

CONFIABILIDADE E INOVAÇÃO

OS DESAFIOS DAS NOVAS TECNOLOGIAS UTILIZANDO A ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE



- Desafios e motivação, conceitos, história e evolução, aplicações
- No Metrô de São Paulo
- Qualidade e Confiabilidade na Gerência de Manutenção
- Gestão Tecnológica de Ativos - GTA - uma evolução do GIA
- Gestão de Ativos Baseada em Riscos - Norma PAS 55
- NCT - Núcleo de Confiabilidade e Tecnologia
- Laboratório de testes de confiabilidade

DEMANDA DE PASSAGEIROS E EXPANSÃO DA REDE

Região Metropolitana de São Paulo - RMSP
Demanda de passageiros^{1/2} em 2011

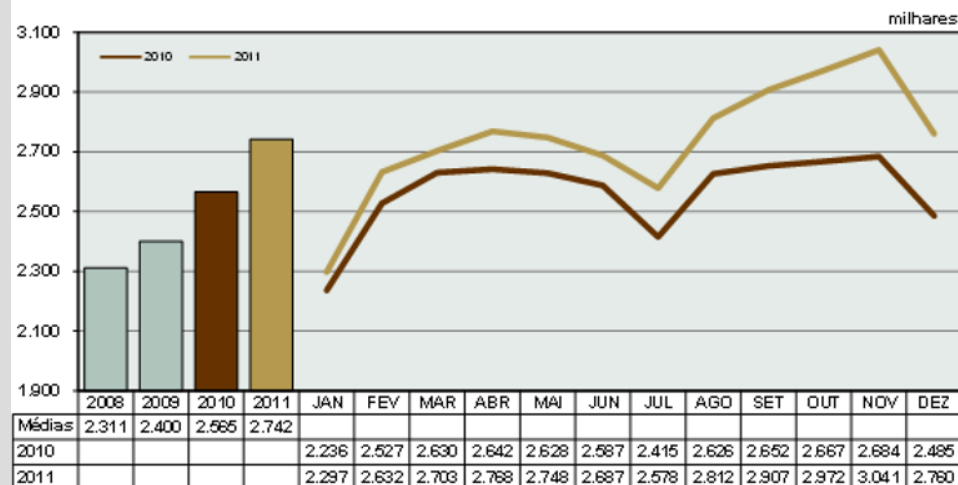
Discriminação	Passageiros (milhões)	Participação (%)
Transporte sobre trilhos	1.839,2	29,3
. Metrô de São Paulo ³	1.087,2	17,3
. Consórcio ViaQuatro	51,7	0,8
. Trem metropolitano - CPTM	700,2	11,2
Transporte sobre pneus	4.438,8	74,0
. Município de São Paulo	2.939,9	46,8
Sub-sistema estrutural (Ônibus comum)	1.709,7	27,2
Sub-sistema local (Bairro a Bairro e Lotação)	1.230,2	19,6
. Ônibus intermunicipal – EMTU	565,0	9,0
. Aeroporto e Corredor (Trólebus e Diesel)	86,4	1,4
. Empresas particulares	478,6	7,6
. Ônibus - Outros Municípios	934,0	14,9
Total transportados	6.278,1	100,0

¹ Não incluídos ônibus escolar e fretamento por falta de dados oficiais. A partir de 2009 foram incluídas as viagens de ônibus realizadas em outros municípios da RMSP, iniciando uma nova série histórica. Os totais podem ser ligeiramente diferentes da soma das partes devido ao arredondamento.

² Os totais podem ser ligeiramente diferentes da soma das partes devido ao arredondamento.

³ Corresponde ao total de entradas na rede + Transferência entre linhas da mesma empresa

Entrada de passageiros na rede – Média dos dias úteis



Características do Metrô de São Paulo

Item	Linha 1 Azul	Linha 2 Verde	Linha 3 Vermelha	Linha 5 Lilás	Rede
Início da operação	1974	1991	1979	2002	-
Extensão (km)	20,2	14,7 ¹	22,0	8,4	65,3
Estações	23	14 ¹	18	6	58 ²
Horário de funcionamento	4h40-00h32	4h40-00h24	4h40-00h35	4h40-00h10	4h40-00h35
Oferta nos picos					
Número de trens	42	18	42	7	109
Intervalo programado entre trens	109	137	101	222	-

¹ Inclui as estações Tamanduateí e Vila Prudente

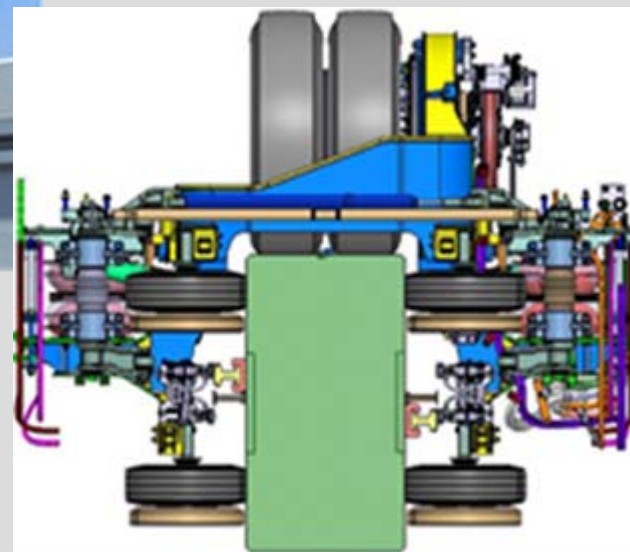
² As estações de transferência Sé, Ana Rosa e Paraíso foram computadas nas linhas que atendem, porém uma só vez na rede

Mais de 4 milhões de passageiros transportados diariamente



- Novas Frotas - Expansão e modernização
- De 6 para 15 frotas incluindo trens novos, trens modernizados e a nova tecnologia do monotrilho com tração sobre pneus e “track switch”.
- Frotas: A-198, B-108, C-Cobrasma, D-Mafersa, E-Alstom Milênio, F-Alstom (L5), G-Alstom 16 trens (L2), H-CAF, I-Alstom Siemens (modernizado), J-Bombardier (modernizado), K-Mttrens (modernizado), L-Alstom Iesa (modernizado), M-Monotrilho Bombardier (L2), N-Monotrilho Scmi (L17), O-15 trens novos para as linhas 1, 2 e 3 (em fase de edital).

Nova tecnologia de monotrilho com tração sobre pneus e “track switch”.
Capacidade de 1000 passageiros por composição e 40 mil pass/h/sentido.



