

# Veículos Autónomos

Comboios Autónomos



**Afonso Certo**

IST196134

Trabalho da Componente Livre de  
Portfólio MEEC



Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de  
Computadores  
Dezembro de 2019

# 1 Introdução

Hoje em dia o tópico dos veículos autónomos é bastante popular. Várias empresas estão na corrida para serem as primeiras a comercializar um carro totalmente autónomo e muita gente mal pode esperar por não ter de conduzir o seu carro.

Criar um veículo autónomo é uma tarefa complicada que apresenta muitos desafios de engenharia. É necessário ter em conta muitos fatores imprevisíveis para estes veículos funcionarem fora de ambientes controlados, o que faz com que a realidade de as estradas serem dominadas por veículos autónomos esteja ainda um pouco distante.

Porém, existe um tipo de veículo que circula num ambiente bastante mais controlado o que o torna, à primeira vista, muito mais fácil de automatizar: o comboio.

Ao contrário de outros veículos, os comboios circulam em carris e não conseguem, nem precisam, de mudar a sua direção, precisando apenas de controlar a sua velocidade. Além disso, existe um tipo de redes de caminhos de ferro que tem mais uma vantagem valiosa: os sistemas metropolitanos. Estes sistemas, que muitas vezes se encontram em túneis, têm a vantagem de eliminar grande parte das variáveis externas que podem afetar a circulação, o que permite simplificar o sistema de controlo.

## 1.1 Mail Rail

Comboios sem condutor não são uma ideia nova. Um dos exemplos mais antigos, a *London Post Office Railway*, entrou em funcionamento em 1927 [1]. Esta rede de túneis subterrâneos transportava correio entre os principais postos de correio de Londres.

O sistema de controlo era bastante simples. Na aproximação da estação existe uma secção sem corrente que para o comboio. Se poder ser admitido, o operador ativa um motor que progressivamente ativa 3 tensões diferentes: 440v para por o comboio em movimento, 206V para o fazer abrandar e, finalmente, 150V para manter o comboio a uma velocidade constante de 8 mph (ca. 13 km/h). Ao entrar noutra secção sem corrente e travões são aplicados. [2]

Este é um bom exemplo da simplicidade que é possível nestes veículos. É claro que o ambiente era totalmente controlado, as únicas pessoas nas estações eram os funcionários dos correios, que estavam habituados a esta operação e não se colocariam em situações perigosas. Além disso, o sistema tem de ser ativado por um operador e não é 100% autónomo, mas continua a ser bastante impressionante tendo em conta que foi criado no início do século



Figura 1: Alavancas de controlo na estação de Mount Pleasant

passado...





Hoje em dia existem sistemas muito mais avançados que levaram à necessidade de criar um sistema de classificação.

## 1.2 Graus de Automação

O padrão IEC 62290-1 define 4 graus de automação, representados na figura 2. Para além destes graus pode-se considerar também um quinto grau: o grau 0 que corresponde a um comboio totalmente manual.

No GoA 1, a operação é quase toda manual, existe apenas um sistema de *Automatic Train Protection* (ATP). Este sistema recebe de transmissores nos carris, informações como o limite de velocidade no troço e emite avisos para o operador em caso de uma situação de perigo e, caso não seja tomada nenhuma ação, pode aplicar os travões de emergência.

Os dados do ATP podem ser usados num sistema de *Automatic Train Operation* (ATO) que irá controlar o comboio em todo o seu percurso, sendo apenas necessário que o condutor controle a abertura e o fecho das portas e lide com situações de anomalias, o que corresponde a um GoA 2. Alguns sistemas permitem que não haja um condutor dedicado, apenas necessitando de um funcionário que pode estar a desempenhar outras funções (como, por

Grade of Automation	Type of train operation	Setting train in motion	Stopping train	Door closure	Operation in event of Disruption
GoA 1 	ATP with driver	Driver	Driver	Driver	Driver
GoA 2 	ATP and ATO with driver	Automatic	Automatic	Driver	Driver
GoA 3 	Driverless	Automatic	Automatic	Train attendant	Train attendant
GoA 4 	UTO	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

ATP - Automatic Train Protection
ATO - Automatic Train Operation

Figura 2: Graus de Automação

exemplo, a de revisor), este tipo de operação corresponde a um GoA 3.

