



ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA
FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA – FACEG
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

FABRÍCIO GERALDO DA CRUZ

CUSTO DO CICLO DE VIDA DAS MÁQUINAS PESADAS DE MINERAÇÃO

PUBLICAÇÃO Nº: XX

GOIANÉSIA

2022



FABRÍCIO GERALDO DA CRUZ

CUSTO DO CICLO DE VIDA DAS MÁQUINAS PESADAS DE MINERAÇÃO

PUBLICAÇÃO Nº: XX

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Me. Igor Cezar Silva Braga

GOIANÉSIA

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

F333s

Cruz, Fabrício Geraldo da.

Custo do Ciclo de Vida das Máquinas Pesadas de Mineração / Fabrício Geraldo da Cruz – Goianésia: Faculdade Evangélica de Goianésia, 2022 – Faceg, 2022.
26 p.; il. p&b.

Orientador: Prof. Me. Igor Cezar Silva Braga.

Artigo Científico de Graduação – Faculdade Evangélica de Goianésia: FACEG, 2022.

1. Life Cycle Cost (LCC). 2. Custo do ciclo de vida do equipamento. 3. Previsibilidade dos custos.

I. Cruz, Fabrício Geraldo da. II. Custo do Ciclo de Vida das Máquinas Pesadas de Mineração.

CDU 621

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Cruz, F.G. **Custo do Ciclo de Vida das Máquinas Pesadas de Mineração**. Trabalho de conclusão Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, 2022.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME: FABRÍCIO GERALDO DA CRUZ

GRAU: BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA

ANO: 2022

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia permissão para reproduzir cópias desta Monografia de Graduação, única e exclusivamente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta Monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

Nome: Fabrício Geraldo da Cruz

CPF: 034.112.041-33

Endereço: Av. Minas Gerais, nº 127, Bairro Bougainville, Residencial Jardim Mariana

Email: fabricio.fgcruz1@gmail.com

FABRÍCIO GERALDO DA CRUZ

CUSTO DO CICLO DE VIDA DAS MÁQUINAS PESADAS DE MINERAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica.

Goianésia, 27 de novembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Igor Cezar Silva Braga - Orientador
Faculdade Evangélica de Goianésia

Prof. Me. Davi Bernhard de Souza - Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia

Prof. Me. Jessica Nayara Dias - Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia

Dedico este trabalho a minha família, amigos e aos professores da Faculdade Evangélica de Goianésia por toda a colaboração e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

A minha mãe, esposa e filho, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DAS MÁQUINAS PESADAS DE MINERAÇÃO

LIFE CYCLE COST ANALYSIS OF HEAVY MINING MACHINERY

Fabício Geraldo da Cruz ¹

RESUMO: Um dos maiores desafios para as empresas de mineração é terem o controle dos custos de seus equipamentos para utilizá-los nas situações que envolvem a tomada de decisões importantes. O *Life Cycle Cost* (LCC) ou Custo do Ciclo de Vida, é um importante indicador estratégico que calcula todo o custo do equipamento durante sua vida, sendo mensurado todas as suas despesas, que vão desde a fase de projeto e aquisição até o seu sucateamento ou descarte. Ao apresentar as informações de todas as variáveis que compõem o custo do ciclo de vida das escavadeiras hidráulicas é possível identificar eventuais divergências, bem como, aferir as propostas de redução de custos e elevação da produtividade dos equipamentos, além de demonstrar o melhor momento para proceder a desativação dos maquinários, com a finalidade de reduzir o tempo de retorno do investimento. O objetivo principal do trabalho foi propor a utilização do estudo do ciclo de vida do ativo e utilizá-lo em conjunto com a Engenharia Econômica. A partir deste método, foi possível definir a vida útil econômica de 04 (quatro) escavadeiras Caterpillar, Modelo 374F, as quais estão alocadas em uma mineradora situada próximo ao município de Barro Alto/GO, que foram adquiridas no ano de 2017, sendo verificado, através de informações referentes aos anos de 2017 a 2021, que o período de vida útil dos equipamentos foi de 4 (quatro) anos.

Palavras-Chave: *Life Cycle Cost* (LCC). Custo do ciclo de vida do equipamento. Previsibilidade dos custos.

ABSTRACT: One of the biggest challenges for mining companies is having control over the costs of their equipment to use them in situations that involve making important decisions. The Life Cycle Cost (LCC) or Life Cycle Cost, is an important strategic indicator that calculates the entire cost of the equipment during its life, measuring all its expenses, ranging from the design and acquisition phase to its scrapping, or discard. By presenting information on all the variables that make up the cost of the life cycle of hydraulic excavators, it is possible to identify any divergences, as well as to assess proposals for reducing costs and increasing equipment productivity, in addition to demonstrating the best time to proceed. the deactivation of machinery, in order to reduce the return on investment time. The main objective of the work was to propose the use of the asset life cycle study and use it in conjunction with Economic Engineering. From this method, it was possible to define the economic useful life of 04 (four) Caterpillar excavators, Model 374F, which are allocated in a mining company located near the municipality of Barro Alto/GO, which were acquired in 2017, being verified, through information referring to the years 2017 to 2021, that the useful life of the equipment was 4 (four) years.

Keywords: Life Cycle Cost (LCC). Equipment lifecycle cost. Cost predictability.

¹ Estudante de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, Brasil. E-mail: fabricao.fgcruz1@gmail.com

INTRODUÇÃO

A gestão da manutenção é um assunto que está em ascensão atualmente, e cada vez mais empresas estão investindo em tecnologia, capacitação profissional, equipamentos e modelos operacionais. Isso se dá devido a manutenção ser responsável pelo custo de 5% do faturamento bruto de uma empresa, conforme estabeleceu a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos - ABRAMAN (ABRAMAN, 2017).

