

A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTES COMO FERRAMENTA DE EFICIÊNCIA E SEGURANÇA OPERACIONAL NO VEÍCULO LEVE SOBRE TRILHOS

Leonardo Cezário Ferreira da Silva

Marina Leite de Barros Baltar

Paulo Cezar Martins Ribeiro

Universidade Federal do Rio de Janeiro
COPPE/UFRJ – Programa de Engenharia de Transportes

RESUMO

O artigo apresenta uma proposta de arquitetura de Sistema Inteligente de Transporte (ITS) aplicada ao Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), tendo como base a arquitetura ARC-IT versão 8.1 (United States Department of Transportation). Estabelece uma base comparativa com o modelo existente na cidade do Rio de Janeiro, destacando como a tecnologia contribui para eficiência e segurança da operação ferroviária; e descreve os principais pontos destacados pela literatura internacional, posicionando as soluções adotadas perante as demais disponíveis, relatando o quanto as iniciativas são aderentes ao negócio de transporte e finalizando com uma breve descrição dos pontos fortes, fracos, oportunidade de melhoria e ameaças.

ABSTRACT

This paper presents a proposal of Intelligent Transportation System (ITS) architecture applied to Light Rail Transit (LRT), based on the ARC-IT version 8.1 architecture (United States Department of Transportation). It establishes a comparative basis with the existing model in the Rio de Janeiro city center, highlighting how the technology contributes to the efficiency and safety of the railway operation; and describes the main points in the international literature, positioning the solutions adopted in relation to the others available, reporting how initiatives are adherent to the transportation business and ending with a brief description of the strengths, weaknesses, opportunity for improvement and threats.

1. INTRODUÇÃO

A crescente utilização de sistemas inteligentes para o desenvolvimento do transporte de pessoas permite, através do constante fluxo de dados e troca de informações, uma maior integração entre diferentes atores que realizam a movimentação diária. Operações tornam-se mais eficientes com a redução de congestionamentos, do tempo de viagem e de custos decorrentes do elevado tempo de espera.

Sistemas inteligentes de transporte, ou ITS, é o uso de tecnologia, comunicação e informação para a entrega de mobilidade e transporte eficientes, otimizando a infraestrutura existente ao invés de criar infraestruturas físicas extras (ITS-UK, 2016). A infraestrutura inteligente é o componente-chave no suporte, gerenciamento e interação entre motoristas/veículos e o operador da rede (ERTICO, 2008).

Ao organizar o transporte no dia-a-dia, os sistemas ITS ajudam a melhorar a qualidade do serviço e aumentar o conforto e a segurança do usuário, facilitando a coordenação no gerenciamento do tráfego (MCT, 2017). Aumenta a produtividade por meio de comunicações avançadas, sensores e tecnologias de processamento, abrangendo uma ampla variedade de informações e produtos eletrônicos baseados em comunicações fixas e sem fio (USDOT, 2008).

Em função de sua integração ao ambiente urbano da cidade, o veículo leve sobre trilhos (VLT) é naturalmente receptivo à aplicação de ITS como meio de garantir um transporte eficiente e seguro. A interação entre o trem e usuários da rua é contínua e o uso de tecnologias auxiliam que este relacionamento seja de forma harmônica, eficiente e com risco controlado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ITS-UK (2016) relaciona os benefícios dos sistemas inteligentes de transporte para a saúde, segurança e meio ambiente, transporte público, motoristas e gerenciamento de tráfego, ressaltando o impacto econômico positivo das soluções. Posiciona o tema de forma estratégica no Reino Unido, ressaltando como as tecnologias são desenvolvidas, testadas e adotadas. MCT (2017) apresenta as principais áreas em que ITS é aplicado, usando como exemplos serviços e tecnologias desenvolvidos por empresas francesas. E USDOT (2008) apresenta o desempenho de ITS, bem como informações de custos, níveis de implantação e lições aprendidas.

ARC-IT (2018) propõe uma arquitetura de referência para conceber, projetar e implementar sistemas utilizando linguagem comum como base e fornecendo uma estrutura para planejar, definir e integrar sistemas inteligentes de transporte. Brewer e McCarthy (2017) definem que a arquitetura ITS está relacionada tanto a lógica quanto a física (infraestrutura) e é desenhada para satisfazer um conjunto definido de serviços ao usuário. Para Jannuzzi (2008), a arquitetura lógica é descrita como uma ferramenta que auxilia a organizar entidades complexas e suas relações, com orientação para processos funcionais e fluxos de informação dos sistemas, enquanto que a arquitetura física forma uma estrutura de alto nível em torno dos processos, definindo os componentes físicos da solução de ITS e a arquitetura de fluxos que conecta vários subsistemas e terminais: pessoas, sistemas e ambiente de interface. A arquitetura física dos é apresentada na Figura 1, devendo englobar, conforme Jannuzzi (2008), os protocolos que serão de conhecimento geral para que todos possam compartilhar as informações.

