

PMR2550 – Projeto de Conclusão de Curso II

Análise do Custo do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários

RAFAEL DE ALMEIDA CAMBRAIS

Note final  
8,1 (onto 8 nm)

ADM

**ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA “LYFE  
CYCLE COST” DE SISTEMAS MECÂNICOS:  
APLICAÇÃO PARA VEÍCULOS METRO - FERROVIÁRIO**

Trabalho de Formatura  
apresentado à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para  
obtenção do Diploma de  
Engenheiro Mecatrônico.

São Paulo

2005



**PMR2550 – Projeto de Conclusão de Curso II**

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

**RAFAEL DE ALMEIDA CAMBRAIS**

**ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA “LYFE  
CYCLE COST” DE SISTEMAS MECÂNICOS:  
APLICAÇÃO PARA VEÍCULOS METRO - FERROVIÁRIO**

**Trabalho de Formatura  
apresentado à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para  
obtenção do Diploma de  
Engenheiro Mecatrônico.**

Orientador: Prof. Gilberto F. M. Souza

São Paulo

2005

**PMR2550 – Projeto de Conclusão de Curso II**  
**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos:**  
**aplicação para veículos metro - ferroviários**

**DEDALUS - Acervo - EPMN**



31600011849

1494(681)

**FICHA CATALOGRÁFICA**

Cambrais, Rafael de Almeida

Análise do Custo do Ciclo de Vida “Lyfe Cycle Cost” de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviário/ Rafael de Almeida Cambrais; orientador: Prof. Gilberto Francisco Martha de Souza.

São Paulo 2005.

54 f.

Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos.

1. Custo do Ciclo de Vida. 2.Trens.3. Manutenção de trens.

1. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos.



## PMR2550 – Projeto de Conclusão de Curso II

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

*Aos meus pais, pelo constante apoio, que me deram forças para chegar até aqui e com certeza ir muito mais além.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Gilberto Francisco Martha de Souza;

À CPTM e à Alstom pelas informações sem as quais não seria possível a realização deste projeto.

À minha namorada Bruna, pelo apoio, paciência, compreensão e auxílio na realização deste trabalho;

Aos colegas Tomas, Daniela, Luciana, Gabriel, Fausto, Paulo, Fabio, pela força, estímulo e ajuda que sempre me deram ao longo destes anos;

A Rodolfo, Gustavo e os irmãos Fernando, Pâmela e Patrícia, amigos inestimáveis, pela ajuda, amizade e companheirismo;



**PMR2550 – Projeto de Conclusão de Curso II**  
**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:**  
**aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

## **Resumo**

O presente projeto aplicou os princípios do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) para definir os principais custos de um trem. Estes custos são de vital importância para a seleção de uma alternativa de projeto e para o conhecimento de seus pontos mais críticos.

A análise aqui presente se estendeu aos principais sistemas do trem: sistema de freio, sistema elétrico, sistema de tração, sistema de ar condicionado. Para cada um dos sistemas foram levantados os dados sobre os custos sobre a substituição e manutenção, com todos os intervalos de tempo entre as inspeções.

O resultado obtido não foi somente o Custo do Ciclo de Vida do Trem, mas também uma avaliação sobre quais são os sistemas críticos em relação ao seu custo e quais são as variáveis que necessitam serem medidas para melhorar esta análise.

## **ABSTRACT**

The present work used the principles of Life Cycle Cost to define the major cost of a train. These costs are of crucial importance for the choice of a project and for the recognition of their critical points.

The analysis encompassed the main systems of a train: braking system, electrical system, traction system, and air conditioning system. Data on costs, substitution and maintenance, were recorded for each system, with all time relapses between inspections.

The result was not only the Life Cycle Cost of the Train, but also an evaluation on which are the critical systems related to the costs and what are the variables that have to be measured to improve the analysis.



## PMR2550 – Projeto de Conclusão de Curso II

### Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

## Índice

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODO DO CUSTO DO CICLO DE VIDA (LIFE CYCLE COST ) .....</b>	<b>4</b>
3.1	DEFINIÇÃO .....	4
3.2	A RELAÇÃO ENTRE CICLO DE VIDA DO PRODUTO E CUSTO TOTAL DO CONSUMIDOR .....	6
3.3	CALCULO DO CUSTO DO CICLO DE VIDA.....	9
3.4	ESTIMATIVAS .....	10
3.4.1	<i>Estimativa através do “Procedimento de engenharia” .....</i>	10
3.4.2	<i>Estimativa por analogia.....</i>	10
3.4.3	<i>Estimativa utilizada no projeto .....</i>	10
<b>4</b>	<b>MANUTENÇÃO .....</b>	<b>12</b>
4.1	MANUTENÇÃO CORRETIVA.....	12
4.2	MANUTENÇÃO PREVENTIVA .....	13
4.3	MANUTENÇÃO PREDITIVA .....	13
4.4	MANUTENÇÃO NOS TRENS.....	14
<b>5</b>	<b>DIVISÃO FUNCIONAL DO TREM .....</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>APLICAÇÃO DO CUSTO DO CICLO DE VIDA A TRENS.....</b>	<b>20</b>
6.1	MÃO DE OBRA.....	20
6.2	O TREM .....	21
6.3	SISTEMA DE FREIO .....	22
6.4	SISTEMA DE TRAÇÃO .....	25
6.5	SISTEMA DE AR CONDICIONADO .....	31
6.6	SISTEMA ELÉTRICO .....	34

**PMR2550 – Projeto de Conclusão de Curso II**

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

<b>6.7</b>	<b>CUSTO DO CICLO DE VIDA DO TREM .....</b>	<b>37</b>
<b>6.8</b>	<b>ANÁLISE DA SENSIBILIDADE DAS VARIÁVEIS.....</b>	<b>38</b>
<i>6.8.1</i>	<i>Vida útil do disco de freio .....</i>	<i>39</i>
<i>6.8.2</i>	<i>Custo de substituição de peças do motor.....</i>	<i>40</i>
<i>6.8.3</i>	<i>Custo de substituição do sistema de abertura e fechamento da porta do trem</i>	<i>41</i>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>43</b>



## PMR2550 – Projeto de Conclusão de Curso II

### Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

#### Índice de Tabelas

Tabela 1 - Custo do Sistema de Freio .....	25
Tabela 2 - Manutenções preventivas em um Motor de trem.....	26
Tabela 3 - Custo do Sistema de Tração.....	31
Tabela 4 - Carga térmica necessária par um ar condicionado em função da área.....	32
Tabela 5 - Custo do Ciclo de Vida do sistema de ar condicionado.....	34
Tabela 6 - Custo do Ciclo de Vida do Sistema Elétrico.....	37
Tabela 7 - Custo do Ciclo de Vida do Trem .....	38

**PMR2550 – Projeto de Conclusão de Curso II**

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

**Índice de Figuras**

Figura 1 - Efeito iceberg no Custo do Ciclo de Vida .....	4
Figura 2 - Ciclo de vida real de um produto .....	7
Figura 3 - Cálculo do Custo do Ciclo de Vida .....	9
Figura 4 - Divisão funcional do trem .....	16
Figura 5 - Vista explodida do trem .....	16
Figura 6 – Fabricação da caixa do trem .....	17
Figura 7 - Painéis internos do trem .....	17
Figura 8 - Sistema de comando (controla os principais sistemas) .....	18
Figura 9 - Fabricação do sistema de tração .....	19
Figura 10 - Trem da CPTM série 3000 .....	21
Figura 11 – Descrição do sistema de freio .....	22
Figura 12 - Sistema de freio .....	22
Figura 13 - Disco de freio .....	23
Figura 14 - Suporte da pastilha de freio .....	24
Figura 15 - Bloco de freio .....	24
Figura 16 – Motor de tração GE-754 .....	26
Figura 17 - Rodas do trem.....	29
Figura 18 - Suspensão ferroviária .....	31
Figura 19 - Ar condicionado .....	32
Figura 20 - Sistema de controle da abertura e fechamento das portas.....	36
Figura 21 - Sistema de abertura e fechamento de portas.....	36
Figura 22 - Custo do Ciclo de Vida X Vida útil do disco de freio.....	39
Figura 23 - Custo do Ciclo de Vida X Custo das peças do motor .....	40
Figura 24 - Custo do Ciclo de Vida X Custo do sistema de abertura e fechamento de porta.....	41

**Análise do Custeio do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

## 1 Introdução

Em economias caracterizadas por forte concorrência, parece não haver dúvidas de que o desenvolvimento e a sobrevivência das empresas estão a depender cada vez mais de estratégias que gerem vantagem competitiva sustentável. Fenômenos como a globalização de mercados, maior participação de recursos intangíveis na formação da riqueza, rápida evolução de tecnologias da informação, busca de crescimento econômico combinado com preservação ambiental e o resgate de valores éticos e morais figuram entre os fatores que mais desafiam a criatividade dos gestores no presente momento. Mais do que nunca, a palavra de ordem tem sido melhorar a eficiência e eliminar tudo o que não contribua para criar valor.

Esta realidade torna-se ainda mais marcante quando analisamos o setor metro-ferroviário, o qual é marcado pela presença de grandes empresas multinacionais que disputam importantes contratos. Aliados a isso, estão sendo exigidas soluções para os problemas das grandes cidades, como a poluição, os congestionamentos urbanos, estradas e ruas em péssimas condições. Este desenvolvimento se reflete nos avanços tecnológicos relacionados a este setor.

Depois de viver as últimas décadas praticamente esquecido, o setor ferroviário brasileiro completa 150 anos. Dados da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) apontam um aumento de 40% da produção ferroviária nos últimos sete anos. De 1996 até 2003, o volume transportado teve um aumento de 128,4 bilhões de toneladas por quilômetro útil (tku) para 179,9 bilhões de tku. Segundo a mesma agência, existe uma expectativa de crescimento no setor de 20% em 2006.

O esquecimento, porém, deixou vestígios: o Brasil ainda possui uma grande quantidade de trens antigos, alguns chegando a mais de 40 anos. Conseqüentemente, as empresas brasileiras estão cada vez mais se deparando com a necessidade de renovação das suas frotas.

Para setores onde os custos são da magnitude do setor ferroviário, a solução para a melhor alternativa para tal renovação não é trivial, exige uma exaustiva análise, com ferramentas que forneçam resultados confiáveis.