Além do custo de manutenção, a gestão da manutenção está ligada a produtividade, eficiência, confiabilidade e segurança, que são assuntos diretamente relacionados com o sucesso, qualidade e lucro das corporações. Várias foram as evoluções da gestão da manutenção dos equipamentos. A primeira geração da gestão da manutenção durou até meados do ano de 1950, e tinha como princípio a manutenção corretiva, preocupando-se estritamente com a recuperação do equipamento após sua falha (MOURA JÚNIOR, 2019). A segunda geração surgiu após a segunda guerra mundial e perdurou até meados de 1970, período em que os engenheiros notaram que os equipamentos costumavam falhar em intervalos semelhantes, surgindo a necessidade de realizar a manutenção periodicamente ainda que o equipamento estivesse funcionando (MOURA JÚNIOR, 2019). A terceira geração, surgiu a partir do ano de 1970, e se baseou na substituição de apenas o necessário, no tempo correto, garantindo o funcionamento, maior produtividade e menor custo da manutenção (MOURA JÚNIOR, 2019).

A quarta geração surgiu no ano de 2000, na busca por índices de classe mundial e em razão da ocorrência das evoluções tecnológicas, tais como, a internet das coisas, o armazenamento de dados nas nuvens, a inteligência artificial e *big data*. Em virtude das tecnologias e sistematizações advindas nos períodos da terceira e quarta geração da gestão da manutenção, a captura e o acesso aos dados dos equipamentos foram facilitados, surgindo assim, vários indicadores de manutenção, dentre eles, o *Life Cycle Cost* (LCC) ou Custo do Ciclo de Vida.

O presente trabalho abordará o referido indicador de manutenção (LCC), delineando-se as várias fontes de dados constantes na composição de suas informações, tais como, os custos operacionais e de manutenção, além da utilização

da Engenharia Econômica e *softwares* para representação gráfica. O foco do presente trabalho será explicar e extrair os dados que compõem o LCC, além de informar o melhor momento para substituir um ativo, que no caso em questão, será um modelo de escavadeira hidráulica utilizada em mineradoras.

MATERIAL E MÉTODOS

Antes de adentrar nos materiais e métodos que serão utilizados para o desenvolvimento do presente trabalho, é preciso tecer alguns esclarecimentos acerca do *Life Cycle Cost* (LCC) ou Custo do Ciclo de Vida, já que o resultado pretendido nesta abordagem depende da aplicação de uma metodologia baseada em algumas informações e fórmulas da Engenharia Econômica.

Inicialmente, urge mencionar que o *Life Cycle Cost* (LCC) ou Custo do Ciclo de Vida é um importante indicador estratégico, que em conjunto com as técnicas da Engenharia Econômica viabiliza a realização de várias análises, sendo uma delas, a definição do melhor momento econômico para substituir um equipamento.

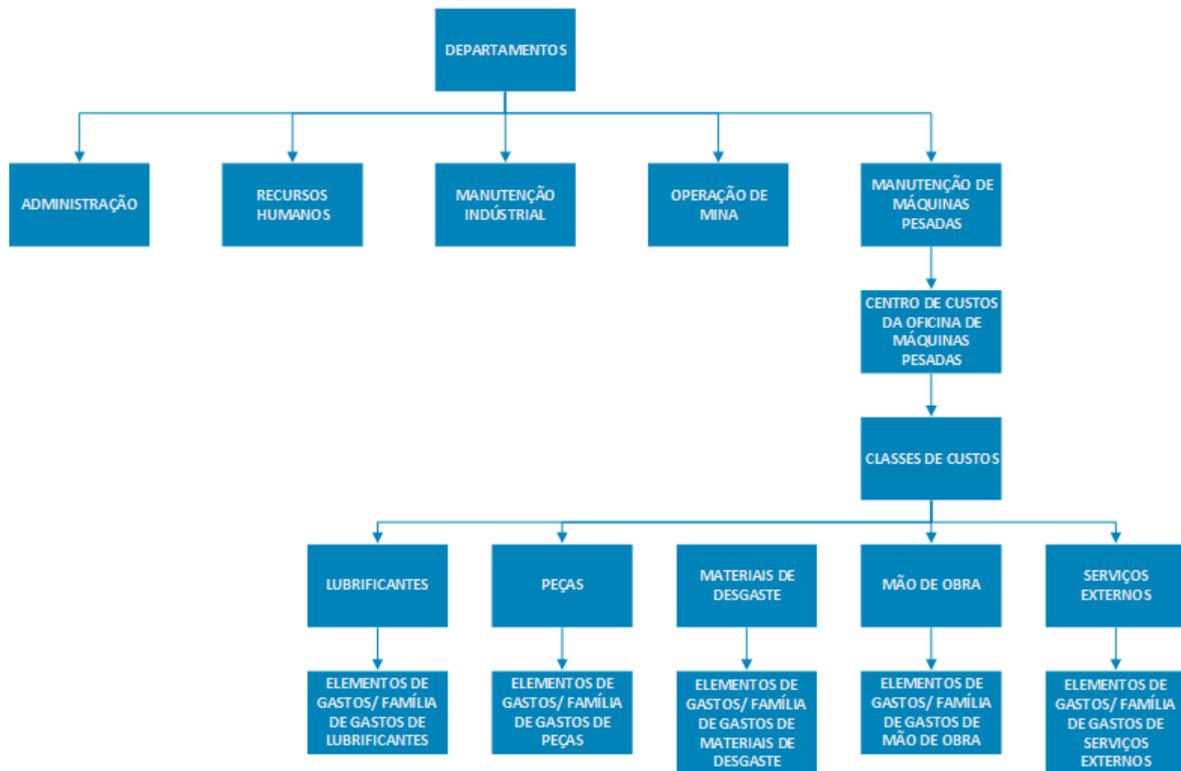
Para a elaboração do LCC, é necessário compreender todos os custos que serão considerados durante o ciclo de vida do equipamento. De acordo com Gil Branco (2010), tudo o que é gasto para se obter, fabricar, ter posse, ou para utilizar qualquer coisa é considerado um custo. E não se entende que é apenas algo material, uma vez que treinamentos e prestações de serviços também são considerados.