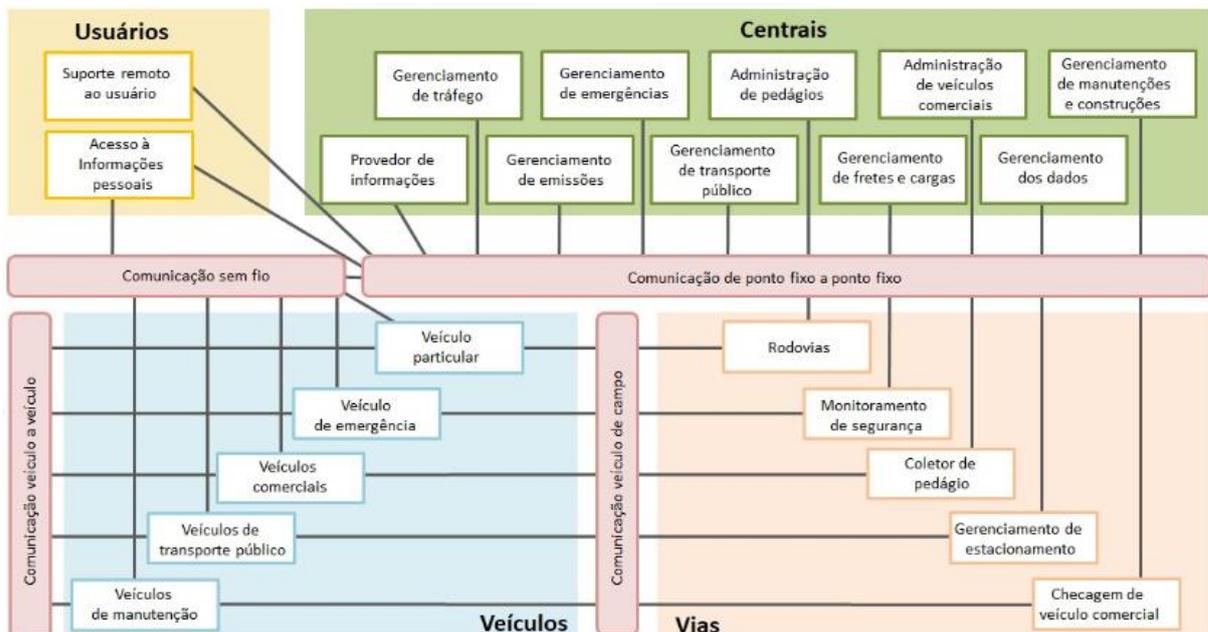


Figura 1: Arquitetura física de ITS, ARC-IT (2018) e Jannuzzi (2008)

Dentre as soluções adotadas no VLT, o presente artigo aborda o sistema de gerenciamento de cobrança de tarifas, o sistema de contagem de passageiros, o sistema de informações aos usuários, o sistema de rastreamento de veículos e a contribuição do monitoramento de desempenho para a segurança operacional. No gerenciamento de cobrança de tarifas, diferentes soluções foram estudadas ao longo dos anos para atender os objetivos, variando segurança (possibilidade de falsificação), interoperabilidade, terem múltiplos canais de venda, valor de

investimento etc. A Tabela 1 elaborada pelo Banco Mundial (TWB, 2016) apresenta de forma consolidada as forças e fraquezas das principais tecnologias disponíveis.

Tabela 1: Forças e fraquezas das tecnologias disponíveis

Tecnologia	Descrição da tecnologia	Velocidade da transação	Possibilidade e de falsificação	Viabilidade para tickets baseado no tempo	Interoperabilidade	Permite estratégias de tarifas flexíveis	Múltiplos canais de venda	Investimento e custos operacionais	Velocidade de implementação
Dinheiro	Passageiro paga o condutor ao entrar no veículo.	○	○	○	◐	○	◐	◐	◐
Token	Token metálico de uso exclusivo em transporte. Pagamento na entrada.	○	○	○	◐	○	○	◐	◐
Papel	Passageiro emite um ticket de papel para a viagem	○	○	○	◐	○	○	◐	◐
Tarja magnética	Informação da viagem é codificada em tarja magnética.	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Smartcard	Cartão plástico com <i>chip</i> embutido que carrega o ticket do passageiro e apresentado a um leitor, o passageiro.	◐	◐	●	●	◐	◐	◐	●
Código de barras 2D	Impressos pelo passageiro antes da viagem ou conduzidos em dispositivos móveis.	◐	◐	●	●	◐	◐	◐	●
Cartão de pagamento sem contato	Utilização de cartão bancário para pagar a viagem entrando ou saindo do veículo.	●	●	●	●	●	◐	●	◐
Dispositivo móvel	Um dispositivo móvel pode ser utilizado para levar um ticket que posteriormente é apresentado visualmente ou via código de barras 2D.	◐	◐	●	●	◐	◐	●	●
Token identidade	Passageiro apresenta um token confiável, p.ex. um cartão de identidade pessoal ou similar.	●	●	●	●	●	◐	●	◐
Comunicação por campo de proximidade	Permite que um telefone móvel ou cartão de banco comunique da mesma maneira que um cartão de transporte sem contato.	◐	◐	●	●	◐	◐	◐	●
Biometria	Utiliza a biometria para dar direito a viagem. O escritório calcula a tarifa.	◐	●	●	●	◐	◐	◐	◐

Fonte: TWB (2016)

Drdla e Bulíček (2012) apresentam o sistema de coleta de tarifas de forma integrada nos sistemas de transporte de passageiros. Já Pereira (2007) apresenta uma metodologia baseada no modelo de custo-eficácia para avaliar os vários e diferentes tipos de sistemas existentes, já que suas capacidades são variadas. TWB (2016) se concentra em opções para a introdução de sistemas de gerenciamento de coleta de tarifa, baseada na experiência de outros países e levando em conta recentes mudanças em tecnologia. Apresenta uma visão geral da tecnologia, abordagens internacionais, padrões de desenvolvimento na Europa e interoperabilidade.

No sistema de contagem de passageiros, Bernini *et al.* (2014) descrevem o sistema concebido para veículos do transporte público, tendo a ideia de monitoramento do número de passageiros que embarcam e desembarcam. Boyle (1998) apresenta uma síntese das tecnologias existentes, apontando práticas e recomendações para o uso apropriado do sistema, enquanto que Pinna *et al.* (2010) atualizam as tecnologias utilizadas para a contagem automática de passageiros. As principais soluções são agrupadas e ordenadas na Tabela 2. Myrvoll *et al.* (2017) apresentam um conceito inovador para contagem utilizando assinaturas WiFi de qualquer dispositivo móvel no veículo. O modelo formulado estima o número de passageiros viajando, sem, todavia,

modelar a taxa de embarque e desembarque nas paradas. Já Barabino *et al.* (2014) propõem o desenvolvimento de uma estrutura para processar os dados brutos coletados, construindo uma eficiente ferramenta de avaliação que consegue conciliar os dados de contagem com paradas.