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

Este projeto aplica o método do Custo do Ciclo de Vida (“Life Cycle Cost”), que avalia o custo do equipamento durante toda a sua vida útil, possibilitando assim comparar as diversas alternativas, levando-se em consideração não apenas o valor de aquisição, mas todos os outros gastos durante a vida útil, que para trens não podem ser desprezados.

## **2 Objetivo**

O objetivo deste projeto é aplicar os princípios do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) para definir os principais custos operacionais associados a sistemas mecânicos ao longo de sua vida útil. Estes custos são de vital importância para a seleção de uma alternativa de projeto.

A análise “LCC” será empregada para a definição de custos operacionais de veículos metro – ferroviários, uma série de trens da CPTM, uma vez que os mesmos são selecionados para ter uma vida operacional de cerca de 30 anos e os custos associados aos mesmos devem ser cuidadosamente analisados, podendo ser, muitas vezes, de maior magnitude que o investimento na compra do veículo.

## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

### 3 Método do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost )

#### 3.1 Definição

Concebido como um método de apuração do custo de um produto até o fim de sua vida útil, o Custo do Ciclo de Vida tem sido considerado por diversos autores como um instrumento de apoio à competitividade dos negócios. Conforme será discutido adiante, o Custo do Ciclo de Vida do produto pode ser decomposto em duas fases: Custo do Ciclo de Vida para o produtor e Custo do Ciclo de Vida para o consumidor.

No Custo do Ciclo de Vida para produtos é considera-se somente o custo dos materiais não consumíveis, portanto, todos os custos com substituição e compras de materiais consumíveis estão inclusos somente no custo Total do produto e não no Custo do Ciclo de Vida.

SAKURAI (1997) afirma que no atual ambiente dos negócios verifica-se uma crescente necessidade de quantificar e analisar o custo total do ciclo de vida dos produtos, envolvendo não apenas os custos de produção e marketing, mas também os custos de propriedade, operação, manutenção e descarte. Esse autor explica que, em muitas circunstâncias, os custos pós-aquisição podem superar em muito os de aquisição. Em função disso, recomenda -se identificar e analisar o custo total do ciclo de vida para orientar decisões sobre produtos, sobretudo, quando as organizações são afetadas por forças concorrentes mais agressivas. Como exemplificado por meio da metáfora do iceberg , na Figura 1.

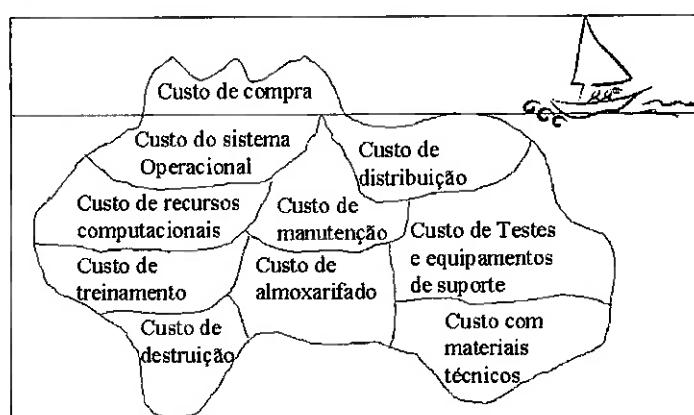


Figura 1 - Efeito iceberg no Custo do Ciclo de Vida

---

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

KAPLAN (1997) consideram que a compreensão do custo total do ciclo de vida de um produto ou serviço é ponto crítico para se compreender e analisar com maior precisão os fatores que impactam os custos. Esses autores acrescentam que o sistema de custo com base no ciclo de vida fornece informações detalhadas para se exercer uma gestão mais eficaz sobre o custo total do produto, desde seu desenvolvimento ao descarte.

NAKAGAWA (2000:35) explica que a redução de custos e a eliminação de todas as formas de desperdícios requerem uma maior atenção para com a gestão do custo total do ciclo de vida do produto, principalmente, em mercados mais competitivos. Em sua avaliação, os sistemas de custo tradicionais não favorecem a obtenção de dados que permitam a identificação e eliminação de atividades que não adicionam valor ao produto. No mesmo trabalho, o Professor Nakagawa salienta que as empresas devem alicerçar suas decisões estratégicas em informações que considerem todo o ciclo de vida dos produtos.

ROCHA (1999:118) propõe que o Sistema de Informações de Gestão Estratégica englobe dados relativos ao custo total dos produtos, pois, assim como a variável utilidade, eles constituem os parâmetros mais adequados para orientar o comprador em suas decisões acerca do tipo de produto a adquirir, de qual fornecedor e a que preço.

Esse autor afirma que o custo a ser mensurado e informado é o sacrifício total para o comprador adquirir, transportar, instalar e utilizar (ou consumir) o bem ou serviço. Ressalta também, que esse é o conceito de custo apropriado para fins de gestão estratégica.

FABRYCKY (1991) explica que o objetivo da análise de custos com base no ciclo de vida do produto é, em última instância, identificar a alternativa de decisão que mais contribua para minimizar o custo total do consumidor. Na mesma obra, esse autor salienta que as decisões de compra que se baseiam exclusivamente no preço do produto, embora mais cômodas, quase sempre acabam provocando resultados indesejáveis do ponto de vista financeiro. Fabrycky adverte ainda que os sistemas contábeis tradicionais nem sempre permitem uma visibilidade satisfatória do custo total, especialmente, no que se refere aos gastos efetuados com a operação e manutenção dos sistemas.

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

MONCZKA e TRECHA (1988) afirmam que decisões de compra ou de manufatura por meio de análises que consideram os custos incorridos no ciclo de vida do produto estão mais propensas a gerar resultados positivos para as organizações. Segundo eles, isso se deve ao fato de que o preço de compra normalmente representa uma pequena parcela do custo do total que será assumido pelo consumidor até que se esgote o potencial de serviços do bem.

Como se observa, uma rápida incursão na literatura especializada nos fornece indicações de que é inteiramente recomendável que os consumidores considerem o custo total do ciclo de vida do produto como o melhor parâmetro para orientar suas decisões de compra. Além disso, os autores concordam que a análise de custos de ordem estratégica deve estar fundamentada no conceito de custo total do consumidor, pelo menos se a empresa estiver preocupada em alcançar vantagem competitiva sustentável.

**3.2 A Relação entre Ciclo de Vida do Produto e Custo Total do Consumidor**

Objetivando facilitar a compreensão da relação existente entre o ciclo de vida do produto e o custo total do consumidor, analisaremos de maneira do significado desses termos.

Quanto ao ciclo de vida do produto, entende -se como tal o lapso de tempo que vai de sua concepção ao descarte pelo último consumidor. Na verdade, essa definição comporta duas orientações. A primeira delas seria uma definição orientada para o produtor e a segunda, para o consumidor. No primeiro caso, quando se fala em ciclo de vida do produto, normalmente refere-se à vida de classes de produtos, formas ou marcas. No segundo enfoque, faz-se referência à vida de uma unidade específica de produto. Essa distinção pode ser melhor compreendida se considerarmos também os conceitos de *vida produtora de receita* e *vida consumível*, como faremos a seguir.

O ciclo de vida do produto sob a ótica do produtor estaria relacionado com o que se chama de *vida produtora de receita*, que é o período de tempo durante o qual um produto gera receita para uma empresa. Sob a perspectiva do consumidor, o referido

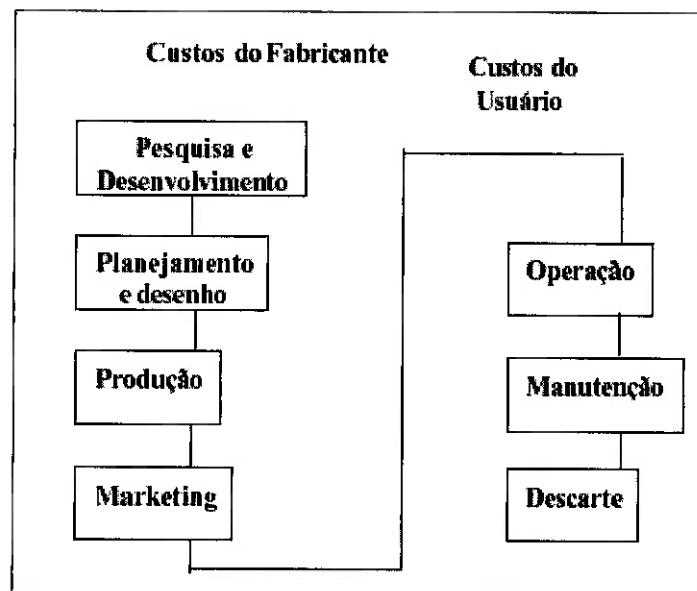
## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

ciclo de vida estaria relacionado com o conceito de vida consumível, que é o período de tempo pelo qual um produto pode satisfazer as necessidades do consumidor.

A princípio, pode-se considerar que a vida produtora de receita é de maior interesse para o produtor, assim como a vida consumível seria de maior interesse para o cliente. No entanto, o que se observa na prática é uma interdependência entre ambas, como tentaremos demonstrar na próxima seção.

Do ponto de vista estratégico, por exemplo, é importante considerar que a *vida produtora de receita* pode ser fortemente influenciada pela *vida consumível*. Por isso, esta pode ser tratada como fonte de vantagem competitiva.

Quanto ao **Custo do Ciclo de Vida do produto**, entende-se como tal todos os custos associados ao o produto durante o seu ciclo de vida. Em geral, considera-se que esses custos podem ser visualizados em duas fases: Custo do Ciclo de Vida para o produtor e Custo do Ciclo de Vida para o consumidor. Sakurai apresenta o do seguinte esquema para facilitar a compreensão da referida divisão:



**Figura 2 - Ciclo de vida real de um produto**

Sob o ponto de vista da produção, entende -se que o Custo do Ciclo de Vida do produto engloba os gastos incorridos desde a sua idealização, passando pelo projeto,

## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

desenvolvimento, protótipo, produção, lançamento, distribuição, atendimento ao cliente, garantia, propaganda, retirada do mercado, estendendo-se à fabricação de peças de reposição.

Sob a ótica do consumidor, por sua vez, considera -se que o Custo do Ciclo de Vida do produto é constituído do preço de compra e de outros tipos de custo, tais como: transporte, instalação, operação, manutenção, propriedade, serviços de apoio, modificações e descarte.

