", requisito para a obtenção do **Título de Especialista**. Abrindo a sessão, o orientador e Presidente da Comissão, Professor Francisco Vidal Barbosa, após dar conhecimento aos presentes do teor das Normas Regulamentares de apresentação do TCC, passou a palavra ao aluno para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, seguido das respostas do aluno. Logo após, a Comissão se reuniu sem a presença do aluno e do público, para avaliação do TCC, que foi considerado:

APROVADO

APROVAÇÃO CONDICIONADA A SATISFAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS CONSTANTES NO VERSO DESTA FOLHA, NO PRAZO FIXADO PELA BANCA EXAMINADORA - PRAZO MÁXIMO DE 60 (SESSENTA) DIAS

NÃO APROVADO

80 pontos (OITENTA PUNTOS) trabalhos com nota maior ou igual a 60 serão considerados aprovados.

O resultado final foi comunicado publicamente ao aluno pelo orientador e Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Senhor Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 08/05/2019.

Prof. Francisco Vidal Barbosa
(Orientador)

Prof. Antônio Dias Pereira Filho

AGRADECIMENTOS

Ao meu bondoso Deus por proporcionar a oportunidade de sequenciar os estudos,
à minha esposa pelo amor e suporte,
aos meus filhos pelo carinho e exemplo,
aos amigos pelo companheirismo e
aos professores e colegas de trabalho por compartilhar tamanha sabedoria,
meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

No setor de mineração, o conhecimento do comportamento dos custos de manutenção dos equipamentos durante os seus ciclos de vida se torna muito importante devido aos custos envolvidos na operacionalidade e disponibilidade dos equipamentos. Dessa maneira, apesar dos elevados recursos necessários para a aquisição de um dado ativo físico, a compra não deve ser decidida somente com base no custo inicial, mas sim por meio do custo do ciclo de vida desse equipamento em que se contemplam todos os gastos realizados ao longo de sua vida. Este estudo aborda a aplicação de uma metodologia para a gestão econômica de ativos na manutenção de equipamentos móveis de mineração, que utiliza modelos matemáticos baseados em engenharia econômica e nos dados previamente pesquisados com o objetivo de encontrar a vida econômica ideal de um determinado equipamento em condições de operação estabelecidas e realizar a comparação econômica entre modelos que suporta a decisão de seleção e aquisição de ativo. Com a modelagem de vida econômica elaborada no presente estudo é possível determinar o período em que os equipamentos podem ser utilizados de maneira mais eficiente e com menores custos de ciclo de vida incorporados, uma vez que seja aplicada uma gestão da manutenção econômica. Deste modo, é possível realizar simulações que possibilita a melhoria de indicadores técnico-financeiros considerando um ou mais equipamentos de empresas do setor mineral.

Palavras Chave: Gestão de ativos, Engenharia econômica, Custo do ciclo de vida, LCC

ABSTRACT

In the mining sector, the knowledge of the behavior of equipment maintenance costs during their life cycles becomes very important due to the costs involved in the operability and availability of the equipment. Thus, despite of the high resources required for the acquisition of a given physical asset, the purchase should not be decided only based on the initial cost, but rather by the life cycle cost of the equipment in which all expenses incurred throughout his life. This study addresses the application of a methodology for the economic management of assets in the maintenance of mobile mining equipment, which uses mathematical models based on economical engineering and data previously searched with the objective of finding the ideal economic life of a given equipment in conditions and to perform the economic comparison between models that supports the asset selection and acquisition decision. With the economic life modeling elaborated in the present study it is possible to determine the period in which the equipment can be used more efficiently and with lower incorporated life cycle costs, once an economic maintenance management is applied. In this way, it is possible to carry out simulations which allows the improvement of technical and financial indicators considering one or more equipment of companies in the mineral sector.

Key-words: *Asset management, Economic engineering, Life cycle cost, LCC*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura de organização da gestão de ativos.....	12
Figura 2 – Importância crescente da manutenção	15
Figura 3 – Métodos de manutenção.....	16
Figura 4 – Diagrama de fluxo de caixa.....	18
Figura 5 – Comparação entre diagramas de fluxo de caixa irregular e seu equivalente	20
Figura 6 – Gastos com manutenção ao longo da vida operacional do equipamento A.....	23
Figura 7 – Gastos com manutenção ao longo da vida operacional do equipamento B	23
Figura 8 – Detalhe das curvas de AE dos equipamentos A e B	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Tema.....	9
1.2 Problema.....	10
1.3 Objetivo geral.....	10
1.4 Objetivos específicos.....	10
1.5 Justificativa.....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 Gestão econômica de ativos.....	11
2.1.1 Custo do ciclo de vida (<i>Life Cycle Cost - LCC</i>).....	13
2.2 Manutenção industrial.....	14
2.2.1 Definições de manutenção.....	15
2.2.2 Métodos de manutenção.....	16
2.2.3 Custos de manutenção.....	17
2.3 Modelo para determinação da vida econômica.....	17
2.3.1. Aquisição e substituição de ativos por métodos de engenharia econômica.....	18
2.3.2. Valor Presente Líquido (VPL).....	19
2.3.3. Anuidade Equivalente (AE).....	19
3 METODOLOGIA.....	21
4 ESTUDO DE CASO.....	22
5 CONCLUSÃO.....	26
REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tema

A constante evolução tecnológica e o crescimento das demandas do setor produtivo tornaram fundamentais as exigências inerentes à garantia da perfeita funcionalidade dos equipamentos e processos. Neste contexto, a habilidade das empresas contemporâneas de gerir ativos, com a necessária competência e eficiência em busca de um diferencial competitivo está fortemente vinculada a sua política de gestão da manutenção, Novacki et al. (2009).

