



Inovações tecnológicas e suas aplicações ferroviárias

Do vapor às inovações exponenciais: dos trilhos físicos aos gêmeos digitais

Alexandre Vacchiano de Almeida
14/Maio/2025



1

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida



**Alexandre
Vacchiano
de Almeida**

- ✓ Engenheiro Eletricista
- ✓ Pós Graduação em Analítica de Dados e inteligência na Web (Big Data Estratégico)
- ✓ Mestrado em Administração de Empresas
- ✓ Coordena o GT de Mobilidade Urbana do CREA/RJ onde é conselheiro e diretor, e coordenou o primeiro GT de Inovações Tecnológicas
- ✓ Trabalha desde 1993 com sistemas para mobilidade urbana e transportes, como sinalização, telemetria e controle, eletrificação, telecomunicações, sonorização e ventilação primária entre outros

2

O que é uma Inovação?

Segundo Schumpeter (1934), ***Inovação abrange a introdução de novos métodos de produção, novos mercados, novas fontes de matéria-prima e novas formas de organização industrial.***



Joseph Alois Schumpeter (1883 – 1950), economista político austríaco, ministro das Finanças da Áustria em 1919, e posteriormente professor na Universidade Harvard nos Estados Unidos.

3

O que as Inovações Tecnológicas causam no mundo e na sociedade?



Óculos



Lâmpada



Prensa tipográfica



Televisão



Microcomputador



Internet

E nas empresas?

4

Nas empresas, as Inovações Tecnológicas costumam aumentar a **produtividade**, **flexibilidade**, **segurança**, e reduzir custos, e melhorar a **experiência do cliente (passageiro)**.

Vantagem Competitiva

5

Avaliando investimentos em Inovação Tecnológica

Quatro dimensões tangíveis

Custo

Reduzirá o custo?

Produtividade

Aumentará a produtividade?

Qualidade

Irá melhorar a qualidade?

Flexibilidade

Ampliará a nossa flexibilidade?

6

Tendências e novas tecnologias

Lei de Moore

“Em 1965 Gordon Moore, cofundador da Intel, profetizou que "A cada 2 anos, o número de transistores nos chips dobra, e os computadores ficam duas vezes mais potentes.”

Ou seja: Os computadores ficam mais rápidos e baratos com o tempo.

Equipamentos mais rápidos, mais baratos e mais compactos !



https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Moore#/media/Ficheiro:Lei_de_moore_2006.png (acesso em 14/07/2020)

7

**... mas toda
inovação é
igual?**

8

Tipos de inovação

- ✓ Incremental (melhorias graduais)
- ✓ Radical (introdução de novo)
- ✓ Disruptiva (quebra de paradigmas)



Inovação incremental

Adiciona novidades, seja no produto, na marca, nos métodos de produção, sem promover uma mudança muito brusca.



Inovação radical

Muda o cenário de uma marca, seja do mercado ou da dinâmica empresarial.



Inovação disruptiva

Acompanha mais o mercado do que uma marca, é um movimento escalável, que atinge muitas pessoas ao mesmo tempo.

9

Inovação Incremental

- Aperfeiçoamentos iterativos que maximizam a utilidade de sistemas existentes (legado), sem alterar sua arquitetura fundamental.
- **Exemplo:** Instalação de sistemas de **lubrificação automática** de trilhos, reduzindo desgaste.



10

Inovação Radical

- ✓ Introdução de algo completamente novo, rompendo com o status quo, e geralmente criando um novo mercado ou indústria.
- ✓ **Exemplo:** Trilhos Condutores (Terceiro Trilho) em **alumínio e aço inox**, aumentando a capacidade de corrente reduzindo peso.



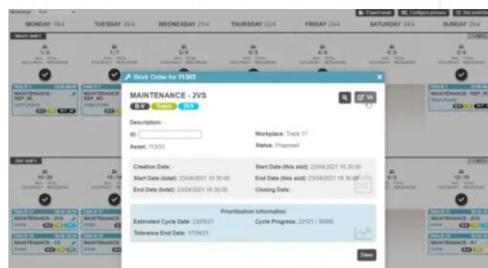
Condutor instalado na linha 3 (vermelha) do Metro SP em substituição aos condutores originais

11

Inovação Disruptiva

- ✓ Mudança radical em um setor, quebra de paradigmas e criação de novos modelos de negócios, que geralmente leva a uma transformação profunda na forma como as empresas operam.
- ✓ **Exemplo:** **Software como um Serviço (SaaS):** Sistemas sendo contratados como uma prestação de serviços ao invés de um produto.

Ex. O sistema operacional **WINDOWS** inicialmente era comercializado como **PRODUTO** (licença perpétua), mas passou a ser oferecido como uma **PRESTAÇÃO DE SERVIÇO** (assinatura).