A partir dessas premissas, é importante observar que as etapas do ciclo de vida da produção e do consumo se compõem de **atividades**. No caso da produção, os custos seriam motivados pelos seguintes tipos de atividade: **pesquisa** (até a concepção do produto), **desenvolvimento** (planejamento, projeto e testes), **produção** (atividades de conversão) e **apoio logístico** (propaganda, distribuição, garantia, serviços ao cliente, assistência técnica ao produto, entre outros).

No que se refere ao *ciclo de vida do consumo*, as atividades podem ser classificadas em quatro estágios bem definidos: **comprar, operar, manter e descartar**. A partir dessas informações, é importante salientar que todas as atividades em conjunto (as do ciclo de vida da produção e do consumo) formam o chamado *custo total do consumidor*, que deve ser utilizado como parâmetro para orientar decisões de natureza estratégica atinentes a produtos e serviços.

Com as noções de ciclo de vida do produto e de custo total do consumidor, é possível que se tenha mais clareza sobre a relação de dependência que existe entre tais elementos e a criação de vantagem competitiva sustentável. Em outras palavras, verifica-se que o custo relevante para decisões estratégicas, referente aos a produtos e serviços, é o custo total do ciclo de vida. Contudo, essa idéia baseia -se na premissa de que, racionalmente, o consumidor tende a escolher produtos e serviços que satisfaçam as suas necessidades ao menor custo possível.

Em síntese, se a satisfação total do cliente é afetada, em conjunto, pelo preço de compra e pelos custos pós -compra, verificamos uma importante razão para que os produtores se interessem pela gestão do custo total do consumidor e não apenas pelo custo de produção e de comercialização. Isso também proporciona concluir que de fato

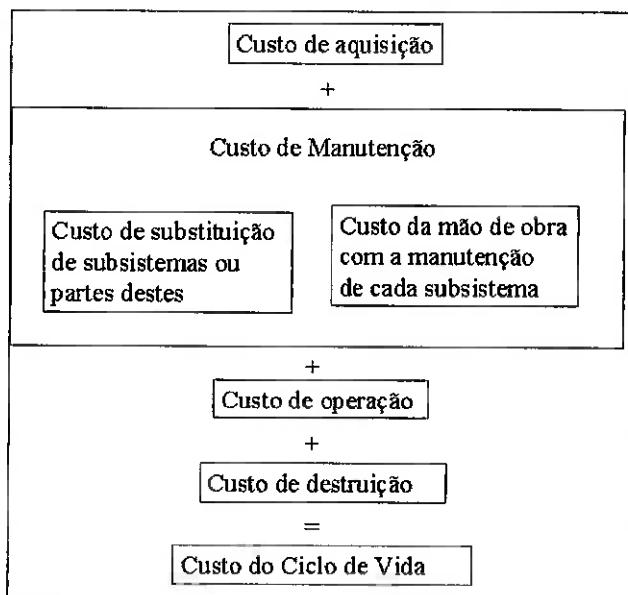
## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

existe relação entre vantagem competitiva sustentável e o Custo do Ciclo de Vida do produto.

### 3.3 Calculo do Custo do Ciclo de Vida

A Figura 2 mostra o Ciclo de Vida tanto visto pelo fabricante como pelo consumidor, neste projeto será analisado somente o custo visto pelo cliente, portanto o Custo do Ciclo de Vida para consumidores pode ser obtido seguindo o esquema apresentado na Figura 3. Este esquema apresenta as seguintes etapas:

- Custo de aquisição: Custo com a compra, transporte e instalação do equipamento.
- Custo de Manutenção: Normalmente, para o cálculo deste custo é necessário subdividir o equipamento em alguns grupos para se realizar a análise.
- Custo de Operação: Custo relacionado com a operação do equipamento, como mão de obra, supervisão.
- Custo de destruição: Custos relacionados com a destruição, como custo de desmontagem, transporte.



**Figura 3 - Cálculo do Custo do Ciclo de Vida**

---

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

Um outro ponto importante no cálculo do Custo do Ciclo de Vida é a variação do dinheiro no tempo, pois, quanto mais longa for a vida útil do equipamento menos sentido farão os valores atuais.

Para a obtenção de valores que levem em consideração o tempo existem várias técnicas de economia como o Valor Presente ou Valor Futuro. Estas técnicas porém não serão apresentadas neste projeto devido ao alto grau de complexidade que estas análises exigiriam.

### **3.4 Estimativas**

Devido à falta de dados concretos para a análise do Custo do Ciclo de Vida de trens, neste projeto será utilizada a estimativa como ferramenta para definir o custo. Existem diferentes métodos para se fazer a estimativa, abaixo serão apresentados os métodos utilizados neste trabalho.

#### **3.4.1 Estimativa através do “Procedimento de engenharia”**

Estimativa através de Procedimento de engenharia se caracteriza pela divisão do projeto em pequenas partes. A estimativa de engenharia consiste na análise do Custo do Ciclo de Vida de cada uma das sub partes e por fim somar todos os custos individuais para obter o custo total do ciclo de vida.

#### **3.4.2 Estimativa por analogia**

Quando se conhece o custo de um aparelho similar, a análise por analogia pode ser muito eficiente, porém, ajustes apropriados devem ser feitos para adaptar os dados ao problema em questão.

A estimativa por analogia realiza-se também no micronível, como por exemplo, horas gastas em manutenção de uma peça mecânica similar.

#### **3.4.3 Estimativa utilizada no projeto**

A estimativa adotada no projeto é uma estimativa que se origina da junção das duas estimativas anteriores. Primeiramente, o trem será dividido em 5 partes, já descritas neste trabalho, e se usará o procedimento de engenharia para estimar este custo. Dentro

---

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

de cada nível, será usado o método que melhor convém ao projeto, ou procedimento de engenharia (freio) ou analogia (ar condicionado).

## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

### 4 Manutenção

Uma parte importante do Custo do Ciclo de Vida de qualquer sistema é o custo de manutenção, portanto será apresentado neste capítulo uma definição formal de manutenção.

Podemos entender manutenção como o conjunto de cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações. Esses cuidados envolvem a conservação, a adequação, a restauração, a substituição e a prevenção. De modo geral, a manutenção em uma empresa tem como objetivos:

- Manter os equipamentos em condições de pleno funcionamento para garantir a produção normal e a qualidade dos produtos
- Prevenir prováveis falhas ou quebras dos equipamentos

As atividades da manutenção devem ser dimensionadas para garantir o correto funcionamento dos equipamentos em função do:

- Impacto direto no faturamento
- Impacto direto ou indireto nos custos
- Nível de confiabilidade necessário
- Custo de reposição

A seguir, serão apresentados os três tipos de manutenção.

#### 4.1 Manutenção corretiva

As manutenções corretivas são intervenções realizadas depois que a falha já ocorreu e têm, portanto, caráter emergencial. As manutenções corretivas não são programadas, são executadas sempre que ocorrem paradas inesperadas de máquina por falha, e ocupam, portanto um período de tempo que originalmente estava programado para que a máquina estivesse em operação.



## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

### 4.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva consiste na substituição de peças em períodos regulares. Tem o caráter preventivo de interferir em máquinas e equipamentos antes que ocorra uma falha inesperada.

A manutenção preventiva obedece a um padrão previamente esquematizado, que estabelece paradas periódicas com a finalidade de permitir a troca de peças gastas por novas, assegurando, assim, o funcionamento perfeito da máquina por um período predeterminado.

Os objetivos da manutenção preventiva são:

- Determinar, antecipadamente, a necessidade de serviços de manutenção
- Reduzir o estoque de peças e permitir o planejamento de compras
- Aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos
- Reduzir o trabalho de emergência não planejado
- Impedir o aumento dos danos
- Aumentar a vida útil de equipamento
- Aumentar o grau de confiança, no desempenho de um equipamento ou linha.

### 4.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva é aquela que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação. Trata-se da manutenção que prediz o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado. Pressupõe que existe uma solução ideal, que consiste em intervir na máquina ou equipamento, ou seja, providenciar uma manutenção eficaz que o mantenha com desempenho aceitável. O momento da intervenção é estabelecido mediante o estudo e acompanhamento (monitoramento) cuidadoso dos vários elementos que intervêm no processo de operação, visando detectar a iminência de uma falha. Os elementos são verificados com atenção no decorrer da operação (por exemplo: espessura do material, temperatura de operação, vibração, contaminação do lubrificante, nível de ruído, etc).

## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

A manutenção preditiva pode ser considerada como uma maneira de enfocar a manutenção preventiva, tendo caráter pró-ativo, ou seja, é caracterizada por uma postura ativa dos responsáveis pela manutenção.

Os objetivos da manutenção preditiva são:

- Determinar, antecipadamente, a necessidade de serviços de manutenção numa peça específica ou equipamento.
- Eliminar desmontagens desnecessárias para inspeção.
- Aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos.
- Reduzir o trabalho de emergência não planejado.
- Impedir o aumento dos danos.
- Aproveitar a vida útil total dos componentes e de um equipamento
- Aumentar o grau de confiança, no desempenho de um equipamento
- Determinar previamente as interrupções de manutenção.

Uma das grandes desvantagens da manutenção preditiva é o seu custo de implantação, e a necessidade de informações de um acompanhamento intenso de algumas variáveis. Por estas razões a aplicação da manutenção preditiva a trens é muito difícil, limitando-se a algumas poucas peças, como as rodas, por exemplo.

### 4.4 Manutenção nos trens

As manutenções realizadas em trens são normalmente manutenções preventivas, sendo que estas ocorrem periodicamente e progressivamente, isto é, uma revisão do tipo 1 feita trimestralmente, onde são analisados alguns sistemas, semestralmente é realizada uma revisão do tipo 2 onde são inspecionados mais sistemas que na revisão 1 e com maior rigorosidade, assim por diante.

No caso do sistema de ar condicionado, por exemplo, existem as revisões:

- R1 (mensalmente): onde ocorre a limpeza do filtro.
- R2 (trimestralmente): onde ocorre a regulagem do ar condicionado.
- R3 (semestralmente): onde ocorre a troca do filtro.
- R4 (anualmente): onde ocorre a limpeza de todo o sistema de ar condicionado.

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

As manutenções corretivas no trem, geralmente, são muito prejudiciais ao CPTM, pois, este tipo de manutenção leva interrupção no serviço do trem, sendo que este é obrigado a retornar para a garagem para a reparação. Isto tem como consequência a desestruturação do fornecimento de trens.

Em trens, a manutenção preditiva é realizada somente para as rodas, medido-se diariamente o seu diâmetro e reparando-as sempre que necessário. Para os outros sistemas é inviável a sua aplicação.