Em geral, as grandes empresas organizam seus custos de forma similar, onde cada departamento tem o seu centro de custos com as respectivas naturezas de gastos, que, no caso da empresa de mineração em estudo, denomina-se elemento de gastos, os quais são utilizados para intitular a natureza dos gastos, ou seja, servem para identificar como o dinheiro foi gasto. Neste sentido, explica Gil Branco (2010, p. 37):

Uma maneira de classificar os gastos para que se possa saber em que se efetuou o gasto ou a despesa. Para efeitos de contabilidade e acompanhamento financeiro, a natureza do gasto está associada a um código que indicará a espécie de mão de obra, espécie do material usado, do sobressalente ou do serviço contratado que usaremos, e que pode incluir todo o tipo de material usado na empresa, inclusive a matéria prima [...].

Na Figura 1, há um esquema para melhor compreensão da organização dos custos:

Figura 1 - Organização dos Custos



Fonte: Autoria própria (2022).

Compreendido a classificação dos custos e a organização e gestão destes dentro das empresas, impõe esclarecer como a Engenharia Econômica tem aplicação na manutenção e quais são os seus reflexos em relação ao tema do presente trabalho.

Ressalta-se, primeiramente, que Engenharia Econômica é o campo de estudo voltado para as técnicas matemáticas, com a finalidade de avaliar os resultados econômico-financeiros, tendo como uma de suas premissas a análise do valor do dinheiro no tempo, para realizar simulações futuras ou trazer valores futuros para o presente.

Desta forma, a Engenharia Econômica analisa despesas, riscos, retornos financeiros, traçando alternativas para auxiliar a tomada de decisões, podendo ainda, aperfeiçoar ou melhorar processos que podem trazer ganhos nos projetos de investimento.

Para alcançar tal finalidade, utiliza-se algumas ferramentas da Engenharia Econômica, entre os quais, se destacam o VPL – Valor Presente Líquido, a TMA – Taxa Mínima de Atratividade, o CAE – Custo Anual Equivalente, que serão melhores analisados adiante.

Um dos métodos mais confiáveis para proceder a avaliação de um projeto de investimento é o VPL - Valor Presente Líquido, o qual é utilizado para calcular o valor presente dos fluxos de caixa futuros. Nesta lógica, Saldanha (2020, p. 213) argumenta que:

O VPL é considerado, por muitos tomadores de decisão, um dos melhores indicadores da rentabilidade e o principal parâmetro para analisar a qualidade de projetos de investimento, uma vez que considera o valor do dinheiro no tempo, tem consistência matemática e o seu resultado é um valor monetário que indica a riqueza adicional absoluta gerada pelo projeto de investimento.

Em se tratando do Cálculo do VPL, seu fundamento baseia-se em descapitalizar para a data inicial todas as entradas e saídas de caixa, utilizando a taxa de juros desejada. Dessa forma, o VPL estará associado à taxa adotada pelo investidor, à sua taxa mínima de atratividade ou à taxa de juros considerada adequada pelo mercado. A Equação 1 traz como se obtém o VPL:

$VPL(i) = -CF_0 \pm \frac{CF_1}{(1+i)^1} \pm \frac{CF_2}{(1+i)^2} \pm \frac{CF_3}{(1+i)^3} \pm \dots \pm \frac{CF_n}{(1+i)^n}$	(1)
--	-----

Em que os componentes para uso no cálculo são:

- VPL(i) = Valor presente líquido calculado com a taxa de juros i;
- i = Taxa de juros utilizada no “desconto” do fluxo de caixa;
- CF₀ = Investimento inicial na data “0”;
- CF₁...;n = Fluxo de caixa líquido referente a cada período;
- n = Duração do projeto ou prazo da análise.

Por sua vez, também denominada de taxa de desconto que representa o custo do capital próprio, a Taxa Mínima de Atratividade – TMA tem a finalidade de definir a remuneração mínima necessária para que um projeto venha ser capaz de atrair o investimento de seu capital.

Em outras palavras, a Taxa Mínima de Atratividade – TMA pode ser entendida como uma taxa de juros estabelecida pela própria empresa com o intuito de traçar o capital mínimo necessário para que um projeto tenha o potencial de atrair a aplicação de seu recurso financeiro.

Vários são os parâmetros utilizados para definir a taxa mínima de atratividade - TMA. Neste sentido, aponta Saldanha (2020, p. 212):

Usualmente, a determinação da TMA está associada à política de aplicação de recursos e em sua definição é considerada uma série de critérios, entre eles: a) A quantidade de capital disponível para investimento, suas fontes e seus custos; b) A quantidade e tipologia dos projetos viáveis disponíveis para aplicação deste capital; c) A sinergia do novo investimento com as atividades da empresa; d) O risco perceptível associado às oportunidades disponíveis no mercado; e) A capacidade de gerir os projetos a curto e longo prazo; f) O horizonte de tempo do investimento; g) Os objetivos do empreendedor; h) O setor da economia em que o projeto está inserido.

Desta forma, a Taxa Mínima de Atratividade – TMA permite que o investidor alinhe as expectativas relacionadas à rentabilidade das opções de investimento, levando em consideração os riscos referentes às aplicações que fizer, por meio da análise de dados numéricos apresentados pela referida taxa, amenizando assim, as possibilidades de o investidor perder grande parte do capital investido.