Em função disso, a responsabilidade a ser assumida pelas áreas de manutenção tende a ser bem mais abrangente e devem buscar a melhoria contínua no gerenciamento dos processos de trabalho. Assim, a manutenção representa uma das atividades fundamentais no processo produtivo organizacional, ao ser vista como mola propulsora, que pode levar uma empresa a destacar-se, a partir de diferenciais competitivos, como indicam Chavez e Medeiros (1998).

Ao manter uma visão clara e precisa dos ativos, as organizações podem dimensionar corretamente sua infraestrutura e dinamizar os processos críticos, como: aquisição, planejamento, orçamento, manutenção, operação e descarte. Em manutenção, redução de custos não implica em degradação dos serviços, mas sim na integração profunda com a operação e no controle mais adequado da gestão da manutenção. Desta forma, estarão caminhando para alcance dos seus objetivos estratégicos e, estarão assim, melhores preparadas para lidar com os constantes desafios de um mercado competitivo na busca pela excelência.

Este estudo aborda a gestão econômica de ativos na manutenção de equipamentos móveis de mineração que utiliza modelos matemáticos baseados em engenharia econômica com o objetivo de encontrar a vida econômica ideal e realizar previsões de custos de manutenção de um determinado equipamento em condições de operação estabelecidas. Pretende-se apresentar os dados e os critérios de mensuração de ativos que embasem as tomadas de decisão para que promovam o gerenciamento eficaz dos investimentos da empresa.

1.2 Problema

É definido como problema do presente estudo o desconhecimento da vida útil econômica dos equipamentos de mineração, sendo esta, o ponto ideal de substituição, aliado a falta de metodologia que possa comparar economicamente os equipamentos no momento da seleção para aquisição de novo modelo.

1.3 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral aplicar uma metodologia para gerenciamento da manutenção econômica de equipamentos móveis de mineração como suporte aos gestores, engenheiros e analistas nas tomadas de decisão.

1.4 Objetivos específicos

Em termos de objetivos específicos, pretende-se:

- Determinar a vida útil econômica de equipamentos.
- Determinar a opção de equipamento mais viável para aquisição em substituição através de comparação econômica direta entre diferentes modelos.

1.5 Justificativa

As ferramentas de gestão da manutenção econômica de ativos podem propiciar à empresa, através de dados históricos e aliadas ao conhecimento técnico, uma forma sistemática de gerenciamento que viabiliza a determinação de ações prévias com a finalidade de otimizar o retorno sobre os ativos em ambiente de manutenção. Deste modo, a organização pode obter economias de custos e melhorias de desempenho mensuráveis e sustentáveis em longo prazo. Tais conquistas, por sua vez, ajudam a maximizar a utilização e o desempenho dos ativos, melhorar a qualidade dos produtos, aumentar a lucratividade e reduzir os riscos operacionais.

O resultado gerado é capaz de contribuir com a qualidade do gerenciamento, através de informações e análises que auxiliam na tomada de decisão, em que os diferenciais competitivos são de extrema importância para a sustentação da competitividade de uma empresa frente os desafios do mercado global.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Gestão econômica de ativos

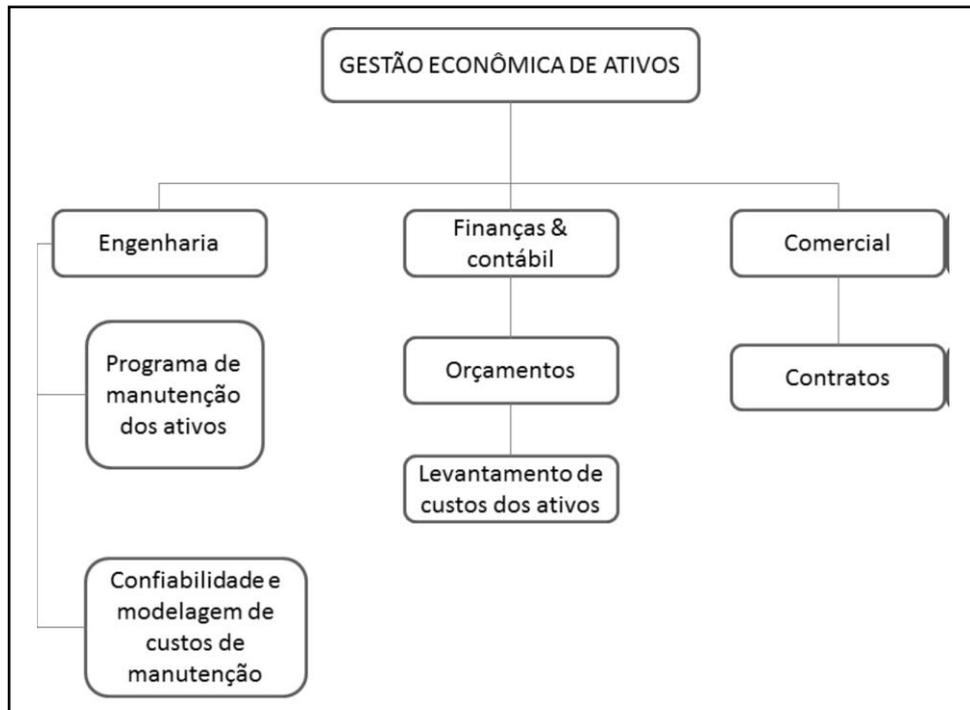
Por definição, ativo é o bem destinado à continuidade da atividade econômica da empresa, seja na produção de riquezas ou no controle e administração da organização. Através do desempenho de suas funções, a empresa encontra-se em um processo interativo contínuo com o meio ambiente, obtendo recursos, transformando-os em produtos e atendendo aos seus objetivos.

Num ambiente global de intensas mudanças competitivas, a mensuração dos ativos, especificamente dos ativos físicos, requer a superação da rigidez dos custos históricos e da depreciação linear, próprios da contabilidade tradicional, e a adoção de critérios que permitam avaliar adequadamente a realidade econômica desses ativos (Catelli; Parisi; Santos, 2002).