Tabela 2: Vantagens e desvantagens de soluções em contagem de passageiros

TIPO	DESCRIÇÃO	VANTAGENS	DESvantagens	FONTE
Manual	Pesquisa manual de operadores com o público (survey)	Útil em níveis mais desagregados, como segmento de rotas, paradas e perfil de viagens (matriz O/D)	Manipulação de dados manualmente pode levar a erros ou imprecisões Compilação de dados demorada e trabalhosa (registro, estatísticas etc.)	Boyle, 1998
		Um método bem estabelecido não requer um conhecimento tecnológico específico	Confiabilidade dos verificadores Custo e consequente limitações nos recursos de coleta de dados	
Registro eletrônico de tarifas	Equipamentos com ou sem tripode que aceita notas, smartcards etc.	Muito útil para coleta de dados em níveis agregados	Problemas mecânicos no equipamento (travamento de notas, cofres cheios etc.)	Boyle, 1998
		Capacidade de coleta de grande quantidade de dados	Problemas de software Falta de precisão dos dados de viagem	
Sensores infra-vermelhos (tipo ativo)	Emissores paralelos com realização da contagem através da interrupção dos fachos	Pode ser teoricamente instalado em qualquer tipo de veículo	Necessidade de instalar mais de um sensor por porta (custo)	Pinna <i>et al.</i> (2010)
		Permite distinguir embarques e desembarques	Geralmente com precisão menor que sensores de esteira ($\approx 90\%$)	
		Fácil de encontrar no comércio (fácil reposição)	Necessidade de limpeza diária dos sensores para melhor leitura de dados	
		Sem partes móveis	Visível aos passageiros	
Sensores infra-vermelhos (tipo passivo)	Divide o único raio infra-vermelho em feixes, criando uma área de detecção volumétrica	Pode ser teoricamente instalado em qualquer tipo de veículo	Necessidade de instalar mais de um sensor por porta (custo)	Pinna <i>et al.</i> (2010)
		Permite distinguir embarques e desembarques	Geralmente com precisão menor que sensores de esteira ($\approx 90\%$)	
		Fácil de encontrar no comércio (fácil reposição)	Necessidade de limpeza diária dos sensores para melhor leitura de dados	
		Capacidade de administrar fluxos mais rápidos e compactos de passageiros	Visível aos passageiros	
		Sem partes móveis	Potencialmente sensível a radiações eletrostáticas A cobertura dos feixes pode ser muito larga, levando a contagens erradas	
Sensores de esteira	Equipamento que registra os passageiros à medida que eles pisam na esteira	Alta precisão ($> 95\%$ em condições ótimas de uso)	Com muitas pessoas gera erro de leitura à medida que pessoas se deslocam	Pinna <i>et al.</i> (2010)
		Manutenção preventiva não é necessária	Necessita de entradas apropriadas, com no mínimo dois degraus	
		Não é visível aos passageiros	Necessita de um fluxo mais lento de passageiros, possivelmente em fila única	
		Não suscetível a emissões eletrostáticas	Partes mecânicas sensíveis a sujeiras e condições do ambiente	
Sensores ópticos e de visão	Detecção do formato de passageiros através de câmeras estereoscópicas 3D	Alta precisão ($> 98\%$)	Não reportado	Pinna <i>et al.</i> (2010)
		Permite gravar hora e data, facilitando análises estatísticas)		
		Menor dificuldade de manutenção (sem partes móveis)		
		Menor dificuldade de instalação		
		Distingue usuários de animais, bolsas etc.		

Fonte: adaptado de Boyle (1998) e Pinna *et al.* (2010)

Os serviços de informações para passageiros em sistemas de transporte público é tema do relatório 45 de TCRP (1999). Pesquisadores realizaram uma revisão bibliográfica das práticas existentes, identificando métodos utilizados no comportamento de orientação e a percepção dos usuários sobre informações impressas e gráficas, aprendizado e preferências no transporte

público. Ramli *et al.* (2017) estudam o nível de serviço da movimentação de pedestres relacionados com o desempenho da informação em transporte público. Para os autores, sistemas de informação de usuários são importantes para planejamento de viagem e tomada de decisão, ressaltando que informações pobres diminuem a eficiência do fluxo de passageiros pela redução da velocidade do grupo, causado pela aglomeração nos pontos próximos de informação. Por outro lado, Sundar e Rajagopal (2017) indicam um moderno sistema de informação de passageiros baseado na Internet das Coisas (IoT), propondo eliminação da incerteza da chegada de veículos e obtendo estimativas de superlotação, permitindo ao usuário decidir se embarca em um veículo lotado ou aguarda um mais vazio, sendo exemplo da utilização conjunta da contagem de passageiros, informação ao usuário e rastreamento de veículos.

Por fim, o sistema de monitoramento de desempenho para melhoria da segurança operacional possui grande relevância no controle de riscos. “Marcha à vista é um princípio básico aplicado ao condutor de VLT: ele adapta a velocidade e condiciona seu ritmo de condução com o que ele visualiza” (Menetrix, 2008). Por concepção, a condução do VLT é baseada na marcha à vista, onde a segurança do sistema depende da atenção, habilidade e perícia do condutor. Isto significa que fatores humanos influenciam de forma determinante na construção de uma operação segura e na prevenção de erros operacionais, incidentes e acidentes. Çelikyay *et al.* (2017) apresentam a aplicação de análise de caixa preta em transporte público como um Sistema Inteligente de Transporte (ITS) e o resultado na performance do condutor. Os autores contextualizam a utilização de ITS dentro das *smart cities* e como a análise de dados em tempo real pode contribuir para ganhos de desempenho e segurança da operação.