## 5 Divisão funcional do trem

Para uma melhor análise do Custo do Ciclo de Vida do trem, este será dividido, conforme mostrado na Figura 4 e , em:

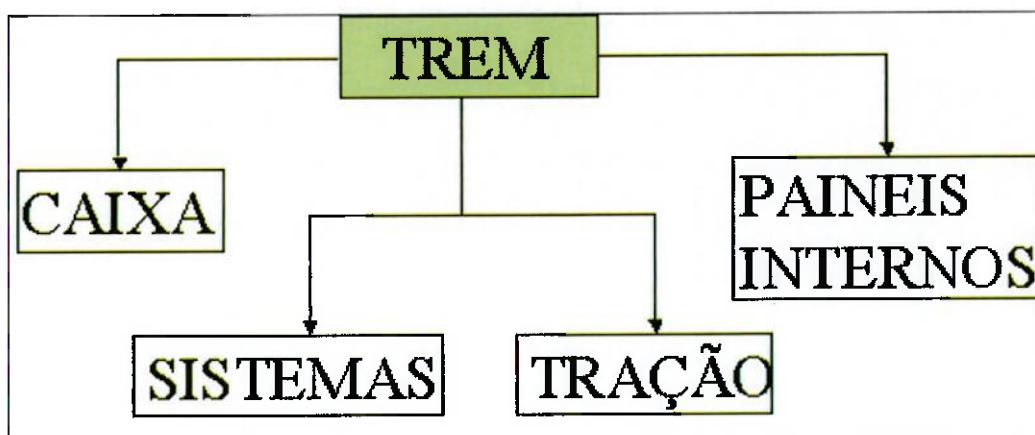


Figura 4 - Divisão funcional do trem

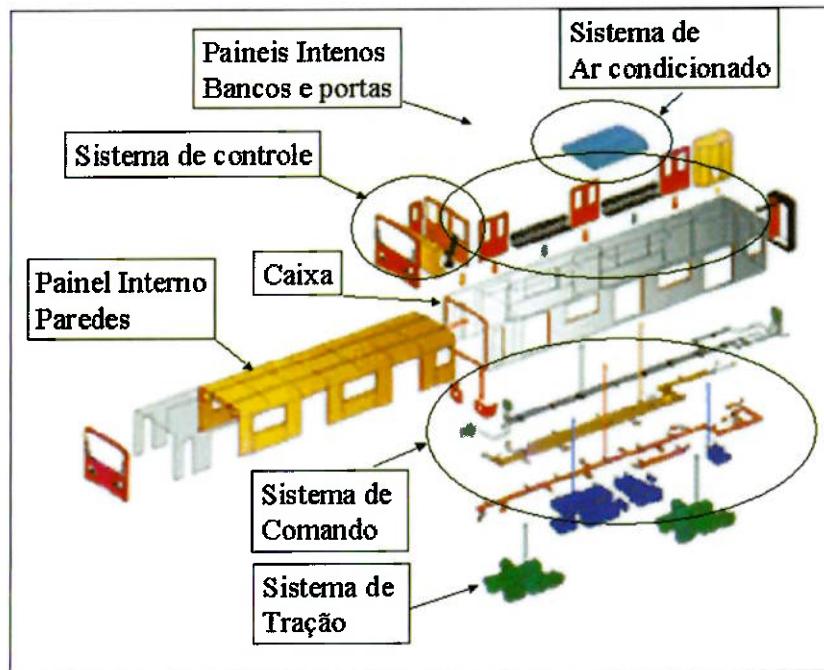


Figura 5 - Vista explodida do trem

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

- Caixa: Toda a estrutura metálica do trem e o assoalho. Responsável pelo interligamento de todas as outras partes do trem. Sua vida útil deve ser maximizada, pois a vida útil do trem depende principalmente dela.



**Figura 6 – Fabricação da caixa do trem**

- Painéis internos: Toda a parte que reveste a caixa. É composta pelos acentos, paredes, portas, teto, etc.



**Figura 7 - Painéis internos do trem**



### Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

- Sistemas: Todos os sistemas funcionais do trem. Estes sistemas são responsáveis pelo funcionamento seguro e confortável do trem. É composto pelos sistemas:
  - Freio: é um sistema vital para o funcionamento do trem, pois lida com a segurança dos passageiros. Este sistema é composto pelo freio fisicamente dito e por todo o seu acionamento.
  - Ar condicionado: não é um sistema necessário para o funcionamento do trem, mas, um sistema para o bem estar dos passageiros. A legislação brasileira exige que os novos trens possuam este sistema.
  - Sistema elétrico: engloba os sistemas de iluminação, comando e controle.
  - Sistema de sinalização: é na verdade um sub-sistema do sistema elétrico. Este sistema é responsável pela condução segura do trem, controlando a sua velocidade, a distância entre trens e parada nas plataformas.



Figura 8 - Sistema de comando (controla os principais sistemas)

- Tração: Sistema que proporciona a locomoção do trem. É composta pelo motor, reduções , suspensão e sistema de energização(podendo ser catenária ou via trilho).



Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários



**Figura 9 - Fabricação do sistema de tração**

---

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

## 6 Aplicação do Custo do Ciclo de Vida a trens

Neste capítulo será analisado o Custo do Ciclo de Vida do trem, para tanto, o trem será dividido em sistemas e estes em sub-sistemas. O custo de cada sub-sistema será calculado e, posteriormente, o custo do sistema será obtido. Conforme dito anteriormente, materiais consumíveis não estarão presentes no Custo do Ciclo de Vida de sub-sistemas.

Tendo em vista a magnitude do trabalho necessário para a análise do Custo do Ciclo de Vida de um trem, este projeto se restringirá à análise do custo das partes de importância vital do trem, estas são:

- Sistema de freio.
- Sistema elétrico.
- Sistema de ar comprimido.
- Sistema de tração.

O ciclo de vida de um trem é definido pela vida útil de sua caixa. Segundo fontes da Alstom Transportes, a vida útil de uma caixa de trem é de 30 anos, portanto toda a análise aqui apresentada será feita por uma vida útil de 30 anos. A consequência desta afirmação é que para todos os materiais que tiverem um ciclo de vida maior ou igual a 30 anos não haverá a necessidade de substituição, sendo que o único custo para estas partes será o custo de manutenção.

Outro dado que convém ser esclarecido é em relação à variação do custo durante estes 30 anos. A economia adota vários tipos de abordagem, neste trabalho, porém, será adotado o Valor Presente como base para os cálculos.

### 6.1 Mão de Obra

Para o cálculo da manutenção de algumas partes, as informações obtidas serão a quantidade de homens horas necessários para a realização do trabalho, portanto se faz necessário a elaboração de um método para converter horas de trabalho em custo.

## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

A metodologia aqui adotada será de se pegar o salário médio de um técnico e dividirlo pelas horas trabalhadas em 1 mês. Este valor será aplicado para todas as horas trabalhadas com manutenção.

A partir deste valor médio será calculado o valor da hora de trabalho de um técnico, dividindo-se o salário mensal pelo número de horas trabalhadas em um mês (aproximadamente 160).

Considerando que o custo médio de um técnico para a empresa (salários + encargos, que é aproximadamente 1,8 vezes o salário) como sendo de R\$2.500,00 temos que o valor da hora de um funcionário é dado por:

$$V_{hora} = \frac{2500}{160} = R\$15,63$$

### 6.2 O trem

Para a análise do Custo do Ciclo de Vida, o primeiro dado necessário é o custo de aquisição deste. Segundo a ANTP este custo é da ordem de U\$8,53 milhões (aproximadamente R\$18,66 milhões). Este custo é para a aquisição de um trem semelhante ao que será aqui analisado.

A partir deste momento, será tomado como base para os cálculos o trem da série 3000 da CPTM. Este é um trem de fabricação em 2000 pela SIEMENS, e que opera atualmente na linha C, que liga Jurubatuba à Osasco.

Este trem está representado na Figura 10, onde:

- MC: Carro Motor com cabine de condução
- MC1: Carro Motor diferenciado com cabine de condução
- R: Carro Reboque
- RI: Carro Reboque diferenciado

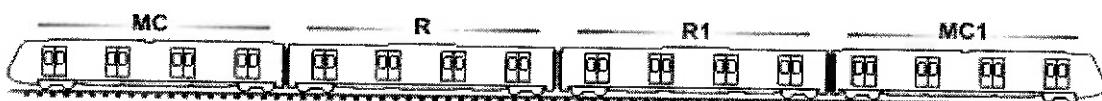


Figura 10 - Trem da CPTM série 3000



### 6.3 Sistema de freio

O sistema de freio é um sistema em que qualquer falha pode causar danos pessoais e/ou matérias importantes, portanto tudo que se relaciona com este sistema, como manutenção e estimativa da vida útil, deve ser feito com extrema cautela.

O sistema de freio analisado, representado na Figura 11 é de fabricação da Knorr-Bremse.

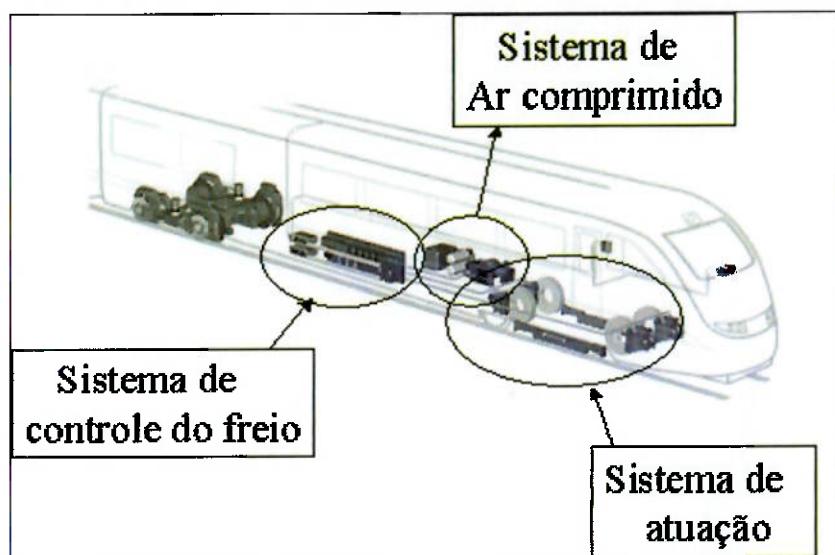


Figura 11 – Descrição do sistema de freio



Figura 12 - Sistema de freio



## Análise do Custeio do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

A análise do custo deste sistema será feita dividindo-o em algumas partes.