Num GoA 4 a necessidade para qualquer tipo de supervisor no comboio é eliminada. O sistema de controlo irá detetar quando pode fechar a portas, bem como decidir como agir em situações de perturbações. Além disso, um sistema de *Automatic Train Control* (ATC) irá realizar tarefas como a definição de rota e coordenar com outros comboios. Este sistema faz também a gestão necessária para que os horários sejam cumpridos. [3]

## 2 Desafios dos Comboios Autónomos

Apesar de à primeira vista a sua automação ser mais fácil que a de um carro, um comboio também é um sistema complexo que tem os seus próprios desafios. Sobretudo se pretendermos atingir um nível de autonomia total, sem ser necessário nenhum operador.

### 2.1 Evitar Obstáculos

Um dos aspetos que, à primeira vista, parece tirar complexidade ao sistema, a falta de direção, adiciona um problema: um comboio não pode simplesmente desviar-se de um obstáculo. Se um obstáculo entrar na trajetória de um comboio este tem de parar totalmente para o evitar, o que não é uma tarefa fácil dado que os comboios são normalmente longos e pesados, podendo a

sua distância de paragem chegar a várias centenas de metros. É portanto, essencial que o comboio consiga detetar com antecedência qualquer obstáculo.

Uma possível abordagem a este problema (representada na figura 3) implica a junção de vários sensores: 2 câmeras (uma RGB e uma de infravermelhos) e um sensor de profundidade.

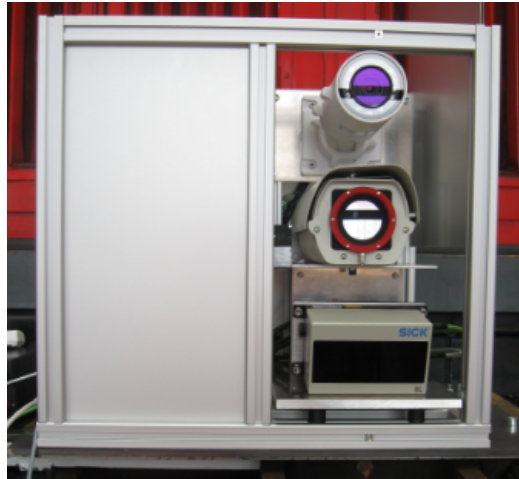


Figura 3: Possível disposição dos sensores. De cima para baixo: uma câmara de infravermelhos, uma câmara RGB e um sensor de profundidade.

A câmara de infravermelhos detetaria pessoas ou animais, já que estes tem temperaturas corporais bem definidas, enquanto a câmara RGB detetaria outro tipo de obstáculos, como um vagão, uma árvore caída ou um carro numa passagem de nível. Detetado um obstáculo, o sensor de profundidade mede a distância ao mesmo e transmite essa medição ao sistema de controlo que decide como agir. [4]

Para complementar este sistema, podem ser instaladas também câmaras e sensores em locais de risco, como uma passagem de nível, para que, em caso de haver um obstáculo, o comboio possa ter esta informação com uma maior antecedência.

No entanto, o facto de usar câmaras faz com que este sistema não funcione tão bem em condições de baixa visibilidade. Para isso, é necessário garantir que, mesmo que as câmaras não funcionem, pelo menos o sensor de profundidade funcione, conseguindo assim detetar que existe um obstáculo, mesmo que não consiga saber o que é.

O mais importante de tudo é que o sistema consiga identificar as suas limitações e aja em conformidade, moderando a velocidade em situações em que a sua capacidade de deteção seja limitada.

## 2.2 Evitar Colisões

Para além das colisões com obstáculos, um comboio autónomo terá também de evitar colisões com outros comboios que circulem na rede. Apesar de os sistemas anteriormente discutidos deverem funcionar no caso de dois comboios se encontrarem em risco de colisão, idealmente deveria existir um sistema que impeça que se encontrem nesta situação em primeiro lugar.

Outras indústrias, como a aeronáutica ou o transporte marítimo, já implementam sistemas de comunicação entre veículos destinados a evitar colisões, sem necessidade de infraestruturas externas. Contudo, a implementação destes sistemas numa rede de caminhos de ferro apresenta alguns desafios muito próprios:

- Como já referido anteriormente, por andarem em carris os comboios têm apenas um grau de liberdade, o operador apenas pode acelerar ou travar para evitar o obstáculo.
- O sistema tem de ser bastante preciso, pois algumas operações normais, como o cruzamento de dois comboios numa zona com dois carris, podem assemelhar-se muito a uma situação de risco.
- Em certos locais com muito tráfego pode haver o risco de a largura de banda não ser suficiente, o que comprometeria a segurança do sistema.
- Muitas vezes as linhas entram em túneis, estão debaixo de telhados em estações ou passam em locais isolados o que coloca um desafio à comunicação direta entre comboios e dificulta o uso de sistema como o GPS para a obtenção da localização.

