

ANÁLISE DO PROCESSO DE SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS POR MEIO DO MÉTODO CAUE EM UMA MINERADORA DE GRANDE PORTE

Vitor Nunes Cruz (UFOP)

vitornacruz@hotmail.com

June Marques Fernandes (UFOP)

june_marques@yahoo.com.br

Luciana Paula Reis (UFOP)

lpaula_reis@yahoo.com.br



A necessidade das organizações tornarem seus processos internos cada vez mais eficientes fomenta o desenvolvimento e aplicação de metodologias tanto no meio acadêmico, quanto organizacional. Neste contexto, será apresentado um estudo de caso em que a avaliação da viabilidade de substituição de equipamentos pode proporcionar uma redução global de custos e desperdícios na gestão de ativos. A escolha adequada dos métodos empregados neste estudo suporta a resposta para um problema comum nas unidades produtivas: do ponto de vista econômico, qual é o melhor momento para substituição de um ativo? Por meio da elaboração de um modelo econômico com base em análises do Custo do Ciclo de Vida dos equipamentos e cálculos do Custo Anual Uniforme Equivalente, será determinada a vida econômica de um conjunto idêntico de carregadeiras de rodas, utilizadas no processo de extração mineral de uma mineradora. Em seguida, a vida econômica obtida por este estudo será utilizada como instrumento de comparação com a vida útil adotada pela empresa em sua política de gestão de ativos. Como consequência dessas análises, será apresentada uma alternativa para melhoria na forma como a empresa vêm gerenciando seus ativos.

Palavras-chave: Viabilidade econômica, life cycle cost, gestão de ativos, mineração

1. Introdução

Embora o mercado de mineração tenha sofrido uma baixa devido ao baixo otimismo do mercado internacional, o Brasil possui posição de destaque nesse mercado, chegando a representar 80,10% do volume das exportações mineral conforme dados do MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MEE, 2014), atuando como grande produtor de diversos tipos de minerais (ENGINEERING AND MINING JOURNAL, 2014; IBRAM, 2012).

Neste contexto, o presente estudo abordou a escavação do tipo mina a céu aberto, com o intuito de avaliar a contribuição do *Life Cycle Cost* para a redução global de custos e desperdícios na gestão de um conjunto de carregadeira. O estudo proporciona uma utilização eficiente dos recursos disponíveis, identificando o tempo de substituição desses ativos por meio dessa ferramenta de auxílio à tomada de decisão, com foco na análise de investimento.

2. Referencial teórico

2.1. Substituição de equipamentos

Apesar de ser uma situação bem comum nas organizações, a substituição de um ativo representa uma decisão bastante criteriosa para uma empresa. Hirschfeld (2000) destaca que, existem algumas ocasiões típicas em que convém uma análise de viabilidade para substituição de um ativo. Sendo suas principais razões apresentadas por: excessivo custo de manutenção e operação; inadequação para execução das funções requisitadas; obsolescência tecnológica; surgimento de alternativas mais vantajosas, como locação de equipamentos.

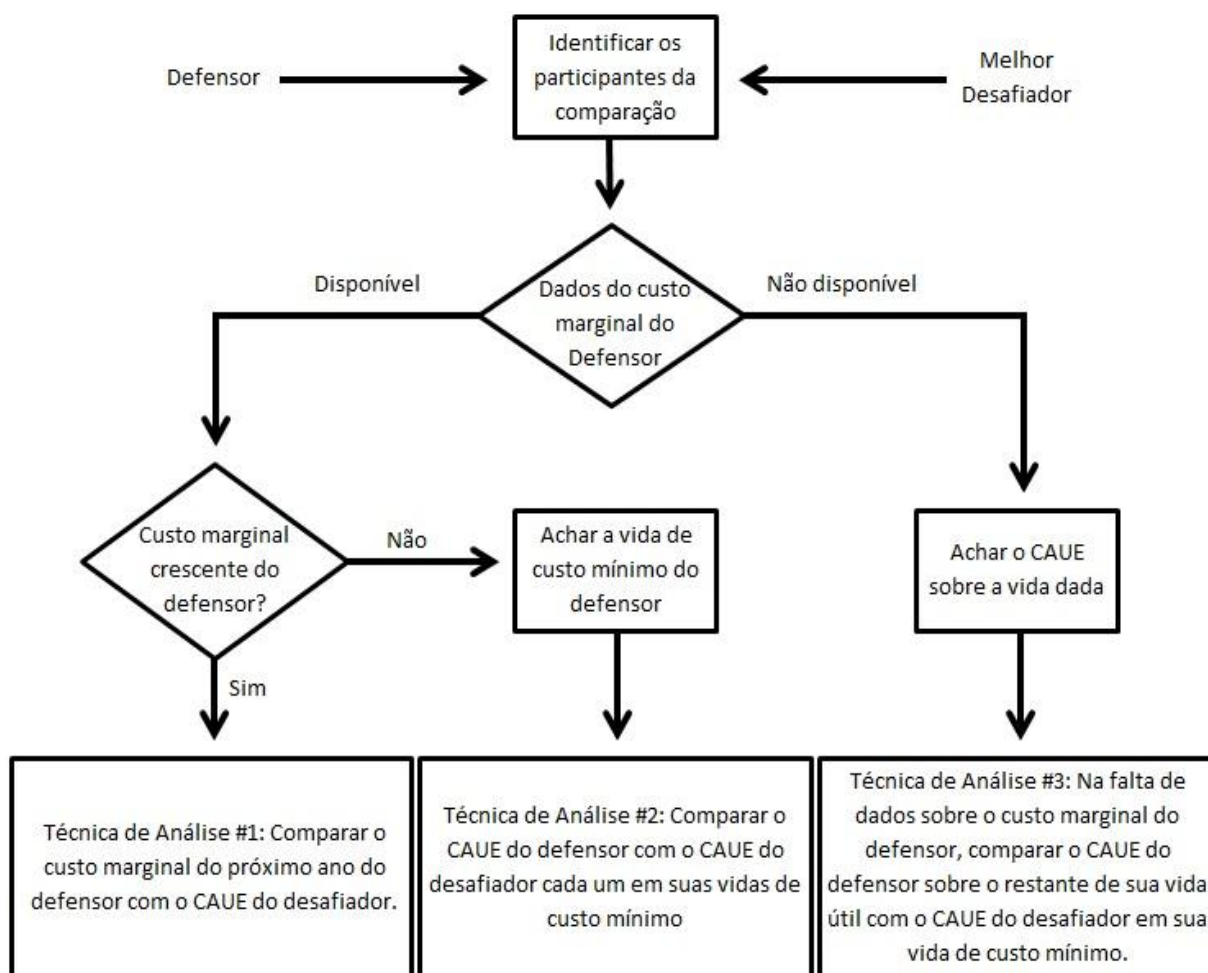
Já Casarotto Filho e Kopittke (2010) destacam as seguintes situações de substituição: baixa sem reposição; substituição idêntica; substituição não idêntica; substituição com progresso tecnológico; substituição estratégica. À medida que esses equipamentos são empregados em suas tarefas, seus custos operacionais se acentuam ao longo do tempo, sendo preciso a substituição por outros similares, caracterizando nesse caso uma substituição idêntica.