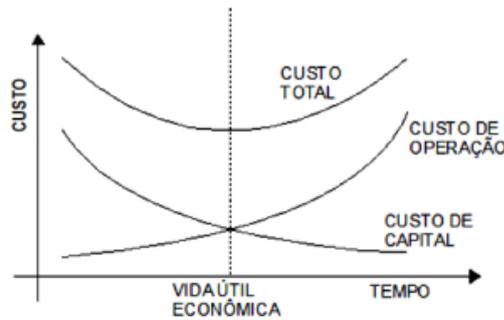
Já em relação ao Custo Anual Equivalente - CAE, esse método da Engenharia Econômica trata da comparação entre dois ou mais projetos com diferentes tempos de vida, e é utilizado para calcular a vida útil de um ativo ou ainda determinar qual seria o momento ideal para sua substituição. Nesta acepção, Abreu Filho e Cury (2018, p. 110) explicam:

O custo anual equivalente (CAE), do inglês equivalent annual cost (EAC), é um caso particular do VPLAE que trata da comparação entre projetos com variações apenas nos investimentos, custos e despesas, ou seja, somente saídas de caixa. Esses tipos de projetos são aqueles que visam à aquisição de equipamentos, máquinas e veículos, considerando apenas seus custos de manutenção e operação, assim como seus valores residuais, sem possibilidade de vincular as receitas produzidas por esses ativos. O CAE também pode ser utilizado para a escolha do tempo ótimo de substituição de ativos, em termos financeiros.

A referida explanação, pode ser melhor visualizada através do gráfico abaixo, onde o Custo Anual Equivalente – CAE foi utilizado para determinar o momento ideal

para substituição do ativo, a partir da análise entre o custo de operação e custo de capital do equipamento. Veja-se na Figura 2:

Figura 2 – Vida útil econômica



Fonte: Casarotto Filho e Kopittke (2010).

O CAE pode ser calculado realizando a divisão do VPL pelo fator de anuidade. A Equação 2 traz como se obtém o CAE:

$EAC = \frac{NPV}{A_{t,r}}$	(2)
-----------------------------	-----

Em que os componentes para uso no cálculo são:

- EAC – Equivalent annual Cost, Custo anual equivalente (CAE);
- NPV - Net present value, Valor Presente Líquido (VPL);
- $A_{t,r}$ – Fator de Anuidade

Superados todos esclarecimentos acerca dos custos e da Engenharia Econômica, cabe aqui elucidar o que é propriamente o *Life Cycle Cost* (LCC) ou Custo do Ciclo de Vida.

O *Life Cycle Cost* (LCC) ou Custo do Ciclo de Vida é uma ferramenta estratégica que calcula todo o custo do equipamento durante sua vida, oferecendo informações que viabilizam a tomada de várias decisões por meio das análises realizadas durante o estudo desta ferramenta.

Previamente, cumpre salientar que o LCC é utilizado principalmente para verificar a viabilidade de um investimento, mas também pode ser usado para verificar os gargalos de custos de um ativo, com a função de minimizá-los.

Além dessas aplicações, as informações obtidas através do LCC empregadas na Engenharia Econômica, possibilitam realizar simulações, bem como tomar várias decisões sobre um ativo, como por exemplo, se deve ou não continuar com o mesmo, alugá-lo ou adquirir um novo, sendo possível definir ainda, o melhor momento para substituição do equipamento. Farr e Faber (2019, p. 13), explicam o LCC nos seguintes termos:

[...] os custos do ciclo de vida são todos os custos previstos associados a um projeto ou programa ao longo de sua vida. LCC é a soma total das despesas diretas, indiretas, recorrentes, não recorrentes e outros custos relacionados incorridos ou estimados para incorridos, no projeto, pesquisa e desenvolvimento, investimento, operações, manutenção, aposentadoria e qualquer outro suporte de um produto ao longo seu ciclo de vida (ou seja, sua vida útil prevista). Todos os custos relevantes devem ser inclusos independentemente da fonte de financiamento, unidade de negócios, gestão controle, e assim por diante.

Do ponto de vista econômico, para verificar o melhor momento para substituir os equipamentos, é necessário analisar todos os custos envolvidos neste processo. Os custos considerados no LCC são os custos de aquisição, operação, manutenção e disponibilização. Neste sentido, Viana explica o seguinte (2021, p. 176):

Na prática, nos estudos de LCC realizados na área de manutenção, os custos de P&D e de fabricação do ativo são considerados contidos no valor de aquisição do equipamento, desta maneira, somam-se a ele os gastos com operação e manutenção ao longo da vida do ativo, e o custo de disponibilização do equipamento ao final da sua vida útil de interesse à companhia, podendo haver um valor residual do mesmo, que pode se configurar em um ganho e não custo, assim, consideram-se os gastos listados na figura 32 para o levantamento de dados para análises de LCC.

Cabe mencionar ainda, que com o passar do tempo, os equipamentos acabam sofrendo alguns desgastes naturais, decorrendo daí efeitos que afetam a durabilidade do ativo e conseqüentemente ocasionam sua depreciação. Tratando-se da definição do termo 'depreciação', Abreu Filho e Cury (2018, p. 43) esclarecem que:

A depreciação é um "custo operacional" sem qualquer desembolso, ou seja, sem saída de caixa a ser considerada, que pode ocorrer por desgaste físico, ação do tempo, obsolescência tecnológica ou outras causas. Podemos também definir a depreciação como uma redução no valor de um ativo físico com o decorrer do tempo, devido às causas citadas. Em outras palavras, a depreciação é uma despesa contábil que representa as perdas de valor de

ativos tangíveis ao longo do tempo, como máquinas, equipamentos, veículos, imóveis, entre outros.

Esclarecido os fatores que envolvem o LCC, faz-se necessário elucidar como esta ferramenta será aplicada no caso concreto. De modo singular, o presente trabalho buscou abordar o custo de vida da escavadeira Caterpillar, Modelo 374F, especificamente a que opera com a caçamba de escavação, conforme se verifica na Figura 3, e nas especificações técnicas mencionadas no Apêndice A:

Figura 3 – Escavadeira Caterpillar, Modelo 374F



Fonte: Especificações da Escavadeira Hidráulica 374F L (2014).