- Novos Sistemas
- Sistema de sinalização e controle baseado em comunicação CBTC - Communication Based Train Control
- Comunicação digital
- Portas de plataforma
- Bloqueios tipo portas de vidro
- Acessibilidade
- Equipamento simulador de condução de trem



- **Definição**

- Confiabilidade é a probabilidade ...
- Probabilidade e Intervalo de Confiança
- Item = bem ou serviço
- Missão = função x tempo
- Padrões de desempenho requeridos
- Condições bem definidas = contexto operacional
- Falha funcional, modos de falha, causa, efeito e consequência

- **Conhecer e prever as falhas**

- Dados históricos de falha - banco de dados e experiência
- Normas e literatura
- Ensaio de vida acelerados HALT, HAST, HASS, HASA



- Departamento de Defesa EUA após a 2ª Guerra Mundial (1945)
- Muitas vidas foram perdidas por falhas nos equipamentos
- Militares americanos pedem os primeiros estudos de Confiabilidade para as Universidades (MIT)
- Nascem as normas MIL-STD e a Confiabilidade nas Forças Armadas dos EUA (NASA)
- Fornecedores do Departamento de Defesa têm de se adequar às normas militares
- A indústria americana incorpora os conceitos para fornecer às Forças Armadas
- Nasce a Confiabilidade nas indústrias dos EUA
- Deming, Juran e Ishikawa levam os conceitos para o Japão do pós-guerra
- Devido à dificuldade nos cálculos e poucos recursos computacionais, no início a metodologia foi desenvolvida usando somente a distribuição exponencial (taxa de falha constante)
- Hoje há fartos recursos computacionais o que propicia a criação de programas extremamente complexos para a análise da Confiabilidade



Previsibilidade

É a chave para o processo de tomada de decisão. A partir do conhecimento do comportamento dos fenômenos ao longo do tempo, sejam físicos, matemáticos ou comportamentais, **é possível fazer previsões** e dessa forma **tomar as melhores decisões**.

CONFIABILIDADE = PREVISIBILIDADE ≠ CREDIBILIDADE

CONFIABILIDADE



PREVISIBILIDADE



**EGÍPCIOS
4000 a.C**

- 4.000 a.C, os egípcios desenvolveram um calendário baseado no movimento dos objetos celestes
- 750 a.C - Os egípcios começam a utilizar o movimento do sol para contar o tempo. Surgem os primeiros relógios de Sol
- 600 a.C - O pesquisador grego Tales de Mileto calcula e consegue **prever** a chegada de um eclipse
- 350 a.C - O matemático grego Eudoxo de Cnidos elabora o primeiro mapa astronômico
- 240 a.C - O grego Eratóstenes faz o primeiro cálculo da circunferência da Terra e conclui que a distância é de 39.690 Km
- 83 a.C a 1727 - Claudio Ptolomeu, Aristóteles, Aristarco de Samos, Nicolau Copérnico, Tycho Brahe, Galileu Galilei, Johannes Kepler, Isaac Newton
- 1929 - Edwin Powell Hubble (1889 - 1953) descobre que as galáxias afastam-se umas das outras. É o nascimento da Teoria do Big Bang, a explosão inicial que deu origem ao Universo
- Albert Einstein (1879 - 1955) - espaço e tempo absolutos?
- 1999 - Imagens do telescópio Hubble comprovam que o Universo está se expandindo há 13 bilhões de anos, desde o momento do Big Bang



CONFIABILIDADE → PREVISIBILIDADE

DECISÃO

ANÁLISE DE RISCOS

DESEMPENHO TÉCNICO

RAMS

CUSTOS

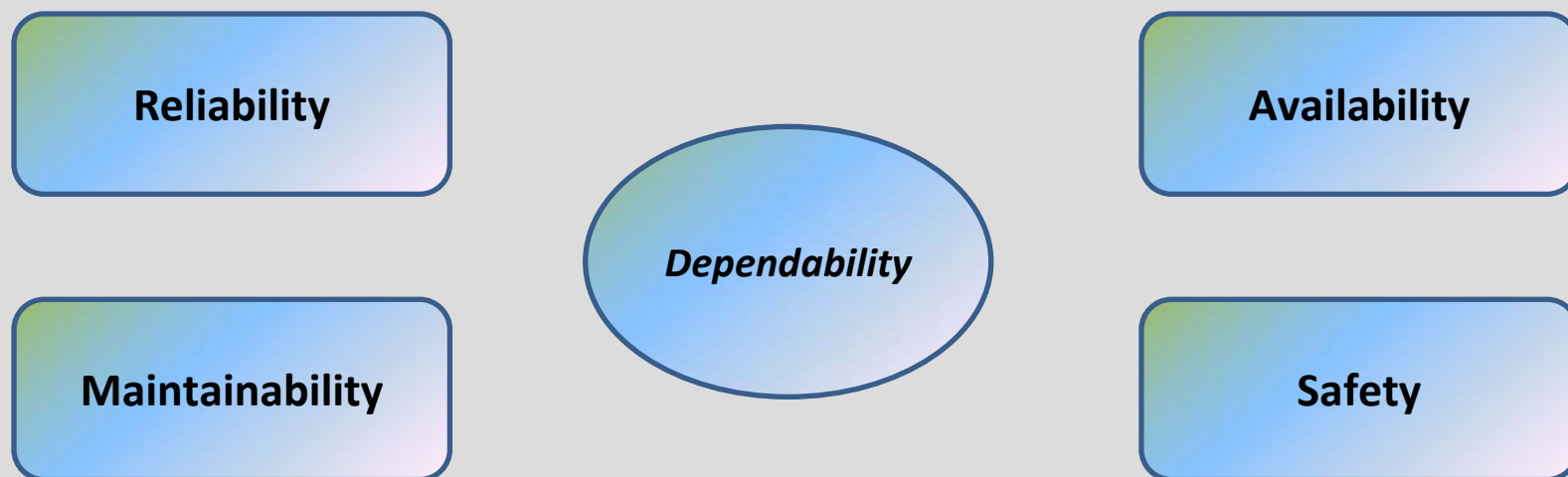
DESEMPENHO ECONÔMICO FINANCEIRO

LCC

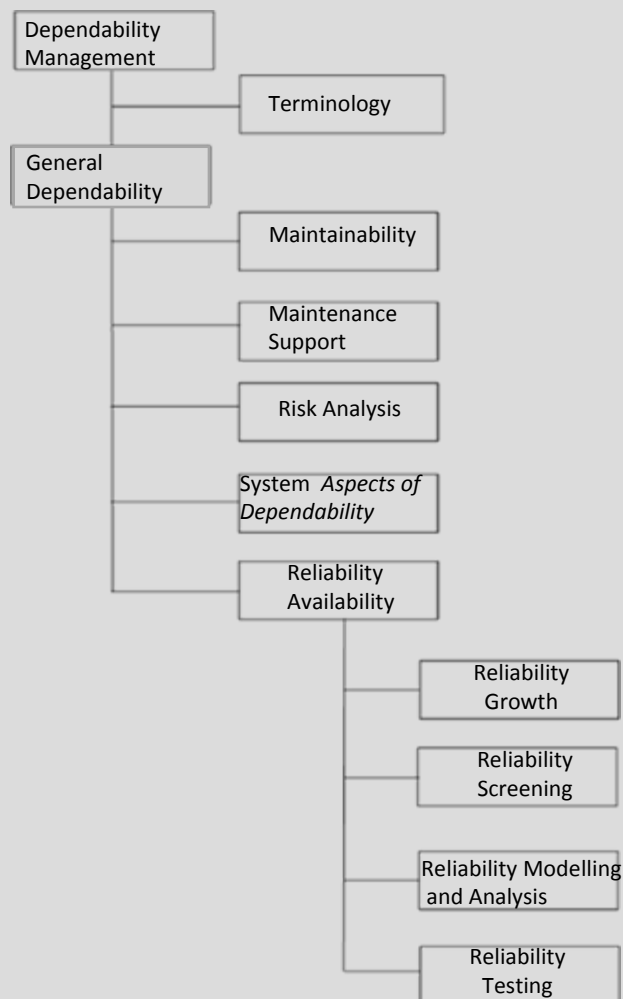


A análise de riscos desempenha o papel de **fiel da balança** para determinar o ponto de equilíbrio ou a melhor relação entre o desempenho técnico e o desempenho econômico financeiro

Today's Understanding for Purists



Structure diagram



The standards IEC TC56 have been organized into three levels: management, process and tools or supporting standards:

IEC 60300, entitled Dependability Management, is the focal point.