Desse modo, o principal conflito existente no processo de substituição se apresenta na dificuldade em se decidir qual o melhor momento para efetuar essas substituições, sendo esse intervalo ótimo de substituição conhecido como vida econômica. Em adição, Newman e

Lavelle (2000), para uma fábrica operar em condições econômicas, ela se insere em um ambiente de confronto entre o *defensor* e *desafiador*. O *defensor* apresenta-se como equipamento que se encontra em operação e o *desafiador* seria o equipamento mais apropriado para a substituição do equipamento em utilização.

Guarnecido de informações sobre os equipamentos, a realização de uma análise de substituição faz-se necessária para escolher a melhor alternativa. Newman e Lavelle (2000) apresentam, por meio da Figura 1, um mapa contendo os passos básicos para a realização de uma análise de substituição.

Figura 1 – Mapa de decisão da análise de substituição



Fonte: Newman e Lavelle, (2000, p. 290)

Assim, existem três técnicas para análise de substituição, que devem ser empregadas em

função das informações disponíveis para que a melhor decisão seja tomada. Por se tratar de um caso de substituição idêntica, neste estudo o *defensor* e *desafiador* representam o mesmo equipamento e, portanto, será aplicada uma comparação com base no CAUE do equipamento sobre o restante de sua vida útil, excluindo a necessidade de comparação com outros tipos de equipamentos.

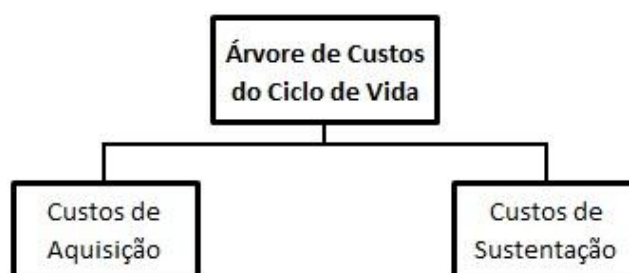
2.2. Custo do Ciclo de Vida (CCV) ou *Life Cycle Cost (LCC)*

O LCC ou CCV representa a soma das estimativas de custos de equipamentos ou projetos ao longo de sua vida útil, contemplando as etapas de aquisição, operação, manutenção e desmobilização (WOODWARD, 1997).

Essa ferramenta tem sido utilizada como critério para seleção de recursos, estudos de viabilidade, avaliação de *trade-offs*, análise do nível de reparos, custo de garantias ou reparos; estratégias de vendas e suprimentos. (KEOLEAIN, 1994; BARRINGER, 1996). Woodward (1997) afirma que o LCC é uma ferramenta adequada para gerir custos de ativos em longo prazo, como suporte nas decisões de âmbito econômico, as quais objetivam a redução global dos custos do ciclo de vida de equipamentos ou sistemas.

Um passo importante da análise é o desdobramento da estrutura de custos, ou árvore de custos. Fuller e Peterson (1996) afirmam que existem vários custos associados ao ciclo de vida de um equipamento, com diferentes relevâncias para os contextos. A árvore de custos é subdividida em dois grandes blocos, sendo eles os custos de aquisição e os custos de sustentação, assim como esta ilustrada na Figura 2.

Figura 2 – Topo da árvore de custos LCC



Fonte: Adaptado de Barringer (1996, p. 16)

Barringer (1996) ressalta que adquirido um equipamento, inevitavelmente, haverá custos em função de suas atividades de aquisição, operação e manutenção. Nesse sentido, torna-se necessário entender a maneira como é realizada a gestão da manutenção a partir de um olhar econômico.

2.3. Análise de Investimentos

Qualquer organização está submetida a um constante processo de tomada de decisão. As organizações usam métodos capazes de gerar informação adicional para tornar o processo decisório mais preciso e confiável. Nesse contexto, os métodos de análise de investimento são largamente utilizados como fonte auxiliar na análise e avaliação de diversos tipos de decisões de cunho econômico. Dentre os métodos mais comuns estão: o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback* (PB) e a Anuidade Equivalente (AE) ou o Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE). De acordo com Samanez (2009) o conceito desses principais métodos pode ser verificado abaixo:

VPL – Seu objetivo é medir o valor presente dos fluxos de caixa que são gerados pelo projeto ao longo de sua vida útil. Desta forma, o projeto será economicamente viável quando o VPL for maior do que zero. Definido pela expressão (1):

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+K)^t} \quad (1)$$

Onde: FC = Fluxo de Caixa; n = Horizonte de planejamento; t = Período de tempo;

I = Investimento; K = Custo de Capital ou TMA.