Um custo, que envolve todas as partes do sistema de freio, é a manutenção preventiva que ocorre trimestralmente, onde é feita uma inspeção geral do sistema e realiza-se a lubrificação de todas as partes. Esta manutenção consome 5 homens/hora.

Este sistema é dividido em:

- Disco de freio:

No caso do disco de freio, a estimativa do Custo do Ciclo de Vida se baseará no Custo do Ciclo de Vida do Metrô de São Paulo.

O disco de freio de um trem do Metrô, segundo um artigo do próprio Metrô, é duplo e ventilado, tem cerca de 60 centímetros de diâmetro, pesa 85 quilos, no último pregão, o Estado de São Paulo adquiriu-o pelo valor unitário de R\$ 1.440,00. Na Linha 1 – Azul, o tempo de vida útil desta peça é de aproximadamente 4 anos e na Linha 3- Vermelha, 8 anos. Para a nossa avaliação será tomado como vida útil a vida na Linha 3 – Vermelha que possui características parecidas com as dos trens da CPTM. O trabalho de substituição requer, para todo o trem 20 homens/hora.

Em adição com o trabalho realizado trimestralmente em todo o sistema de freio, podemos, para fins de cálculo, dizer que a manutenção preventiva, para o disco de freio, ocorre a cada três anos e exige 80 horas de um funcionário (20 para a substituição do disco + 5x4x3 para a manutenção periódica global do sistema).

Cada vagão possui 8 discos de freio, portanto no momento da substituição dos discos de freio são utilizados 8 x 4 ( Número de vagões).



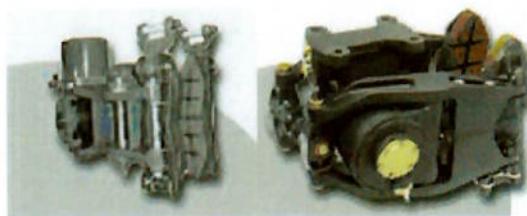
Figura 13 - Disco de freio



## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

- Pinça do Freio:

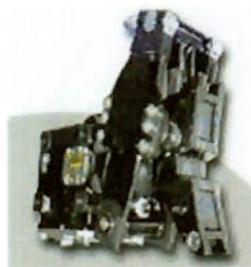
Sistema responsável pelo suporte da pastilha de freio, este sistema tem a sua vida útil superior a 30 anos, portanto não haverá o custo substituição no cálculo do Custo do Ciclo de Vida do sistema de freio.



**Figura 14 - Suporte da pastilha de freio**

- Bloco de freio:

Sistema responsável pela ligação física entre o trem e as partes do sistema de freio, este sistema também tem a sua vida útil superior a 30 anos, portanto não haverá o custo substituição no cálculo do Custo do Ciclo de Vida do sistema de freio.



**Figura 15 - Bloco de freio**

De acordo com a Tabela 1, o Custo do Ciclo de Vida de um sistema de freio do trem é de:

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

**Tabela 1 - Custo do Sistema de Freio**

	Disco de Freio	Pinça do Freio	Bloco do freio
<b>Custo de substituição</b>	R\$1440,00	NA	NA
<b>Quantidade por trem</b>	8x4	NA	NA
<b>Vida útil</b>	8 anos	30 anos	30 anos
<b>Manutenção</b>	R\$ 1.250,00	R\$ 78,13	R\$ 78,13
<b>Periodicidade da manutenção</b>	3 anos	3 meses	3 meses
<b>Custo total</b>	<b>R\$ 185.300,00</b>	<b>R\$ 9.375,00</b>	<b>R\$ 9.375,00</b>

Portanto, concluímos que o valor do Custo do Ciclo de Vida do Sistema de Freio é:

$$C_{Freio} = R\$204.050,00$$

#### 6.4 Sistema de Tração

O sistema de tração do trem é o sistema responsável pela sua locomoção.

Este sistema é composto por:

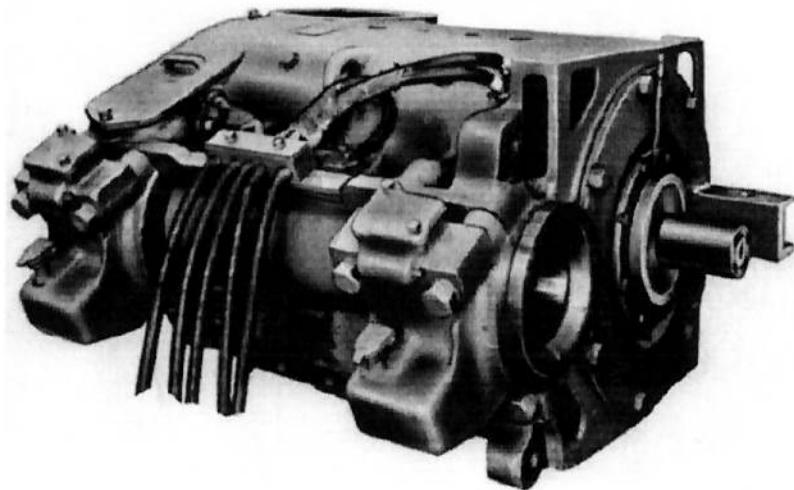
- Motor:

Responsável pela força de locomoção do trem, também, tem a sua vida útil superior a 30 anos, portanto, não haverá o custo substituição no cálculo do Custo do Ciclo de Vida do sistema de tração.

O motor analisado é o motor de tração GE-754, de fabricação GENERAL ELECTRIC S.A., é uma máquina série, corrente contínua, 4 pólos, com pólos de comutação, auto ventilado, com potência unihorária de 460 HP e potência contínua de 384 HP. A CPTM possui as versões A2, CB1 e CB2 que apresentam diferenças construtivas na carcaça. A armadura não apresenta modificações.

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---



**Figura 16 – Motor de tração GE-754**

Na Tabela 2, fornecida pela CPTM, estão descritos os procedimentos de manutenção preventiva e corretiva.

**Tabela 2 - Manutenções preventivas em um Motor de trem**

<b>Elemento</b>	<b>Periodicidade</b>			<b>Atividades de manutenção</b>
	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	
<b>Motores de Tração</b>	X	X	X	Inspecionar com o trem desligado, as condições de manutenção e conservação.
				Medir isolação da armadura e carcaça de acordo com os PMs indicados.
				Assoprar com ar comprimido as partes internas e Limpar as partes acessíveis, tais como: isoladores, bandagens e bandeira utilizando panos limpos e solvente de segurança
<b>Tampa de inspeção</b>	X	X	X	Inspecionar as condições de manutenção, assegurando que não haja deformações e infiltração de água e outros contaminantes.
<b>Isoladores</b>	X	X	X	Inspecionar as condições de manutenção e Limpar com panos limpos e com solvente de segurança.

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

<b>Porta-escovas</b>	X	X	X	Inspecionar as condições de manutenção. Limpar com panos limpos e com solvente de segurança. Inspecionar para avaliar pressão das molas, através da observação do desgaste de cada escova. Substituir os porta-escovas cuja escova apresentar desgaste anormal. Medir a distância entre porta-escovas e comutador de acordo com os PMs indicados.
<b>Escovas do Motor</b>	X	X	X	Inspecionar as condições de manutenção. Substituir quando o desgaste atingir o limite de condenação marcado na escova ou quando houver possibilidade desse limite ser atingido antes da próxima intervenção.
<b>Escovas de Aterramento</b>		X	X	Inspecionar as condições de manutenção. Substituir quando o desgaste atingir o limite de condenação marcado na escova ou quando houver possibilidade desse limite ser atingido antes da próxima intervenção.
<b>Comutador</b>	X	X	X	Inspecionar as condições de manutenção assegurando que a superfície esteja polida, livre de rebarbas, manchas, sulcamientos, mica não saliente e ter uma coloração de marrom a cinza.
		X	X	Medir a ovalização com relógio comparador ou miligraf para a retificação necessária de acordo com o PM indicado.
<b>Pára-faísca</b>	X	X	X	Inspecionar as condições de manutenção. Limpar com panos limpos e com solvente de segurança e Testar o funcionamento do contato móvel, do munhão e do pino de posicionamento.
<b>Bandagem</b>	X	X	X	Inspecionar as condições de manutenção e Limpar com panos limpos e com solvente de segurança.
<b>Conjunto de Ventilação</b>	X	X	X	Inspecionar as condições de manutenção, assegurando que não haja trincas, fraturas, deformações, rasgamento do fole e afrouxamento dos elementos de fixação. Limpar o filtro com sopramento de ar comprimido.
<b>Cabos e Conexões Externas / Internas</b>	X	X	X	Inspecionar as condições de manutenção assegurando que não haja trincas, fraturas, deformações e afrouxamento dos elementos de fixação e Limpar com panos limpos e com solvente de segurança.

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

Onde:

Revisão 1 (R1); Tipo de intervenção de manutenção preventiva prevista para ser realizada em intervalos de 3 meses.

Revisão 2 (R2): Tipo de intervenção de manutenção preventiva prevista para ser realizada em intervalos de 1 ano.

Revisão 3 (R3): Tipo de intervenção de manutenção preventiva prevista para ser realizada em intervalos de 2 anos.

A partir desta tabela e segundo dados da própria CPTM as Revisões levam cerca de 25 homens/hora para serem realizadas. Entretanto não foram encontrados dados sobre a periodicidade nem sobre os custos com a substituição das pequenas peças individualmente, desta forma, não é preciso sua definição. Conseqüentemente, este será também um ponto a ser analisado no Capítulo 6.8. Como ponto de partida será adotado o valor estimado de R\$1.000,00 a cada Revisão R1, R2 e R3.

- Rodas:

Responsáveis pela ligação entre o trem e a via. Constituídas de aço, sofrem desgaste devido ao contato com a via e esforço para a frenagem.

A manutenção preditiva, realizada diariamente, da roda é feita através da medição do seu diâmetro externo e da sua rugosidade superficial – que requer 1 homens/hora para todo o trem. Caso a rugosidade superficial esteja fora dos limites aceitáveis, ou o diâmetro de uma das rodas esteja diferente do diâmetro das outras rodas do conjunto de tração é realizada a usinagem para acertar esta discrepância. Esta usinagem é feita com as rodas montadas no trem, estatisticamente a cada 3 meses, e requer 2 homens/hora por roda.