3. AVALIAÇÃO DE ITS NO VLT DO RIO DE JANEIRO

No gerenciamento de cobrança de tarifas, a solução adotada no VLT do Rio de Janeiro é a do tipo *Smartcard*. O sistema é composto basicamente pelo leitor (validador), equipamento responsável por efetuar a cobrança eletrônica da tarifa, e o bilhete (cartão), meio físico com a informação de saldo financeiro para efetivação do pagamento da passagem. O cartão armazena informações de data e horário de validação, sentido de deslocamento e se já foram realizadas integrações tarifárias com outros modos de transporte. A tecnologia utilizada mostra-se eficiente e aderente ao modelo de negócios, embora o modelo de *Smartcard* da cidade possua dependência de único fornecedor, dificultando a evolução da tecnologia inerente ao processo concorrencial.

Na contagem de passageiros, a solução adotada é a utilização de câmeras de contagem. Sensores ópticos localizados na parte superior de cada porta geram imagens de vídeo do que ocorre no campo de visão e capturam imagens tridimensionais, identificando uma pessoa e seguindo seus movimentos até deixar a área de detecção. A Figura 2 apresenta o funcionamento do sistema.

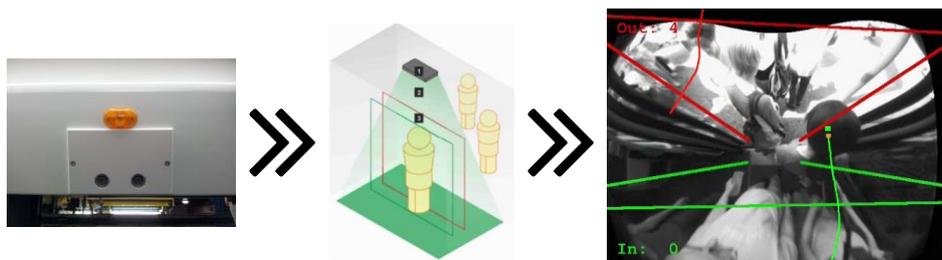


Figura 2: Sistema de contagem de passageiros, adaptado de VLT Carioca (2018)

Outro ponto positivo do sistema de contagem de passageiros é que, em conjunto com o sistema de bilhetagem eletrônica, permitem identificar o índice de pessoas que utilizam o serviço de forma clandestina e sem pagamento da passagem. O cálculo do índice de evasão (pessoas que viajam sem o pagamento da tarifa) pode ser realizado através da aplicação da Equação 1.

$$E = \frac{100}{\sum_{i=1}^n c_i} \left(\sum_{i=1}^n c_i - \sum_{i=1}^n v_i \right) \quad (1)$$

Em que:

E = taxa de evasão [%]

n = número de veículos que circularam em operação comercial no período

c_i = contagem de passageiros do i -ésimo trem operacional no período

v_i = contagem de validações do i -ésimo trem operacional no período

De modo geral, a solução adotada é bastante aderente ao negócio de transporte, permitindo de forma ágil e confiável obter dados que influenciam na arrecadação e no plano estratégico da empresa. Adicionalmente, estabelece linguagem unificada e padronizada com o poder concedente (Governo), sendo uma fonte de dados íntegra e auditável.

Nos sistemas de informação ao usuário e de rastreamento de veículos, o VLT do Rio de Janeiro fornece uma vasta gama de opções de acesso a informação, algumas delas não tão comuns no contexto brasileiro, tais como a previsão do tempo de chegada do próximo veículo em qualquer parada em operação e em smartphones, conforme apresentado na Figura 3.

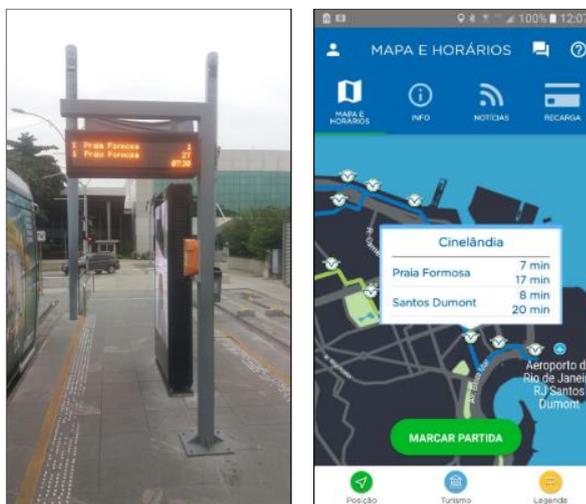


Figura 3: Previsibilidade dos veículos, VLT Carioca (2018)

Um conjunto de letreiros na composição e na plataforma, vídeos no interior da composição, mapas e regras gerais em placas de aviso nas paradas e a interface em tempo real por aplicativo de celular buscam fornecer ao público uma ampla visão do sistema de transporte. Conforme ratificado por Hough *et al.* (2002), anúncios no interior da composição auxiliam passageiros com deficiência visual ou auditiva a reconhecer sua parada. Iniciativas utilizadas no VLT do Rio de Janeiro são apresentadas na Tabela 3 e comunicação dentro da composição na Figura 4.