TIR – é a taxa hipotética que leva o VLP a zero, conforme expressão (2).

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+i)^t} = 0 \quad (2)$$

Onde:

i = Taxa Interna de Retorno.

Com base nessa informação, a viabilidade do projeto ocorre quando a TIR apresenta valor superior a Taxa Mínima de Atratividade, que é a taxa básica de retorno considerada pela empresa.

PB – Trata-se de um método para determinação do tempo necessário para que o projeto tenha retorno. Utilizado em conjunto com o VPL ou a TIR, pode ser representado pela expressão (3):

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{Fct}{(1+K)^t} \quad (3)$$

AE – Casarotto Filho e Kopittke (2010) alertam que é preciso um maior cuidado, pois haverá claras vantagens na utilização de outros métodos em detrimento do VPL. Com isso, o AE surge como uma boa alternativa de comparação, uma vez que seu cálculo resulta em uma série anual uniforme equivalente de um dado fluxo de caixa. Representado pela expressão (4):

$$AE = \frac{VPL}{a_{n|K\%}} \quad (4)$$

$a_{n|K\%}$ = fato de valor presente de séries uniformes

AE = anuidade equivalente

K = custo do capital

n = prazo da alternativa

CAUE – De forma análoga ao AE, o CAUE é uma ferramenta de comparação entre projetos que possuem diferentes horizontes de tempo. No entanto, neste caso o cálculo é realizado com base nos custos do projeto e não em seu retorno, como acontece para o AE. A forma de cálculo do CAUE prevê apenas as saídas do fluxo de caixa.

O CAUE é um método bastante indicado para estudos de substituição de equipamentos em que não é possível representar de maneira clara ou eficiente o retorno financeiro que o ativo é capaz de gerar. Nesse intuito, é necessário realizar uma comparação entre o resultado do CAUE para cada ano de sua vida útil, de modo que o valor mais baixo representará o momento ideal para substituição do ativo. Caso os resultados sejam representados graficamente, o momento ideal será o ponto mais baixo da curva, onde sua derivada se iguala a zero, conforme é apresentado pela expressão (5).

$$\frac{\partial CAUE_t}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

Por dispor apenas de informações relacionadas aos custos dos equipamentos, o método CAUE foi o escolhido para aplicação neste estudo.

3. Metodologia

O presente estudo é classificado como uma pesquisa aplicada, com objetivo exploratório. Gil (2010) afirma que uma “pesquisa aplicada é voltada à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica”. Assim, o estudo visa desenvolver uma solução para um problema prático, de cunho quantitativo.

Com relação ao método empregado, o estudo de caso foi adotado como estratégia de pesquisa para nortear o desenvolvimento do trabalho. Tratando-se de um estudo acerca de um grupo de equipamentos bem definido e com o interesse na confirmação ou contestação da existência de um momento econômico ideal para sua substituição, este estudo é definido especificamente como um estudo de caso único decisivo. Yin (2006) destaca que por ser um método bastante flexível quanto a seu planejamento, a falta de rigor ao projetar e realizar o estudo permite a possibilidade de percepções ou conclusões equivocadas que podem influenciar negativamente nos resultados da pesquisa.

A coleta de dados foi realizada entre os meses de março/julho de 2012 e complementada no final de 2013. Os dados obtidos por meio de consulta aos bancos de dados do sistema *Material Requirement Planning* e planilhas digitais utilizadas como controle adicional disponíveis na empresa pertencem a um intervalo dos anos de 2006 à 2012, sendo 2006 o ano exato de início de operação do ativo. Foram levantados os custos de aquisição, manutenção, operação e desmobilização do equipamento estudado. Não obstante, os controles utilizados na rotina das equipes técnicas de manutenção e operação foram fundamentais na complementação dos dados.

O conteúdo documental foi obtido por observações realizadas em campo pelos pesquisadores. Consultas aos manuais de serviço, oferecidos pelas empresas fornecedoras dos equipamentos, também foram necessárias a fim de identificar pontos relevantes para as análises e promover

um bom entendimento das informações oferecidas pelas áreas de manutenção e operação. Ainda foram realizadas entrevistas abertas direcionadas aos profissionais executores de manutenção, como mecânicos, técnicos e inspetores, em busca de maior clareza no processo e avaliar a ocorrência e os impactos que desvios podem ocasionar no estudo, não obstante, agregar conhecimento prático a respeito das atividades de manutenção e operação. Gil (2010) afirma que a entrevista aberta é conduzida “com questões em sequência predeterminada, mas com ampla liberdade para responder”. Vale ressaltar que a escolha dos entrevistados foi realizada de forma não probabilística e intencional, explanado por Kauark (2010) como “casos para a amostra que representem o “bom julgamento” da população/universo”.

A princípio, na etapa de tratamento de dados, foram separados apenas os dados relativos aos equipamentos que apresentavam forte similaridade técnica e funcional à carregadeira em estudo. A partir de então foi criada uma árvore de custos dos equipamentos, baseando-se em todo o custo do ciclo de vida dos equipamentos. É importante salientar que nas amostras de dados referentes à manutenção corretiva houve uma análise de estatística descritiva para determinação dos valores médios desses custos. Essas análises foram motivadas devido ao caráter de aleatoriedade que esse conjunto de dados apresenta, de modo a proporcionar estimativas de valores adequados para sua inclusão na matriz de custos e, conseqüentemente, utilização nos cálculos.