IEC 60300-1: Dependability management. Part 1: Dependability programme management. It is possible to use this document separately or in conjunction with ISO 9001.

IEC 60300-2: Dependability management. Part 2: Dependability programme elements and tasks. This publication contains provisions for establishing dependability programmes covering reliability, maintainability and maintenance support.

IEC 60300-3: Dependability management. Part 3: Application guide. Series of standards designed to help users to choose and apply the proper tools for a particular situation.

- Indústria aeronáutica e aeroespacial
- Indústria automobilística
- Indústria do petróleo
- Mineração, ferrovia e porto
- Área médica
- Área de energia e meio ambiente

- **Certificações pelas normas da série ISO**

ISO 9001 Qualidade: desde novembro de 2000

ISO 18001 Segurança e Saúde Ocupacional: desde novembro de 2006

ISO 14001 Ambiental: desde julho de 2008

- **RCM – Reliability Centered Maintenance**

Projetos de RCM qualitativo desenvolvidos no período de 2005 a 2008.

Participação da Operação junto à Manutenção. Realizados 20 trabalhos com ganhos de desempenho – MTBF e economia de Hxh de 32,5% em manutenção de subestações elétricas

- **Recursos e dificuldades na aplicação do RCM**

Dados históricos de falha - banco de dados do SIGMA

Experiência dos especialistas envolvidos

Poucos recursos computacionais

Dificuldade na determinação do intervalo das tarefas de manutenção

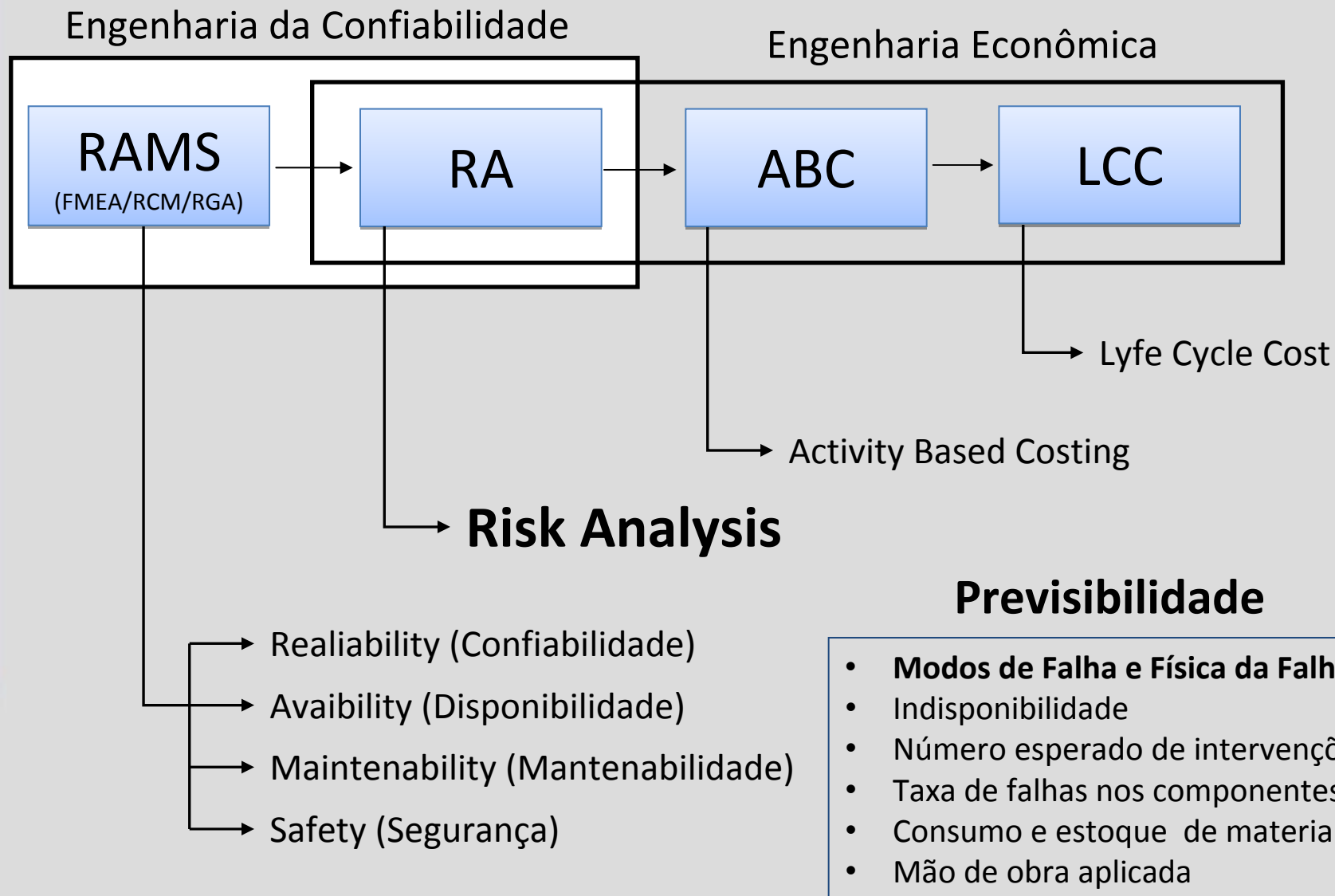


O Metrô de São Paulo incorporou em suas especificações técnicas, utilizadas nos processos de licitação para modernização, ampliação e construção de novas linhas, os requisitos de confiabilidade conforme normas CENELEC EM 50126 ou IEC 62278 – Railway Applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS).

Projeto GIA - Gestão Integrada de Ativos – set/2008

A estratégia de implantação adotada para a aplicação da metodologia consistiu em sete fases, com tempos adequados ao grau de complexidade e profundidade das ferramentas aplicadas.

Prazo: 28 meses, incluindo treinamento e aplicação.



- Total de ativos identificados: 169
- Projetos Priorizados: 56
- Palestras para a apresentação do projeto: 520 empregados
- Equipe de suporte e facilitadores: 20 empregados
- Treinamento em FMEA e FTA: 280 engenheiros e técnicos

Concluídos 33 projetos na fase 1 e os demais 23 estão em fase de conclusão.

Foram melhor caracterizados os modos de falha e revisados os planos de manutenção de forma a otimizar os recursos empregados obtendo assim economia aliada a melhorias de confiabilidade, segurança e desempenho destes ativos.

Como conhecer e prever as falhas dos ativos com novas tecnologias?