Sistema de CBM utilizado no metrô de Barcelona, Espanha, na modalidade SaaS

12

As Tecnologias Exponenciais têm o potencial de quebrarem paradigmas



15

Tecnologias exponenciais



DIGITALIZAÇÃO / IoT



DIGITALIZAR = Uma tecnologia que antes era física ou analógica é transformada em digital (DADOS), tornando possível o seu armazenamento, distribuição e acesso fácil.

16

Tecnologias exponenciais



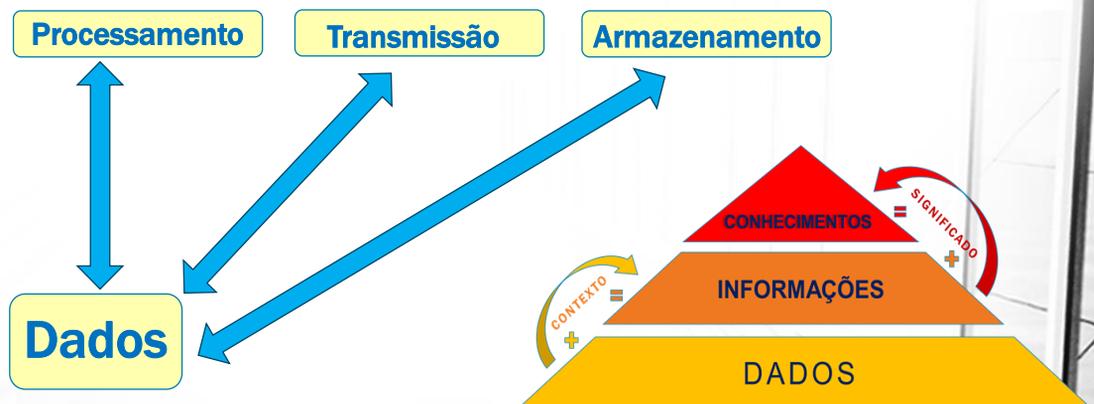
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL



17

Tendências e novas tecnologias

Rápida evolução da Capacidade e da Velocidade de:



Modelo DIKW (Ackoff, 1989)

18

O Conhecimento

Relembrando

Sabedoria



Modelo DIKW (Ackoff, 1989) que descreve a transformação de dados brutos em sabedoria

19

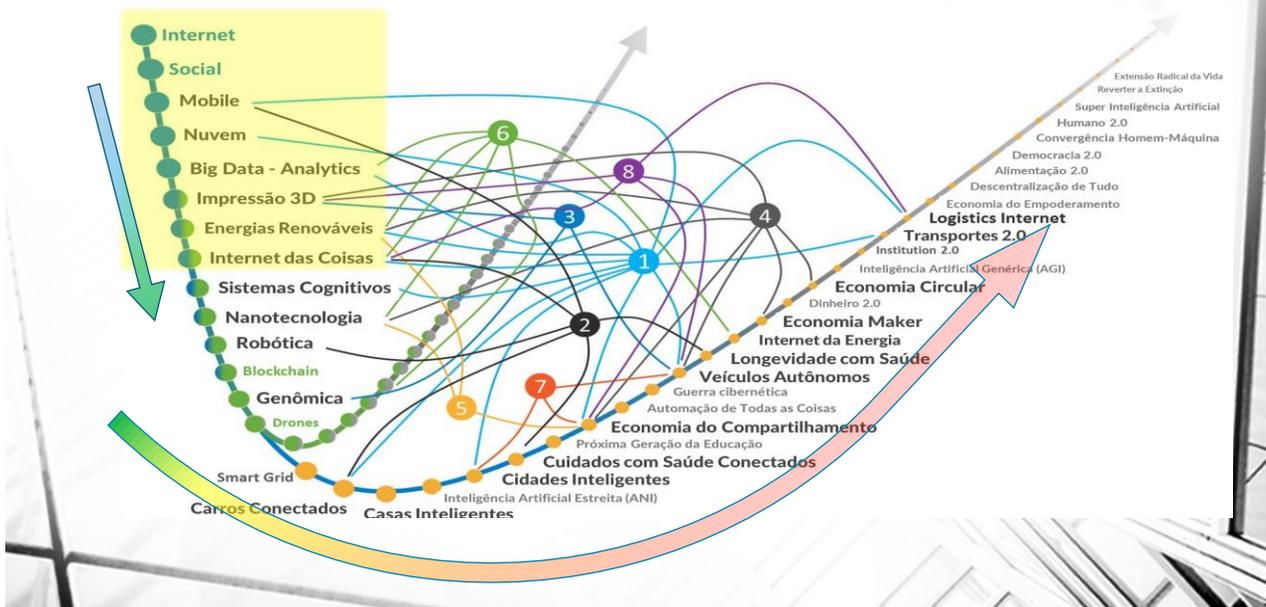
Algumas Tecnologias exponenciais:

- Digitalização / IoT
- Inteligência artificial
- Data Science (Ciência de Dados)
- Blockchain
- Cloud computing (nuvem)
- Computação Quântica
- Fabricação digital/Impressão 3D
- Robótica
- Veículos autônomos
- Realidade virtual e realidade aumentada
- Biologia digital e Biotecnologia
- Nanotecnologia

20

Tecnologias exponenciais

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida



21

Tecnologias exponenciais

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

Peter Diamandis e Steven Kotler desenvolveram um modelo chamado **6Ds das tecnologias exponenciais**:

- | | |
|------------------|----------------------|
| 1. Digitalização | 4. Desmonetização |
| 2. Decepção | 5. Desmaterialização |
| 3. Disrupção | 6. Democratização |



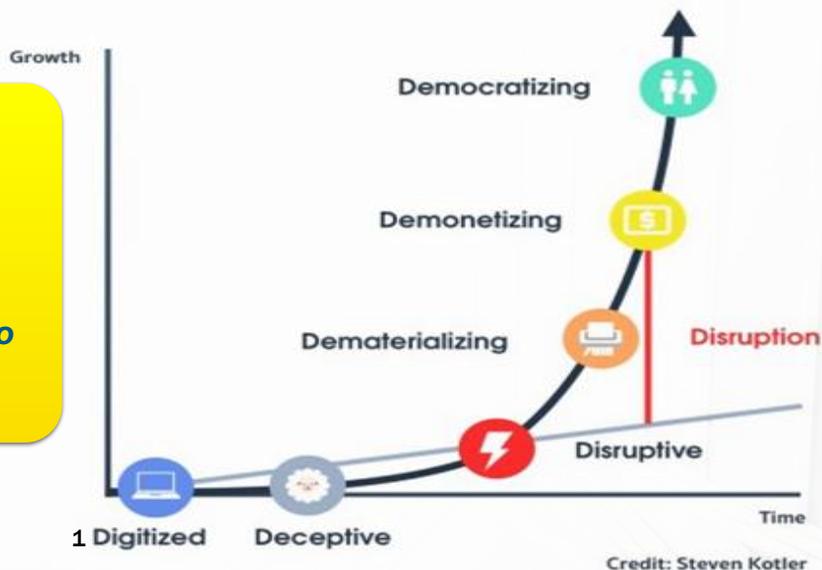
Em seu livro **Bold** (2016), Diamandis e Kotler sustentam que todo empreendedor deveria compreender a estrutura dos 6Ds, para evitar que sua empresa tenha o mesmo destino trágico da **Kodak Eastman Company**.

22

Tecnologias exponenciais

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

1. Digitalização
2. Decepção
3. Disrupção
4. Desmonetização
5. Desmaterialização
6. Democratização



23

Tecnologias exponenciais

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

6D's

1. Digitalização 
2. Decepção
3. Disrupção
4. Desmonetização
5. Desmaterialização
6. Democratização

Digitalização - O primeiro passo é a digitalização de uma tecnologia que até então era predominantemente física.

Fonte: <https://www.inovarti.com.br/os-6-ds-das-tecnologias-exponenciais-no-e-commerce/> acesso em 18/04/2021

24

Tecnologias exponenciais

6D's

1. Digitalização
2. Decepção
3. Disrupção
4. Desmonetização
5. Desmaterialização
6. Democratização

Decepção – Período de crescimento dissimulado. O crescimento parece zero.

Fonte: <https://www.inovarti.com.br/os-6-ds-das-tecnologias-exponenciais-no-ecommerce/> acesso em 18/04/2021

25

Tecnologias exponenciais

6D's

1. Digitalização
2. Decepção
3. Disrupção
4. Desmonetização
5. Desmaterialização
6. Democratização

Disrupção – A tecnologia alcança o “joelho” da curva exponencial e o crescimento se acelera.

Fonte: <https://www.inovarti.com.br/os-6-ds-das-tecnologias-exponenciais-no-ecommerce/> acesso em 18/04/2021

26

Tecnologias exponenciais

6D's

1. Digitalização
2. Decepção
3. Disrupção
4. Desmonetização
5. Desmaterialização
6. Democratização

Desmonetização – Neste ponto, as novas tecnologias desmonetizam os modelos de negócio tradicionais, que resolviam o mesmo problema

Fonte: <https://www.inovarti.com.br/os-6-ds-das-tecnologias-exponenciais-no-ecommerce/> acesso em 18/04/2021

27

Tecnologias exponenciais

6D's

1. Digitalização
2. Decepção
3. Disrupção
4. Desmonetização
5. Desmaterialização
6. Democratização

Desmaterialização – Uma vez que a tecnologia se torna disruptiva, ela se desmaterializa. Em outras palavras, você não a tem nas mãos como um objeto físico.