4. Aplicações e resultados

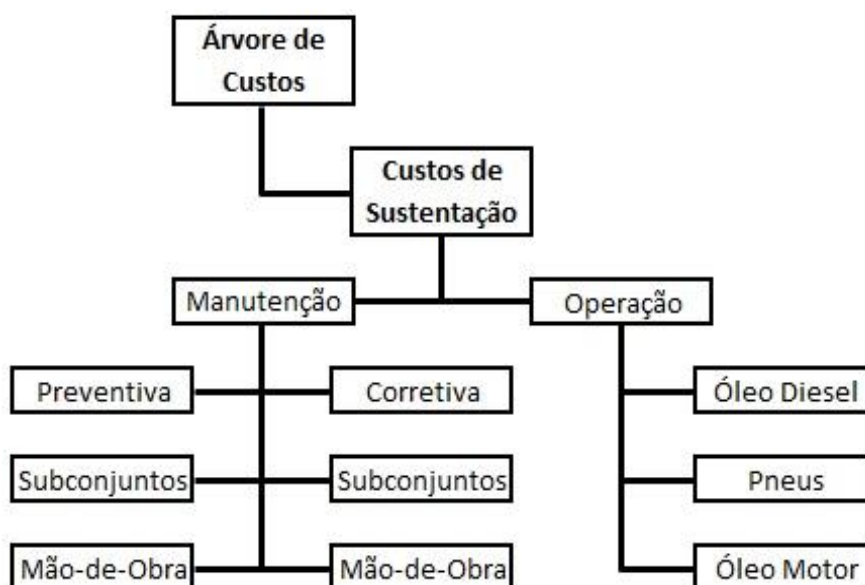
4.1. Análise dos custos

A empresa estudada é considerada como uma das maiores mineradoras do mundo e explora o minério de ferro como sua principal atividade. Dentre os diversos equipamentos móveis utilizados pela empresa, foi selecionado um equipamento com excessivo desgaste, um conjunto de carregadeiras de rodas, modelo 994F, do Fabricante Caterpillar, para analisar a viabilidade econômica de sua substituição, de modo que propicie uma redução global dos custos gerados por essa atividade.

Para identificar as informações relevantes ao estudo, foi criada uma árvore de custos, sendo que no primeiro nível da ramificação da árvore, encontram-se os custos de aquisição,

composto apenas pelo valor de compra do ativo, e pelos custos de sustentação, melhor observados na Figura 3.

Figura 3 – Árvore de Custos



Fonte: Elaborado pelos autores

Após seleção e tratamento dos dados, foi possível a construção da Tabela 1, representando a evolução média anual, em unidade monetária, dos custos que compõem o fluxo de caixa para os equipamentos de toda frota.

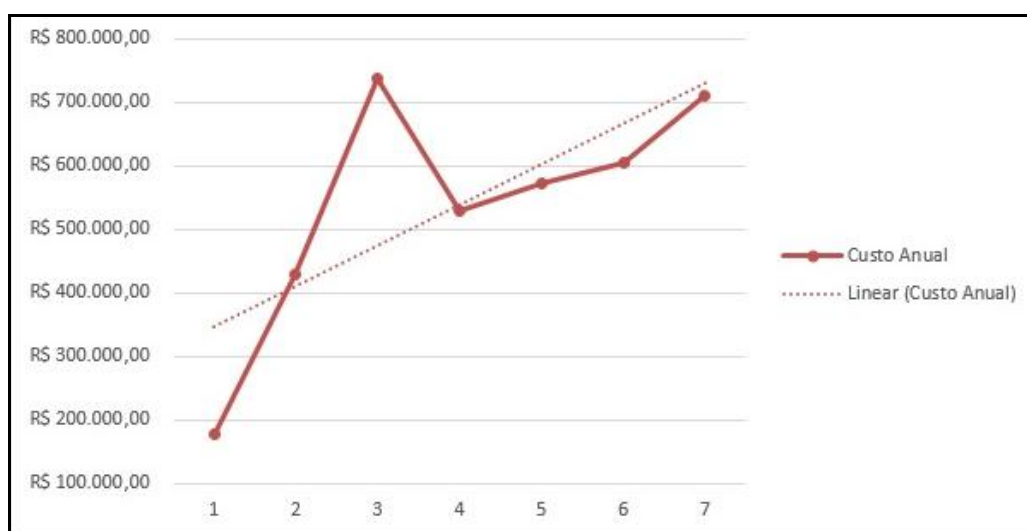
Tabela 1 – Tabela de custos médio anual

Tabela de Custos - Média Anual									
Ano	Investimento	Custo de Manutenção			Custo Operacional			Subtotal	TOTAL
		Preventiva	Corretiva	Subtotal	Óleo Diesel	Óleo Motor	Pneu		
0	R\$ 1.211.991,06								R\$ 1.211.991,06
1		R\$ 6.084,00	R\$ 1.719,90	R\$ 7.803,90	R\$ 96.695,81	R\$ 4.985,15	R\$ 67.860,00	R\$ 169.540,96	R\$ 177.344,86
2		R\$ 35.087,61	R\$ 222.576,89	R\$ 257.664,51	R\$ 97.897,00	R\$ 4.930,37	R\$ 67.860,00	R\$ 170.687,36	R\$ 428.351,87
3		R\$ 345.954,99	R\$ 222.541,88	R\$ 568.496,87	R\$ 97.296,40	R\$ 4.930,37	R\$ 67.860,00	R\$ 170.086,77	R\$ 738.583,64
4		R\$ 135.907,92	R\$ 152.394,70	R\$ 288.302,62	R\$ 99.698,78	R\$ 5.368,62	R\$ 135.720,00	R\$ 240.787,40	R\$ 529.090,02
5		R\$ 185.272,86	R\$ 215.278,98	R\$ 400.551,84	R\$ 99.098,19	R\$ 5.368,62	R\$ 67.860,00	R\$ 172.326,81	R\$ 572.878,65
6		R\$ 195.769,75	R\$ 236.121,17	R\$ 431.890,92	R\$ 100.299,38	R\$ 5.478,18	R\$ 67.860,00	R\$ 173.637,56	R\$ 605.528,48
7		R\$ 284.142,46	R\$ 254.694,84	R\$ 538.837,30	R\$ 99.698,78	R\$ 5.423,40	R\$ 67.860,00	R\$ 172.982,19	R\$ 711.819,49

Fonte: Elaborado pelos autores

Note que a partir das informações da Tabela 1 foi possível verificar a evolução dos custos do ativo. Desta forma, é evidente que os custos de manutenção e operação do ativo tendem a aumentar ao longo de sua vida útil. Essa tendência também pode ser observada no Gráfico 1, representada pela linha pontilhada.