A gestão econômica, dentro da visão sistêmica, considera a empresa como um conjunto orgânico de áreas de responsabilidade, cujos gestores tomam decisões com vista ao resultado global da organização, em que busca, simultaneamente, contribuir para o desenvolvimento da ciência contábil e responder às necessidades atuais das empresas, desenvolvendo uma visão metodologicamente consistente e abrangente, que enfoca a organização sob os aspectos operacional-estrutural, econômico e gerencial de suas atividades, centrada nas decisões tomadas em cada evento empresarial.

As atividades e responsabilidades da gestão econômica de ativos impactam em diversas funções de uma empresa (manutenção, financeiro, contábil e engenharia). Isso ocorre de tal maneira que as finanças estariam responsáveis pelo orçamento dos projetos, a engenharia pelas operações e manutenções a serem executadas nos ativos físicos, o contábil em relação às tributações referentes para cada ativo e, por último, o departamento comercial cuidando dos contratos. Assim, conforme ilustrado na Figura 1 e citado por Cesca (2012), a integração de todas essas áreas poderá dar início à gestão econômica de ativos.

Figura 1 – Estrutura de organização da gestão de ativos



Fonte: Cesca (2012)

Segundo Hastings (2010), a gestão econômica de ativos é uma área que consiste em fornecer recursos e conhecimento para auxiliar no planejamento de aquisições, manutenções e descarte de ativos físicos.

Sob o enfoque financeiro, os ativos físicos constituem investimentos de capital, geralmente de somas elevadas, de retorno incerto e de longo prazo, devendo este risco ser considerado para efeito de remuneração do capital, bem como para a gestão da liquidez da empresa. Do ponto de vista econômico, o ativo fixo deve produzir um fluxo de benefícios futuros superiores ao fluxo de todos os custos, operacionais e financeiros, por ele ocasionados. O investimento em ativo fixo é, portanto, um evento que, como todos os outros eventos da empresa, deve gerar um resultado positivo, como tal, contribuindo para o resultado do todo.

Por vezes, a manutenção é considerada um recurso sacrificado, diretamente identificado ao ativo e a ele inerente porque é condição de continuidade na sua identidade funcional e operacional. Do ponto de vista do capital investido, a manutenção constitui um desembolso adicional de capital, necessário para assegurar o valor do investimento, ou seja, sua capacidade sustentada de gerar fluxos positivos ao longo do tempo.

O investimento em ativos físicos impacta o resultado organizacional durante os vários anos da vida útil desse ativo. Esses impactos sucessivos constituem os fluxos de custos e receitas que ocorrerão no futuro, mas que podem ser projetados desde hoje, constituindo a base da decisão do investimento.

Para a projeção de capital, fatores são combinados e mensurados, formando os fluxos de custos e benefícios operacionais e financeiros. Computam-se, separadamente, reduzindo-se a valor presente mediante aplicação de taxas de desconto, os custos e benefícios operacionais e financeiros. O Valor Presente Líquido (VPL) obtido constitui o resultado do investimento.

Dessa forma, na tomada de decisão de uma empresa, em exemplo, entre realizar a manutenção de um ativo danificado ou adquirir um ativo novo, é necessário conhecer os custos envolvidos em cada uma das etapas, ou seja, os custos de aquisição, operação, manutenção e descarte, de modo que a gestão econômica de ativos consiga passar uma visão global de todos os custos e auxiliar na tomada de decisão de uma empresa. Por isso, o custo compreendendo todas as fases é chamado de custo de ciclo de vida, em inglês *Life Cycle Cost* (LCC), o qual consiste na metodologia para estimativa de custos reais dos ativos e para gerir a vida econômica dos mesmos.

2.1.1 Custo do ciclo de vida (*Life Cycle Cost* - LCC)

Análise do Custo do Ciclo de Vida (LCC) é uma técnica de avaliação econômica que determina o custo total de aquisição, operação e descarte de um sistema ao longo de sua vida.

Na análise LCC, o custo de investimento é definido como o custo de aquisição do ativo. Já os custos de manutenção são todas as despesas gastas para manter o ativo funcionando normalmente ao longo do tempo.

O conceito de vida econômica de um ativo físico se refere ao período de utilização do equipamento de modo que a soma dos custos de manutenção e do custo de investimento sejam mínimos em anuidades equivalentes, simplificando, em outras palavras, é o momento em que as despesas envolvendo o ativo são mínimas.

Por causa disso, se o ativo for mantido por um período maior que a vida econômica, as despesas de manutenção serão muito maiores, enquanto que se o ativo for trocado antes de atingir a vida econômica, o custo de investimento não terá sido amortizado suficientemente, logo, parte do investimento na aquisição do ativo será perdida. Por isso, os ativos físicos em geral são sempre utilizados por um tempo limitado.

Como as máquinas e equipamentos do setor industrial comumente apresentam custos de aquisição e de manutenção bastante elevados, conseqüentemente, as empresas são forçadas a se preocuparem com a vida útil e com a sua utilização, a fim de conter as despesas. Segundo Dhillon (2010), dessa maneira, a aquisição de um equipamento não deve ser decidida mediante o custo inicial, mas por meio de um estudo sobre a vida econômica útil do equipamento, que leva em conta as despesas de manutenção e operação.

Para que nem a substituição tardia ou a substituição prematura ocorram, existe a técnica de análise do custo do ciclo de vida (LCC) de equipamentos, na qual são somadas todas as despesas ocorridas durante a vida útil de um ativo físico. Isso envolve identificar as principais causas dos custos de aquisição, operação, manutenção e reposição. Segundo Barringer (1998) o objetivo de uma metodologia de LCC é determinar o melhor momento, entre diversas alternativas, para descartar o ativo (e substituir por um novo), de forma que o menor custo de propriedade seja atingido no longo prazo.