Fonte: <https://www.inovarti.com.br/os-6-ds-das-tecnologias-exponenciais-no-ecommerce/> acesso em 18/04/2021

28

Tecnologias exponenciais

6D's

1. Digitalização
2. Decepção
3. Disrupção
4. Desmonetização
5. Desmaterialização
6. Democratização

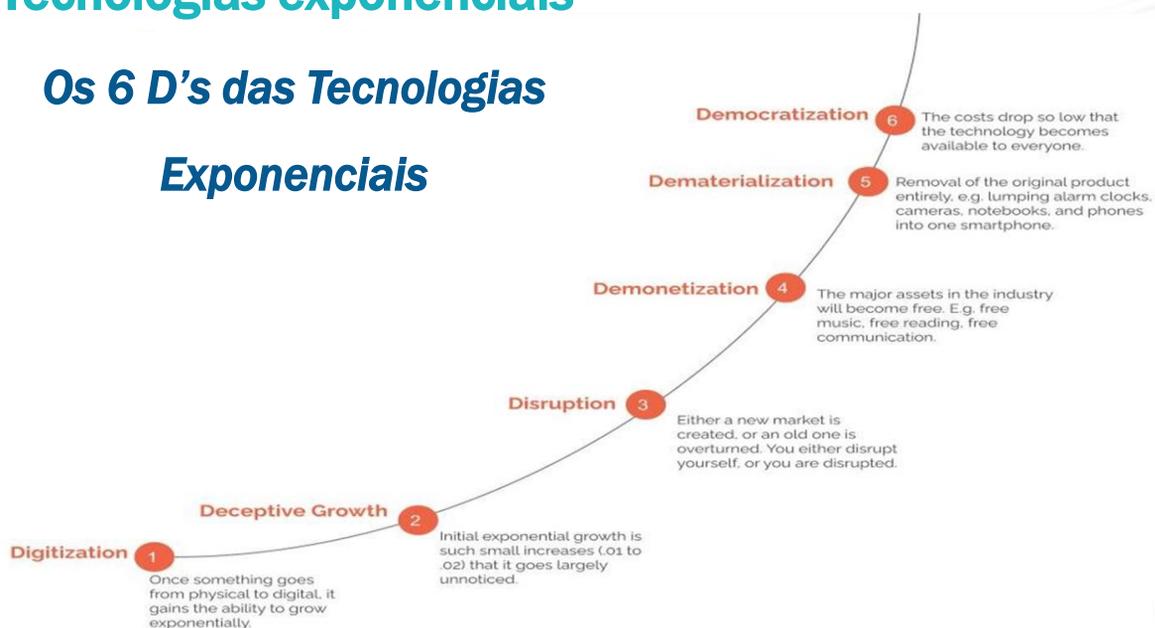
Democratização - Tecnologias antes acessíveis a poucos privilegiados, estão nas mãos de uma parte considerável da humanidade.

Fonte: <https://www.inovarti.com.br/os-6-ds-das-tecnologias-exponenciais-no-ecommerce/> acesso em 18/04/2021

29

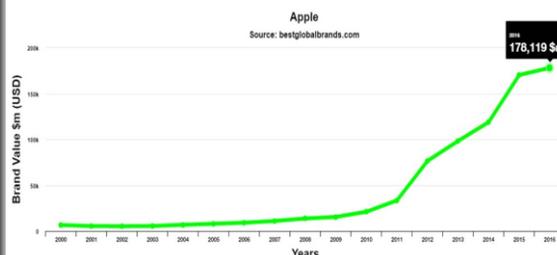
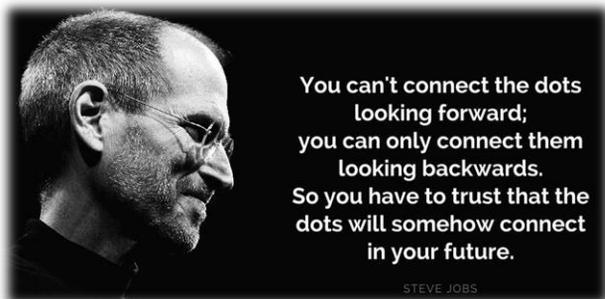
Tecnologias exponenciais

Os 6 D's das Tecnologias Exponenciais



30

Ligar os pontos (Connect the dots)



“Você não pode ligar os pontos olhando para frente. Você só pode conectá-los olhando para trás. Então você tem que confiar que os pontos de alguma forma se conectarão no seu futuro.”