Gráfico 1 – Evolução dos Custos Médio de Manutenção



Fonte: Elaborado pelos autores

4.2. Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)

A escolha do conjunto de carregadeiras de rodas foi influenciada pelo seu alto valor de investimento e pelo consenso hipotético na empresa em que seus custos acentuam-se ao longo do tempo. Algumas restrições e premissas foram adotadas devido às políticas internas da empresa, estratégias de mercado ou por representarem rotinas operacionais consolidadas, na qual qualquer mudança neste âmbito exige uma análise mais aprofundada e grande esforço organizacional. A seguir estão os itens:

- Vida útil do equipamento:** convencionou-se, por meio de experiências históricas, que estes ativos devem ser substituídos com aproximadamente 42000 horas de trabalho, quando ocorre maior incidência de falhas estruturais no ativo.
- Substituição idêntica:** consideração da substituição do tipo idêntica.
- Taxa mínima de atratividade:** Consideração da TMA de 12%, conforme é apresentado

na Cartilha de Gestão Econômica da Empresa.

- d) **Preservação de identidade e dados da empresa:** Apesar da base de dados utilizada neste estudo serem reais, todos os dados utilizados foram multiplicados por um fator Y a fim de preservar informações financeiras fornecida pela empresa, bem como seu nome que não será apresentado neste estudo.
- e) **Taxa de depreciação:** Foi adotada uma taxa anual decrescente de 20% do valor de aquisição do ativo, conforme padrão da empresa.

Com base nas premissas e informações dos equipamentos previamente apresentadas para este estudo, o cálculo do CAUE foi realizado conforme expresso na Tabela 2:

Tabela 2 – Cálculo do CAUE

Análise da vida econômica das Carregadeiras Caterpillar 994F							
Equipamento:	CAT 994F		Taxa de Depreciação:	20,0%			
Valor de Compra:	R\$ 1.211.991,06		Valor de Revenda:	R\$ 6.859,73			
TMA:	12,0%		Aliquota Impostos Federais:	34,0%			
Depreciação:	R\$ 82.415,39						
					Vida econômica: 6 anos		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Ano	Valor do Salvado	Benefícios Fiscais	Custos de Sustentação	Custo Anual Total	Valor Presente Líquido do Custos	Valor Presente Líquido Acumulado	CAUE
0	R\$ 1.211.991,06						
1	R\$ 6.859,73	R\$ 82.415,39	R\$ 177.344,86	R\$ 1.300.060,79	R\$ 1.160.768,56	R\$ 1.160.768,56	R\$ 1.300.060,79
2	R\$ 6.859,73	R\$ 82.415,39	R\$ 428.351,87	R\$ 339.076,75	R\$ 270.309,91	R\$ 1.431.078,46	R\$ 846.766,43
3	R\$ 6.859,73	R\$ 82.415,39	R\$ 738.583,64	R\$ 649.308,52	R\$ 462.164,98	R\$ 1.893.243,44	R\$ 788.249,98
4	R\$ 6.859,73	R\$ 82.415,39	R\$ 529.090,02	R\$ 439.814,89	R\$ 279.510,32	R\$ 2.172.753,76	R\$ 715.345,36
5	R\$ 6.859,73	R\$ 82.415,39	R\$ 572.878,65	R\$ 483.603,52	R\$ 274.409,63	R\$ 2.447.163,38	R\$ 678.866,94
6	R\$ 6.859,73	R\$ -	R\$ 605.528,48	R\$ 598.668,75	R\$ 303.304,22	R\$ 2.750.467,60	R\$ 668.984,46
7	R\$ 6.859,73	R\$ -	R\$ 711.819,49	R\$ 704.959,75	R\$ 318.887,99	R\$ 3.069.355,60	R\$ 672.550,25

Fonte: Elaborado pelos autores

Para explicar as 8 etapas de cálculo do CAUE da Tabela 2, tomemos o ano 2 como exemplo.

- a) **Ano:** representa o ano de correspondência.
- b) **Valor do salvado:** o ano “0” apresenta o custo de aquisição do ativo. Para os demais anos, foi considerado o valor de revenda do ativo, representando a venda da sucata de ferro. O valor apresentado foi obtido pelo fator entre peso líquido do equipamento e valor médio da sucata de ferro, R\$ 0,03/quilograma, totalizando o valor de R\$ 6.859,73. Observa-se que o valor médio da sucata foi multiplicado pelo fator Y , para

preservar as informações cedidas pela empresa.

$$\text{Valor do Salvado} = \text{Peso Líquido do Equipamento} \times \text{Valor Médio da Sucada de Fe}$$

$$R\$ 6.859,73 = 195434 \text{ Kg} \times 0,0351 \text{ R\$/Kg}$$

- c) **Benefícios fiscais:** assumindo uma taxa constante de depreciação em 20% ao ano, esse valor de depreciação pode ser utilizado para minimizar a quantia de impostos federais recolhidos pela receita. Sua forma de cálculo representa a multiplicação entre o valor de aquisição, a taxa de depreciação e alíquota do imposto federal, estipulada no valor de 34%.