Tabela 3: Sistemas de informação do sistema de VLT do Rio de Janeiro

INFORMAÇÃO DESEJADA	ANTES DE DECIDIR O MODO DE TRANSPORTE	AO CHEGAR NO PONTO DE ORIGEM DA VIAGEM	DURANTE A VIAGEM	AO CHEGAR EM PONTO DE TRANSFERÊNCIA	AO CHEGAR NO PONTO DE DESTINO DA VIAGEM
Localização da parada mais próxima	Aplicação smartphone (APP)	N/A	Diagrama unifilar do trecho (paradas)	N/A	N/A
			Painel de mensagens variáveis (vídeo)		
			Sistema informativo de som (áudio)		
Horário de funcionamento	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)
	Internet (website)	Internet (website)	Internet (website)	Internet (website)	Internet (website)
		Comunicação de parada (placas)		Comunicação de parada (placas)	
Rotas da viagem para o destino	Aplicação smartphone (APP)	Comunicação de parada (mapa)	Diagrama unifilar do trecho (paradas)	Comunicação de parada (mapa)	Comunicação de parada (mapa)
			Painel de mensagens variáveis (vídeo)		
Valor da Tarifa	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)
	Website	Website	Website	Website	Website
		Comunicação de parada (placas)		Comunicação de parada (placas)	
Regras de utilização e pagamento da viagem	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)
	Website	Website	Website	Website	Website
		Comunicação de parada (placas)	Sistema informativo de som (áudio)	Comunicação de parada (placas)	Comunicação de parada (placas)
Tempo de partida (previsão)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)
		Painel de mensagens variáveis (vídeo)		Painel de mensagens variáveis (vídeo)	Painel de mensagens variáveis (vídeo)
Tempo de viagem (duração)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)
Identificação do veículo correto para embarque	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)
		Website		Website	Website
		Comunicação de parada (mapa)		Comunicação de parada (mapa)	Comunicação de parada (mapa)
	Website	Painel de mensagens variáveis (parada)	Website	Painel de mensagens variáveis (parada)	Painel de mensagens variáveis (parada)
		Painel de mensagens variáveis (veículo)		Painel de mensagens variáveis (veículo)	Painel de mensagens variáveis (veículo)
Identificação da parada para desembarque	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)	Aplicação smartphone (APP)
		Website	Website	Website	Website
			Comunicação de parada (mapa)	Comunicação de parada (mapa)	Comunicação de parada (mapa)
	Website	Painel de mensagens variáveis (parada)	Website	Painel de mensagens variáveis (parada)	Painel de mensagens variáveis (parada)
		Painel de mensagens variáveis (veículo)		Painel de mensagens variáveis (veículo)	Painel de mensagens variáveis (veículo)
Interrupção do serviço comercial	Redes sociais	Redes sociais	Redes sociais	Redes sociais	Redes sociais
		Painel de mensagens variáveis (parada)	Painel de mensagens variáveis (vídeo)	Painel de mensagens variáveis (parada)	Painel de mensagens variáveis (parada)
			Sistema informativo de som (áudio)		

Fonte: elaboração própria dos autores

Um dos desafios no Rio de Janeiro é garantir a integração dos sistemas de informação ao usuário dos diferentes operadores de transporte público, de modo que, durante uma viagem em

diferentes modos de transporte, o passageiro esteja ciente das condições de tráfego até o destino. Conforme ressaltado por UK-GCSA (2014), tornar os dados abertos e agregados vai requerer um esforço muito maior dos operadores de transporte e dos órgãos de administração pública.

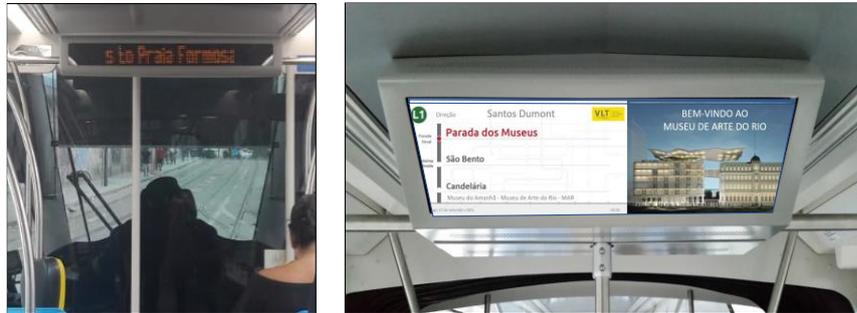


Figura 4: Informação de rota e destino, VLT Carioca (2018)

Por fim, o sistema de monitoramento de desempenho no VLT do Rio de Janeiro ratifica o conceito de melhoria da segurança operacional amplamente discutido na literatura internacional. O traçado apresenta uma alta integração com o ambiente urbano, percebida pela ausência de proteções, divisões ou faixa de domínio dedicada, onde as vias se misturam no ambiente e, aliado com a criticidade na transposição de interseções semaforizadas, cresce o risco de colisão com automóveis, pedestres, ciclistas, motociclistas etc. Cada composição possui uma central taquimétrica com gravador de eventos, equivalente a uma caixa preta da aviação. A gravação permite acesso a, conforme reportado por Alstom (2013), informações lógicas registradas em conformidade com recomendações da STRMTG (*Service Technique de Remontées Mécaniques et des Transports Guidé*), tais como frenagem (emergência, segurança etc.), posição do manipulador (neutra e frenagem), vigília, acionamento de elementos ligados à segurança (controle de fechamento de portas, buzina, gongo etc.) e informações do estado da composição (cabine de serviço, marcha ré etc.). O registro, armazenamento e análise dos dados provenientes da caixa preta permitem entender comportamentos históricos, analisar o perfil de cada condutor, investigar acidentes e implementar um regime de auditorias que, de forma preventiva, verifique o cumprimento de procedimentos e o perfil de condução de cada profissional. A Figura 5 apresenta um exemplo da análise de caixa preta.

