INOVAÇÃO, INTEGRAÇÃO E AUTOMAÇÃO DE UMA LINHA DE METRÔ UTILIZANDO CENÁRIOS OPERACIONAIS

Rubens Navas Borloni
Felipe Copche
Mônica Aparecida Pilão dos Santos

AEAMESP
MAIS TRILHOS, MAIS DESENVOLVIMENTO.

6º Fórum TECNOLOGIA & DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS
ANP TRILHOS
CBTU

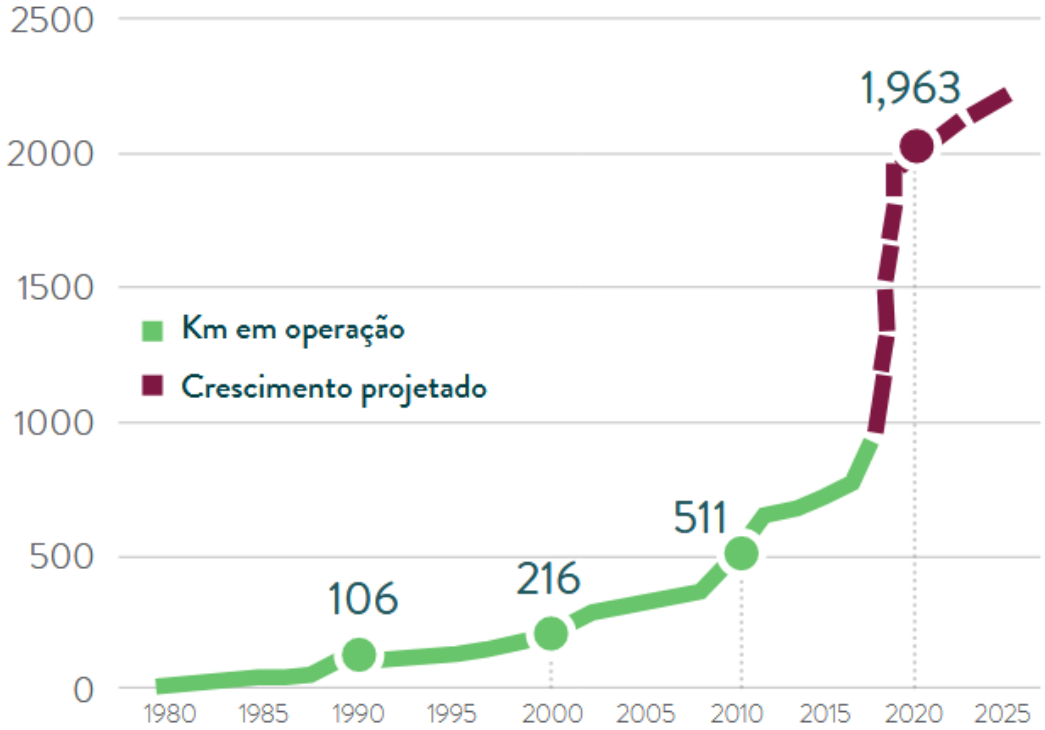
SUMÁRIO

- Vídeo com exemplos atuais de tecnologias autônomas
- Perspectivas em automação metroferroviária
- Segurança e o fator humano
- Apresentação do processo de análise de cenários
- Exemplos de lacunas e inovações em sistemas

Exemplos atuais de tecnologias autônomas

Vídeo de 4 minutos
Música: *Are You Lost*
Moby & The Void Pacific Choir
Album: *These systems are failing*

Crescimento total de linhas totalmente automáticas (em km de linha)

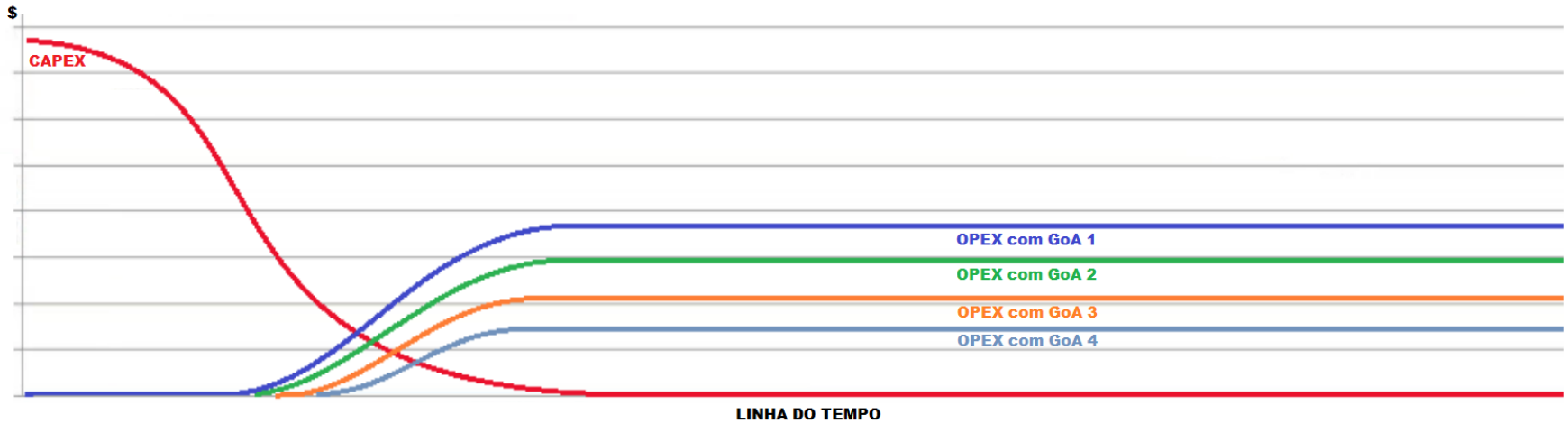


- Incremento da capacidade de transporte
- Maior assertividade, garantida pela automação e padronização de operação
- Otimização e economia no uso da energia e recursos

Fonte: UITP - Relatório Mundial sobre Linhas Automáticas (julho de 2016)

CAPEX/OPEX – Custo & Benefícios

Alto grau de automação	Maior investimento inicial (CAPEX)
	Redução do custo operacional (OPEX)



Baixo grau de automação	Menor investimento inicial (CAPEX)
	Aumento do custo operacional (OPEX)

Fonte: Esboço GPR/PRE/CSS

Fator humano e níveis de segurança SIL

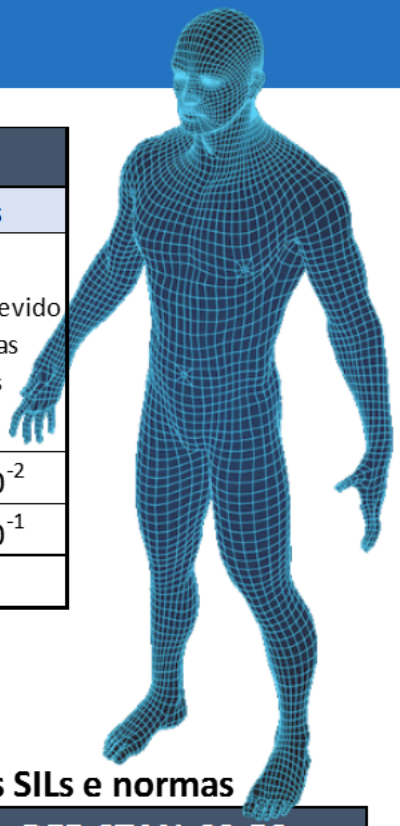


	Tabela para probabilidade de erro humano					
	Condições ambientais favoráveis			Condições ambientais adversas		
Atividade baseada em:	Estresse devido a muito poucas demandas	Nível ótimo de estresse	Estresse devido a demandas excessivas	Estresse devido a muito poucas demandas	Nível ótimo de estresse	Estresse devido a demandas excessivas
Experiências e vivências	2×10^{-3}	1×10^{-3}	2×10^{-3}	1×10^{-2}	5×10^{-3}	1×10^{-2}
Procedimentos	2×10^{-2}	1×10^{-2}	2×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-2}	1×10^{-1}
Conhecimentos	2×10^{-1}	1×10^{-1}	2×10^{-1}	1	5×10^{-1}	1

Fonte: A. Hinzen, *Der Einfluss des menschiichen Fehlersauf die Sicherheit der Eisenbahn*, Doctoral thesis, RWTH Aachen University, Aachen, 1993.