Segundo informações da AMSTED Equipamentos Ferroviários sua vida útil é de 3 à 5 anos (será adotado o pior caso 3 anos), com um custo unitário de R\$2.500,00. A substituição da roda é um procedimento um pouco



## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

complexo, que utiliza uma pensa hidráulica. Esta operação requer 5 homens/hora por roda.

Para efeito de cálculo, pode-se aproximar o tempo de manutenção preditiva incluindo a sua substituição 1 homens/hora por roda, com uma periodicidade de 3 anos ( $5 \times 32$  para a substituição +  $4 \times 2 \times 3 \times 32$  para a usinagem +  $365 \times 12 \times 1$ ).

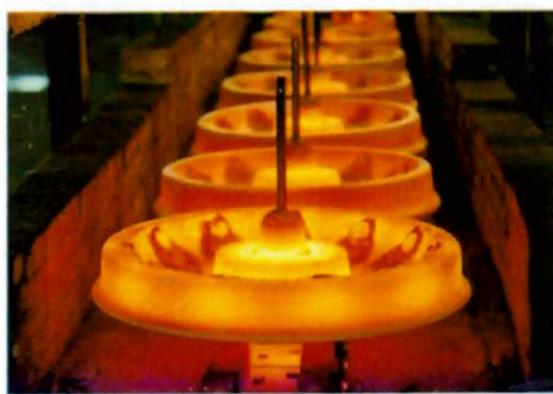


Figura 17 - Rodas do trem

- Suspensão e redução:

A redução do trem é uma redução em duas etapas, seus principais componentes são as engrenagens e os rolamentos. Supondo as falhas ocorrendo apenas nos rolamentos, este custo de substituição entrará junto com o custo de substituição dos rolamentos da suspensão.

O sistema de suspensão é um sistema com muitas pequenas peças, e, portanto é muito complicada a sua divisão para avaliação, portanto neste sistema será analisado somente as molas, amortecedores e rolamentos.

As molas e amortecedores têm sua vida superior a 30 anos, portanto não haverá o custo substituição no cálculo do Custo do Ciclo de Vida do sistema de tração. O único custo relacionado com estas partes é o custo de manutenção preventiva, que é realizada anualmente, onde todo o sistema é



## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

---

lubrificado e onde se verifica a sua integridade física. O tempo médio necessário para este tipo de manutenção é de 2 homens/hora por vagão.

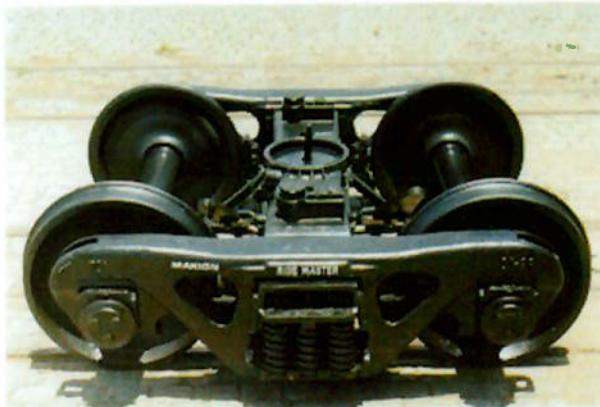
Os rolamentos, segundo artigo da CBTU, são montados em uma “Caixa de Graxa”. Sua manutenção preventiva deve ser realizada a cada 3 anos e requer 4 homens hora por vagão.

Esta manutenção consiste em:

- Examinar e limpar a parte externa da caixa.
- Tirar as arruelas e os parafusos das tampas posteriores puxando em seguida a carcaça da caixa.
- Limpar bem todas as peças desmontadas, sendo que a carcaça deve ser limpa internamente.
- Antes de limpar os rolamentos, deve-se examinar cuidadosamente a graxa, observando o aspecto da mesma. Tendo mudado substancialmente de sua cor, é necessária uma análise mais cuidadosa dos rolamentos.
- Limpar os rolamentos, retirando sua graxa.
- Fazer uma análise dos rolamentos
- Remontar a caixa de graxa.

Será definido como custo de substituição a troca de 4 rolamento a cada inspeção (suspenção e redução). O valor do rolamento para este tipo de aplicação é de R\$1000,00 cada.

Para fins de cálculo será adotado uma única manutenção a cada 3 anos de 10 homens/hora (2x3 molas e amortecedores + 4 rolamentos)

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários****Figura 18 - Suspensão ferroviária**

Portanto o Custo do Ciclo de Vida de um sistema de tração é de:

**Tabela 3 - Custo do Sistema de Tração**

	Motor	Rodas	Suspensão e redução
<b>Custo de substituição</b>	R\$ 1.000,00	R\$ 2.500,00	R\$ 1.000,00
<b>Quantidade por trem</b>	2	32	32
<b>Vida útil</b>	3 meses	3 anos	3 anos
<b>Manutenção</b>	R\$ 390,63	R\$ 82.937,50	R\$ 156,25
<b>Periodicidade da manutenção</b>	3 meses	3 anos	3 anos
<b>Custo total</b>	<b>R\$ 286.875,00</b>	<b>R\$ 1.309.375,00</b>	<b>R\$ 321.562,50</b>

Portanto, concluímos que o valor do Custo do Ciclo de Vida do Sistema de Tração é:

$$C_{\text{Tração}} = R\$ 2.237.812,50$$

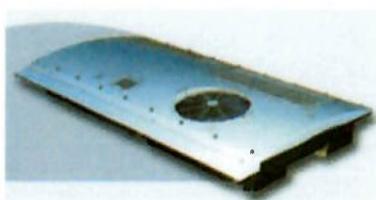
### 6.5 Sistema de ar condicionado

As novas linhas dos trens da CPTM estão adotando o sistema de ar condicionado como um novo sistema para o conforto dos usuários ( inclusive na série 3000, que está



### Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

sendo analisada neste projeto), portanto a análise do Custo do Ciclo de Vida de ar condicionados torna-se vital.



**Figura 19 - Ar condicionado**

O custo do sistema de ar condicionado será calculado através da estimativa por analogia. A escolha do ar condicionado foi feita em função da Tabela 4 - Carga térmica necessária para um ar condicionado em função da área. Esta tabela é válida considerando-se 2 pessoas em andar intermediário, para cada pessoa a mais é acrescentado 600 BTU's. Para o nosso estudo, como as pessoas estão paradas e o trem nem sempre está cheio durante todo o seu período de funcionamento, este valor será reduzido pela metade.

**Tabela 4 - Carga térmica necessária para um ar condicionado em função da área**

<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>BTU's necessários</b>
6	7500
9	7500
12	10000
15	10000
20	12000
25	15000
30	18000
40	21000
50	30000
60	30000
70	30000

## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

---

Segundo a página web da CPTM as dimensões médias do vagão são de 3 x 25 m de área total, consequentemente podemos considerar que a área útil está entre 60 e 70 m<sup>2</sup>.

Segundo a mesma página, a lotação média de cada vagão é de 250 pessoas. Com esses dados é possível fazer o cálculo da carga térmica necessária:

$$C_{\text{arq\,necessária}} = 30000 + 250 \cdot 300 = 105000 \text{ BTU's}$$

Como toda a estimativa por analogia será feita para um ar condicionado de Carga térmica de 21000 BTU's, os valores encontrados devem ser multiplicados por 5.

O consumo de energia de um ar condicionado de 21000 BTU's é de 323,4 KWh/mês, supondo que o consumo deste seja 50% durante o horário de pico, sabendo-se que a tarifa cobrada para consumidores industriais é de 226 R\$/MWh em horários de pico e 73 R\$/MWh fora dele e sabendo-se que o trem possui um ar condicionado por vagão, chegamos a conclusão de que o custo com energia é de:

$$C_{\text{energia}} = \left( \frac{226 \cdot 323,4}{2000} + \frac{73 \cdot 323,4}{2000} \right) \cdot 4 \cdot 5 = R\$966,96$$

O sistema de ar condicionado também tem a sua vida útil superior a 30 anos, portanto não haverá o custo substituição no cálculo do Custo do Ciclo de Vida do sistema de ar condicionado. Porém, a sua manutenção merece uma análise mais detalhada.

As manutenções no ar condicionado são:

- **Regulagem:**  
A Regulagem do ar condicionado deve ser feita trimestralmente. Esta regulagem exige para todo o trem 1 hora de trabalho de uma pessoa.
- **Limpeza dos filtros:**  
Os filtros devem ser limpos mensalmente, conforme descrito em lei. Esta limpeza exige para todo o trem 2 horas de trabalho de uma pessoa.
- **Troca dos filtros:**

## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

---

A troca dos filtros do trem é feita semestralmente. O novo filtro custa R\$100,00, segundo pesquisa de mercado, e a sua troca exige 1 hora de uma pessoa.

- Limpeza geral:

A limpeza geral do ar condicionado é feita anualmente, onde são limpos os filtros e toda a tubulação. Esta limpeza exige para todo o trem 10 horas de trabalho de uma pessoa.

Os dados sobre o tempo de cada manutenção foram obtidos através de entrevista com um funcionário responsável pela manutenção de ar condicionado da assembleia legislativa de São Paulo.

**Tabela 5 - Custo do Ciclo de Vida do sistema de ar condicionado**

	Energia	Regulagem	Limpeza de Filtro	Troca de Filtro	Limpeza Geral
<b>Custo de substituição</b>	NA	NA	NA	R\$100,00	NA
<b>Quantidade por trem</b>	NA	NA	NA	4	NA
<b>Vida útil</b>	NA	NA	NA	6 meses	NA
<b>Manutenção</b>	R\$ 966,96	R\$ 15,63	R\$ 31,25	R\$ 15,63	R\$ 156,25
<b>Periodicidade da manutenção</b>	1 mês	3 meses	1 mês	6 meses	1 ano
<b>Custo total</b>	<b>R\$ 348.105,60</b>	<b>R\$ 1.875,00</b>	<b>R\$ 11.250,00</b>	<b>R\$ 24.937,50</b>	<b>R\$ 4.687,50</b>

Portanto o custo do sistema de ar condicionado para toda a vida útil do trem é de:

$$C_{ArCondicionado} = R\$390.855,60$$

## 6.6 Sistema Elétrico

O sistema elétrico de trens é um sistema extremamente amplo, que é composto pelo:

- Sistema de Sinalização e Controle:

O Sistema de Sinalização e Controle de Trens é responsável por garantir a segurança das operações de movimentação dos trens, permitindo a sua monitoração e controle. Impede que eventuais falhas resultem em situações que possam causar danos físicos ou materiais às pessoas ou patrimônios.