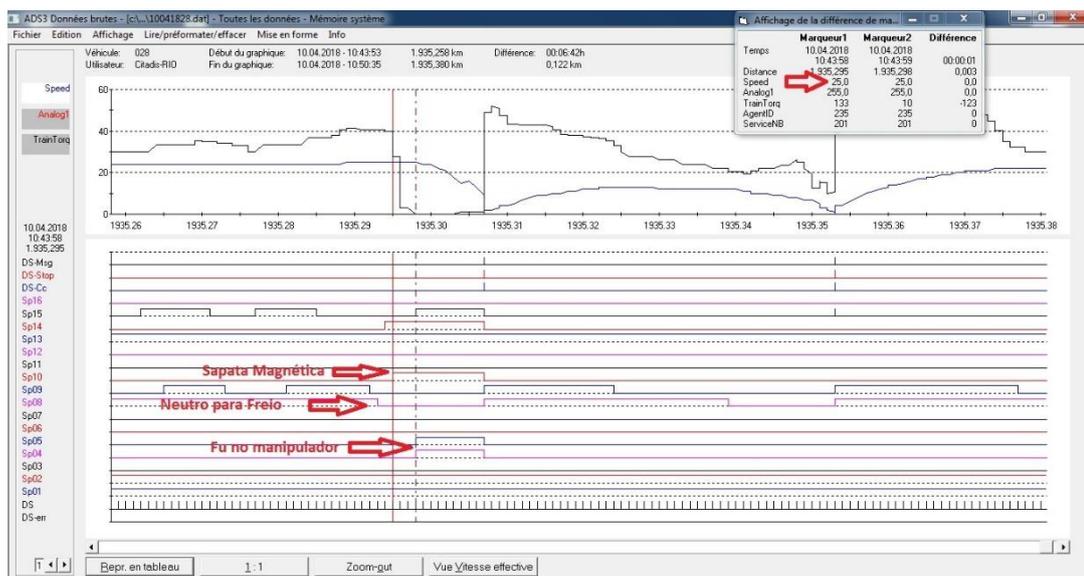


Figura 5: Exemplo de análise de caixa preta, adaptado de VLT Carioca (2018)

O modo de condução é monitorado de forma periódica, seja para níveis de conforto (aceleração/frenagem brusca), cumprimento de procedimentos, comportamento em situações adversas e cultura de prevenção de acidentes, avaliando o fator humano e sua influência na segurança ferroviária.

De modo geral, os sistemas utilizados no VLT do Rio de Janeiro possuem caráter inovador em tecnologia quando comparados com as demais opções de transporte da cidade. O resumo dos pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças é apresentado na Figura 6.

<p>S</p> <p style="text-align: right;">FORÇAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • SCP: permite conhecer entradas e saídas por local (comportamento da demanda); • SCP/SBE: permitem o acompanhamento do índice de evasão; • SIU/SRV: informação em tempo real da previsão de chegada do próximo veículo baseado no destino desejado; • MD: melhoria contínua da operação com o monitoramento de desempenho e segurança dos condutores). 	<p>W</p> <p style="text-align: right;">FRAQUEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • SCP: não permite conhecer a origem/destino por pessoa; • SBE: solução Smartcard da cidade com sistema com especificação de propriedade de um único fornecedor; • MD: dados de caixa preta conseguidos mediante <i>download</i> local e por amostragem.
<p>O</p> <p style="text-align: right;">OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • SIU: integração de informações entre os modos de transporte complementares (VLT, trem, metrô, aeroporto, barcas e ônibus), informando de forma conjunta interrupções, anormalidades etc.; • SIU/MD: integração da informação de taxa de ocupação dos veículos nas previsões de chegada ao usuário, possibilitando a escolha por trens mais ou menos ocupados; • MD: acompanhamento em tempo real das variáveis de condução, aumentando a massa de dados analisados para composição estatística. 	<p>T</p> <p style="text-align: right;">AMEAÇAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • SRV: bloqueio de via por veículos de terceiros influenciando na previsão de chegada do VLT na plataforma;

LEGENDA: SCP: Sistema de Contagem de Passageiros SBE: Sistema de Bilhetagem Eletrônica SIU: Sistema de Informação ao Usuário
SRV: Sistema de Rastreamento de Veículos MD: Monitoramento de Desempenho

Figura 6: Análise SWOT (forças, fraquezas, oportunidades e ameaças), elaboração própria dos autores.

4. UMA PROPOSTA DE ARQUITETURA ITS PARA VLT

Arquitetura é um modelo dentro do qual um sistema pode ser construído, definindo funcionalmente quais são as partes do sistema e as informações trocadas entre elas. Uma arquitetura é funcionalmente orientada e não específica à tecnologia, o que permite que permaneça eficaz ao longo do tempo (ARC-IT, 2018). O propósito do sistema de gerenciamento de cobrança de tarifas é reduzir o custo de manuseio e proteger a receita de transporte com conveniência ao passageiro (Hough *et al.*, 2002), permitindo uma viagem mais rápida e fácil no transporte público e fornecendo informações que motivem melhorias ao sistema de transporte (ITS-UK, 2016). Já o sistema de contagem de passageiros permite ao operador de forma precisa e segura conhecer e medir o fluxo de entrada e saída de usuários, possibilitando a adoção de estratégias diferenciadas para cada local. Para Bernini *et al.* (2014), a ideia é monitorar o número de passageiros que entram e saem dos meios de transporte ao longo do tempo e computar estimativas confiáveis a fim de melhorar o controle de porta dos veículos, sendo uma atividade de interesse econômico e de segurança.

No sistema de informação ao usuário, passageiros em trânsito esperam ter informações abrangentes sobre vários modos (incluindo informações de tráfego) disponíveis para eles rapidamente, em um local ou de fonte única, e em uma variedade de mídias (TCRP, 2003). E, por fim, monitorar o desempenho do condutor é um fator chave para o funcionamento do VLT com segurança. Conforme Baysari *et al.* (2008), há pouca dúvida que o erro humano contribui na maioria dos acidentes, incluindo o sistema ferroviário. O primeiro passo é identificar os erros

que frequentemente resultam em incidentes ou acidentes, permitindo a prevenção necessária e o desenvolvimento de estratégias de mitigação. E para Hamza Çelikyay *et al.* (2017), com a crescente preocupação com o comportamento de condução, dados agregados de caixa preta permitem categorizar os condutores numericamente, tornando visível erros individuais. Considerando os elementos descritos, uma arquitetura de ITS é proposta conforme Figura 7 para atender aos sistemas apresentados no contexto de transporte público via VLT.