Steve Jobs

31

Aonde a TI poderá ser encontrada?

Aplicações normalmente relacionadas:

- *Processamento*
- *Automação/Automatização*
- *Localização*
- *Integração*
- *Monitoramento*
- *Contagem*
- *Armazenamento*
- *Controle*
- *Identificação*
- *Rastreamento*
- *Validação*
- *Comunicação*

32



Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

O que significa IoT?

Internet das Coisas

Tudo na Internet...

33

Novas Tecnologias e aplicações

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida



IoT – Internet of Things

Permite o monitoramento remoto de ativos (equipamentos) em “Tempo Real”, permitindo o acompanhamento do estado de cada equipamento.

Crescente utilização em sistemas como o de Manutenção Baseada na Condição (CBM), entre outros.

34

Novas Tecnologias e aplicações

Inteligência Artificial

- Sistemas que buscam simular a inteligência humana, como aprender, raciocinar, resolver problemas e tomar decisões. Funciona com base em algoritmos, grandes volumes de dados e redes neurais artificiais.
- Formas de IA:
 - **IA Fraca (ou Estreita):** especializada em tarefas específicas.
 - IA Generativa: cria novos conteúdos como textos, imagens, vídeos e códigos, a partir de comandos chamados prompts (ex: ChatGPT).
 - **IA Forte (ou Geral):** ainda hipotética, com capacidade de raciocinar e agir como um ser humano em qualquer situação.

35

Novas Tecnologias e aplicações

Inteligência Artificial

Tipo de Aplicação	O que faz	Exemplo Real
Generativa	Cria novos conteúdos	ChatGPT, DALL·E
NLP	Entende e interpreta linguagem humana	DeepL, análise de sentimentos
Preditiva	Faz previsões com base em dados históricos	Manutenção, diagnósticos
Visão Computacional	Interpreta imagens e vídeos	Reconhecimento facial
Autônoma	Toma decisões em tempo real	Carros autônomos
Recomendação	Sugere com base em preferências	Netflix, Amazon
Automação + IA	Automatiza processos com inteligência	Robôs de processos, e-mails

36

Novas Tecnologias e aplicações

Inteligência Artificial

- Automação de processos e execução de tarefas com agentes de IA;
- Manutenção preditiva;
- Simulação energética;
- Predição de resultados operacionais;
- Detecção de trilhos partidos;
- Gerenciamento de tráfego e otimização de rotas;
- Monitoramento de segurança e experiência do passageiro;
- Carros autônomos;
- Diagnósticos médicos, e etc, etc, etc.



37

Novas Tecnologias e aplicações

Realidade Virtual ou Aumentada

- Treinamentos e simuladores;
- Colaboração de equipes;
- Manuais técnicos;
- Maquetes digitais;
- Bancadas de montagens interativas;
- Simular a experiência do passageiro.



38

Novas Tecnologias e aplicações

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

Robótica

- Rapidez na fabricação;
- Maior precisão e qualidade em geral;
- Armazéns e estoques;
- Robôs na Segurança;
- Serviços insalubres e perigosos;



Amazon.com:

<https://www.youtube.com/watch?v=4sEVX4mPuto>

39

Novas Tecnologias e aplicações

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

Blockchain

- Blockchain é um sistema de registro digital distribuído e imutável, que funciona como um livro-razão compartilhado para registrar transações e rastrear ativos em uma rede
- Gestão de vagões e locomotivas, através de rastreamento em tempo real e verificações de integridade;
- Logística 4.0.



40

Novas Tecnologias e aplicações

Fabricação digital/ Impressão 3D

- Fabricação de peças localmente
- Redução de estoque de peças de reposição
- Eliminação de custos de distribuição



Possível utilização para reduzir estoques de peças de reposição e sobressalentes

41

Novas Tecnologias e aplicações

Computação em nuvem/ Cloud Computing

- Escalabilidade;
- Flexibilidade;
- Redução de Capex;
- Acessos distribuídos.