---

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

O responsável pela sinalização de bordo é o ATC de Bordo, que tem a função de receber, decodificar e impor as limitações de velocidade ao trem, em decorrência dos comandos de velocidade gerados pelos equipamentos de estação e via.

Segundo fontes da Alstom, sistema de sinalização é um sistema com tripla redundância, onde o sistema escolhe os dois melhores sinais entre os três enviados. Este sistema foi projetado para que ocorra uma falha crítica, isto é, que 2 dos 3 equipamentos falhem ao mesmo tempo, implicando na parada do trem, é superior a 100.000 anos, portanto, seu custo de substituição não será analisado. Convém aqui citar, que o sistema de sinalização pode ser substituído devido a uma possível política da empresa, porém esta substituição não é levada em conta no ciclo de vida do trem.

- Sistema de abertura e fechamento de portas:

O sistema de fechamento de portas é um sistema que é tratado como uma caixa preta pela CPTM, portanto sua manutenção preventiva consiste apenas na limpeza dos trilhos e inspeção visual da fiação, esta manutenção é realizada trimestralmente (devido a grande quantidade de sujeira que se acumulam sobre o trilho), este trabalho exige a presença de 3 homens/hora. Qualquer problema mais sério que este equipamento sofra é realizada a substituição da peça problemática, isto é, necessidade de manutenção corretiva, o que implica em grande dificuldade no cálculo do Custo do Ciclo de Vida (não se mantém um registro confiável sobre a vida útil das peças do sistema). Neste ponto será muito importante a análise de sensibilidade que será apresentada no Capítulo 6.8. Como ponto de partida será adotado o valor de substituição o valor de R\$5.000,00 a cada 10 anos.

O sistema de controle de abertura e fechamento das portas, representado na é composto por uma unidade central, que processa os dados enviados pelo ATC do trem (presença de plataforma, velocidade zero, ordem para a abertura de portas – pode ser manual ou automática) e envia um sinal para as unidades secundárias que por sua vez ordenam a abertura da porta. Uma vez



### Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

que o tempo de abertura é terminado a unidade central envia uma ordem para que seja emitido sinal sonoro e em seguida que a porta seja fechada. Este sistema é um sistema de dupla redundância (um em cada cabine de controle) onde novamente as falhas críticas – as duas unidades centrais não funcionarem ao mesmo tempo é superior aos 30 anos, portanto não será levado em consideração.

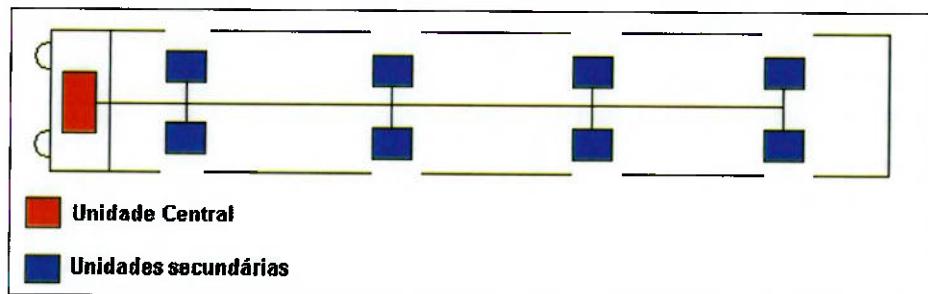


Figura 20 - Sistema de controle da abertura e fechamento das portas



Figura 21 - Sistema de abertura e fechamento de portas

- Sistema de iluminação

Outro sistema que convém ser citado aqui é o sistema de iluminação. Este sistema tem é de vital importância para o bem estar dos passageiros e para a imagem que os usuários terão do trem e consequentemente da empresa que fornece os serviços. Um trem mal iluminado, por exemplo, transmite uma sensação de sujeira, de falta de segurança.

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários**

---

A manutenção preventiva deste sistema deve ser feita diariamente, verificando a integridade e intensidade da iluminação, esta verificação requer 0,5 homens hora, e a substituição de cada lâmpada requer 0,25 homens/hora.

Segundo informações da Revista Espaço para Saúde, a vida útil de uma lâmpada fluorescente é de 3 anos. E supondo que *uma* lâmpada não apresente o funcionamento adequado por mês, que as outras serão substituídas depois do prazo de 3 anos e que o número de lâmpadas por trem seja de 80, podemos aproximar que a quantidade de lâmpadas substituídas em 3 anos é de 116 (80 por troca normal + 1x12x3 por troca fora por falha ).

Com estes dados podemos montar a tabela de custo do sistema elétrico.

**Tabela 6 - Custo do Ciclo de Vida do Sistema Elétrico**

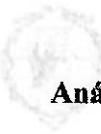
	Sinalização e Controle	Abertura e fechamento de portas	Iluminação
<b>Custo de substituição</b>	NA	5000	R\$ 25,00
<b>Quantidade por trem</b>	NA	16	116
<b>Vida útil</b>	100.000	10	3
<b>Manutenção</b>	NA	R\$46,875	R\$ 5.733,33
<b>Periodicidade da manutenção</b>	NA	3 meses	3 anos
<b>Custo total</b>	<b>R\$0,00</b>	<b>R\$ 245.625,00</b>	<b>R\$ 86.333,33</b>

Portanto o custo do sistema de elétrico para toda a vida útil do trem é de:

$$C_{elétrico} = R\$331.958,33$$

## 6.7 Custo do Ciclo de Vida do trem

Depois de realizada toda a análise do Custo do Ciclo de Vida de cada parte do trem, é necessária a sua junção para a obtenção do Custo do Ciclo de Vida do Trem. Esta junção está representada na Tabela 7.

**Análise do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários****Tabela 7 - Custo do Ciclo de Vida do Trem**

<b>Sistemas</b>	<b>Custo</b>
Trem (aquisição)	R\$ 18.660.000,00
Sistema de Freio	R\$ 204.050,00
Sistema de Tração	R\$ 2.237.812,50
Sistema de ar condicionado	R\$ 390.855,60
Sistema Elétrico	R\$ 331.958,33

Portanto o Custo do Ciclo de Vida do Trem analisado é:

$$C_{CicloDeVidaDoTrem} = R\$21.164.676,43$$

A partir da Tabela 7, podemos observar que os custos com manutenção do trem são de R\$2.504.676,00, isto é, 12% do Custo do Ciclo de Vida. Este valor está abaixo do valor esperado. Algumas razões podem ser levantadas para isso:

- Desconsideração da variação do dinheiro no tempo, levando à uma diminuição significativa do custo.
- Simplificações adotadas durante o projeto, como a adoção de um único custo de manutenção para o sistema de freio, ou a análise somente dos rolamentos no sistema de suspensão.
- Possíveis erros na definição de parâmetros com incerteza.
- Simplificação do trem em apenas 4 sistemas.

Porém apesar de todas estas simplificações e do valor estar abaixo do esperado, pôde-se perceber quais são os sistemas que são mais onerosos para os trem.

## 6.8 Análise da sensibilidade das variáveis

Devido a grande falta de informações no setor metro-ferroviário, alguns dos números apresentados neste trabalho contém um certo grau de incerteza. Para tornar este

## Análise do Custo do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos: aplicação para veículos metro - ferroviários

trabalho mais coeso e evitar equívocos, decidiu-se realizar o teste de sensibilidade para estas variáveis com grau de incerteza relevante.

Para cada variável, será aplicado um intervalo de valores convenientes e verificado a interferência percentual destas variáveis no custo do sistema e, consequentemente, no custo global.

### 6.8.1 Vida útil do disco de freio

Segundo informações do Metrô de São Paulo, a vida útil do disco de freio pode variar entre 4 e 8 anos. Neste projeto foi adotado o valor de 8 anos para a sua vida útil devido as características do ambiente de trabalho do trem da CPTM ser semelhante ao da linha 3 do Metrô (que apresenta 8 anos de vida útil para o disco de freio), porém é interessante verificarmos qual é a influência deste parâmetro no Custo do Ciclo de Vida do trem. A Figura 22 contém um gráfico mostrando a evolução do Custo do Ciclo de Vida. Pode-se perceber que a passagem de 8 anos para 4 anos provoca um aumento de R\$172.800,00 (0,82% do Custo do Ciclo de Vida) durante os 30 anos, isto é, uma média de R\$480,00 reais mensais. Podemos perceber que este custo é alto, isto é, esta é uma variável sensível, o que nos leva à necessidade, de informações mais precisas no momento de uma tomada de decisão na escolha de uma solução.