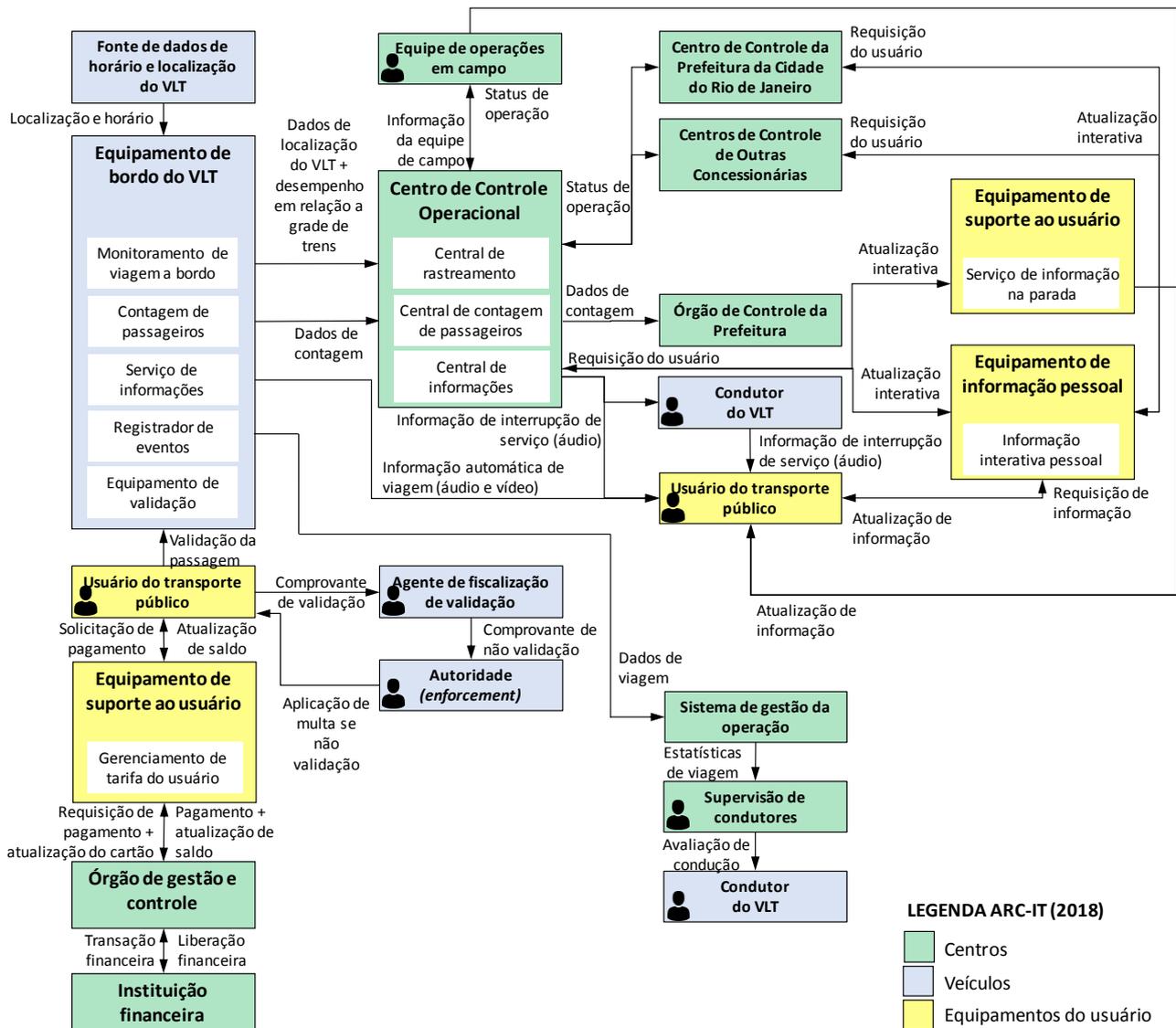


Figura 7: Arquitetura ITS proposta para VLT

A análise da arquitetura permite identificar o funcionamento dos processos:

- Rastreamento de veículos, com envio de dados de localização e horário ao equipamento de bordo e fornecendo ao Centro de Controle a informação em tempo real de desempenho em relação à grade horária de trens através da central de rastreamento;
- Gestão de tarifas, através da interação entre o usuário e o equipamento de suporte ao usuário (ponto de compra ou recarga de cartões), quando ocorre a transação financeira e a conversão em créditos disponíveis no cartão; a validação da viagem no equipamento de validação a bordo; a fiscalização para comprovação da validação da viagem e

enforcement representando o processo que recebe a informação de violação no pagamento, com conseqüente aplicação de multa;

- Contagem de passageiros, considerando a atuação do equipamento de bordo de cada veículo, o registro dos dados na central de contagem de passageiros e a entrega ao órgão de controle do Governo;
- Informação ao usuário, com acesso em tempo real às informações mais relevantes de viagem, tais como previsão de chegada da próxima composição, rotas disponíveis, tempo estimado de viagem, regras de utilização do modo de transporte etc. A informação pode ser obtida dentro da composição, na parada ou de forma interativa em qualquer outro local através da Internet;
- Monitoramento de desempenho, com extração de dados do registrador de eventos do veículo (caixa preta), permitindo mensurar o modelo de condução de cada profissional, comparar com a marcha tipo ideal, classificar os desvios mais comuns e observar oportunidades de treinamento e reciclagem.

5. CONCLUSÃO

A utilização de uma arquitetura ITS permite fornecer base comum para planejadores e engenheiros com diferentes interesses em conceber, projetar e implementar usando linguagem comum como base para as entrega em sistemas inteligentes em transporte (ARC-IT, 2018). O uso de tecnologias tem auxiliado no ganho de eficiência do modo de transporte e na mitigação de riscos. Sistemas inteligentes permitem agilizar processos tradicionalmente manuais, reduzindo custos e ganhando rapidez.

Avaliando os sistemas utilizados no veículo leve sobre trilhos do Rio de Janeiro, a utilização da solução *Smartcard* integrada com outros modos de transporte facilita a experiência do usuário com um modelo unificado. O desenvolvimento da cobrança eletrônica de tarifas é observado em diversas cidades do mundo, facilitando o uso do transporte público e permitindo a redução de custos operacionais. A contagem automática de passageiros permite ao operador conhecer o perfil de utilização do modo de transporte, adotando estratégias de operação diferenciadas por rotas ou trechos para atendimento da demanda de usuários, evitando superlotação. O uso de câmeras possibilita, com rapidez e precisão, coletar dados de embarque, desembarque, fluxo de pessoas e horários pico.