As desvantagens deste processo são referentes ao tempo gasto para levantar os dados de custos e a possível falta de precisão destes dados.

2.2 Manutenção industrial

A manutenção, como função estratégica das organizações é responsável direta pela disponibilidade dos ativos, tendo importância capital nos resultados da empresa. Esses resultados serão tanto melhores quanto mais eficaz for a gestão da manutenção. A importância da manutenção no âmbito industrial pode ser observada através da Figura 2.

Figura 2 – Importância crescente da manutenção

Importância Crescente da Manutenção				
Segurança das pessoas, dos equipamentos e do patrimônio	Exigências Crescentes da Qualidade dos equipamentos e da manutenção em particular	Automação crescente	Esgotamento de matérias-primas	Deterioração da resistência ao desgaste dos equipamentos
Melhoria da qualidade de vida		Desenvolvimento tecnológico dos equipamentos	Preservação e proteção ambiental	Aumento dos custos de manutenção

Fonte: Kardec e Nascif (2004)

2.2.1 Definições de manutenção

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (NBR 5462, 1994) define o termo manutenção como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Sendo o item qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente.

Monchy (1989) comenta ainda sobre a lacuna deixada por grande parte das definições, ao não fazerem referência ao aspecto econômico envolvido na realização de uma manutenção eficiente, que deveria assegurar que suas atividades conduzissem a um custo global otimizado. Já Mirshawka e Olmedo (1993) e Tavares (1999) definem a manutenção como o conjunto de ações e recursos aplicados aos ativos para mantê-los nas condições de desempenho de fábrica e de projeto, visando garantir a consecução de suas funções dentro dos parâmetros de disponibilidade, de qualidade, de prazos, de custos e de vida útil adequados. Outros autores, como Pinto e Nasif (1999), salientam que a função da manutenção também é preservar o meio ambiente ou, como afirma Moubray (2000), garantir a segurança humana.

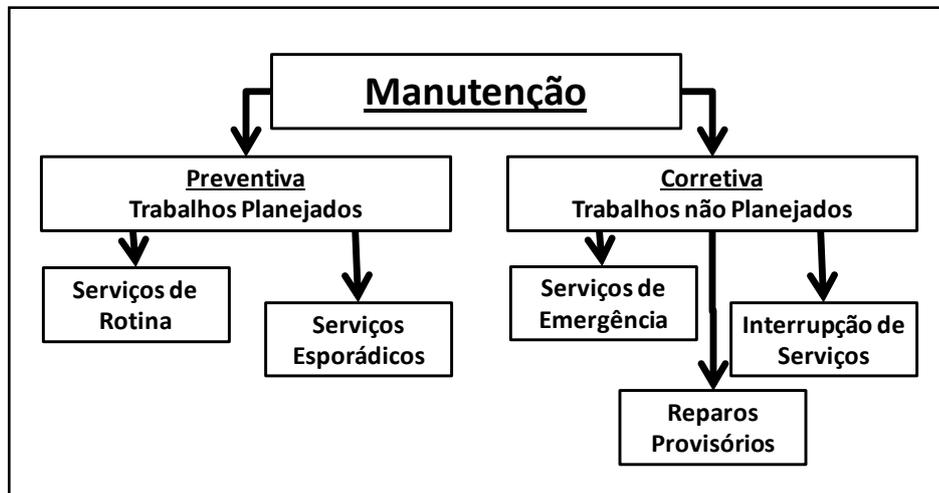
Como pode ser observada, a definição de manutenção envolve diversos aspectos. Observe-se a importância que os autores mencionados acima dão à manutenção. Eles associam a manutenção a aspectos como disponibilidade, confiabilidade, função do sistema, desempenho mínimo, administração e supervisão da manutenção. Assim, pode-se defini-la como uma atividade gestora e executora, que visa garantir a disponibilidade e a confiabilidade de um

item físico, de modo que as funções do sistema sejam mantidas num desempenho mínimo esperado, observando a segurança humana e a integridade ambiental.

2.2.2 Métodos de manutenção

Os métodos de manutenção expressam a maneira pela qual é realizada a intervenção nos equipamentos, nos sistemas ou nas instalações. Na literatura técnica, também são descritos como políticas de manutenção. Podem ser observados na Figura 3.

Figura 3 – Métodos de manutenção



Fonte: Grom (2010)

Conforme Fitch (1992), a manutenção corretiva é uma prática reativa de manutenção, cujo objetivo é manter a condição de integridade operacional e a viabilidade do sistema, após a ocorrência da falha. De acordo com a NBR 5462 (1994), o termo manutenção corretiva pode ser definida como a manutenção efetuada após a ocorrência de uma falha, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. Em que, falha pode ser definida como a incapacidade de um item em desempenhar uma função requerida, excluindo a incapacidade durante ações planejadas como, por exemplo, durante a manutenção preventiva.

A manutenção preventiva, por sua vez, é definida para a situação em que não se caracterizou um estado de falha. Sendo assim, essa forma de manutenção é aquela realizada em um equipamento com a intenção de reduzir a probabilidade de ocorrência da falha. É uma

intervenção de manutenção prevista, preparada ou programada com o intuito de prevenir o aparecimento da falha.

2.2.3 Custos de manutenção

O conhecimento da curva de custo de manutenção não é simples, pois envolve muito trabalho empírico que deve ser realizado para cada um dos equipamentos individualmente. Embora difícil, torna-se necessário o conhecimento da curva de custo de manutenção de equipamentos, de modo que seja possível quantificar a relação entre as variáveis e realizar previsões no sentido de melhorar a gestão econômica de ativos.