Foram selecionadas 04 (quatro) escavadeiras que foram adquiridas no ano de 2017, pelo valor individual de R\$ 3.270.927,00 (três milhões duzentos e setenta mil novecentos e vinte sete reais), tendo sido extraído todas as informações de custos dos equipamentos através de uma *query* no Excel ao ERP (Sistema Integrado de Gestão Empresarial), conforme se vê no Apêndice B.

A partir do relatório das informações, uma base de dados foi gerada com todos os custos desmembrados, de acordo com a classificação da natureza dos gastos, sendo possível identificar o que foi gasto com a aquisição, operação e manutenção, conforme o gráfico da Figura 4:

Figura 4 – Custos de Operação e Manutenção nos anos de 2017 a 2021



Fonte: Mineradora de Barro Alto/GO (2021).

A natureza dos gastos das 04 (quatro) escavadeiras Caterpillar, Modelo 374F foi dividida da seguinte forma: combustível, lubrificantes, peças (materiais), materiais de desgaste, serviços de terceiros e mão de obra. O único impasse dessa divisão diz respeito aos custos de mão de obra, pois esses custos são lançados em conjunto, sendo assim, não foi possível diferenciar o custo de mão de obra da operação e da manutenção.

Dessa forma, foi considerado que os gastos com combustíveis e mão de obra englobam os custos de operação, já os gastos com lubrificantes, peças (materiais), materiais de desgaste e serviços de terceiros, compreendem os custos de manutenção.

Após identificar quais seriam os custos de operação e manutenção das 04 (quatro) escavadeiras, os dados referentes aos anos de 2017 a 2021 foram lançados na planilha eletrônica prevista no Apêndice C, da seguinte forma - Tabela 1:

Tabela 1 – Custos de Manutenção e Operação Anual

CUSTO DE OPERAÇÃO ANUAL	CUSTO DE OPERAÇÃO ACUMULADO	CUSTO DE MANUTENÇÃO ANUAL	CUSTO DE MANUTENÇÃO ACUMULADO
$CF_t(OP)$	$CF_t(COP)$	$CF_t(MA)$	$CF_t(CMA)$
R\$ 122.554,30	R\$ 122.554,30	R\$ 26.802,89	R\$ 26.802,9
R\$ 531.356,34	R\$ 653.910,64	R\$ 416.196,88	R\$ 442.999,77
R\$ 566.351,70	R\$ 1.220.262,33	R\$ 453.703,87	R\$ 896.703,64
R\$ 421.617,69	R\$ 1.641.880,02	R\$ 570.235,41	R\$ 1.466.939,05
R\$ 292.398,29	R\$ 1.934.278,31	R\$ 619.623,08	R\$ 2.086.562,13

Fonte: Mineradora de Barro Alto/GO (2021).

Foi preenchido na planilha eletrônica as demais informações relacionadas ao ano em análise (y), à média de horas trabalhadas pelas 04 (quatro) escavadeiras (h), bem como, o tempo (t), e também a taxa mínima de atratividade - TMA (i), que foi informada pelo setor financeiro da empresa onde os equipamentos estão alocados. É o que consta na Tabela 2:

Tabela 2 – Período de atividade e Taxa Mínima de Atratividade

ANO	HORAS	TEMPO	TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE
y	h	t	i
2017	920	0,333	11%
2018	3.753	1,333	11%
2019	3.948	2,333	11%
2020	3.090	3,333	11%
2021	2.720	4,333	11%

Fonte: Mineradora de Barro Alto/GO (2021).

Em seguida, foi inserido as informações referentes ao valor venal, calculado pelo método fornecido pela *Dealer* – distribuidora principal da Caterpillar no Brasil, utilizado por eles na avaliação de equipamentos usados, utilizando o valor de aquisição do equipamento em função das horas trabalhadas, multiplicado por 3,76% (três vírgula setenta e seis por cento), conforme consta na Tabela 3:

Tabela 3 – Valor venal

ANO	HORAS	VALOR VENAL
<i>y</i>	<i>h</i>	
2017	920	R\$ 3.157.779,09
2018	3.753	R\$ 2.712.176,04
2019	3.948	R\$ 2.309.567,61
2020	3.090	R\$ 2.041.232,81
2021	2.720	R\$ 1.832.471,85

Fonte: Mineradora de Barro Alto/GO (2021).

Após, foi lançado as informações relativas à depreciação física anual dos equipamentos, calculada através do valor venal em função do tempo de utilização em anos, consoante se vê na Tabela 4:

Tabela 4 – Depreciação física anual

ANO	HORAS	DEPRECIÇÃO FÍSICA ANUAL VALOR RESIDUAL (+)
<i>y</i>	<i>h</i>	
2017	920	R\$ 339.443,72
2018	3.753	R\$ 419.063,22
2019	3.948	R\$ 412.011,17
2020	3.090	R\$ 368.908,26
2021	2.720	R\$ 331.951,19

Fonte: Mineradora de Barro Alto/GO (2021)

Posteriormente, após a inserção dos dados acima mencionados, foi possível chegar ao resultado pretendido a partir da utilização de 03 (três) fórmulas da Engenharia Econômica: Fator de Anuidade (A_t, r), Valor Presente Líquido (VPL) e Custo Anual Equivalente (CAE), que foram devidamente discutidas na seção 2.5 - Engenharia Econômica aplicada a Manutenção. Veja-se na Tabela 5:

Tabela 5 – At,r, VPL e CAE

FATOR DE ANUIDADE(At,r)	VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	CUSTO ANUAL EQUIVALENTE (CAE)
$A_{t,r} = \frac{1 - (1 + i)^{-t}}{i}$	$NPVC = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + i)^t}$	$EAC = \frac{NPV}{A_{t,r}}$
0,3108	R\$ 2.975.510,93	R\$ 9.573.556,14
1,1809	R\$ 3.305.874,20	R\$ 2.799.439,91
1,9648	R\$ 3.040.625,69	R\$ 1.547.565,63
2,6710	R\$ 2.749.825,01	R\$ 1.029.521,91
3,3072	R\$ 2.450.042,55	R\$ 740.824,67