	Probabilidade	
Impacto/Consequência	ALTO	BAIXO
ALTO	SIL 4	SIL 4 / SIL 3
BAIXO	SIL 3 / SIL 2	SIL 1 / SIL 0

Fonte: Esboço GPR/PRE/CSS

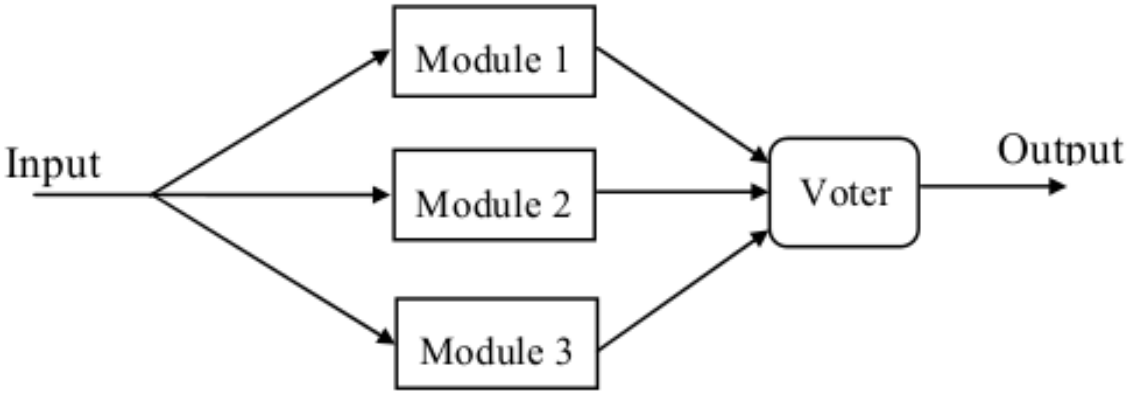
Valores de THR para diferentes SILs e normas

SIL	IEC 61508/EN 50129	DEF-STAN-00-56
1	$10^{-6}/h \leq THR < 10^{-5}/h$	Frequente = ~$10^{-2}/h$
2	$10^{-7}/h \leq THR < 10^{-6}/h$	Provável = ~$10^{-4}/h$
3	$10^{-8}/h \leq THR < 10^{-7}/h$	Ocasional = ~$10^{-6}/h$
4	$10^{-9}/h \leq THR < 10^{-8}/h$	Remoto = ~$10^{-8}/h$

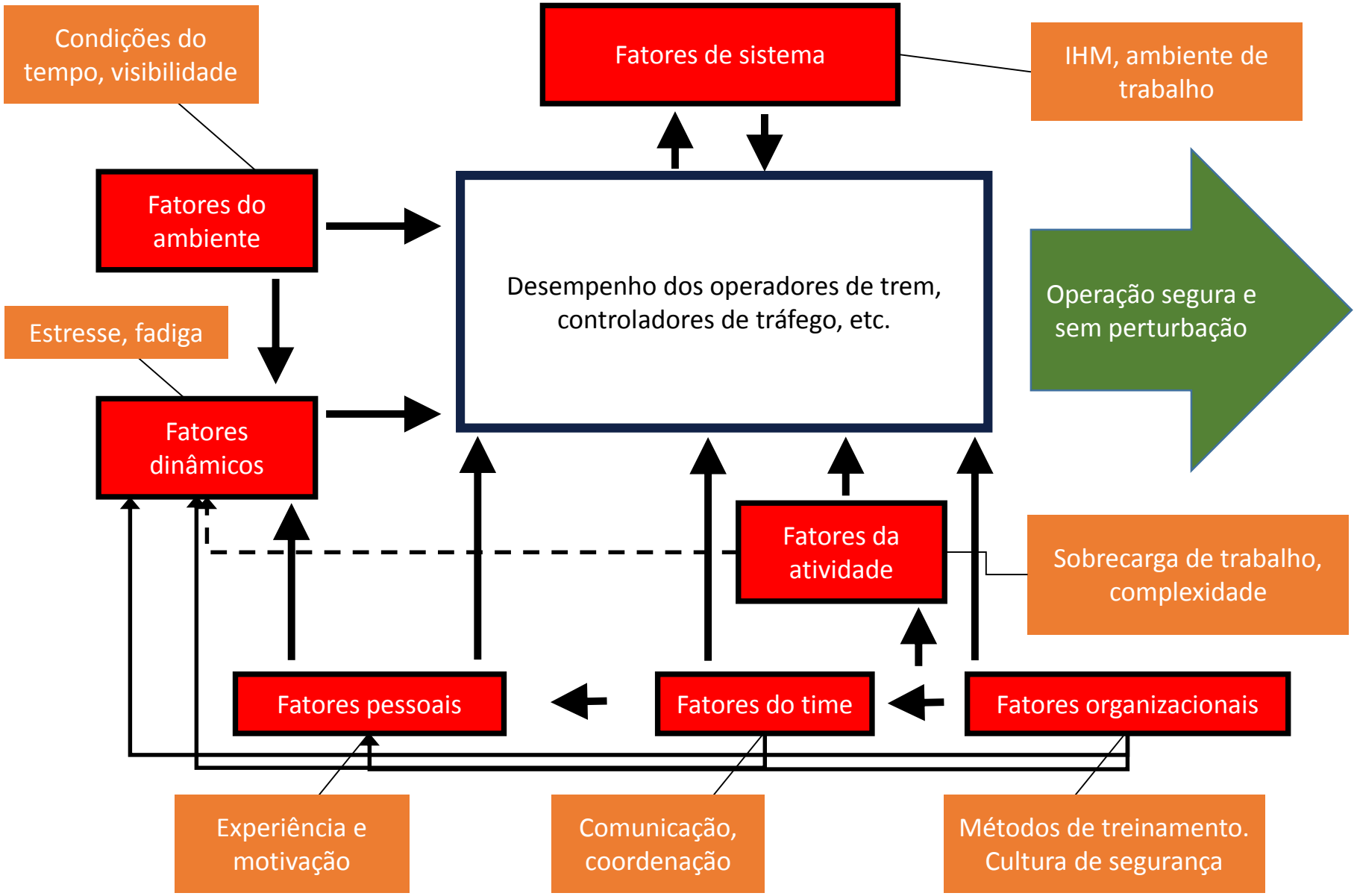
THR = Taxa de tolerância ao perigo

Repartição SIL e Alocação SIL:

- Combinando dois dispositivos com um SIL 3 em paralelo resulta em um sistema SIL 4.
- Combinando dois dispositivos com um SIL 2 em paralelo resulta em um sistema SIL 3.
- Combinando dois dispositivos com um SIL 1 em paralelo resulta em um sistema SIL 2.
- Combinando dois dispositivos em paralelo, sendo um SIL x e outro SIL y, resulta em um sistema SIL max(x,y).