Informação é um dos recursos mais demandados pela sociedade moderna e, em uma era de rápido desenvolvimento tecnológico, conectividade com diferentes tipos de recursos e acesso à variadas fontes em tempo real, prover informações de forma ágil ao passageiro deixa de ser diferenciação no transporte público e passa a requisito básico na relação de prestação de serviço. No Rio de Janeiro, atualizações dinâmicas são apresentadas com apoio dos recursos audiovisuais e pelas mídias sociais. O aprimoramento da gestão e controle da operação do VLT é viabilizada em boa parte pelo rastreamento de veículos, permitindo conhecer em tempo real a posição de todos os trens. Interage com o sistema de informação ao usuário no fornecimento de previsão de chegada.

Por fim, o monitoramento do desempenho através da análise de caixa preta facilita o entendimento do perfil de condução realizado diariamente, permitindo a atuação nos desvios operacionais e mitigando risco de acidentes ou incidentes decorrentes de erro humano, oferecendo uma operação mais segura para a população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALSTOM (2013) *Documentação interna – Especificação Funcional Geral*.
- ARC-IT (2018). *Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation*, United States Department of Transportation. Disponível em <http://local.iteris.com/arc-it>. Acessado em 24 de março de 2018 às 07:02h.
- Barabino, B.; Di Francesco, M. e Mozzoni, S. (2014) An Offline Framework for Handling Automatic Passenger Counting Raw Data. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 15, n. 6.
- Baysari, M. T.; MCintosh, A. S. e Wilson, J. R. (2008) Understanding the human factors contribution to railway accidents and incidents in Australia. *Accident Analysis and Prevention*, v. 40, p. 1750-1747.
- Bernini, N.; Bombini, L.; Buzzoni, M.; Cerri, P. e Grisleri, P. (2014) *An Embedded System for Counting Passengers in Public Transportation Vehicles*. IEEE/ASME 10th International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA).
- Boyle, D. K. (1998) *TCRP Synthesis of Transit Practice 29 – Passenger Counting Technologies and Procedures*. Transportation Research Board.
- Brewer, R. e McCarthy, J. (2017) *Intelligent Transportation Systems (ITS) – Systems Engineering (SE) Requirement*. HPDP / Minnesota Department of Transportation.
- Drdla, P.; Bulíček, J. (2012) *Fare collection system in integrated public passenger transport systems*. Electronical technical journal of technology, engineering and logistics in transport, n. 2, v. 7.
- ERTICO (ITS Europe) (2008) *eSafety Forum – Intelligent Infrastructure Working Group*.
- Hamza Çelikyay, H.; Emecen, A. e Kadiroglu, R. (2017) Black box application in Public Transportation as an Intelligent Transport System and the Results of Driver Performance: The Case of Istanbul Electricity, Tramway and Tunnel Administration (IETT) Black Box Project. *The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, Vol. 22, p. 2055-2071.
- Hough, J. A.; Bahe, C.; Murphy, M. L. e Swenson, J. (2002) *Intelligent Transportation Systems: Helping Public Transit Support Welfare to Work Initiatives*. Upper Great Plains Transportation Institute, North Dakota State University.
- ITS-UK. (2016) *Intelligent Transport Systems (ITS) and their benefits*. Disponível em <http://its-uk.org.uk/wp-content/uploads/2017/02/ITS-UK-Benefits-of-ITS.pdf>. Acessado em 24 de março de 2018 às 10:10h.
- Jannuzzi, P. G. L. (2008). *Uma proposta de arquitetura lógica e física para expansão dos serviços prestados de controle de tráfego utilizando redes tradicionais e sem fio*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MCT (Ministère Chargé des Transports) (2017) *Intelligent Transport Systems – The French Expertise*. Disponível em https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/14085_Transport-intelligent_Web_planches_EN.pdf. Acessado em 24 de março de 2018 às 11:15h.
- Menetrieux, L. (2008) *Tram accidents analysis – France*. STRMTG, French Guided Transport Technical Service - Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer.
- Myrvoll, T. A.; Håkegård, J. E.; Matsui, T. e Septier, F. (2017) Counting Public Transport Passenger Using WiFi Signatures of Mobile Devices. *IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems*.
- Pereira, W. F. (2007) *O uso de sistemas inteligentes para aumento da eficácia do transporte público por ônibus: o sistema de bilhetagem eletrônica*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Pinna, I.; Chiara, B. D.; Deflorio, F. P. e Bessala, F. M. (2010) *Automatic passenger counting systems for public transport*. Intelligent Transport.
- Ramli, M. Z.; Hanipah, M. H.; Lee, L. G.; Loo, K. F.; Wong, J. K.; Zawawi, M. H. e Fuad, N. F. S. (2017) Level of service for pedestrian movement towards the performance of passenger information in public transport stations in Klang Valley. *AIP Conference Proceedings, American Institute of Physics*.
- Sundar, G. V.; Rajagopal, B. G. (2017) IoT based Passenger Information System Optimized for Indian Metros. *International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, ICECA*.
- TCRP (Transit Cooperative Research Program) (1999). *TCRP Report 45 – Passenger Information Services: A Guidebook for Transit Systems*. Transportation Research Board.
- TCRP (Transit Cooperative Research Program) (2003). *TCRP Report 92 – Strategies for Improved Traveler Information*. Transportation Research Board.
- TWB (The World Bank) (2016). *Public Transport Automatic Fare Collection Interoperability: Assessing Options for Poland*.
- UK-GCSA (UK Government Chief Scientific Adviser) (2014) *The Internet of Things: making the most of the Second Digital Revolution*. Government Office for Science.
- USDOT (United States Department of Transportation) (2008). *Intelligent Transportation Systems Benefits, Costs, Deployment and Lessons Learned*. Research and Innovative Technology Administration.
- VLT Carioca (2018) *Documentação interna do Sistema de Bilhetagem Eletrônica e Contagem de Passageiros*.