Utilizada em plataformas de monitoramento e sistemas de sinalização

42

Novas Tecnologias e aplicações

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

Drones

- Inspeções
- Lançamento de químicos
- Fotogrametria
- Câmeras termo sensíveis



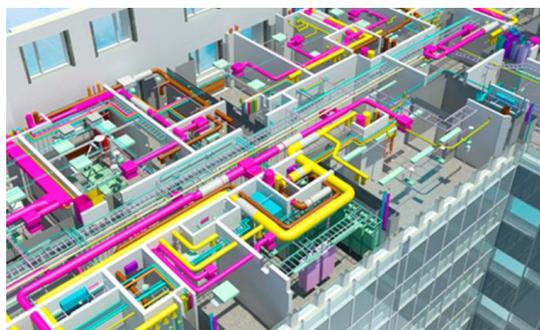
43

Novas Tecnologias e aplicações

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

BIM – Building Information Modelling

- Redução de custos
- Maior controle de processos na empresa
- Aumento da produtividade
- Clash Detection



Utilizado em projetos de construção e de montagem

44

Novas Tecnologias e aplicações

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

Reconhecimento Facial

- Segurança
- Bilhetagem automática
- Contagem de pessoas
- Avaliação de Origem/Destino



45

Novas Tecnologias e aplicações

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

Lidar – Light Detection and Ranging

- Levantamentos topográficos
- Elaboração de modelos digitais
- Acompanhamento de movimentação de solo



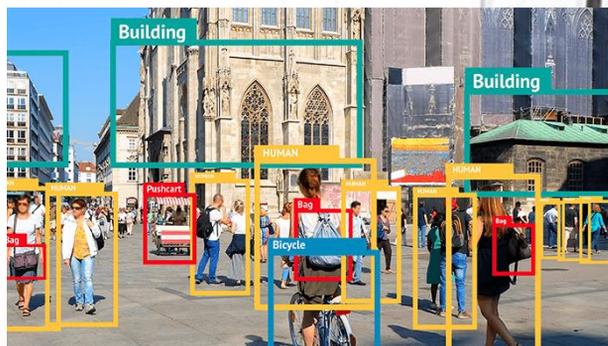
46

Novas Tecnologias e aplicações

Visão Computacional

- Reconhecimento de imagens e seus detalhes como objetos, pessoas e etc.
- Detecção automática de defeitos em trilhos ferroviários

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida



47

Novas Tecnologias e aplicações

Hyperloop

O Hyperloop é um conceito de sistema de transporte de alta velocidade que foi popularizado por Elon Musk em 2013. A ideia central é transportar passageiros (ou cargas) em cápsulas que se deslocam em tubos quase sem ar, com atrito e resistência ao ar extremamente reduzidos, permitindo velocidades muito maiores do que os trens convencionais.

No conceito as cápsulas devem ter 2,23 m de diâmetro e são projetados para atingir uma velocidade máxima de 1.200 km/h

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida



48

Novas Tecnologias e aplicações

MaaS – Mobility as a Service

- Integração multimodal
- Aplicação mobile baseada em nuvem
- Conceitos “Last mile” and “Naked Passenger”



49

Novas Tecnologias e aplicações

Computação Quântica

- É uma nova forma de processamento de informações que usa os princípios da mecânica quântica — a ciência que estuda o comportamento das partículas muito pequenas, como elétrons e fótons.
- Velocidade de processamento sem precedentes;
- “Quebra” qualquer criptografia atual



“Em termos práticos, o nosso chip, a que chamamos de Sycamore, realizou uma computação em 200 segundos, que o supercomputador mais rápido do mundo levaria 10.000 anos a resolver.”

Sundar Pichai (2019, CEO Google)

50

Novas Tecnologias e aplicações

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

Gemeos Digitais – Digital Twins

- São representações digitais de objetos, processos ou sistemas do mundo real. Eles utilizam dados em tempo real para simular e monitorar o comportamento e o desempenho desses elementos físicos de maneira virtual.
- O conceito foi inicialmente usado na engenharia e na indústria, mas seu uso tem se expandido para diversas áreas, como saúde, cidades inteligentes e até mesmo em produtos de consumo.



51

Novas Tecnologias e aplicações

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

Sinalização SaaS



- Sistema na nuvem
- Atualizações permanentes;
- Baixo CAPEX;
- Alterações de layout simplificadas
- Investimento diluído no tempo.

52

Novas Tecnologias e aplicações

Digitalização e Monitoramento de Equipamentos

Manutenção baseada na Condição do Equipamento – Condition Based Maintenance (CBM)

- Aumenta a confiabilidade do sistema
- Permite melhor utilização dos recursos (humanos e materiais)
- Compara o desempenho dos equipamentos
- Relatórios automatizados com ativos KPI's, MTBF, MTR e outros parâmetros de qualidade
- Aumenta o conhecimento sobre a condição e o desempenho dos equipamentos

53

Novas Tecnologias e aplicações

Digitalização e Monitoramento de Equipamentos

- Os conceitos de “Indústria 4.0” aplicados a sistemas de transporte e mobilidade
- Sensores monitoram (sentem) os equipamentos, e identificam variações discretas
- Processamento em “tempo real” compara os dados e identifica variações do padrão
- Inteligência Artificial analisa as variações e auxilia na predição de falhas, disparando alarmes e projetando a degradação do equipamento
- As inspeções de campo nos equipamentos são reduzidas

54

Novas Tecnologias e aplicações

Digitalização e Monitoramento de Equipamentos



55

Novas Tecnologias e aplicações

Digitalização e Monitoramento de Equipamentos

The screenshot shows a comprehensive monitoring interface. At the top is a "Line diagram" with station names from Cockfosters to Tottenham. Below it are "Messages" and "Train messages list". The main part of the interface is divided into three data tables:

- Train Messages List:** A table with columns for Train, Location, ID, and various status indicators.
- Passenger and contact info (left):** A table with columns for Train, Location, and status indicators.
- Passenger and contact info (right):** A table with columns for Train, Location, and status indicators.