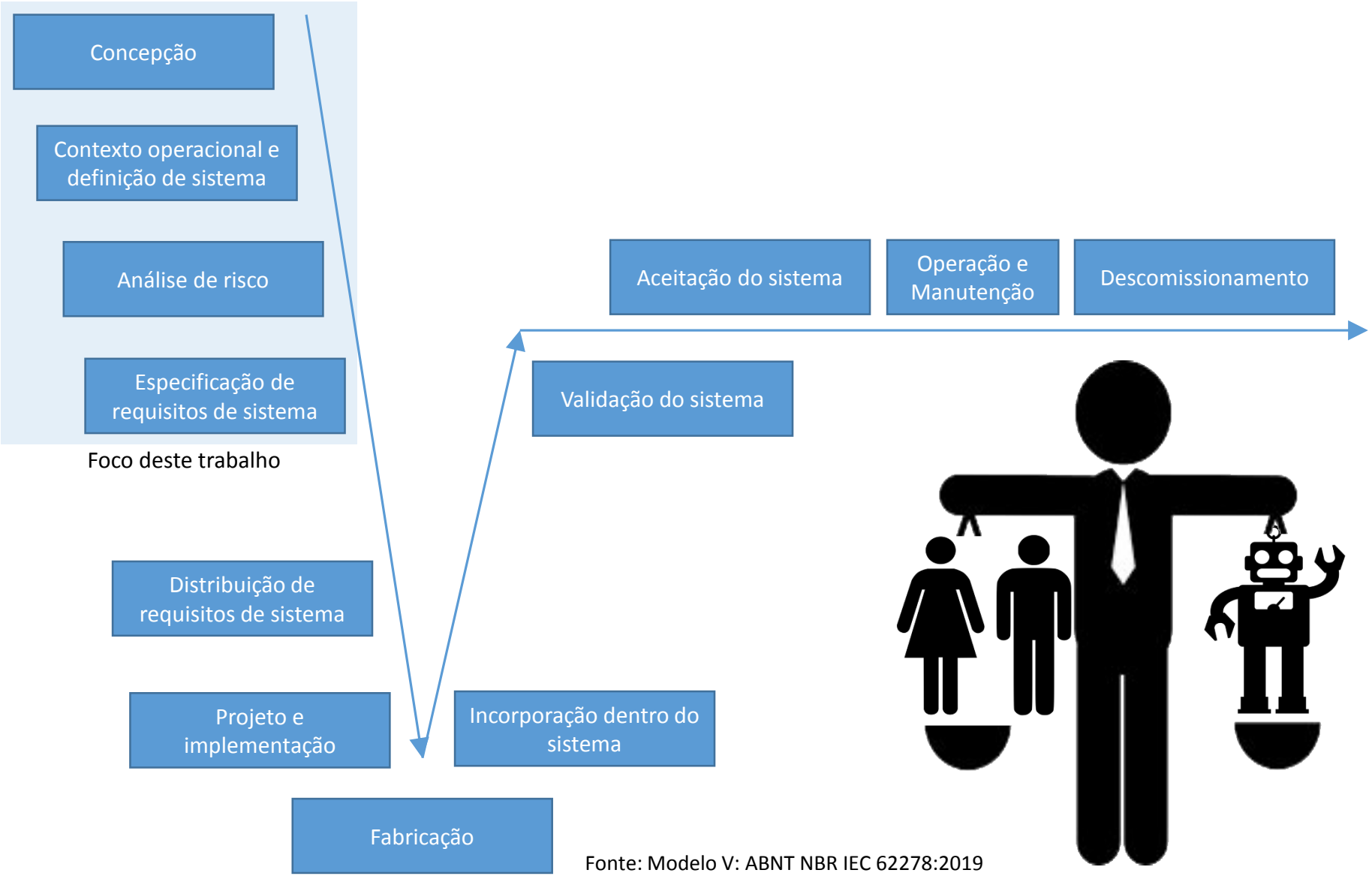


Fonte: Yellow book



Fonte: Rail-PSF structure and examples for PSF. Miltos Kyriakidis et al. *Safety Science*, 78, 60-76, 2015

Ciclo de vida do sistema conforme EN50126



Fonte: Modelo V: ABNT NBR IEC 62278:2019

Fonte: Processo de ciclo de vida de acordo com a norma EM

Base de conhecimento e futuro produto

Normas Internacionais

IEEE	IEC
1474.1	62267
1474.2	62278
1474.3	62279
1474.4	62280
	62290.1
	62290.2
	61508
	62425

+

GLOBAL

LINHA 4

PHA ou APR (4XX) Ø
Especificações (4XX e 6XX) √
Hazard Log (6XX) Ø
Risk Log (6XX) Ø

+

ICD, SDS, SLR

LINHA 15

PHA ou APR (4XX) √
Especificações (4XX E 6XX) √
Hazard Log (6XX) √
Risk Log (6XX) √

+

ICD, CSDD

LINHA 6

PHA ou APR (4XX) √
Especificações (4XX) √
Especificações (6XX)
Hazard Log (6XX)
Risk Log (6XX)

=

INOVAÇÕES

FUTURA LINHA
UTO
METRÔ SP

DINÂMICO!

Risk Log (Global)

Hazard Log
(SIN)

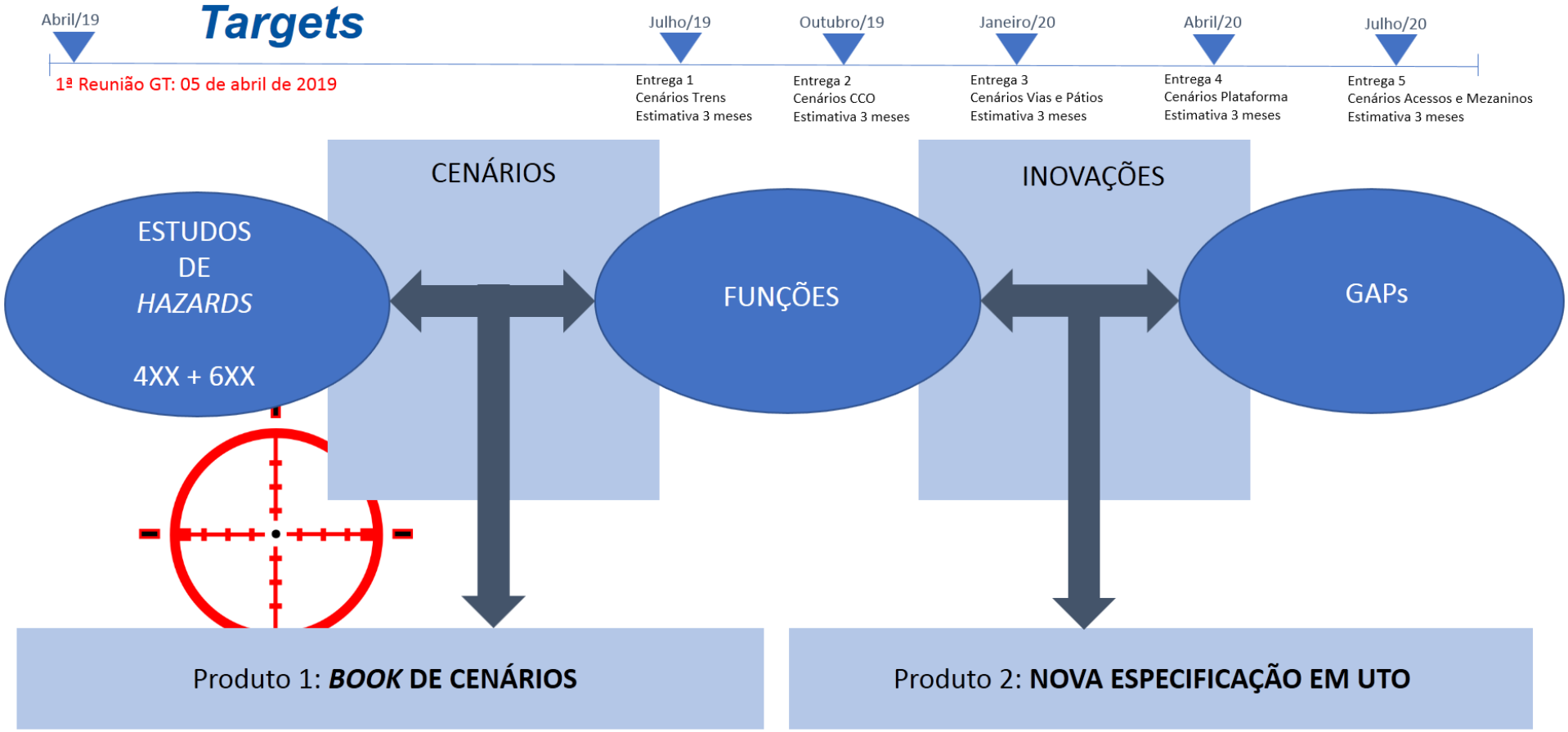
APR
Cerca de 80% dos riscos inicialmente mapeados no Projeto Básico