Um estudo do Centro Aeroespacial Alemão propõe o *Railway Collision Avoidance System* (RCAS). [5] Este sistema transmitiria uma mensagem, em intervalos de tempo variáveis de forma a comunicar com os outros comboios na rede.

A quantidade de vezes que mensagem seria emitida dependeria de fatores como a velocidade e a distância de travagem de forma a não ocupar demasiada largura de banda desnecessariamente.

As mensagens emitidas por este sistema teriam um aspeto como o da figura 4. Seriam transmitidas informações como a velocidade e a distância de travagem, para o sistema saber a partir de que separação deve agir, o comprimento do comboio e, para transmitir a localização são propostas duas opções:

- Transmitir as coordenadas e rumo do comboio, obtidas através de um sistema GPS.

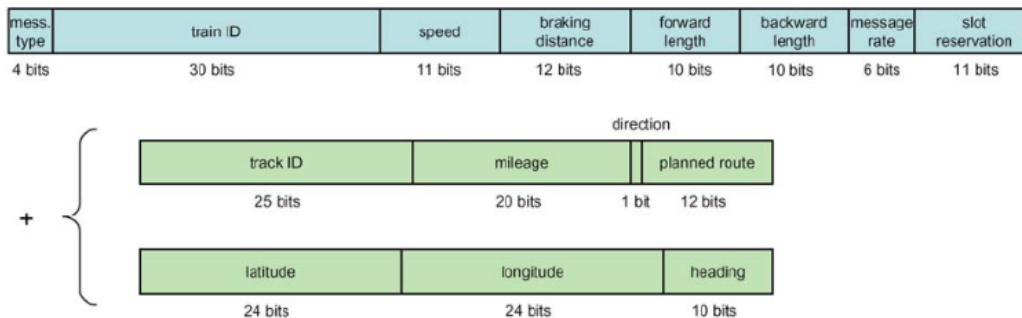


Figura 4: Proposta de um formato para a mensagem de RCAS

- Transmitir a identificação do troço em que se encontra, em que parte do troço (informação que pode, por exemplo, ser obtida por um tacógrafo), a direção e a rota planeada.

A última opção tem a vantagem de não necessitar de um sistema de GPS que, como já foi referido, não funciona bem em algumas situações. Por outro lado, isto implicaria que toda a rede fosse catalogada e identificada, não podendo o comboio entrar em troços que não estivessem no sistema.

No estudo é também proposto um algoritmo com cinco fases de classificação:

1. **Listening** - O sistema espera que alguma mensagem seja recebida;
2. **Awareness** - O sistema deteta outra unidade de RCAS, mas numa trajetória que não causa conflitos;
3. **Surveillance** - O sistema deteta outros comboios que podem vir a causar conflitos, por exemplo, irão passar pelo mesmo troço;
4. **Warning** - O sistema ativa um aviso ao condutor;
5. **Braking** - O sistema aplica automaticamente os travões.

Mais uma vez, os ciclos deste algoritmo seriam executados a uma frequência variável, de forma a tornar o sistema mais eficiente.

Idealmente uma unidade de RCAS estaria instalada em qualquer carruagem, permitindo assim que o sistema evite colisões também com carruagens paradas ou veículos de construção. Porém, isso pode não ser possível quer pelo custo de instalação, quer por, em zonas com muitos destes veículos, a largura de banda ficar muito congestionada.

Para poupar largura de banda uma solução seria, mesmo que houvesse uma unidade por carruagem, apenas uma emitisse, emitindo também o comprimento do comboio.

Este sistema poderia ser conectado a uma central que monitorasse toda a operação da rede, sendo então necessária a instalação uma infraestrutura de antenas para captar as mensagens dos comboios em qualquer parte do sistema. Esta central poderia também emitir avisos de outras anomalias, como a queda de uma árvore ou o encerramento de um troço para obras.