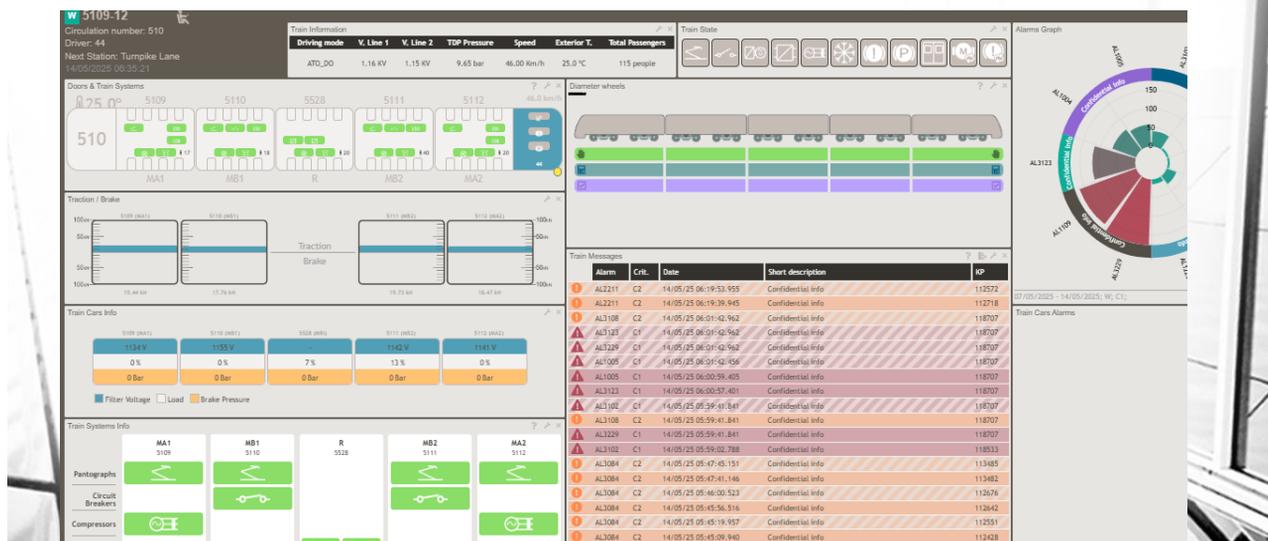
At the bottom, there is a "Train messages list" table with columns for Train, Compos., Alarm, Cnt., Date, Short description, Recommendation, and KP.

56

Novas Tecnologias e aplicações

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

Digitalização e Monitoramento de Equipamentos



57

Novas Tecnologias e aplicações

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

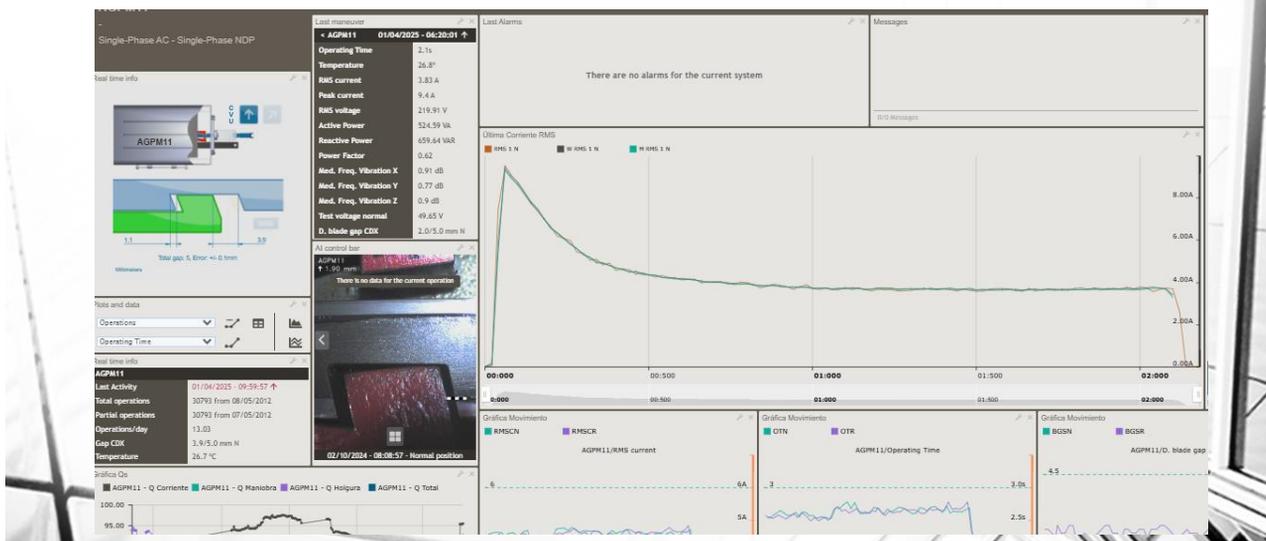
Digitalização e Monitoramento de Equipamentos