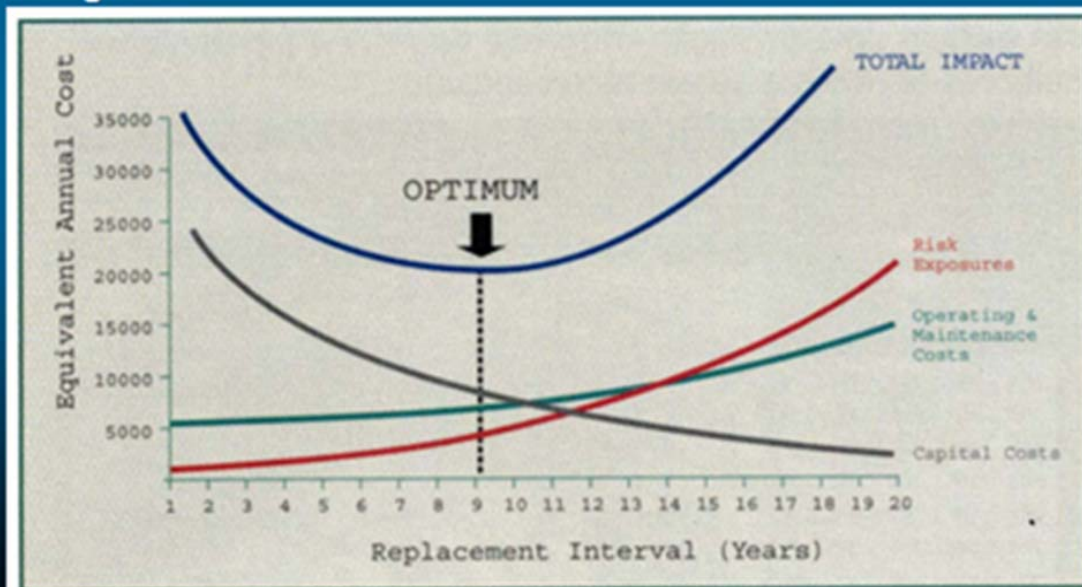
Qual o impacto operacional das falhas?



Como quantificar? Custos x Riscos x Desempenho

Life Cycle Costing: Avaliação e Otimização de Custos/Riscos/Desempenho

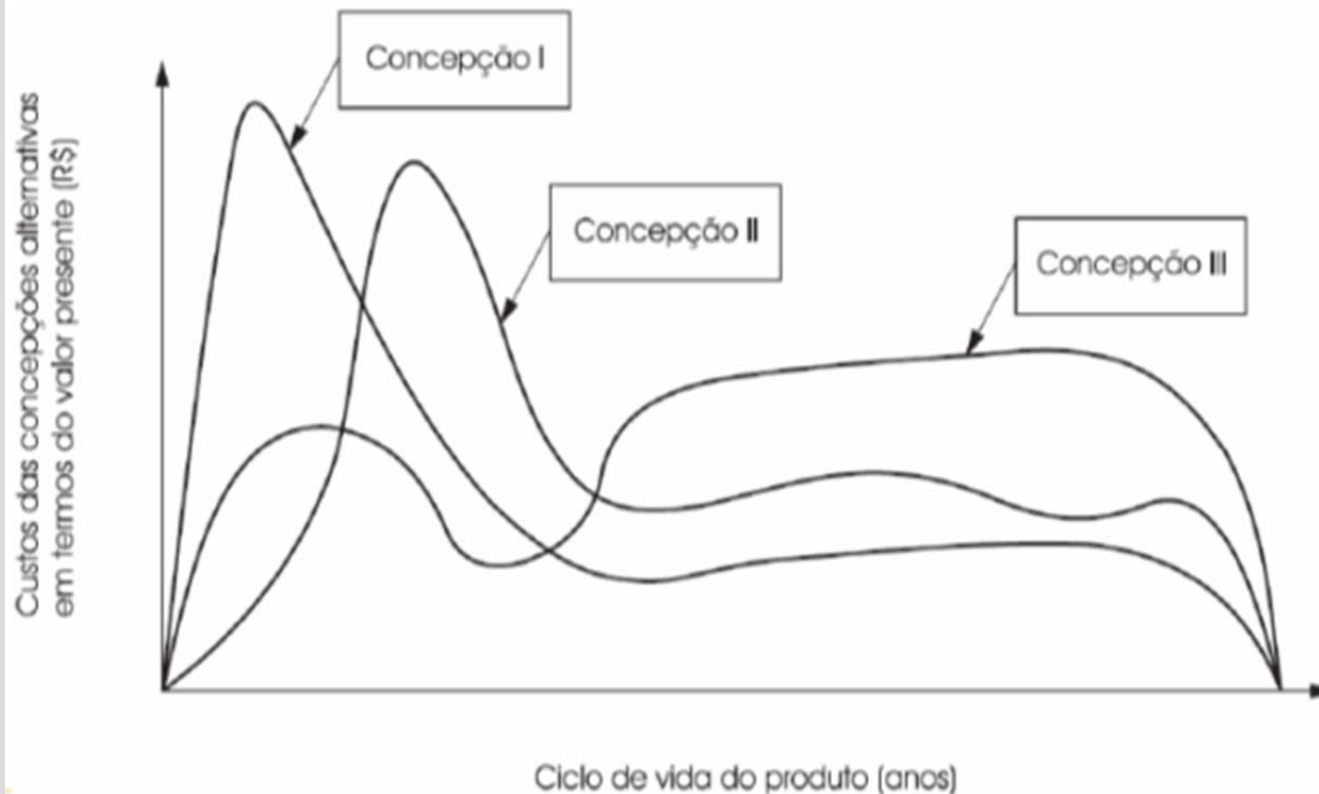
- /// Como escolher entre as diferentes opções de investimentos em novos ativos ?
- /// Como avaliar o momento ótimo de substituir um ativo em operação por um novo ?
- /// Quando trocar um elemento usado de equipamento existente ?
- /// Como decidir, e de que maneira, se a vida útil de um equipamento deve ou pode ser prolongada ?