Porém, seria vantajoso que a conexão com uma central fosse efetuada através de outro sistema. Este sistema poderia também enviar informações como o estado do motor ou nível de combustível (caso se aplique) que poderiam ser úteis para a central, mas não para outros comboios na rede.

Além disso, para uma rede totalmente autónoma de caminhos de ferro seria também importante que o comboio conseguisse definir a sua rota automaticamente, permitindo que este possa decidir, por exemplo, se houver outro comboio na direção contrária num troço com via única, esperar numa estação para poderem cruzar-se.

Hoje em dia os horários já preveem em que estações os comboios se devem cruzar, porém, no caso de atrasos, seria vantajoso os próprios comboios comunicarem e poderem escolher cruzar-se noutra estação de forma a aumentar a eficiência.

Utilizando os dados do RCAS, ou outro sistema semelhante, poderia ser criado um sistema que fizesse esta gestão de forma a operar com o máximo de eficiência e cumprir da melhor forma os horários planeados.

## 2.3 Fecho das Portas

Um dos maiores desafios para a transição para GoA 4 e o fecho das portas. Para fechar as portas, é preciso ter a certeza que já todas as pessoas embarcaram e nada está a obstruí-las.

Uma abordagem simples foi a tomada pelo metro de Paris (linhas 1 e 14), que mantém as portas abertas durante um intervalo de tempo programado, fechando-as de seguida, quer todos os passageiros tenham entrado ou não. Este sistema tem de ter em conta vários fatores como a estação, já que nem todas tem o mesmo fluxo, e a hora do dia.

Esta solução poderia ser complementada por um sistema semelhante ao de um elevador, que impede que a porta se feche se algo a obstruir, conseguindo assim fecha-la apenas quando todos os passageiros tivessem saído e entrado.

Num comboio autónomo, o sinal sonoro de fecho das portas tornar-se-ia ainda mais importante, podendo ser usado para fazer as pessoas colaborarem. Um estudo realizado pelo metro de Londres descobriu que aumentar a



intervalo de tempo entre o sinal sonoro e o fecho das portas para 3 segundos aumentou significativamente o número de incidentes com as portas. [6] Este é, portanto mais um fator que se terá de ter em conta na projeção do sistema.

Qualquer que seja o sistema de controlo, será essencial que se consiga detetar quando alguém fica preso numa porta. Uma primeira abordagem simples seria apenas detetar se a porta se encontra completamente fechada, no entanto, pequenos objetos como alças de mochilas ou partes de peças podem ficar presas, não sendo por vezes detetáveis. Se o utilizador que ficou preso desta forma se encontrar dentro do comboio, não há grande problema, apenas um desconforto até à próxima estação. Por outro lado, se a pessoa ficou presa do lado de fora e o comboio iniciar o movimento um acidente muito grave irá ocorrer.

Uma solução para este problema terá de passar pela instalação de sensores na borda da porta que permitam detetar deformações causadas nestas situações. Além disso, poderia ser instalado um botão de SOS, quer dentro, quer fora do comboio para evitar que o comboio entre em movimento nestas situações.

Outra solução pode passar pela instalação de eficiente que permitam detetar situações de risco, podendo esta deteção ser feita por um supervisor ou por um algoritmo.



Figura 5: Portas de plataforma numa estação do metro de Copenhaga.

Por fim, a instalação de portas na plataforma (como as da figura 5), alinhadas com as portas dos comboios, pode também ajudar a resolver este problema. Se estas portas se fecharem ligeiramente primeiro que as do com-

boio, impedirão os passageiros de tentar entrar enquanto a porta do comboio se fecha, evitando assim estes acidentes.

Além disso, estas portas conferem mais segurança à estação, impedindo que passageiros, acidentalmente ou não, tenham acesso aos carris o que pode causar acidentes.

Estas portas apenas têm a desvantagem de, por terem de estar alinhadas com as do comboio, impedir que haja variedade nos comboios utilizados na rede, só podendo ser usados modelos compatíveis com as portas. Estes dispositivos não são práticos para grandes redes nacionais, já que normalmente estas utilizam uma grande variedade de modelos, sendo mais adequados em sistemas metropolitanos, que muitas vezes usam modelos feitos por encomenda especificamente para aquela rede.

### 3 Conclusão

Por muito bom que seja o sistema de controlo, existe sempre um desafio final que terá de ser ultrapassado: convencer as pessoas a usá-lo...