58

Novas Tecnologias e aplicações

Digitalização e Monitoramento de Equipamentos



59

Novas Tecnologias e aplicações

Digitalização e Monitoramento de Equipamentos

Implementação de sensores e aquisição de dados para linhas aéreas



Scanner de fio de contato



Acelerômetro



Câmera

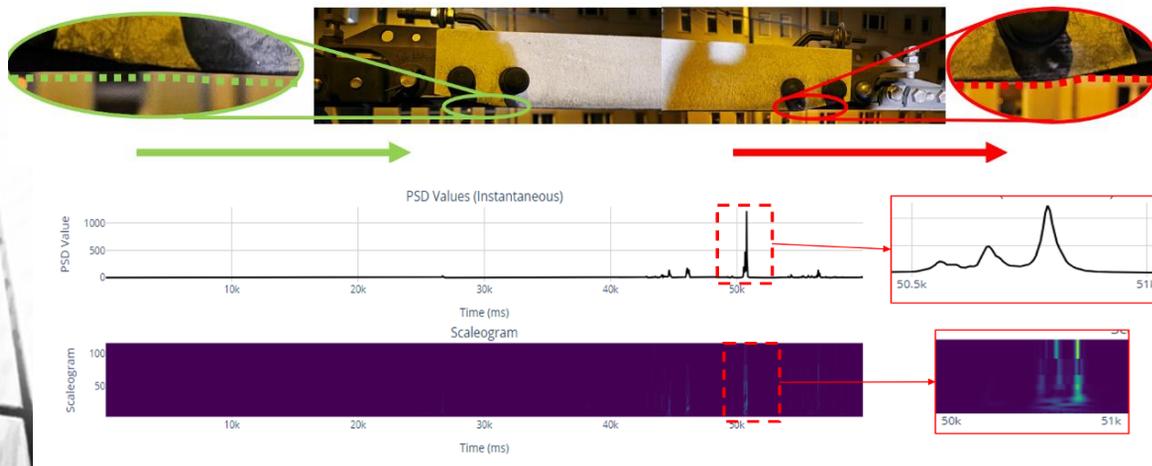


60

Novas Tecnologias e aplicações

Digitalização e Monitoramento de Equipamentos

Isolador de seção ajustado



61

Novas Tecnologias e aplicações

Digitalização e Monitoramento de Equipamentos

Programação e Geração de ordens de serviço (OS) automaticamente, em função da condição dos equipamentos



62

Novas Tecnologias e aplicações

Digitalização e Monitoramento de Equipamentos

Resultados Operacionais

MC's Monitoradas

2009	2/263 (1%)
2011	106/308 (34%)
2014	211/354 (59%)
2016	211/441 (48%)

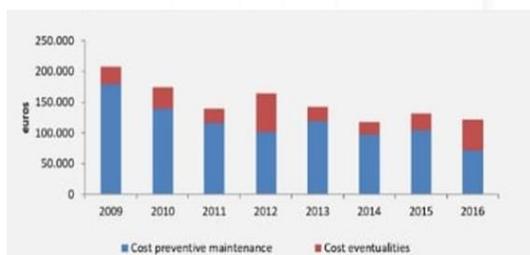
Service Level	Tempo de inatividade devido à avarias	Média de ocorrências por MC	Média de ocorrências de interrupção com tempo de inatividade por PM
2009	166,5	0,19	0,05
2016	27,4 -83 %	0,12 -36%	0,02 -60%

63

Novas Tecnologias e aplicações

Digitalização e Monitoramento de Equipamentos

Resultados Financeiros



Custo de Manut.	Custo total EURS	Custo Total por MC	Número de revisões por MC
2009	208.089	791	13,93
2016	122.067 -41%	276 -65%	3,38 -76%

64

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

Obrigado

Eng° Alexandre Vacchiano de Almeida