LEGENDAS / CONCEITOS:

Risk Log - Risco Inicial + Mitigação = Risco Residual
PHA - *Preliminar Hazard Analysis*
APR - *Análise Preliminar de Risco*
ICD - *Interface Control Document*
SDS - *System Design Specification*
SLR - *System Level Requirement*
CSDD - *Conception System Development Design*

Fonte: Esboço GPR/PRE/CSS

Entregas de cenários e produtos previstos neste estudo



Fonte: Esboço GPR/PRE/CSS

Grau de automação, COMET recuperação de falhas pelo circulante

	Nível de automação	Tipo de operação do trem	Trem em movimento	Parada do trem	Fechamento de portas	Operação em caso de emergência
	GoA1	ATP com condutor	Operador	Operador	Operador	Operador
	GoA2	ATP e ATO com condutor	Automático	Automático	Operador	Operador
	GoA2+	ATP e ATO com condutor	Automático	Automático	Automático	Operador
	GoA3	Driverless	Automático	Automático	Circulante	Circulante
Pico	GoA3+	Driverless	Automático	Automático	Automático	Circulante
Vale	GoA4	UTO	Automático	Automático	Automático	Automático
			Proteção Automática do Trem (ATP)		Operação Automática do Trem (ATO)	

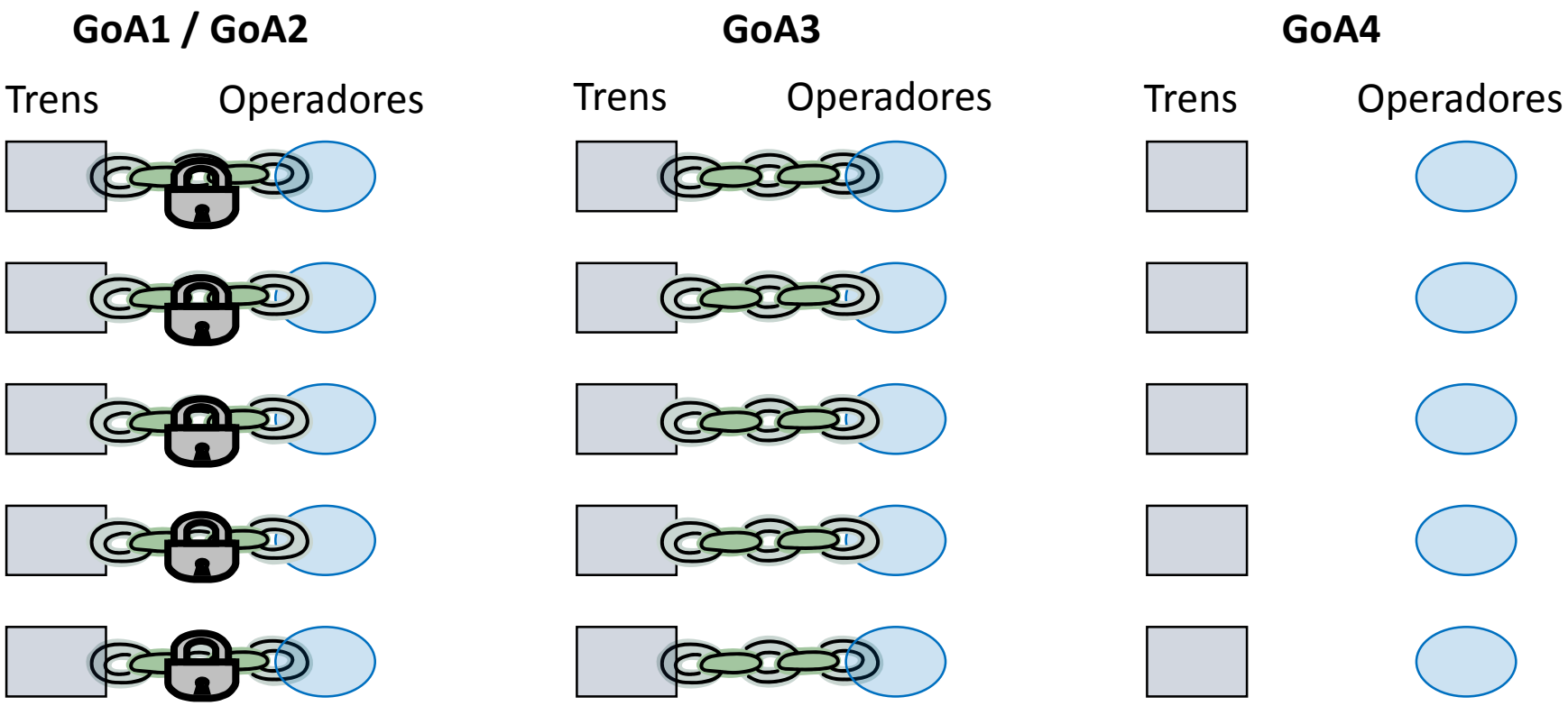
Fonte: *Strategic implications of Unattended Train Operation* – CoMET 2013 *Case Study* – 2013 *Annual Meeting, Santiago – CEO Day. & IEC 62290-1*

Grau de automação, COMET recuperação de falhas pelo circulante

	GoA2	GoA3	GoA4
CAPEX	Melhor caso	Maior que GoA2	Maior que GoA2/3 (10% a 30%), dependendo do caso
OPEX	Pior caso	Menor que GoA2 com os circulantes	Cerca de 10% menor
Flexibilidade	Muito pouca	Alguma	Completa
Confiabilidade	Mais incidentes, mas com tempo de resposta de normalização mais rápido		Menos incidentes, mas com tempo de resposta mais lento
Segurança	Risco de erro do operador Detecção visual de obstáculo	Menor risco de erro do operador Checagem visual da via na preparação para a comercial	Risco mínimo de erro do operador PSD auxilia na integridade da via, mas existem riscos ao pessoal da manutenção na madrugada.
Atendimento ao cliente	Operador é somente uma voz distante	Circulantes no salão, e visíveis, podem ajudar os clientes	CCO é somente uma voz distante

Fonte: *Strategic implications of Unattended Train Operation* – CoMET 2013 *Case Study* – 2013 *Annual Meeting, Santiago – CEO Day.*

Grau de automação, COMET recuperação de falhas pelo circulante



A grande vantagem do GoA4 é que a disponibilidade (e a localização) dos trens está desvinculada da disponibilidade (e a localização) dos operadores

Fonte: *Strategic implications of Unattended Train Operation* – CoMET 2013 *Case Study* – 2013 *Annual Meeting, Santiago – CEO Day.*

Sistema de Gestão de Documentação (SGD)

- Levantamento realizado em 18/03/2019:
- Total de 489 Procedimentos Operacionais (PO) implantados.
- Total de 193 Manuais Operacionais (MO) implantados.
- Histórico de 822 Comunicados (COM) desde 2006 (todos já cancelados, exceto um implantado válido até 30/04/2019 sobre Pesquisa Avaliação de Serviço).