2.3 Modelo para determinação da vida econômica

Os conceitos básicos que devem ser considerados num modelo para determinação de vida econômica e reposição de ativos físicos são:

- Custo de aquisição de investimento
- Custo de manutenção de ativos
- Custo de operação
- Depreciação, imposto de renda e benefício fiscal

O custo de oportunidade de capital é um termo que se refere ao custo de possíveis receitas perdidas que poderiam ter sido obtidas se o capital fosse investido em projeto com rendimento padrão conhecido.

O custo de aquisição é o valor de saída de caixa referente à compra de ativos. Além disso, este custo cobre os gastos com frete, instalação e treinamento. Esse tipo de custo também é chamado de custo inicial ou custo de investimento.

Em contrapartida ao custo de aquisição de capital, o custo de manutenção de ativos ocorre ao longo de toda a vida econômica dos ativos. Nessa categoria estão os custos com manutenção preventiva, reparos corretivos, reforma de componentes, entre outros referentes ao ativo.

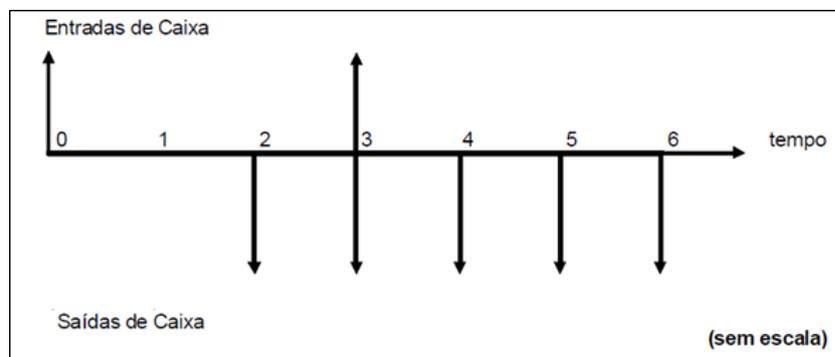
Outro ponto importante é o custo da inflação nos custos de manutenção e aquisição. De maneira geral, uma quantia de dinheiro na data de hoje perde o poder de compra ao longo do tempo para o futuro. Em virtude disso, os preços dos custos de aquisição e manutenção dos ativos mudam de valor ao longo dos anos. Para quantificar a evolução dos preços, existem os índices de preços do consumidor. No Brasil, existem diversos índices de preços, cada um utilizando um critério diferente. Ainda assim, todos medem de maneira aceitável a evolução da inflação.

Por último, a depreciação fiscal, consiste de tomar o valor depreciado ao longo da vida útil do ativo, de modo que no cálculo de apuração do imposto de renda seja possível a geração de benefício fiscal.

2.3.1. Aquisição e substituição de ativos por métodos de engenharia econômica

O procedimento na literatura tradicional consiste em incorporar o LCC na tomada de decisão, o qual é feito em algumas etapas. Primeiramente, escolhem-se os ativos físicos que se deseja determinar a vida econômica. Em seguida, levantam-se os custos de manutenção, aquisição e revenda do equipamento. Dessa maneira, organizam-se todos esses valores em um fluxo de caixa. De acordo com Ross et al. (2002), “a demonstração em fluxo de caixa ajuda a explicar a variação dos saldos de caixas e aplicações financeiras”. Logo, na metodologia do LCC, o fluxo de caixa é utilizado para facilitar a avaliação do impacto das entradas e saídas de caixa em diferentes anos. A Figura 4 ilustra o diagrama de fluxo de caixa.

Figura 1 – Diagrama de fluxo de caixa



Fonte: autoria própria.

Feito isso, é necessário que todos os valores de entrada e saída de caixa ao longo dos anos da vida do ativo sejam contabilizados no valor do dinheiro, isto é, que as taxas de juros e inflação sejam levadas em consideração. Logo, todos os custos são descontados às taxas referentes ao período. A justificativa em levar em conta essas taxas está em mostrar a comparação entre ações presentes e futuras.

Um modo de realizar um estudo de LCC entre dois ativos, um novo e um antigo (em operação), é utilizar critérios de engenharia econômica, como por exemplo, Valor Presente Líquido (VPL) e Anuidade Equivalente (AE), sendo estes, utilizados para o estudo.

2.3.2. Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é um critério de comparação entre dois projetos, neste estudo, dois ativos. Para isso, primeiramente, são levantadas todas as entradas e saídas de caixa dos projetos ao longo dos anos. Em segundo lugar, escolhe-se uma taxa de desconto i determinada pela empresa, a qual representa o rendimento da melhor alternativa de investimento.

Para se obter o VPL de uma série de entradas e saídas de caixa $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$, tal que n representa o ano, calcula-se da seguinte forma, conforme descreve a Eq. (1):

$$VPL(n) = \frac{D_0}{(i+1)^0} + \frac{D_1}{(i+1)^1} + \frac{D_2}{(i+1)^2} + \dots + \frac{D_n}{(i+1)^n} \quad (1)$$

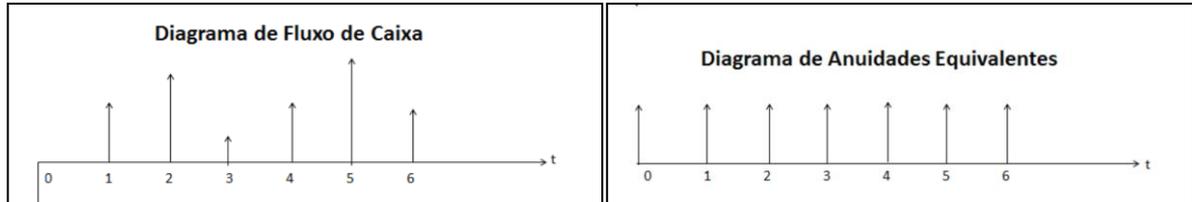
O critério VPL é utilizado no cálculo de reposição de ativos, isto é, dada a oportunidade de substituir um ativo em operação por um novo, o VPL determina a melhor escolha. Além disso, ele pode ser utilizado para quantificar períodos menores que o ciclo de vida do ativo.