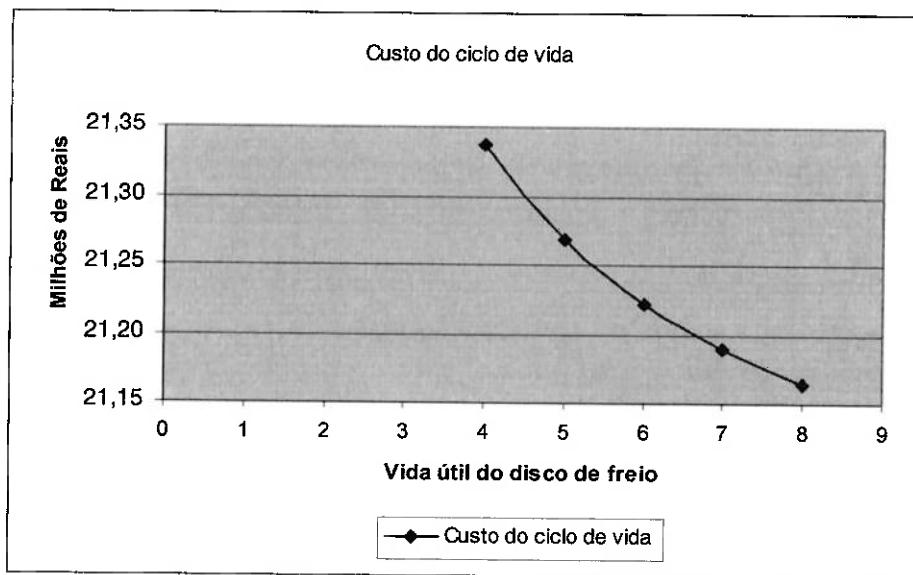
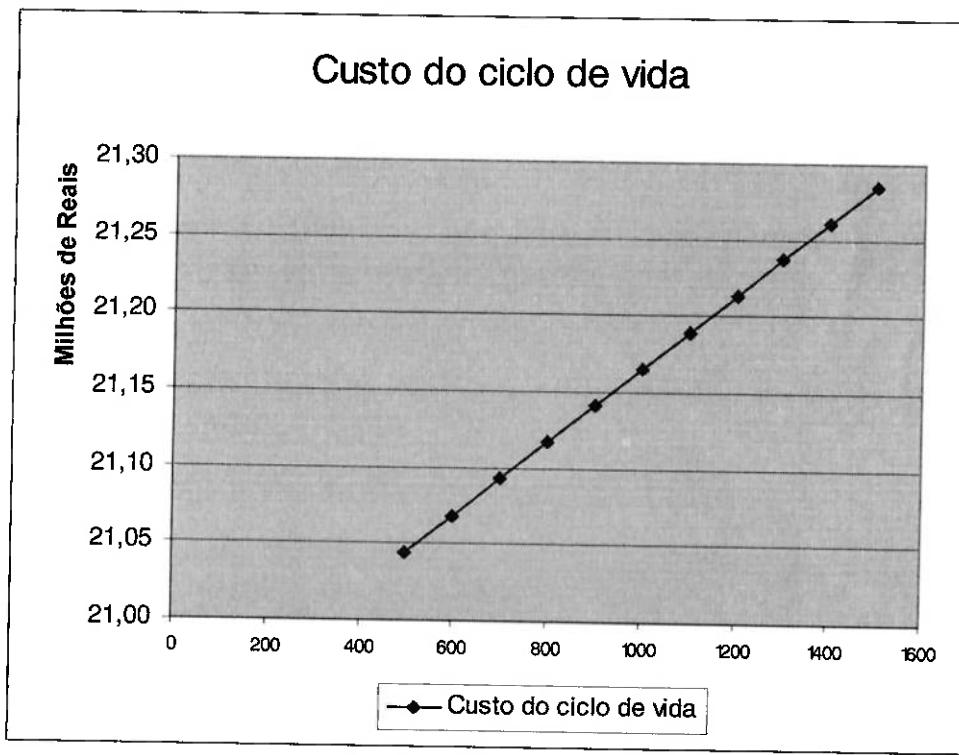


Figura 22 - Custo do Ciclo de Vida X Vida útil do disco de freio

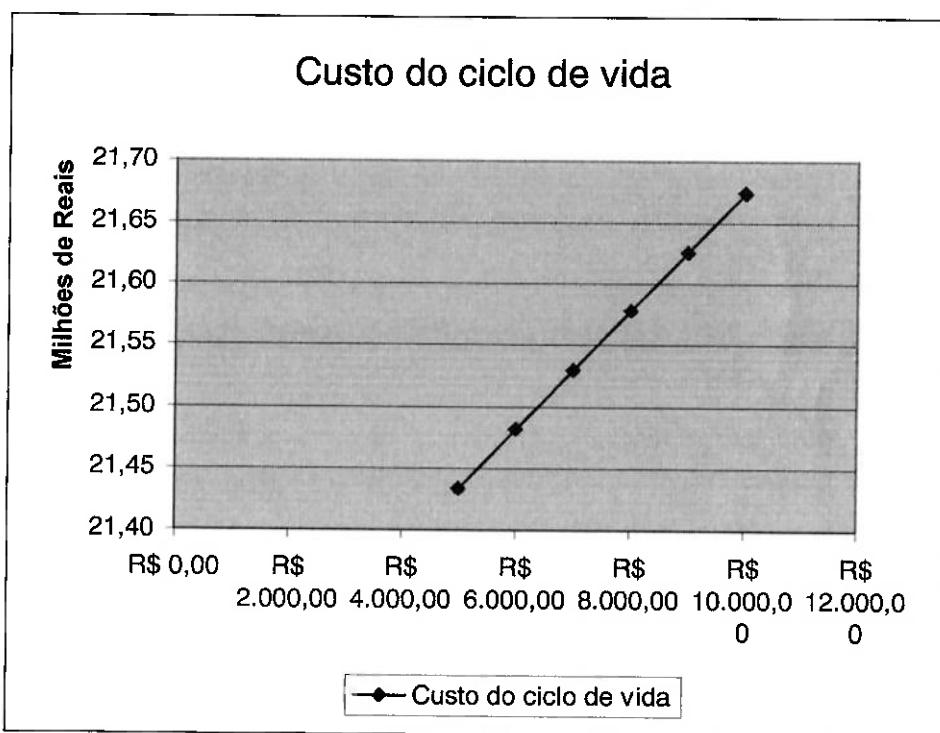
**Análise do Custeio do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários****6.8.2 Custo de substituição de peças do motor**

Como já foi dito anteriormente, não foram encontrados dados sobre a periodicidade nem sobre os custos com a substituição das peças de substituição do motor individualmente. Com base em alguns dados na internet, este custo foi estimado em R\$1000,00 mensais. Para a análise da sua sensibilidade, variou-se seu custo entre R\$500,00 e R\$1.000,00, a Figura 23 apresenta o resultado da simulação. Pode-se perceber que este intervalo de valores provoca uma variação de R\$240.000,00 (1,03% do Custo do Ciclo de Vida) durante os 30 anos, isto é, uma média de R\$666,67 reais mensais. Podemos perceber que este custo é alto, isto é, esta é uma variável sensível, o que nos leva à necessidade, de informações mais precisas no momento de uma tomada de decisão na escolha de uma solução.

**Figura 23 - Custo do Ciclo de Vida X Custo das peças do motor**

**Análise do Custeio do Ciclo de Vida (Lyfe Cycle Cost) de sistemas mecânicos:  
aplicação para veículos metro - ferroviários****6.8.3 Custo de substituição do sistema de abertura e fechamento da porta do trem**

Como já foi dito anteriormente, não se há um registro confiável sobre a vida útil das peças do sistema de abertura e fechamento de portas. Com base em alguns dados na internet, este custo foi estimado em R\$5.000,00 mensais. Para a análise da sua sensibilidade, variou-se seu custo entre R\$5.000,00 e R\$10.000,00, a Figura 24 apresenta o resultado da simulação. Pode-se perceber que este intervalo de valores provoca uma variação de R\$240.000,00 (1,03% do Custo do Ciclo de Vida) durante os 30 anos, isto é, uma média de R\$666,67. Podemos perceber que este custo é alto, isto é, esta é uma variável sensível, o que nos leva à necessidade, de informações mais precisas no momento de uma tomada de decisão na escolha de uma solução.

**Figura 24 - Custo do Ciclo de Vida X Custo do sistema de abertura e fechamento de porta**

## 7 Conclusão e Recomendações

Este projeto aplicou os princípios do Custo do Ciclo de Vida (Life Cycle Cost) para definir os principais custos de um trem. Estes custos são de vital importância para a seleção de uma alternativa de projeto e para o conhecimento de seus pontos mais críticos.

A análise aqui presente se estendeu aos principais sistemas do trem: sistema de freio, sistema elétrico, sistema de tração, sistema de ar condicionado. Para cada um dos sistemas foram levantados os dados sobre os custos sobre a substituição e manutenção, com todos os intervalos de tempo entre as inspeções.

O resultado obtido não foi somente o Custo do Ciclo de Vida do Trem, mas também uma avaliação sobre quais são os sistemas críticos em relação ao seu custo e quais são as variáveis que necessitam serem medidas para melhorar esta análise.

Em conversa com funcionários da CPTM, observou-se que este trabalho vai ao encontro das metas de aumento da disponibilidade dos trens e redução dos custos, pois fornece dados para análise dos sistemas que apresentam maior gasto e que necessitam de revisões em intervalos de tempo menores.

Durante a realização deste projeto, percebeu-se também a dificuldade na obtenção de dados do setor metro-ferroviário.

Com base neste estudo, abre-se a possibilidade de desenvolver um próximo projeto em parceria com a CPTM, para viabilizar uma participação mais em campo, colhendo dados e desenvolvendo métodos para otimizar a coleta segura dos dados com incertezas.

Pode-se também dar continuidade à este projeto, utilizando-se as técnicas de economia para aplicar a variação temporal do dinheiro, utilizando-se, por exemplo, a técnica do Valor Presente ou Valor Futuro. Ou ainda, pode-se optar pelo desenvolvimento de um software que possibilite o cálculo automático do Custo do Ciclo de Vida, a partir do fornecimento de alguns dados.

## 8 Bibliografia

HORNGREN, C.T. **Contabilidade de custos.** Trad. de José Luiz Paravato. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

FABRYCKY, W. J, BLANCHARD. **Life-cycle cost and economic analysis.** Englewood Cliffs, New Jersey: Prentic e Hall, 1991.

MARE, R.F. de la. **Manufacturing Systems Economics – The life- cycle costs and benefits of industrial assets.** Holt, Rinehart and Winston, 1982.

Prof Eng Dantas, E H.M. **Manutenção para Garantia da Qualidade do Ar**

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Estados Unidos da América. Disponível em: <<http://www.aiche.org/cwrt/pdf/lca.pdf>>. Acesso em 15 de out. de 2005.

ALSTOM TRANSPORTE. São Paulo. Fabricantes de trens e sistemas. Disponível em : <<http://www.alstom.com.br>>. Acesso em 26 de out. 2005.

COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS. São Paulo. Disponível em : <<http://www.cptm.sp.gov.br>>. Acesso em 25 de nov. 2005.

KNOR-BREMSE. São Paulo. Disponível em: <<http://www.knorr-bremse.com>>. Acesso em 5 de nov. 2005.

FAZ FÁCIL. São Paulo. Disponível em:  
<<http://www.fazfacil.com.br/ArCondicionado.htm>>. Acesso em 5 de nov. 2005.

ASSOCIAÇÃO ACIONAL DE TRANSPORTES PUBLICOS. São Paulo. Disponível em: <[http://www.antp.org.br/TELAS/Downloads/Info95/info95\\_pg05.pdf](http://www.antp.org.br/TELAS/Downloads/Info95/info95_pg05.pdf)>. Acesso em 5 de out. 2005.

COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENS URBANOS. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cbtu.gov.br>>. Acesso em 5 de nov. 2005.

CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE. Londrina. Disponível em:  
<<http://www.ccs.uel.br/espacoparasaude/v6n1/propostas.pdf>>. Acesso em 30 de nov. 2005.