$$\text{Benefício Fiscal} = \text{Valor de Compra} \times \text{Taxa de Depreciação} \times \text{Alíquota de Impostos Federais}$$

$$R\$ 82.415,39 = R\$ 1.211.991,06 \times 20\% \times 34\%$$

- d) **Custos de sustentação:** as informações que compõem esta coluna são todos os custos de sustentação que fazem parte do ciclo de vida destes equipamentos, demonstrado pela última coluna da “Tabela de custos médio anual” (Tabela 2).
- e) **Custo anual total:** este campo é composto pela subtração dos valores do campo “Custos de Sustentação” pelo “Benefício Fiscal” e “Valor do Salvado”, de modo que resulte o valor anual dos custos destes ativos. O ano 1, em exceção, recebe também o Valor do Salvado no ano 0, referente ao valor de compra do equipamento.

$$\text{Custo Anual Total} = \text{Custo de Sustentação} - \text{Benefícios Fiscais} - \text{Valor do Salvado}$$

$$R\$ 339.076,75 = R\$ 428.351,87 - R\$ 82.415,39 - R\$ 6.859,73$$

- f) **Valor presente líquido dos custos:** a partir desta etapa, os cálculos passam a incorporar o custo de capital ao longo do tempo. Assim, com base em uma taxa mínima de atratividade de 12%, esta coluna representa o VPL do custo total para cada ano.

$$VPL = \frac{\text{Custo Anual Total}}{(1 + TMA)^{\text{Ano}}}$$

$$R\$ 270.309,91 = \frac{R\$ 339.076,75}{(1 + 0,12)^2}$$

- g) **Valor presente líquido acumulado:** representa o VPL acumulado ano a ano, de modo

que represente todos os custos da vida útil do equipamento até o ano de referência.

- h) CAUE:** seu cálculo tem como principal objetivo uniformizar a série de custos de cada ano para uma comparação entre si, sem qualquer limitação em virtude da diferença no número de períodos que cada cenário de substituição possui. Logo, efetua-se uma divisão do VPL acumulado, representado pela coluna 7, pelo fator de valor presente de séries uniformes.

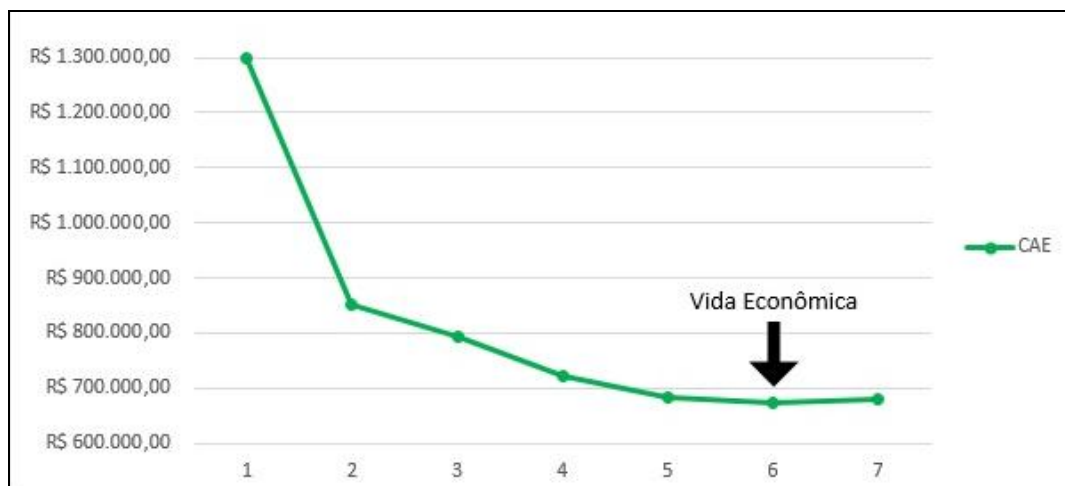
$$CAUE = \frac{\text{Valor Presente Líquido Acumulado}}{\text{Fator de Valor presente Série Uniformes}}$$

$$\text{Fator de Valor Presente de Série Uniformes} = \frac{(1 + TMA)^{\text{Ano}} - 1}{(1 + TMA)^{\text{Ano}} \times TMA}$$

$$R\$ 846.766,43 = \frac{R\$ 1.431.078,46}{1,69}$$

Conforme é apresentado no Gráfico 2, o estudo aponta o sexto ano como o momento ideal para a substituição dos ativos, pois seu CAUE apresenta o menor valor ao longo de sua vida útil.