2.3.3. Anuidade Equivalente (AE)

A ideia deste critério é converter os valores de um fluxo de caixa irregular em uma série de pagamentos anuais idênticos. Na Figura 5 encontra-se um fluxo de caixa irregular de um projeto e o seu equivalente em valores constantes ao longo do tempo. O diagrama de fluxo de caixa exibe as entradas (com setas apontadas para cima) e saídas (setas apontadas para baixo) de caixa ao longo do tempo. O tamanho diversificado de cada seta indica que há valores

diferentes, tanto de entrada quanto de saída. O diagrama de anuidades equivalentes exibe todas as setas no mesmo sentido e com o mesmo tamanho, ou seja, o critério de custo de anuidades equivalentes (AE) implica em obter uma série de valores iguais ao longo dos anos.

Figura 2 – Comparação entre diagramas de fluxo de caixa irregular e seu equivalente



Fonte: autoria própria.

Assim, obtém-se o valor de anuidades equivalentes por meio da Eq. (2):

$$AE(n) = VPL * \left[\frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right] \quad (2)$$

O critério AE informa o ano cuja despesa é mínima, isto é, o ponto de vida econômica do ativo em operação. Não só, mas também informa o quanto se gasta por ano com cada ativo, a fim de se comparar qual é a melhor opção e, além disso, também pode ser utilizado na reposição entre dois ativos.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do estudo para o gerenciamento econômica de ativos de mineração é baseado na metodologia quantitativa descritiva aplicada através de ferramentas da engenharia econômica de cálculos de desempenho financeiro de equipamentos móveis de mineração.

O estudo aborda dois modelos e fornecedores distintos de caminhões fora-de-estrada com capacidade de transporte de 150 toneladas.

A empresa sob estudo e os nomes comerciais dos equipamentos foram omitidos no trabalho com o objetivo de manter a discrição dos dados obtidos e avaliados.

Os dados utilizados para elaboração deste trabalho foram obtidos através de fontes oficiais (sistemas, relatórios e planilhas) das áreas de Gestão Econômica, Execução de Manutenção e Engenharia de Manutenção. Foram realizados contatos diretos com os responsáveis pelas informações para assegurar a assertividade e confiabilidade dos dados.

Após obtenção dos dados, foi elaborado o presente estudo, baseado em ferramentas da Engenharia Econômica, para determinação da vida útil econômica de equipamentos e da opção de equipamento mais viável para aquisição em substituição através de comparação econômica direta entre diferentes modelos.

4 ESTUDO DE CASO

No estudo de caso desenvolvido em empresa minerária, será demonstrada a modelagem econômica adotada, a partir da qual serão realizadas duas análises:

- 1) análise econômica para definição da vida útil econômica dos equipamentos;
- 2) comparação de critérios econômicos para seleção de aquisição entre dois equipamentos semelhantes.

No desenvolvimento deste trabalho a curva de custo de manutenção dos equipamentos foi elaborada segundo os gastos determinados pelo plano de manutenção (preventiva), reforma de componentes e gastos adicionais com manutenções corretivas.

Em posse das informações detalhadas extraídas da base de dados da área de gestão econômica responsável pelo controle do custeio, foram modelados, através de períodos e categorias, os custos de manutenção ao longo da vida de dois modelos distintos de equipamentos móveis de mineração (A e B) – caminhões fora de estrada com capacidade de transporte de carga de 150 toneladas. Através da base de controle operacional onde foi avaliado o tempo médio de operação anual dos caminhões da empresa, foi definido que cada equipamento realiza 5.000 Horas de Trabalho (HT) ao ano.

Através das informações dos fornecedores e das áreas de suprimentos e da gestão econômica da empresa, foi considerado que o equipamento A possui um valor de aquisição de R\$ 5.000.000,00 e tem seus gastos de manutenção conhecidos até uma vida operacional de 65.000 HT e o equipamento B possui um valor de aquisição de R\$ 4.000.000,00 e tem seus gastos de manutenção conhecidos até uma vida operacional de 50.000 HT.

As informações dos gastos de manutenção de cada equipamento foram modeladas de modo que o gasto por período seja relativo ao valor total dos gastos com: MP (Manutenção Preventiva), MC (Manutenção Corretiva) e RC (Reforma de Componentes).

Através das informações obtidas da área da gestão econômica da empresa, foram consideradas as seguintes taxas utilizadas nas análises econômicas:

Custo de Capital (CC) ou Taxa Mínima de Atratividade (TMA) = 15,0%

Inflação Futura = 6,0%

Taxa de Juros Real (diferença entre CC e Inflação) = 9,0%

As Figuras 6 e 7 indicam os gastos com manutenção ao longo da vida operacional dos equipamentos A e B.

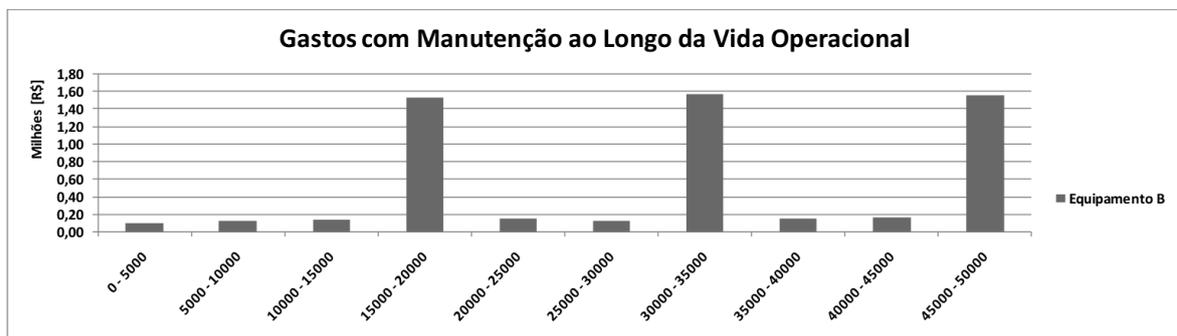
Com estes dados prossegue-se com a análise econômica para definição da vida útil do equipamento. Para tanto, os critérios de Valor Presente Líquido (VPL) e Anuidade Equivalente (AE) são utilizados. As Tabelas 1 e 2 mostram a análise econômica obtida para os equipamentos A e B.