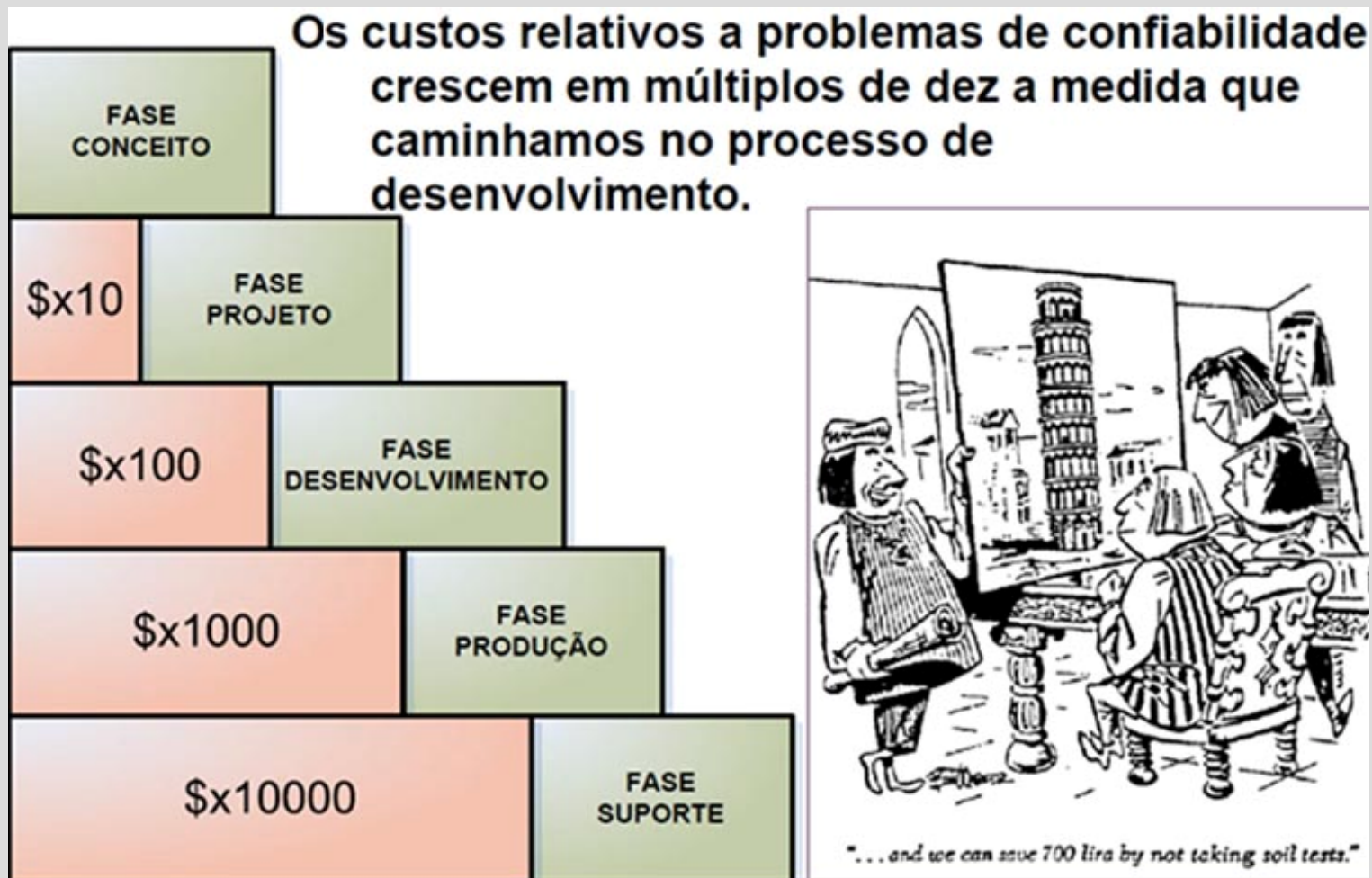
Como prever o custo na vida do ativo?

Seleção da concepção - Viabilidade econômica

Perfis de custo



Quanto custa a desconfiabilidade?

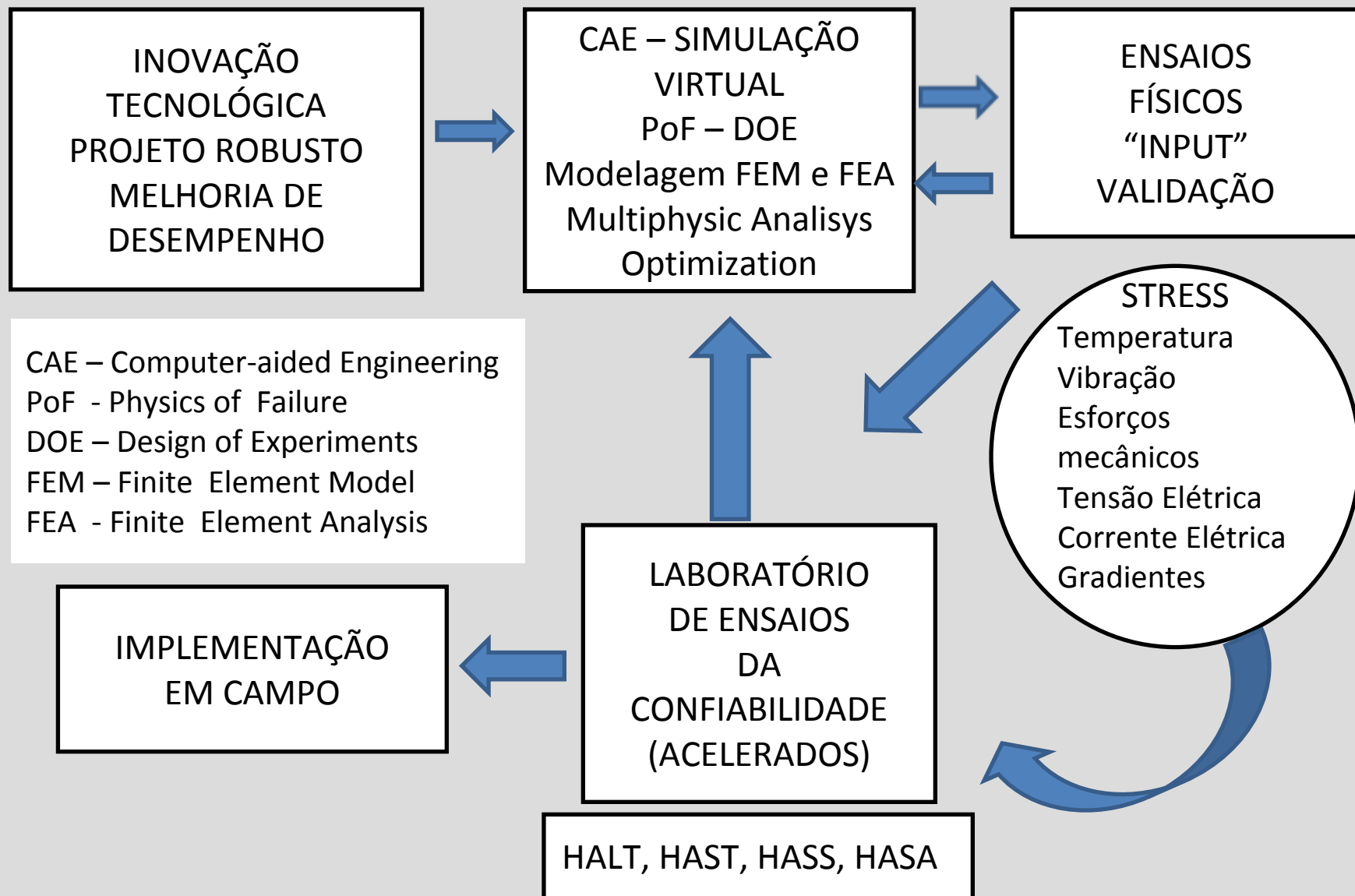


GTA - Gestão Tecnológica de Ativos

Uma evolução do GIA

A metodologia GTA para aplicação no Metrô de São Paulo foi desenvolvida especialmente para a Gestão de Ativos com ciclo de vida longa, com alto grau de tecnologia incorporada e submetidos a condições extremas de solicitação.

Nesses casos, à semelhança do que ocorre com as inovações na área aeroespacial (NASA), geralmente não estão disponíveis os dados históricos do comportamento das falhas e muitas vezes é inviável a reprodução das reais condições operacionais.



Ensaaios HALT, HAST, HASS e HASA envolvem stress por temperatura (variações de -100°C a $+200^{\circ}\text{C}$ com velocidade de 30°C a 70°C por minuto) e Vibração Randômica (seis graus de liberdade com choque repetitivo de até 100 Grms).