Um inquérito feito aos habitantes de Sidney na Austrália, numa altura em que se estava a planear a automatização do seu sistema de metropolitano, chegou à conclusão que a maioria dos utilizadores deste serviço são indiferentes, ou a favor de um comboio autónomo. [7] O que as pessoas querem é chegar ao seu destino da forma mais eficiente possível.

Outra descoberta interessante desse estudo foi a de que, mesmo sendo um comboio autónomo, as pessoas preferem que continue a existir o compartimento do condutor (Figura 6). Numa fase de transição, será necessário incluir truques psicológicos deste género para familiarizar as pessoas com os comboios autónomos. Algumas pessoas terão medo de que o sistema falhe e será necessário incluir no *design* dos comboios, maneiras de confortar estas pessoas e convence-las de que o comboio é seguro.

Além disso, existe o problema social. Um estudo de 2013 estima que 47% dos empregos nos Estados Unidos tem um alto risco de serem automatizados [8], grande parte deles no setor dos transportes.

A automatização do mundo em que vivemos é uma realidade bastante próxima, como já aconteceu nas revoluções industriais, provavelmente, a humanidade estará melhor e novas ocupações irão surgir a longo prazo. Porém, cabe-nos a nós garantir que a transição ocorra da melhor forma.

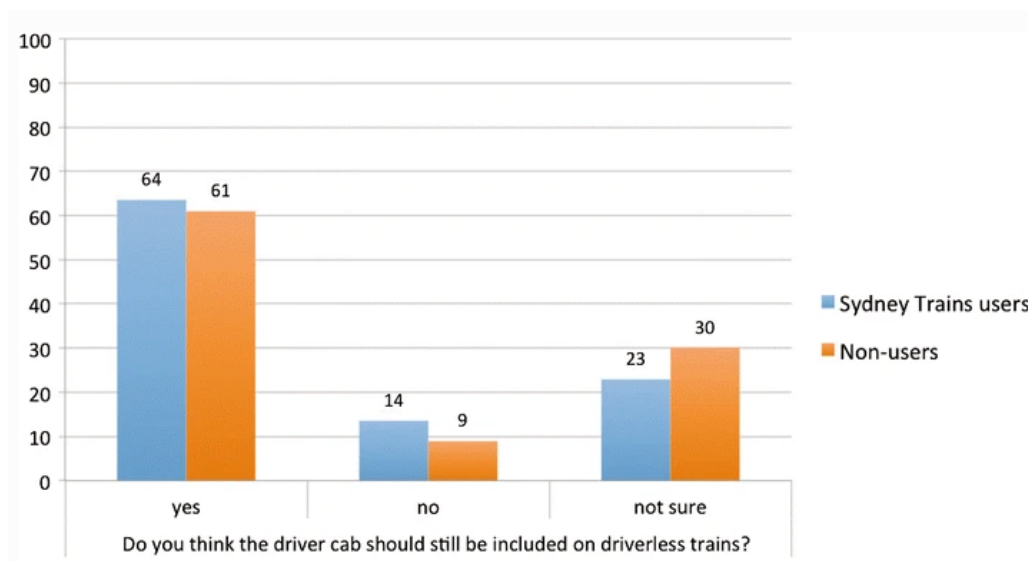


Figura 6: Inclusão do compartimento do condutor num comboio autónomo (%)

## Referências

- [1] “The story of mail rail,” *The Postal Museum*.
- [2] “Operation of mail rail,” *Mail Rail.co.uk*.
- [3] *Press Kit - Metro Automation Facts, Figures and Trends*. International Association of Public Transport, 2019.
- [4] J. Gleichauf and S. May, “Obstacle avoidance system for an autonomous shunting locomotive,” in *Applied Research Conference*, 2017.
- [5] A. Lehner, T. Strang, and C. R. García, “A reliable surveillance strategy for an autonomous rail collision avoidance system,” in *Proceedings of the 15th ITS World Congress, New York, USA*, 2008.
- [6] “Timing of door closure - how critical is it?,” *RailEngineer*, 2019.
- [7] A. Fraszczyk and C. Mulley, “Public perception of and attitude to driverless train: a case study of sydney, australia,” *Urban Rail Transit*, vol. 3, no. 2, pp. 100–111, 2017.
- [8] C. B. Frey and M. A. Osborne, “The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?,” *Technological forecasting and social change*, vol. 114, pp. 254–280, 2017.