Gráfico 2 – Vida Econômica das Carregadeiras 994F pelo Método CAUE

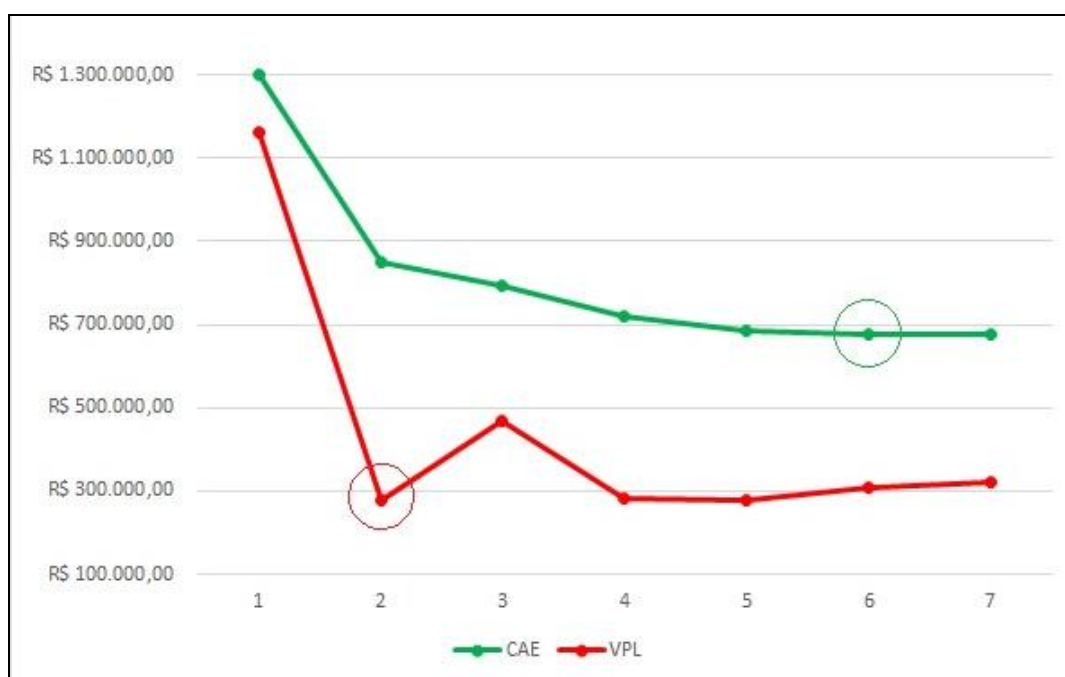


Fonte: Elaborado pelos autores

Nesse contexto, o VPL, uma das ferramentas mais conhecidas da engenharia econômica e análise de investimentos, possui uma limitação quando utilizada de forma exclusiva quando compara cenários de diferentes horizontes de tempo.

O Gráfico 3 traz uma comparação entre os valores obtidos pelo VPL e pelo cálculo do CAUE. Neste contexto, o VPL dos custos apresenta seu menor valor no ano 2, enquanto o CAUE, que entende-se que seja mais apropriada para esta análise, apresenta o menor valor no ano 6.

Gráfico 3 – CAUE X VPL



Fonte: Elaborado pelos autores

Pelos cálculos realizados, conclui-se que uma substituição em 6 anos de utilização do ativo é economicamente viável. Tecnicamente sua vida útil gira em torno de 42.000 horas trabalhadas. Nesse contexto, como é possível realizar uma comparação entre esses dois diferentes parâmetros? Em resposta a esse problema, foi realizado um cálculo de equivalência para determinar, em média, quantas horas trabalhadas um equipamento atinge no seu sexto ano de vida útil.

Com base nos históricos de produção dos ativos fornecidos pela empresa, foi possível obter a média anual de horas trabalhadas pelo equipamento. Estes dados estão representados na Tabela 3.

Tabela 3 – Média de horas calendário x horas trabalhadas

Média Anual de Horas Calendário x Horas Trabalhadas das Carregadeiras 994F										
Equipamentos	2010		2011		2012		2013		MÉDIA GERAL	
	HC	HT	HC	HT	HC	HT	HC	HT	HC	HT
Eqpto 1	8784,00	6486,08	8752,00	5609,86	8760,00	5647,06	8758,56	5654,08	8763,64	5849,27
Eqpto 2	8784,00	5822,74	8760,00	4823,89	8760,00	5852,31	8760,00	5492,77	8766,00	5497,93
Eqpto 3	8784,00	5317,27	8760,00	5712,47	8760,00	5917,78	8760,00	5826,26	8766,00	5693,45
Eqpto 4	8784,00	6158,54	8752,00	5756,64	8760,00	5783,09	8760,00	5853,91	8764,00	5888,05
Eqpto 5	8784,00	6112,68	8760,00	5502,60	8760,00	5748,84	8760,00	5722,03	8766,00	5771,54
Eqpto 6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4232,00	3157,36	4232,00	3157,36
Média/Frota	8784,00	5979,46	8756,80	5481,09	8760,00	5789,82	8005,09	5284,40	8576,47	5633,69
% Corresp.	68,1%		62,6%		66,1%		66,0%		65,7%	

Fonte: Elaborado pelos autores

Horas calendário (HC) é o indicador definido pela quantidade padrão de horas que compõem um ano e horas trabalhadas (HT) representam a quantidade de horas efetivamente trabalhada pelo equipamento. De acordo com essas definições, o percentual de trabalho efetivo de um equipamento é obtido pela razão entre HT e HC. Conforme apresentado na Tabela 3, a média de trabalho realizada por esses equipamentos é de 5.633,6 horas por ano, logo os equipamentos pertencentes a essa frota apresentam no total aproximadamente 33.802 HT no sexto ano útil.

Com base nessas informações, é possível afirmar que este equipamento pode ser substituído com aproximadamente 33.802 HT, ainda que apresente condições técnicas para continuar operando. Vale ressaltar que, este estudo propõe uma antecipação de substituição, assim fatores técnicos relacionados à capacidade produtiva ou níveis de segurança não serão afetados pela substituição, uma vez que um equipamento mais novo, geralmente, apresenta melhores condições operacionais. Conclusivamente, o fato de um equipamento possuir viabilidade técnica para operar não pode ser considerado como um fator isolado em análises de substituição. O desdobramento deste estudo demonstra que a organização possui um potencial de ganho econômico quando critérios técnicos e econômicos são analisados conjuntamente em estudos desta natureza.