HALT = Highly Accelerated Life Test

HAST= Highly Accelerated Stress Test (+ humidade e pressão)

HASS = Highly Accelerated Stress Screen

HASA = Highly Accelerated Stress Auditing

Máquina de previsão do futuro – Time compression

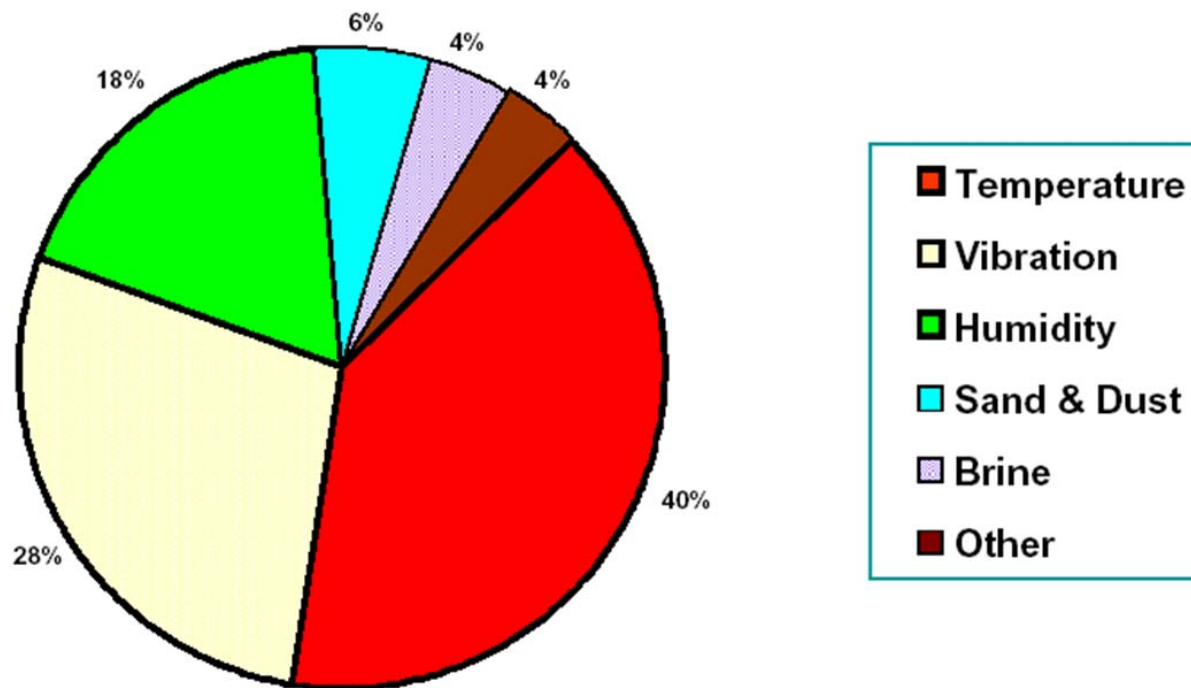
Rápida descoberta das fraquezas e deficiências no projeto

Um único ensaio de HALT identifica no mínimo de 5 a 6 modos de falha do produto



Failure Relationship Between Environmental Factors and Failure at Hughes Aircraft

Source: ESPEC Technology Report, 1996



CASES

METRÔ DE SÃO PAULO

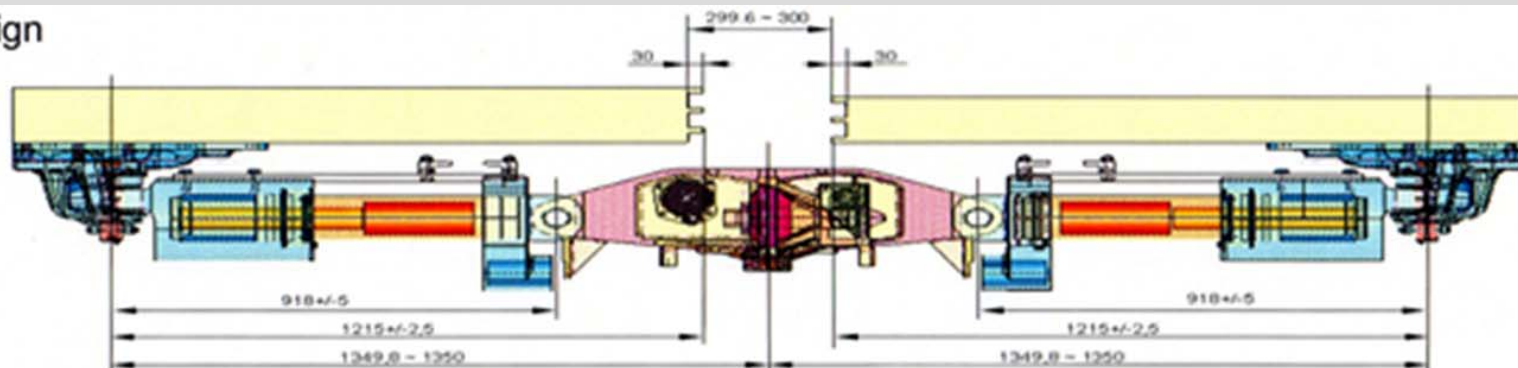


Modernização das caixas – salão de passageiros dos metrocarros:
modernização com instalação de ar condicionado e novos sistemas embarcados.

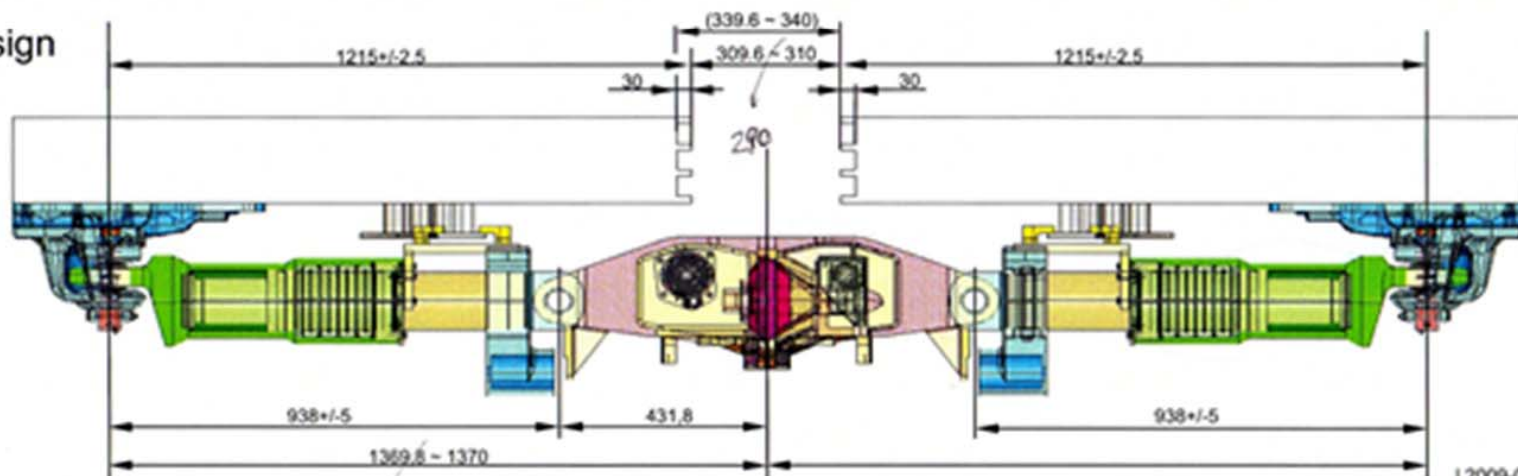
Modelagem FEM, levantamentos das solicitações e condições de contorno, simulação virtual, ensaio físico (instrumentação e carregamento), validação do modelo e análise FEA para validação do projeto.