Link de acesso ao portal do SGD:
http://gopsgd.metroweb.sp.gov.br/

50 ANOS
1968 – 2018

Fonte: *Sistema de Gestão de Documentação - SGD*

25 ANOS

SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 2019

Reuniões com grupo multidisciplinar com compartilhamento no *Teams*

Pesquise ou digite um comando

Atividade
Chat
Equipes
Calendário
Chamadas
Arquivos
Planner
SurveyMon...
...
Aplicativos
Ajuda

Cenários Operacionais > Geral ···

Privado

Conversas Arquivos Wiki +

Responder

RUBENS NAVAS BORLONI criou o canal **Produtos**. Ocultar canal

RUBENS NAVAS BORLONI 05/04 17:16
Boa tarde, Grupo de Cenários, acabei de inserir a minuta da reunião de hoje sobre o Projeto de Mapeamento e Estruturação dos Cenários Operacionais para verificação e comentários do grupo e não esqueçam da lição de casa para a próxima reunião dia 12/04/19 às 09hs no G1A, terá chamada oral....brincadeirinha pessoal. Um ótimo final de semana a todos.

Responder

8 de abril de 2019

FELIPE COPCHE adicionou **JOSE ROBERTO CRUZ DE SOUZA** à equipe.

FELIPE COPCHE adicionou **CLAUDIO ROBERTO VALENTIM** à equipe.

9 de abril de 2019

FELIPE COPCHE adicionou **MARCOS JURADO ROSA** à equipe.

FELIPE COPCHE adicionou **BRUNO LOPES FERNANDES** à equipe.

11 de abril de 2019

RUBENS NAVAS BORLONI 11/04 08:55 2
Bom dia, grupo de cenários Operacionais. Para relembrar a todos, acabei de postar na pasta Arquivos as CIs GOP 320 de 19/07/201, GCS 524 de 20/08/2012 e Carta GEM 337 de 19/09/2012 todas as correspondências referente aos cenários discutidos para o Monotrilho. Acho que vale a pena recordar !!!

Responder

VITOR LIMONI CALDAS 09/04 14:41
FELIPE COPCHE e RUBENS NAVAS BORLONI o Bruno e o Jurado irão ajudar nos trabalhos relacionados ao Trem. Peço adicioná-los na equipe do Teams.

3 respostas de Rubens e Vitor

Inicie uma nova conversa. Digite @ para mencionar alguém.

Microsoft Teams

Grupo criado em 05/04

Classificação dos procedimentos operacionais implantados na CMSP

CLASSIFICAÇÃO DO PO	QTY DE PO
VIA E SALA TÉCNICA	54
PÁTIO	51
ADMINISTRAÇÃO DO POSTO	43
SUBESTAÇÃO GERAL	36
ESTRATÉGIAS OPERACIONAIS	35
TERCEIRO TRILHO E REDE AÉREA	28
ROTINAS DE SEGURANÇA	22
PA	19
TREM-VIA	17
ARRECADAÇÃO	13
EQUIPAMENTOS AUXILIARES	10
SUBESTAÇÃO RETIFICADORA	10
SUBESTAÇÃO AUXILIAR	9
TREM-GERAL	9
ADMINISTRAÇÃO DE PESSOAL	7
CCO	7
COMPUTADORES - EQUIPAMENTOS	7
CONTROLE DE FLUXO NA ESTAÇÃO	7
DETECÇÃO DE INCÊNDIO	7
OCORRÊNCIAS OPERACIONAIS	7
SUBESTAÇÃO PRIMÁRIA	7
SUBESTAÇÕES RETIFICADORAS E AUXILIARES	7
COMUNICAÇÃO FORMAL	6
SISTEMA DE FALHAS	6
TREM-PÁTIO	6
"SOFTWARE"	5
EQUIPAMENTOS DE FLUXO	5
TELEFONIA E SINALIZAÇÃO	5
"NO BREAK"	4
ATENDIMENTO AO USUÁRIO	4
CAMPANHAS	4
FLUXO DE USUÁRIOS	4
HIDRÁULICA	4
RÁDIO	4
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE	4
VENTILAÇÃO	4
CONVIVÊNCIA OPERACIONAL ENTRE EMPRESAS	2
FISCALIZAÇÃO DE BILHETES	2
ILUMINAÇÃO	2
ÁREAS AJARDINADAS	1
DTS / STD	1
EVENTOS	1
INTEGRAÇÃO	1
LIMPEZA	1
PUBLICIDADE	1
QUANTIDADE TOTAL DE PO	**489**

Fonte: *Sistema de Gestão de Documentação - SGD*

Ranking de revisões de procedimentos operacionais

	DESCRIÇÃO DO PO	N° REVISÕES
1	PROGRAMAÇÃO DA OFERTA DE TRENS	266
2	EMISSÃO DE PA - TESTES NO SISTEMA NA LINHA 15-PRATA	105
3	EMISSÃO DE PA - TESTES DE CBTC NA LINHA 5- LILÁS	44
4	EMISSÃO DE PA - OBRAS NA LINHA 4 - AMARELA	40
5	EMISSÃO DE PA - MODERNIZAÇÃO - IMPLANTAÇÃO DE CBTC NA LINHA 2-VERDE	32
6	EMISSÃO DE PA - TESTES NO SISTEMA DA LINHA 15-PRATA	29
7	UTILIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE SINALIZAÇÃO E VIA PERMANENTE DA L15 - PRATA	29
8	ESTRATÉGIA DE OPERAÇÃO DA LINHA 1-AZUL	27
9	RETIRADA DE OBJETO DA VIA	27
10	BILHETES	26

Novos empreendimentos, novas linhas, novos sistemas

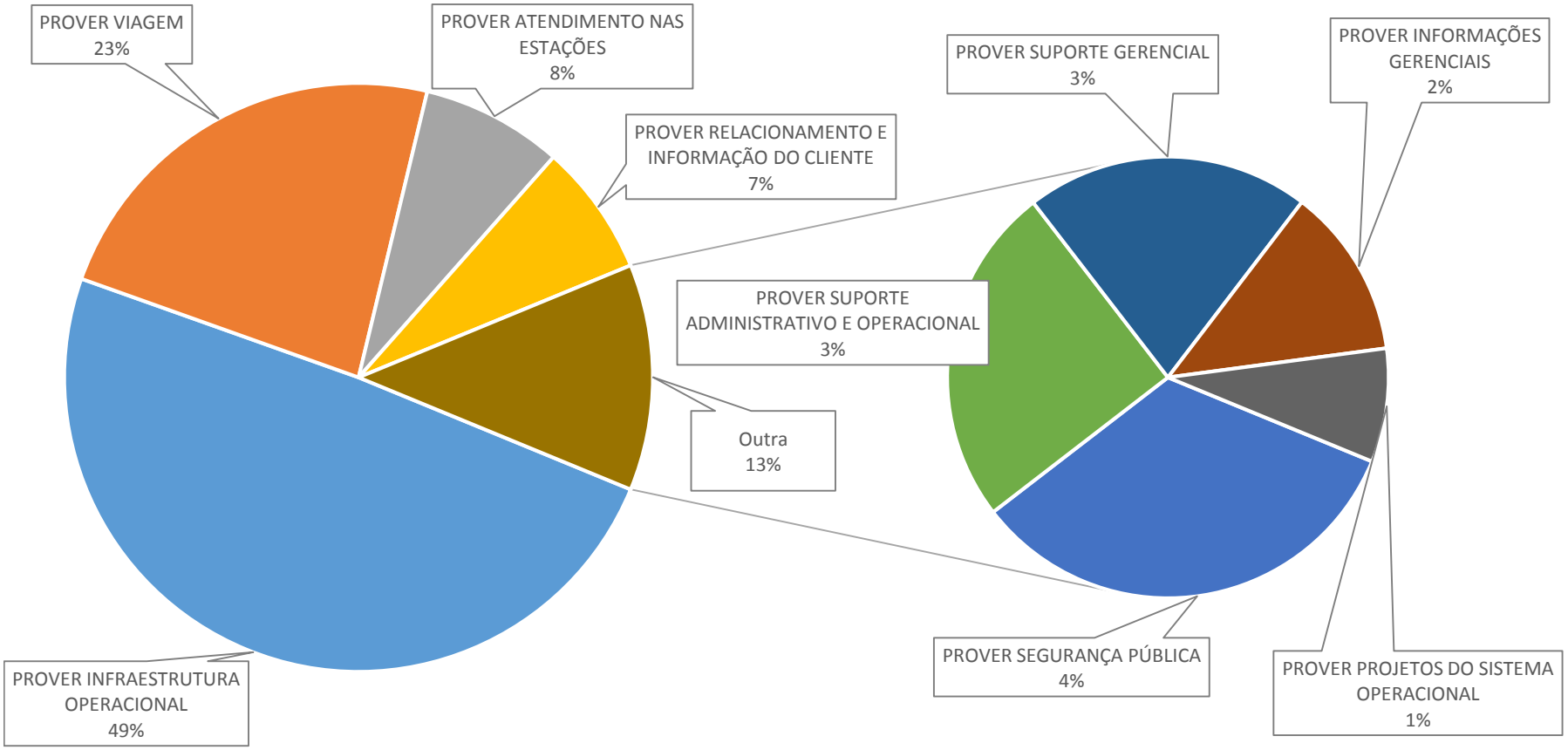
Fonte: *Sistema de Gestão de Documentação - SGD*