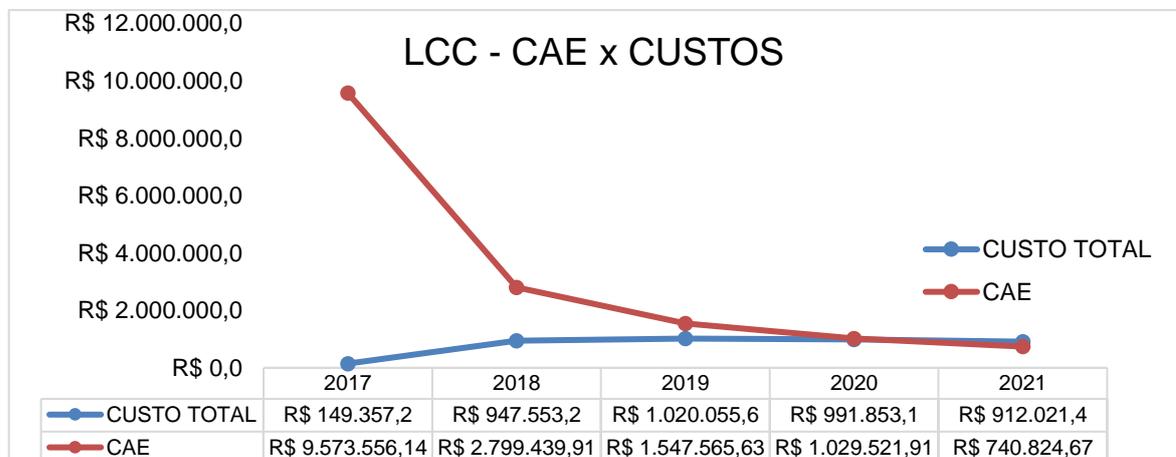
Fonte: Mineradora de Barro Alto/GO (2021).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme dito, o objetivo principal deste trabalho foi propor a utilização do estudo do ciclo de vida do ativo e utilizá-lo em conjunto com a Engenharia Econômica, a qual indica o momento economicamente adequado para substituição das máquinas pesadas de uma mineradora.

Após a compilação e análise de todos os dados a partir das fórmulas mencionadas, foi possível cruzar as informações do Custo Anual Equivalente com os Custos de Operação e Manutenção, sendo mensurado as perdas de valores dos bens durante os mencionados anos (2017 a 2021), gerando o gráfico da Figura 5:

Figura 5 – Custos de Operação e Manutenção nos anos de 2017 a 2021

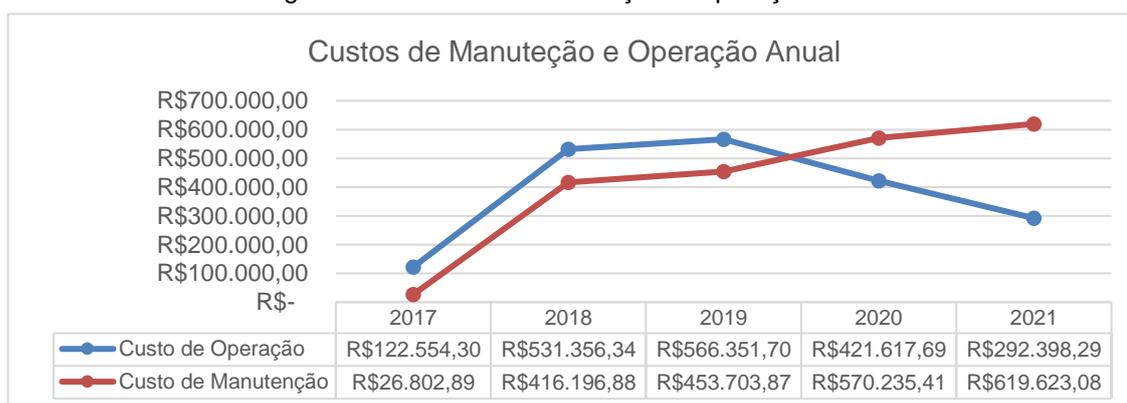


Fonte: Mineradora de Barro Alto/GO (2021).

Observando o gráfico da Figura 5, é possível verificar que os Custos de Operação e Manutenção ultrapassam o Custo Anual Equivalente no quarto ano de operação, o que significa que o melhor momento econômico para substituir as escavadeiras é com 4 (quatro) anos de uso.

Outra análise importante que deve ser ressaltada, diz respeito à quantidade de horas trabalhadas pelos equipamentos e os valores dos custos de manutenção e operação alcançados no decorrer dos anos. Na medida em que os anos se passavam, enquanto as horas trabalhadas e os custos de operação dos equipamentos iam diminuindo, os custos de manutenção aumentavam, conforme se verifica nos gráficos das Figuras 6 e 7:

Figura 6 – Custos de Manutenção e Operação Anual



Fonte: Mineradora de Barro Alto/GO (2021).

Figura 7 – Horas de Operação Anual



Fonte: Mineradora de Barro Alto/GO (2021).

Observa-se ainda, que o custo hora de operação anual dos equipamentos também aumentou como consequência da elevação do custo de manutenção e a diminuição das horas trabalhadas, conforme se vê no gráfico da Figura 8:

Figura 8 – Custo Hora de Operação Anual



Fonte: Mineradora de Barro Alto/GO (2021).

Portanto, após a análise dos gráficos e o estudo do ciclo de vida dos equipamentos em questão, torna-se possível perceber que, na medida em que os anos passam, o custo hora dos equipamentos aumenta e a sua produtividade diminui cada vez mais, não sendo mais economicamente viável a sua utilização, por afetar diretamente a produção da empresa.