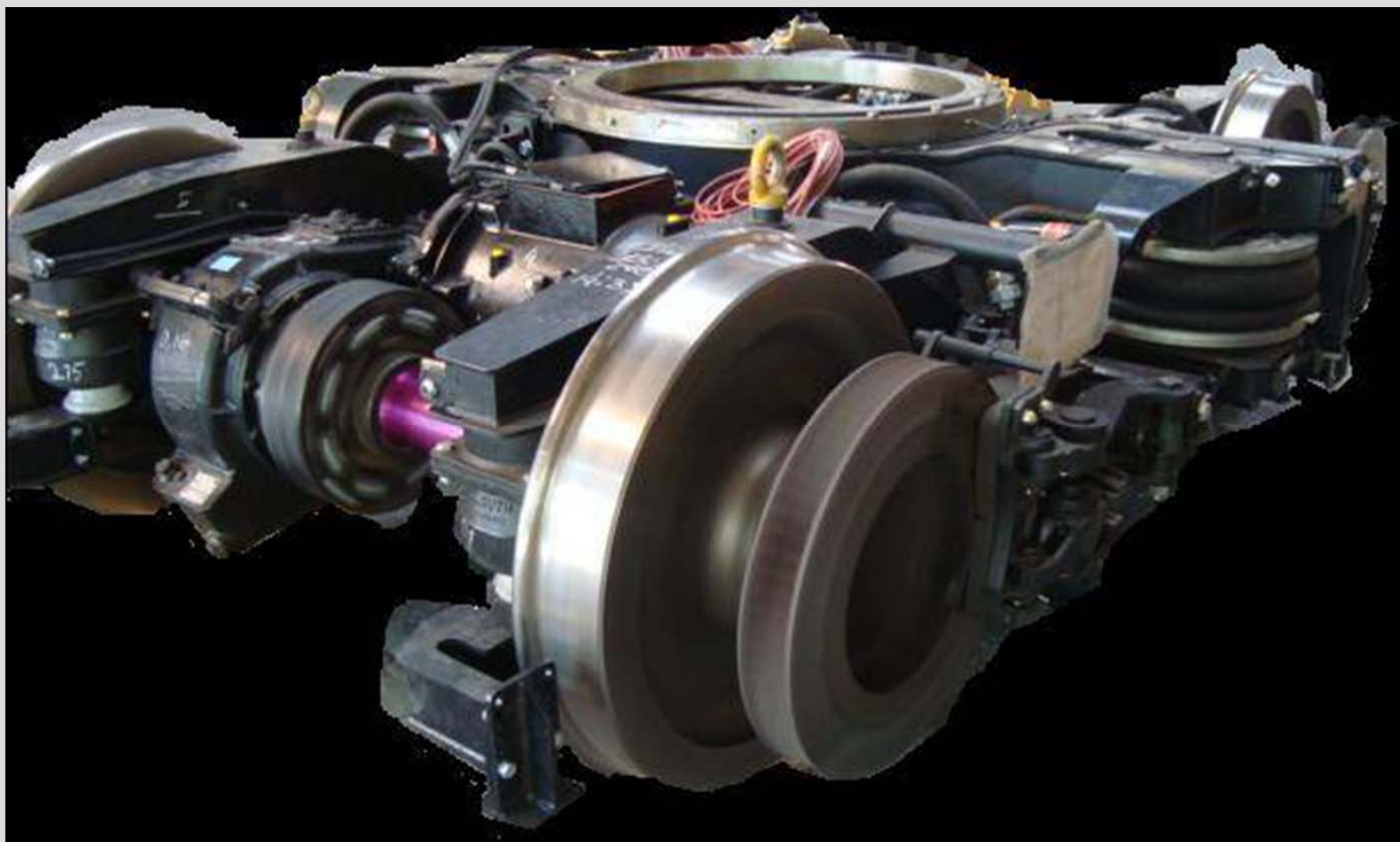
old design



new design



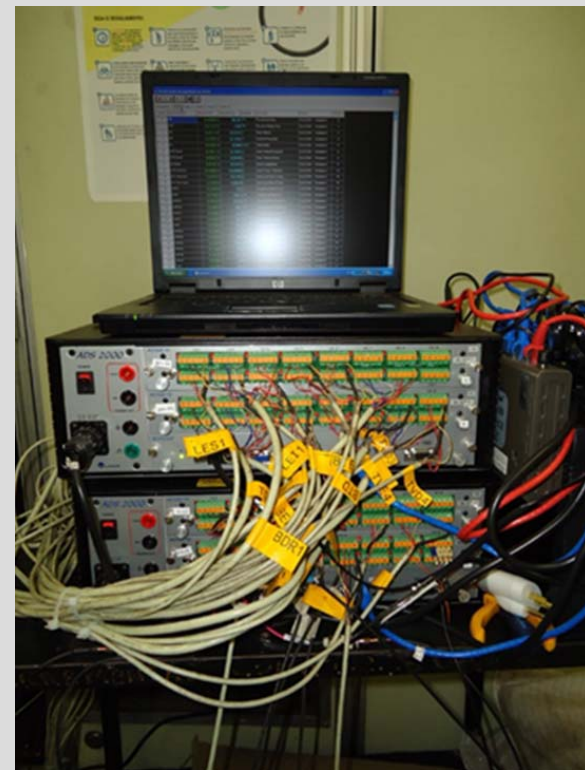
12009-04



Trem 302 da frota Cobrasma da Linha 3 - Vermelha

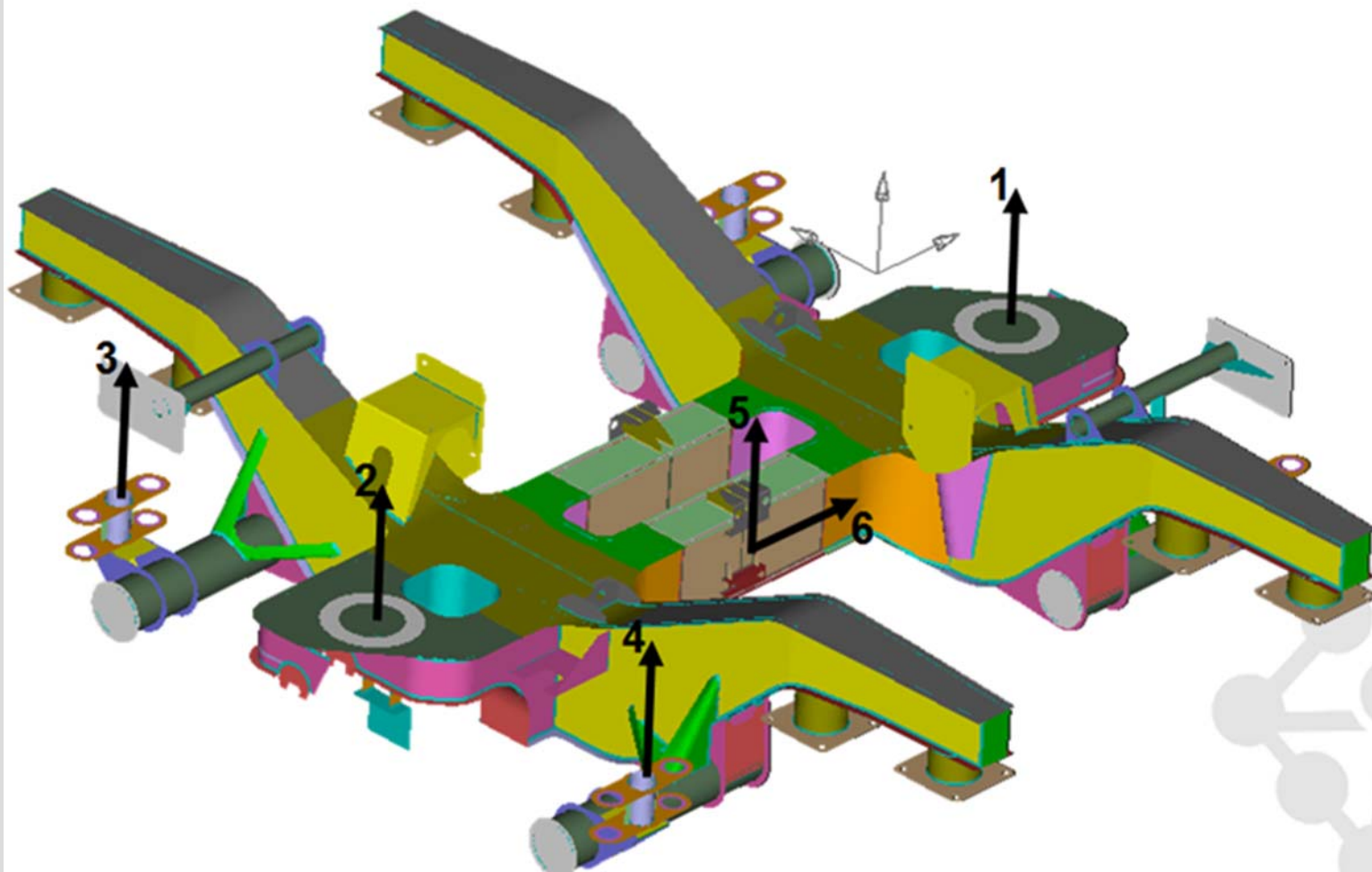


- Instrumentos e Equipamentos Aquisitor de dados ADS2002 da Lynx e placas condicionadoras de sinais com 16 canais cada, num total de 64 canais.
- Nobreak de onda senoidal pura da Enermax modelo MP11 de 1500 Watts HP NX 6310
- Acelerômetros piezoelétricos
- Condicionador de sinais Lexus
- Acelerômetros bidirecionais da Lynx
- Gages Kyowa Uniaxiais: KFG-5-120-C1-11 e Rosetas retangulares: KFG-5-120-D17-11 de 120 Ohms e Gage Factor de $2,10 \pm 1,0\%$

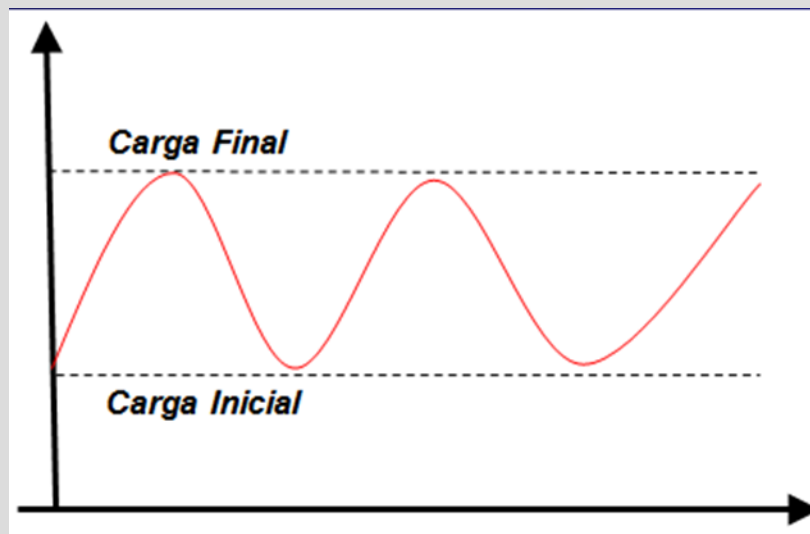




POSIÇÃO DOS ATUADORES



ESFORÇOS PARA ENSAIO DINÂMICO



Carregamento dinâmico senoidal
em 2Hz por 3.000.000 de ciclos

ATUADOR	CARGA INICIAL [kgf]	CARGA FINAL [kgf]
1	- 12.270,50	- 18.405,80
2	-12.270,50	-18.405,80
3	-345,00	+ 1.715,00
4	- 345,00	- 2.405,00
5	- 471,00	- 1.506,75
6	0,00	+ 706,50

MOTIVAÇÃO

Preocupação com a qualidade da energia em aplicações de eletrônica de potência com ASD - Adjustable Speed Drive (mitigação de harmônicos em sistemas de 6 - 18 - 24 pulsos)

IEEE 519-1992 – IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electrical power systems – THD - Total Harmonic Distortion

STATUS ATUAL

- Criado o NCT - Núcleo de Confiabilidade e Tecnologia ligado ao Departamento Técnico de Manutenção com o objetivo de desenvolver as metodologias de confiabilidade, dar suporte técnico para as análises de RAMS, elaboração dos Planos de Manutenção e implantação da Gestão de Ativos através do projeto GTA