Figura 3 – Gastos com manutenção ao longo da vida operacional do equipamento A



Fonte: autoria própria.

Figura 4 – Gastos com manutenção ao longo da vida operacional do equipamento B



Fonte: autoria própria.

Tabela 1 – Análise econômica do equipamento A

Ano	0	1	2	3	4	5
HT (Horas Trabalhadas)	0	0 - 5000	5000 - 10000	10000 - 15000	15000 - 20000	20000 - 25000
Investimento (Aquisição)	-5,000,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GM (Gasto de Manutenção)	0.00	-72,960.72	-83,733.68	-538,715.18	-521,888.11	-546,024.85
GM Acumulado	0.00	-72,960.72	-156,694.40	-695,409.58	-1,217,297.69	-1,763,322.54
VPL (Valor Presente Líquido)	-5,000,000.00	-5,066,936.44	-5,137,413.40	-5,553,400.37	-5,923,119.06	-6,277,997.75
AE (Anuidade Equivalente)	-5,000,000.00	-5,522,960.72	-2,920,459.74	-2,193,897.23	-1,828,281.24	-1,614,025.87

6	7	8	9	10	11	12	13
25000 - 30000	30000 - 35000	35000 - 40000	40000 - 45000	45000 - 50000	50000 - 55000	55000 - 60000	60000 - 65000
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-92,522.65	-558,514.19	-542,067.54	-129,934.60	-988,988.15	-147,866.78	-133,511.05	-1,061,187.12
-1,855,845.19	-2,414,359.38	-2,956,426.91	-3,086,361.51	-4,075,349.66	-4,223,216.44	-4,356,727.49	-5,417,914.61
-6,333,165.98	-6,638,692.37	-6,910,737.79	-6,970,563.29	-7,388,322.57	-7,445,625.80	-7,493,093.62	-7,839,230.19
-1,411,787.99	-1,319,045.22	-1,248,593.25	-1,162,681.61	-1,151,249.09	-1,094,109.82	-1,046,415.46	-1,047,059.01

Tabela 2 – Análise econômica do equipamento B

Ano	0	1	2	3	4
HT (Horas Trabalhadas)	0	0 - 5000	5000 - 10000	10000 - 15000	15000 - 20000
Investimento (Aquisição)	-4,000,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GM (Gasto de Manutenção)	0.00	-100,311.19	-125,240.16	-140,470.11	-1,525,855.87
GM Acumulado	0.00	-100,311.19	-225,551.36	-366,021.47	-1,891,877.34
VPL (Valor Presente Líquido)	-4,000,000.00	-4,092,028.62	-4,197,440.76	-4,305,909.46	-5,386,864.22
AE (Anuidade Equivalente)	-4,000,000.00	-4,460,311.19	-2,386,114.53	-1,701,070.02	-1,662,756.17

5	6	7	8	9	10
20000 - 25000	25000 - 30000	30000 - 35000	35000 - 40000	40000 - 45000	45000 - 50000
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-150,375.89	-127,446.10	-1,562,023.21	-153,341.27	-174,117.94	-1,554,938.38
-2,042,253.23	-2,169,699.33	-3,731,722.53	-3,885,063.80	-4,059,181.74	-5,614,120.12
-5,484,598.23	-5,560,590.18	-6,415,070.36	-6,492,027.17	-6,572,195.91	-7,229,018.69
-1,410,048.84	-1,239,565.56	-1,274,613.65	-1,172,942.97	-1,096,234.41	-1,126,426.34

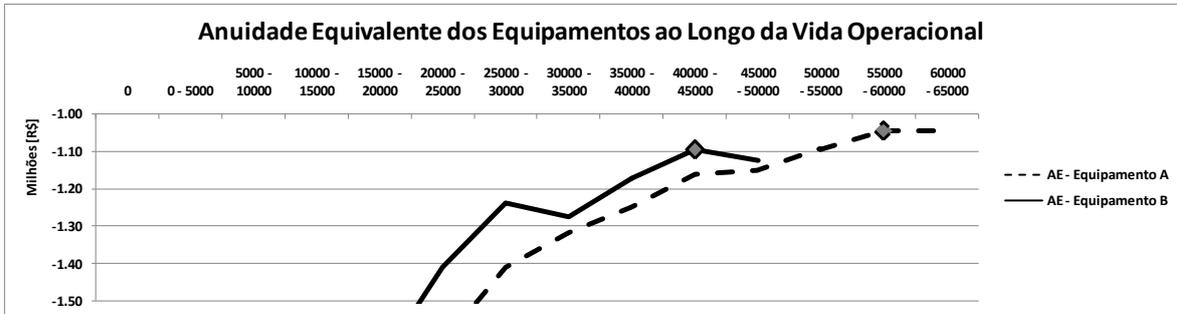
Ao calcular a Anuidade Equivalente para cada período de vida dos equipamentos, tem-se que o menor custo de vida econômica do equipamento A ocorre quando o mesmo atinge o 12º ano de operação ou 60.000 Horas de Trabalho e que o menor custo de vida econômica do equipamento B ocorre quando o mesmo atinge o 9º ano de operação ou 45.000 Horas de Trabalho.