CONCLUSÕES

O estudo do ciclo de vida do equipamento contribui para o planejamento estratégico da empresa, além de permitir a geração de relatórios e a posterior definição de medidas eficazes para obter melhorias no processo de prevenção dos equipamentos, com a finalidade de potencializar a vida útil das máquinas e reduzir custos que poderiam advir em decorrência de uma má gestão no setor de manutenção da empresa.

Foi analisado o ciclo de vida de 04 (quatro) escavadeiras Caterpillar, Modelo 374F, as quais estão alocadas em uma mineradora situada próximo ao município de Barro Alto/GO, tendo sido verificadas as informações referentes aos anos de 2017 a 2021, o período de vida útil dos equipamentos foi de 4 (quatro) anos. É importante ressaltar que cada empresa possui o seu capital e os seus métodos de manutenção. Tais questões, interferem diretamente no ciclo de vida dos equipamentos.

Na situação aqui estudada, a mineradora em questão não utiliza alguns métodos de manutenção preventiva e também não usa alguns KPI's primordiais para acompanhar e aumentar qualidade, desempenho e reduzir custos de manutenção, fato que contribuiu para que o período de vida útil dos equipamentos fosse de apenas

04 (quatro) anos. Além disso, todos os materiais sobressalentes, insumos e componentes dos equipamentos são adquiridos direto da concessionária, aumentando demasiadamente os custos de manutenção.

Outra informação importante, é que a mineradora em discussão, efetua a reforma geral do equipamento quando o mesmo atinge 09 (nove) mil horas de uso. Tal reparação é realizada pela DEALER – distribuidora principal da Caterpillar no Brasil, chegando o custo ao estrondoso patamar de 52% (cinquenta e dois por cento) do valor de um novo equipamento. Realizando a referida reforma, o equipamento obtém uma sobrevida em termos de confiabilidade e produção, todavia, o reparo não se compara ao estado de um equipamento novo, restando claro que a mencionada restauração é economicamente inviável, já que reduz a vida útil econômica do equipamento.

Uma alternativa para reduzir os custos de manutenção e aumentar a vida útil econômica do equipamento, é buscar novos fornecedores e optar pela utilização de produtos nacionais, que em muitas vezes tem qualidade idêntica ou até mesmo superior se comparado aos importados, com o custo em média 50% (cinquenta por cento) mais barato.

Ressalta-se a importância da atuação do engenheiro mecânico na gestão de manutenção e na utilização de ferramentas de controle, confiabilidade e principalmente de custos, como por exemplo o LCC – Life Cycle Cost, pois através da aplicação desses métodos é possível garantir uma boa produção, bem como, a saúde financeira da empresa.

REFERÊNCIAS

ABRAMAN – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. **Documento Nacional: A situação da manutenção no Brasil**. 2017.

ABREU FILHO, José Carlos Franco e CURY, Marcus Vinicius Quintella Cury. **Análise de projetos de investimentos**. 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ: FGV Editora, 2018.

CATERPILLAR. **Especificações da Escavadeira Hidráulica 374F L**. Disponível em: <https://pesa.com.br/downloads/374FL%20PORTUGUES%20--%20APHQ7260-00.pdf>. Acesso em: 15 de janeiro de 2023.

CASAROTTO FILHO, Nelson e KOPITTKE, Bruno H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial.** 11ª ed. São Paulo, SP: Atlas, 2010.

FARR, Jhon Vail and FABER, Isaac. **Engineering Economics of Life Cycle Cost Analysis.** 1ª ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2019.

BRANCO FILHO, Gil. **Custos em Manutenção.** 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Ed. Ciência Moderna Ltda., 2010.

MOURA JUNIOR, Elias Costa. **Proposta de um modelo sistemático de planejamento da manutenção para empresa que não possua sistema integrado de manutenção.** 1ª ed. Piracanjuba, GO: Conhecimento Livre, 2019.

SALDANHA, Breno Luiz Filomeno. **Engenharia Econômica: Projetos de Investimento.** 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Amazon Digital Services LLC - KDP Print US, 2020.

VIANA, Herbert, **Manual de Gestão da Manutenção - Volume 2.** 1ª ed. Brasília: ENGETELES Editora, 2021.

APÊNDICE A – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA ESCAVADEIRA HIDRÁULICA 374F

Especificações da Escavadeira Hidráulica 374F L

Motor

Modelo do Motor	Cat C15 ACERT™
Potência – ISO 9249 (métrica)	352 kW 472 HP
Potência – ISO 14396 (métrica)	362 kW 485 HP
Potência Líquida – EEC 80/1269 (métrica)	352 kW 472 HP
Diâmetro Interno	137 mm
Curso	171 mm
Cilindradas	15,2 l

- A 374F L atende às normas de emissões de Estágio II ou III B da UE.
- Não é preciso reduzir a potência do motor em altitudes abaixo de 2.300 m.
- A potência líquida informada é a potência disponível no volante do motor quando o motor está equipado com ventilador, filtro de ar, silenciador e alternador.
- Classificação a 1.600 rpm (Implemento)

Peso Operacional

Mínimo – Configuração de Alcance	70.973 Kg
Máximo – Configuração para Grande Volume	75.167 Kg

Comando

Velocidade máxima de percurso	4,1 km/h
Força Máxima de Tração – Material Rodante Longo	492 kN

Esteira

Padrão com Material Rodante Longo	900 mm
Opcional para Material Rodante Longo	750 mm
Opcional para Material Rodante Longo	650 mm
Número de Sapatas em Cada Lado – Material Rodante Longo	47
Número de Roletes de Esteira em Cada Lado – Material Rodante Longo	8
Número de Roletes Superiores de Cada Lado	3