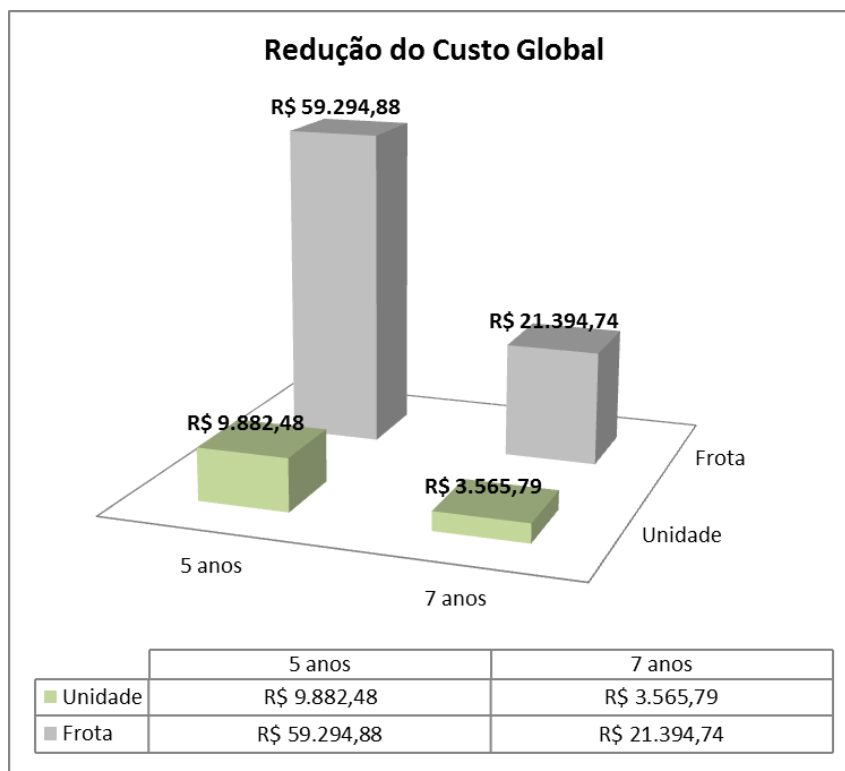
5. Considerações finais

Este estudo propõe a utilização de uma ferramenta de análise de custo econômico para a tomada de decisões. Com o auxílio de ferramentas computacionais foi determinado o custo do ciclo de vida de uma frota de equipamentos, possibilitando a construção e análise de um fluxo de caixa dos custos provenientes da sua manutenção e operação. Por conseguinte, foi comprovada a hipótese de que esses custos tendem a evoluir gradativamente ao longo de sua vida útil. Finalmente, essas informações subsidiaram a elaboração de um modelo econômico capaz de apresentar o momento econômico ideal para a desmobilização e substituição desses ativos.

A avaliação dos cenários econômicos de substituição dos ativos permitiu uma discussão acerca da metodologia aplicada pela empresa em sua tomada de decisões. Com base nas análises, o estudo sugere uma substituição dos equipamentos em torno de 33.802 horas de utilização física ao invés de 42.000 horas pela análise técnica do equipamento, ou seja, algo em torno de 8.198 horas a menos do que vêm sendo aplicado. Sob o ponto de vista técnico é possível obter ganhos, uma vez que a empresa dispõe de equipamentos mais novos, e também obter uma redução global de custos na gestão de ativos.

O Gráfico 4 apresenta, quantitativamente, essa possível redução de custos.

Gráfico 4 – Redução do custo global



Fonte: Elaborado pelos autores

Conforme exposto, o 6º ano representa a vida econômica do equipamento. O intuito dessa comparação é apresentar quanto a mais a empresa gastaria para manter o equipamento ao optar pela sua substituição um ano antes, 5º ano, e um ano depois, 7º ano. Considerando o CAUE por ano, o Gráfico 4 apresenta dois cenários, tratando-se da diferença destes valores entre o 6º e 5º ano, e depois entre o 6º e 7º ano. Nota-se que ao optar pela substituição no 5º ano, a empresa gastaria algo em torno de R\$ 9.882,48 a mais para cada ano de utilização do equipamento. Além disso, se extrapolarmos essa conta para toda a frota, este número é elevado para R\$ 59.294,88 a mais por ano. Para o 7º ano, esta análise ocorre de forma análoga.

É importante mencionar que este estudo possui limitações, sejam elas devido aos fatores de incerteza e variabilidade de dados ou pela complexidade em criar um modelo que se aproxime ao máximo da realidade. Contudo, estas limitações abrem margem para que outros estudos com o propósito de explorar e identificar soluções ainda melhores sejam capazes de reduzir essas limitações e tornem os resultados ainda mais confiáveis. Assim, a utilização de técnicas

estatísticas mais avançadas para tratamento dos dados, possivelmente são capazes de reduzir ainda mais as variabilidades e incertezas apresentadas pelo estudo e, conseqüentemente, possibilitem um ganho na exatidão dos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

BARRINGER, H. Paul; WEBER, David P. Life Cycle Cost Tutorial. In: **International Conference On Process Plant Reliability**, nº 5, 1996, Houston. Anais... Houston: Gulf Publishing Company, 1996. p. 3-1 – 3-58.

CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITTKE, Bruno Hartmut. **Análise de investimentos**: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 411 p.

ENGINEERING AND MINING JOURNAL. **A mineração brasileira**. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=6150>. Acesso em: 09 jan. 2014.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184 p.

HIRSCHFELD, Henrique. **Engenharia Econômica e Análise de Custos**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2000. 519 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2012.

KAUARK, Fabiana; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa**: guia prático. Itabuna: Via Litterarum, 2010. 88p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Mineração 2030**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/sgm/menu/plano_de_mineracao_2030/plano_nacional_2030.html>. Acesso em: 08 jan. 2014.

NEWMAN, Donald. LAVELLE, Jerome. **Fundamentos de Engenharia Econômica**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 359 p.

REDAELLI, L. L.; CERELLO, L. **Geologia de Engenharia**: Escavações. 1. ed. São Paulo: ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p 311-330.

SAMANEZ, Carlos Patrício. **Engenharia econômica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

FULLER, Sieglinde k.; PETERSEN, Stephen R. **Life-cycle costing manual for the Federal Energy Management Program**. NIST Handbook 135. Washington: U.S. Department of Energy, 1996. 210 p.

WOODWARD, David G. Life Cycle Costing – Theory, information acquisition and application. **International Journal of Project Management**, Great Britain, v. 15, n. 6, p. 335-344, 1997.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso**: Planejamento de Métodos. Tradução de Daniel Grassi. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 212 p.