Manuais operacionais vigentes na CMSP divididos por macroprocessos

MACROPROCESSOS / CATEGORIAS	QTY MO
PROVER ATENDIMENTO NAS ESTAÇÕES	**15**
"SOFTWARE"	1
ARRECADAÇÃO	5
CONTROLE DE FLUXO NA ESTAÇÃO	3
EQUIPAMENTOS DE FLUXO	1
FISCALIZAÇÃO DE BILHETES	1
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE	3
VENDA DE BILHETES	1
PROVER INFORMAÇÕES GERENCIAIS	**3**
"SOFTWARE"	1
COMPUTADORES / EQUIPAMENTOS	1
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE	1
PROVER INFRAESTRUTURA OPERACIONAL	**95**
"NO BREAK"	1
ADMINISTRAÇÃO DO POSTO	3
CCO	11
DETEÇÃO DE INCÊNDIO	10
DTS / STD	1
EQUIPAMENTOS AUXILIARES	11
EQUIPAMENTOS DE FLUXO	3
FLUXO DE USUÁRIOS	4
HIDRÁULICA	5
LIMPEZA	1
PÁTIO	4
RÁDIO	1
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE	5
SUBESTAÇÃO AUXILIAR	2
SUBESTAÇÃO GERAL	10
SUBESTAÇÃO PRIMÁRIA	1
SUBESTAÇÃO RETIFICADORA	1
TELEFONIA E SONORIZAÇÃO	4
VENTILAÇÃO	7
VIA E SALA TÉCNICA	10
PROVER PROJETOS DO SISTEMA OPERACIONAL	**2**
ADMINISTRAÇÃO DO POSTO	1
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE	1
PROVER RELACIONAMENTO E INFORMAÇÃO DO CLIENTE	**14**
ATENDIMENTO AO USUÁRIO	3
FLUXO DE USUÁRIOS	2
PA	1
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE	5
TELEFONIA E SONORIZAÇÃO	3
PROVER SEGURANÇA PÚBLICA	**8**
ROTINAS DA SEGURANÇA	2
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE	6
PROVER SUPORTE ADMINISTRATIVO E OPERACIONAL	**6**
ADMINISTRAÇÃO DE PESSOAL	1
ADMINISTRAÇÃO DO POSTO	3
ÁREAS AJARDINADAS	1
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE	1
PROVER SUPORTE GERENCIAL	**5**
ADMINISTRAÇÃO DO POSTO	1
PUBLICIDADE	1
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE	2
TELEFONIA E SONORIZAÇÃO	1
PROVER VIAGEM	**45**
"SOFTWARE"	1
ADMINISTRAÇÃO DO POSTO	2
CCO	4
ESTRATÉGIAS OPERACIONAIS	1
ILUMINAÇÃO	1
INTEGRAÇÃO	2
OCORRÊNCIAS OPERACIONAIS	1
PÁTIO	2
RÁDIO	4
SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE	3
SUBESTAÇÃO AUXILIAR	1
TREM-GERAL	10
VIA E SALA TÉCNICA	13
Total Geral	**193**

Fonte: *Sistema de Gestão de Documentação - SGD*

Manuais operacionais vigentes na CMSP divididos por macroprocessos



Fonte: *Sistema de Gestão de Documentação - SGD*

Requisitos de interface para o “ecossistema” metroferroviário

Fonte: Esboço GPR/PRE/CSS

Grupos de cenários operacionais

Modo de Operação Normal:

Todos os sistemas e subsistemas estão operando normalmente conforme projeto

Sem ocorrência de nenhum tipo de falha ou desastre natural.

Modo de Operação Degradado:

Alguns sistemas ou subsistemas não operam conforme projeto

- Falhas humanas
- Desastres naturais
- Outros fatores

Exigem uma ação operacional, mas sem representar ameaça à segurança das pessoas ou graves danos materiais.

Modo de Manutenção:

Manutenção preventiva ou operação durante o período de implantação dos sistemas.

Modo de Operação de Emergência:

Ocorrência operacional anormal com danos a equipamentos e/ou à saúde e segurança humana

Evento inesperado muito grave que pode provocar riscos de vida ou implicações de perda extrema, requerendo atenção imediata.

Fonte: Esboço GPR/PRE/CSS

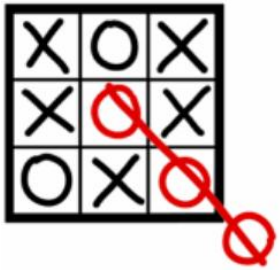
Cenários de riscos para sistemas e civil por modo de operação do APR da L6;

Sistemas

Cenário	Riscos
Normal	47
Emergência	27
Degradado	18
Manutenção	12
Normal / Degradado	1
Degradado / Emergência	1
	106

Civil

Cenário	Riscos
Normal	48
Emergência	38
Manutenção	29
Degradado	6
Degradado / Emergência	1
	122



Inovar? Verificar se existe a possibilidade de ações mitigatórias de riscos por **Sistemas** para alguns cenários exclusivos de riscos de **Civil**

Fonte: Relatório de 2015 de Análise Preliminar de Riscos (APR) para a Linha 6 – Laranja. Consórcio Move 6 São Paulo (AN-6.89.XX.XX/4XX-050).