Mecanismo de Oscilação

Velocidade de Oscilação	6,5 rpm
Torque de Oscilação	215 kNm

Sistema Hidráulico

Sistema Principal – Fluxo Máximo (total)	
Implemento	896 l/min
Percurso	952 l/min
Sistema de Oscilação – Fluxo Máximo	Sem bomba de oscilação
Pressão Máxima	
Equipamento – Normal	37.000 kPa
Percurso	35.000 kPa
Oscilação	35.000 kPa
Fluxo Máximo do Sistema Piloto	63 l/min
Pressão Máxima do Sistema Piloto	4-4,4 MPa
Cilindro da Lança	
Diâmetro Interno	190 mm
Curso	1.792 mm
Cilindro do Braço	
Diâmetro Interno	210 mm
Curso	2.118 mm
Cilindro da Caçamba da Família VB2	
Diâmetro Interno	190 mm
Curso	1.433 mm
Cilindro da Caçamba da Família WB2	
Diâmetro Interno	200 mm
Curso	1.457 mm

APÊNDICE B – BASE DE DADOS

ACCOUNT_CODE	COST_CENTRE	DSTRCT_CODE	EQUIP_NC	EXP_ELEMENT	TIPO CUSTO	FULL_PERIOD	WORK_ORDER	DESCRIÇÃO ORDEM	SUM(B_TRAN_AMOUNT)
5022221613	5022221	AABA	00000009041	613	SERVIÇOS TERCEIROS	202105	00355699	VERIFICAR CILINDRO DO BOOM L.D	64469,8
5022221603	5022221	AABA	00000009041	603	MATERIAIS	201910	00293834	SUBSTITUIR TURBINA DO MOTOR DISIEL	31345,19
5022221609	5022221	AABA	00000009041	609	LUBRIFICANTES	202007		CUSTO SEM ORDEM DE SERVIÇO	23625,07
5022221609	5022221	AABA	00000009041	609	LUBRIFICANTES	202001	00300588	LUBRIFICACAO PREVENTIVA DE 500HR	13604,67
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202006	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11792,12
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202006	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11792,12
5022221603	5022221	AABA	00000009041	603	MATERIAIS	201906	00281276	PEÇAS PARA FLOWMETER	11268,91
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202006	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11159
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202006	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11159
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202005	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11159
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202005	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11159
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202006	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11159
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202011	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202010	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202104	00353899	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202012	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202012	00347879	MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE 1.000 HR	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202010	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202102	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202104	00353899	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202012	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202012	00347879	MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE 1.000 HR	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202010	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202102	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202104	00353899	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202010	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202011	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202009	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202011	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202009	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202010	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202011	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202012	00346399	QUEBROU ADAPTA DOR CENTRAL	11072,44
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202012	00305795	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	11072,44
5022221613	5022221	AABA	00000009041	613	SERVIÇOS TERCEIROS	202012	00322674	FABRICAR E INSTALAR GUARDA-CORPO	11026,12
5022221609	5022221	AABA	00000009041	609	LUBRIFICANTES	202012		CUSTO SEM ORDEM DE SERVIÇO	10691,68
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202106	00353899	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	10539,51
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202107	00368751	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	10539,51
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202107	00368751	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	10539,51
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202107	00353899	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	10539,51
5022221354	5022221	AABA	00000009041	354	MATERIAL DESGASTE	202107	00368751	SUBSTITUIR MATERIAIS DESGASTE ANUAL	10539,51

APÊNDICE C – TABELA DO LCC

ANO	HORAS	TEMPO	TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE	CUSTO DE OPERAÇÃO ANUAL	CUSTO DE OPERAÇÃO ACUMULADO	CUSTO DE MANUTENÇÃO ANUAL	CUSTO DE MANUTENÇÃO ACUMULADO
y	h	t	i	$CF_t(OP)$	$CF_t(COP)$	$CF_t(MA)$	$CF_t(CMA)$
2017	920	0,333	11%	R\$ 122.554,30	R\$ 122.554,30	R\$ 26.802,89	R\$ 26.802,9
2018	3.753	1,333	11%	R\$ 531.356,34	R\$ 653.910,64	R\$ 416.196,88	R\$ 442.999,77
2019	3.948	2,333	11%	R\$ 566.351,70	R\$ 1.220.262,33	R\$ 453.703,87	R\$ 896.703,64
2020	3.090	3,333	11%	R\$ 421.617,69	R\$ 1.641.880,02	R\$ 570.235,41	R\$ 1.466.939,05
2021	2.720	4,333	11%	R\$ 292.398,29	R\$ 1.934.278,31	R\$ 619.623,08	R\$ 2.086.562,13

CUSTO TOTAL (OPERAÇÃO + MANUTENÇÃO)	VALOR VENAL	DEPRECIÇÃO FÍSICA ANUAL VALOR RESIDUAL (+)	FATOR DE ANUIDADE($A_{t,r}$)	VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	CUSTO ANUAL EQUIVALENTE (CAE)
			$A_{t,r} = \frac{1 - (1+i)^{-t}}{i}$	$NPVC = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$	$EAC = \frac{NPV}{A_{t,r}}$
R\$ 149.357,2	R\$ 3.157.779,09	R\$ 339.443,72	0,3108	R\$ 2.975.510,93	R\$ 9.573.556,14
R\$ 947.553,2	R\$ 2.712.176,04	R\$ 419.063,22	1,1809	R\$ 3.305.874,20	R\$ 2.799.439,91
R\$ 1.020.055,6	R\$ 2.309.567,61	R\$ 412.011,17	1,9648	R\$ 3.040.625,69	R\$ 1.547.565,63
R\$ 991.853,1	R\$ 2.041.232,81	R\$ 368.908,26	2,6710	R\$ 2.749.825,01	R\$ 1.029.521,91
R\$ 912.021,4	R\$ 1.832.471,85	R\$ 331.951,19	3,3072	R\$ 2.450.042,55	R\$ 740.824,67