- Concluído o desenvolvimento de metodologia GTA como uma evolução do projeto GIA pelo NCT
- Adquiridas licenças dos softwares de confiabilidade para dar suporte aos estudos: Weibull ++7, RCM ++5, RGA e BlockSim

PRÓXIMOS PASSOS

- Especificação para avaliação de dano acumulado por fadiga - durabilidade nas estruturas dos truques das frotas modernizadas
- Estudo e diagnóstico da Qualidade da Energia Elétrica
- Inclusão de Ensaio de Confiabilidade como HALT nas especificações para fornecimento de novos ativos
- Implantação do Laboratório de Ensaio de Confiabilidade

As experiências e os resultados obtidos na Gerência de Manutenção do Metrô de São Paulo ao longo dos últimos anos comprovam a importância e a eficácia da aplicação da engenharia da confiabilidade na Gestão de Ativos.

A modernização dos sistemas, com a aplicação de tecnologias de ponta em substituição aos sistemas com tecnologia consagrada e dominada pelas equipes técnicas, impôs novos e grandes desafios ao corpo técnico.

A metodologia GTA - Gestão Tecnológica de Ativos suportada pela Engenharia da Confiabilidade associada às mais modernas tecnologias de engenharia, com recursos de CAE para realização de modelagens e simulações e apoiada por avançadas técnicas de ensaios (HALT, HASS, HASA, HAST) é a solução capaz de fazer frente aos desafios presentes e aos futuros.

Marcelo Turrini
mturrini@metrosp.com.br

Conrado Grava de Souza
cgsouza@metrosp.com.br