Análise preliminar de riscos versus cenários operacionais

Agrupamento de falhas / defeitos / ocorrências em **Sistemas** por tipo de cenários:

Normal	47
Portas de Plataforma	13
Rede Aérea	2
SCADA	2
Sinalização e Controle	23
Sistema de Alimentação Elétrica	5
Sistema de Monitoração Eletrônica (SME)	2

Degradado	18
Portas de Plataforma	1
SCADA	4
Sinalização e Controle	7
Sistema de Controle de Acesso	6

Manutenção	12
Rede Aérea	2
SCADA	1
Sinalização e Controle	2
Sistema de Alimentação Elétrica	6
Veículo de Manutenção	1

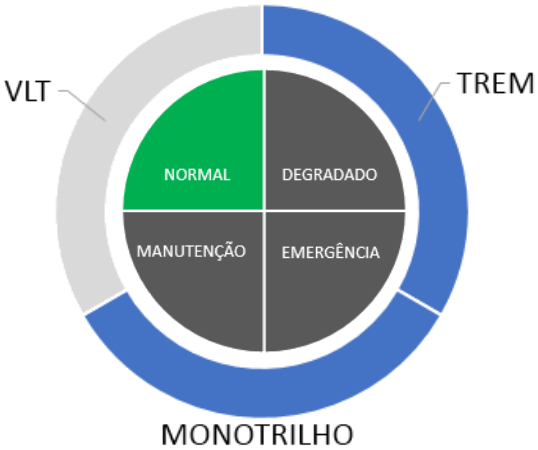
Emergência	27
Centro de Controle	1
Portas de Plataforma	1
Rede de Transmissão de Dados	2
SCADA	6
Sinalização e Controle	2
Sistema de Alimentação Elétrica	2
Sistema de Comunicação Móveis (SCM)	1
Sistema de Comunicações Fixas (SCF/Telefonia)	1
Sistema de Comunicações Móveis / Rede Wifi	1
Sistema de Monitoração Eletrônica (SME)	2
Sistema de Multimídia (SMM/Áudio)	1
Sistema de Multimídia (SMM/Vídeo)	1
Túnel	1
Ventilação Principal	5

Degradado / Emergência	1
Sinalização e Controle	1

Normal / Degradado	1
Sinalização e Controle	1

Fonte: Relatório de 2015 de Análise Preliminar de Riscos (APR) para a Linha 6 – Laranja. Consórcio Move 6 São Paulo (AN-6.89.XX.XX/4XX-050).