Assim através da análise econômica dos gastos com aquisição e manutenção dos equipamentos A e B ao longo da vida, determina-se como vida útil operacional, respectivamente, 12 anos (ou 60.000 HT) e 9 anos (ou 45.000 HT).

Quando da necessidade de seleção de aquisição entre os dois equipamentos em estudo, deve-se optar pelo equipamento que possua a menor Anuidade Equivalente (AE) no período de vida determinado anteriormente. Neste caso, deve-se selecionar o equipamento A para

aquisição. Pois sua Anuidade Equivalente ao 12º ano é de R\$ -1.046.415,46, menor em comparação a Anuidade Equivalente do equipamento B ao 9º ano, de R\$ -1.096.234,41. A comparação entre as Anuidades Equivalentes pode ser observada na Figura 8.

Figura 5 – Detalhe das curvas de AE dos equipamentos A e B



Fonte: autoria própria.

Na seleção, a empresa minerária ao optar pelo equipamento A, é gerado uma economia anual de R\$ 49.818,95. Ao extrapolar o cálculo para a vida do caminhão de 12 anos, o resultado é a economia de R\$ 597.827,40. Ao extrapolar o cálculo para 12 anos para uma frota de 30 caminhões, por exemplo, o resultado é a economia total de R\$ 17.934.822,00.

Através das extrapolações se percebe a importância do conhecimento dos custos atrelados a aquisição e a operação dos equipamentos, assim como a tomada de decisão embasada tecnicamente.

5 CONCLUSÃO

Após a etapa de levantamento de informações para o banco de dados, o uso da metodologia apresentada permite avaliar e determinar a vida econômica dos ativos de mineração. Em paralelo e não focado nesta abordagem, também permite projetar os custos de manutenção dos equipamentos ao longo de sua vida operacional em caráter periódico ou vital.

Conforme demonstrado no estudo de caso, o modelo de decisão de investimento apresentado atendeu aos objetivos específicos do estudo tanto para a determinação da vida útil de ativos quanto para a determinação de melhor viabilidade para a tomada de decisão no processo de aquisição através da comparabilidade de modelos de equipamentos.

Neste sentido, a metodologia de gestão econômica de ativos, através da análise de desempenho a partir de parâmetros de fato controláveis pelos gestores, permite a tomada de decisão técnica compatível com os objetivos da empresa, aliada ao embasamento econômico que mantém o desempenho técnico do equipamento. Deste modo, resulta em melhores retornos para a empresa sob a forma de margens de contribuição nas esferas operacional, financeira, econômica e patrimonial do investimento, como evento gerador de riqueza.

Nota-se que para a aplicação da metodologia, o gestor competente deverá avaliar de forma bastante criteriosa todos os fatores que influenciam a tomada de decisão na aquisição de ativos, além daqueles econômicos e financeiros.

Conforme foi ressaltado no estudo, o mercado da mineração está cada vez mais competitivo e exigente quanto à garantia de qualidade e confiabilidade, o que obriga as empresas, que almejam uma maior participação de mercado, a se lançarem com uma estratégia competitiva suportada por uma política agressiva de redução de custos sem comprometer a qualidade dos produtos e serviços. Para tanto, este estudo propõe um modelo de implantação de ferramentas de engenharia econômica na gestão de ativos que suporte o alcance de objetivos estratégicos determinados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Confiabilidade e Manutenibilidade – Terminologia, NBR 5462. Rio de Janeiro, 1994.

NOVACKI, A., ALBERTON, C., ORTEGA, L. F. Proposta de um diagrama de tomada de decisão para a manutenção centrada na confiabilidade, fundamentado na lógica fuzzy. Curitiba, 2009.

BARRINGER, P. E. Life Cycle Cost and Good Practices. NPRA Manitenance Conference, EUA, 1998.

CATELLI, A., PARISI, C., SANTOS, E. S. Gestão Econômica de Investimento em Ativos Fixos. São Paulo, 2002.

CESCA, I. G. Previsão de Custo de Ciclo de Vida e Gestão Econômica de Ativos Físicos de Indústrias do Setor Energético. Campinas, 2012.

CHAVEZ, L. M. C. G., MEDEIROS, F. E. Engenharia de manutenção: fator de mudança. Salvador, 1994.

DHILLON, B. S. Life Cycle Costing for Engineers. EUA, 2010.

FITCH, E.C. Proactive maintenance for mechanical systems. EUA, 1992.

GROM, M. Como transformar manutenção em fonte de receita. Brasil, 2010.

HASTINGS, N. A. J. Physical Asset Management. Londres, 2010.

KARDEC, A., NASCIF, J. Manutenção: Função Estratégica. Rio de Janeiro, 2009.

MIRSHAWKA, V., OLMEDO, N. L. Manutenção – Combate aos custos da não-eficácia – A vez do Brasil. São Paulo, 1993.

MONCHY, F. A Função Manutenção – Formação para a gerência da manutenção industrial. São Paulo, 1989.

MOUBRAY, J. Reliability - Centered Maintenance. EUA, 1997.

MOUBRAY, J. Manutenção Centrada em Confiabilidade. Brasil, 2000.

PARK, C. S. Contemporary Engineering Economics. EUA, 2002.

PINTO, A. K., XAVIER, J. N. Manutenção: Função Estratégica. Rio de Janeiro, 2001.

ROSS, S., WESTERFIELD, R. W., JAFFE, J. F. Corporate Finance. EUA, 2002.

SLACK, N. Administração da Produção. São Paulo, 1997.

TAVARES, L A. Excelência na manutenção. Salvador, 1996.

XENOS, H. G. Gerenciamento da manutenção produtiva. Belo Horizonte, 1998.