Esboço de ficha de cenário operacional



Descrição do cenário

Risco: Sinalização de portas do trem

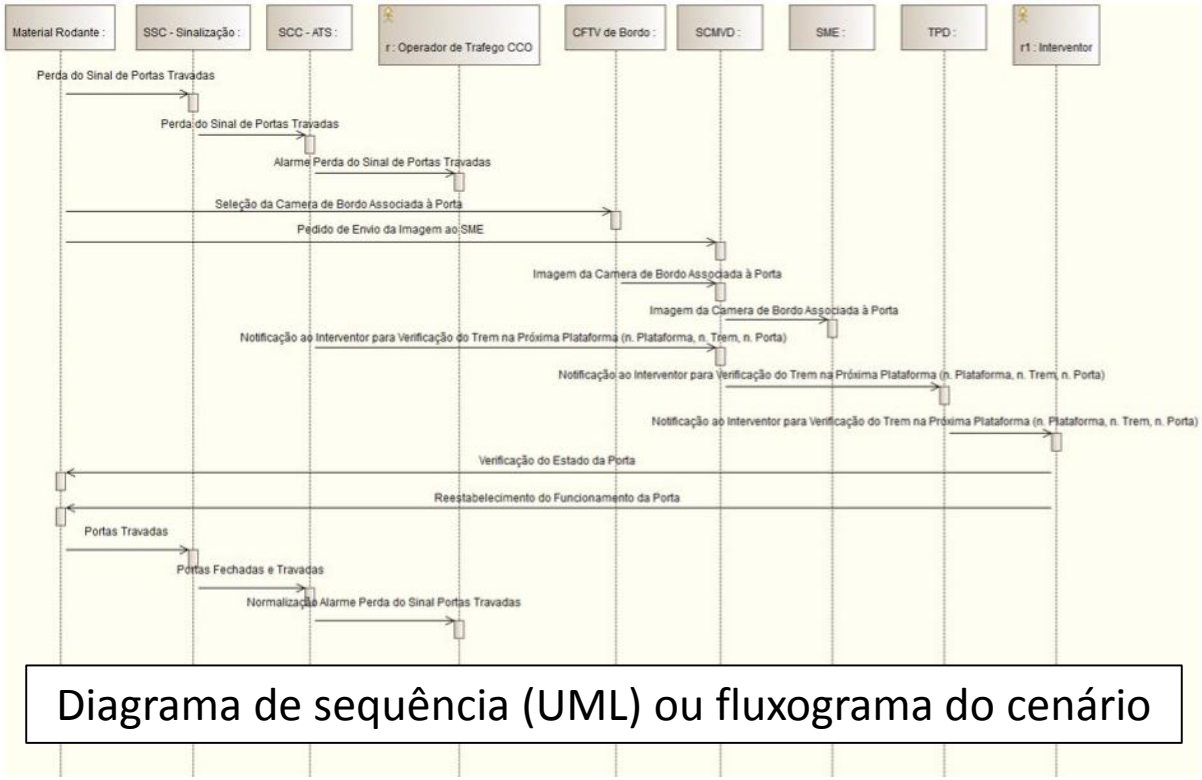


Diagrama de sequência (UML) ou fluxograma do cenário

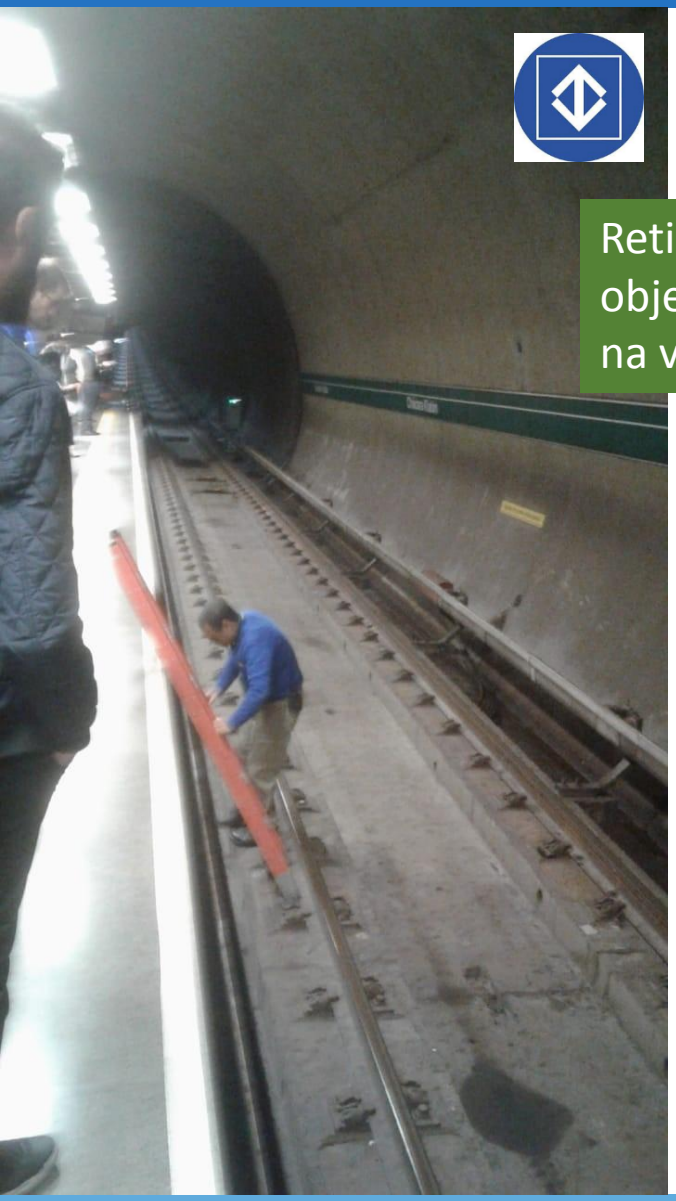
Sistemas: #MR, #SSC, #SCC, #PA, #SME

Pessoas: #Operador CCO

Exemplos de mudança de funções com novos cenários operacionais

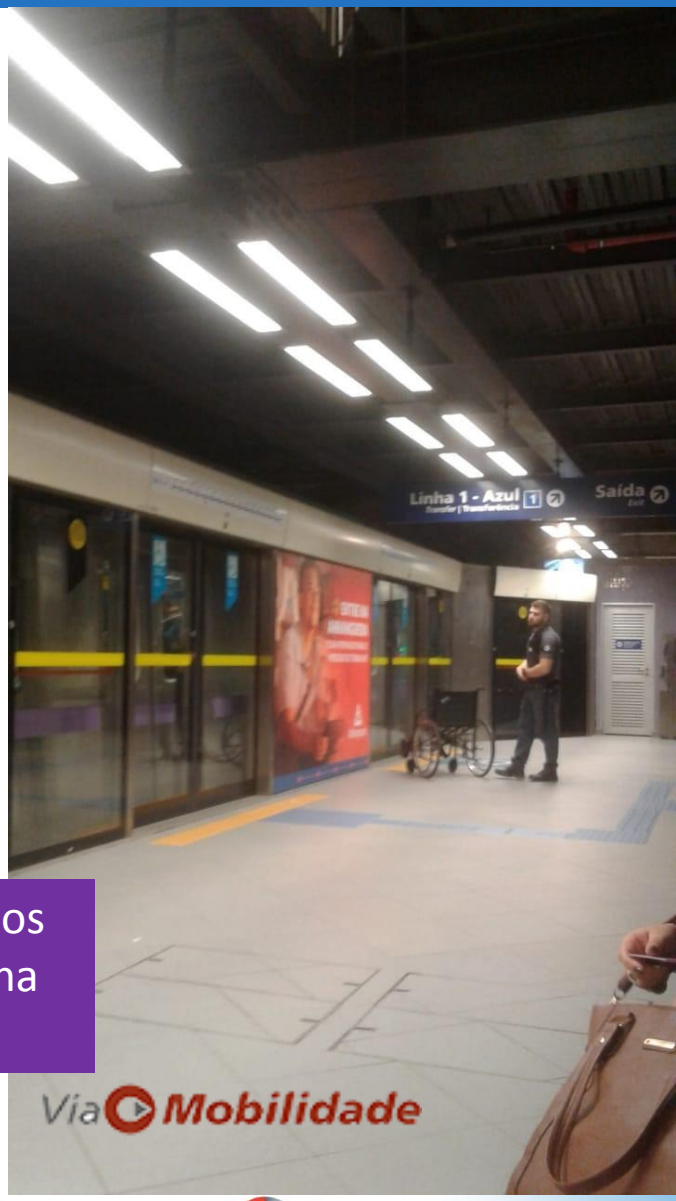
Fonte: *Internet*

Exemplos de cenários nominais

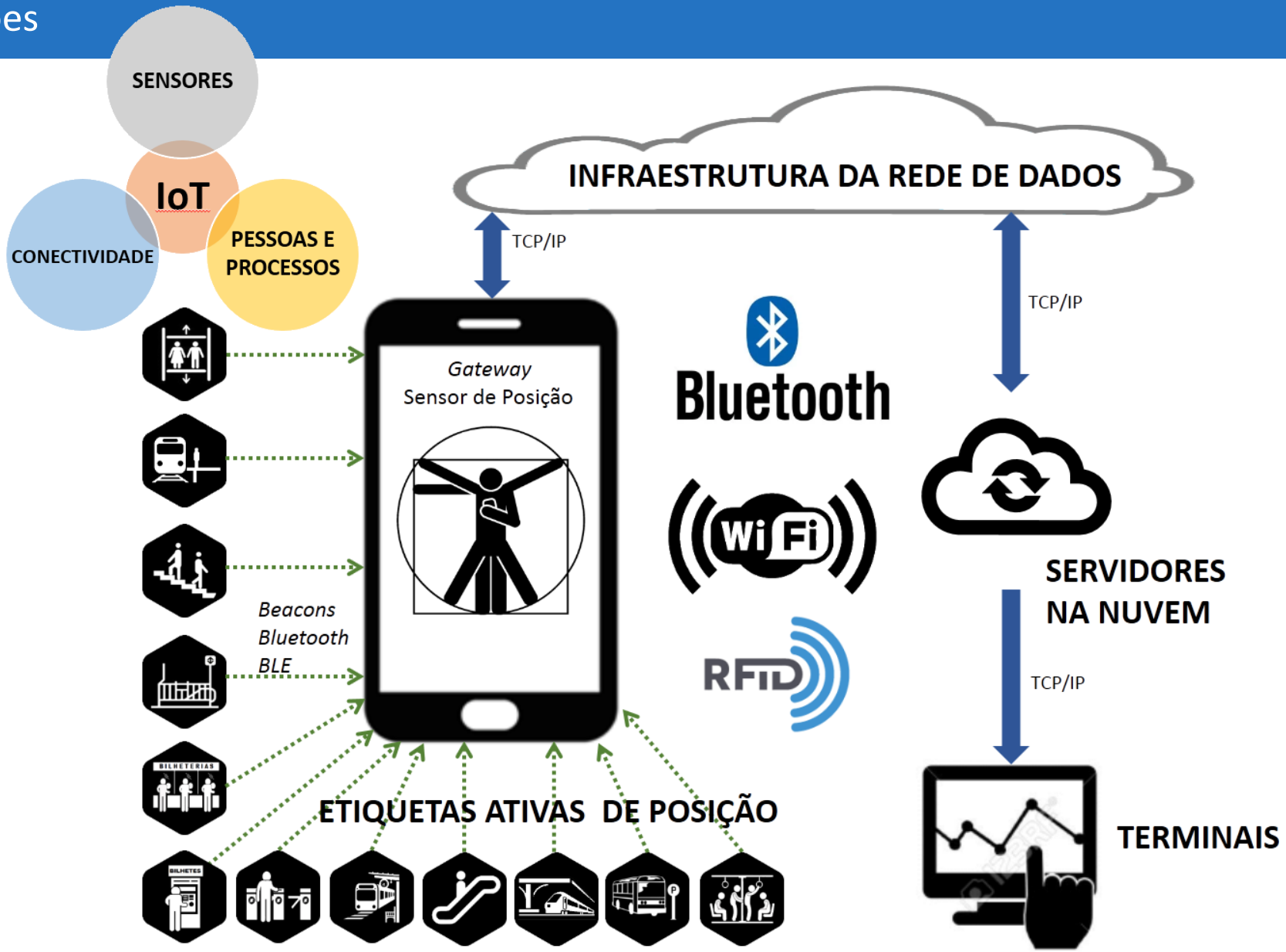


Retirada de objetos caídos na via

Assistência aos passageiros na plataforma



Inovações


SENSORES
IoT
CONECTIVIDADE
PESSOAS E PROCESSOS
INFRAESTRUTURA DA REDE DE DADOS
TCP/IP
TCP/IP
Gateway
Sensor de Posição
Bluetooth
WiFi
RFID
SERVIDORES NA NUVEM
TCP/IP
Beacons
Bluetooth
BLE
ETIQUETAS ATIVAS DE POSIÇÃO
TERMINAIS

Inovações

- Uso da informações georeferenciadas, e em tempo real, do fluxo de usuários para melhor planejamento da oferta de transportes

- O passageiro como partícipe no aprimoramento da qualidade de serviço dos transportes, fazendo denúncias e apontando pontos de melhoria automaticamente georeferenciados nos trens e estações

- Big data aliado com inteligência artificial identificando padrões e tendências no fluxo de passageiros e nas imagens

MUDANÇA CULTURAL **MAIS COLABORAÇÃO** **MAIS PREDIÇÃO**

Para reflexão

"Não há homens ou máquinas. Os dois só sobrevivem juntos.“

Michael Dell

Obrigado!

Coordenador Eng. Rubens Navas Borloni (rborloni@metrosp.com.br)
Supervisor Eng. Felipe Copche (fcopche@metrosp.com.br)
Supervisor Eng. Mônica Aparecida Pilão dos Santos (monicapsantos@metrosp.com.br)

Projetos de Sinalização e Controle
Metrô de São Paulo | Secretaria de Transportes Metropolitanos
Rua Augusta, 1626 - 8º Andar
Cerqueira César - São Paulo - SP

MAIS TRILHOS, MAIS DESENVOLVIMENTO.