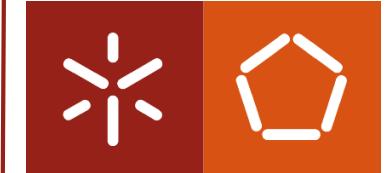


Redes Veiculares

**Novos Paradigmas de Rede
2023-2024**

2º Semestre





Visão geral



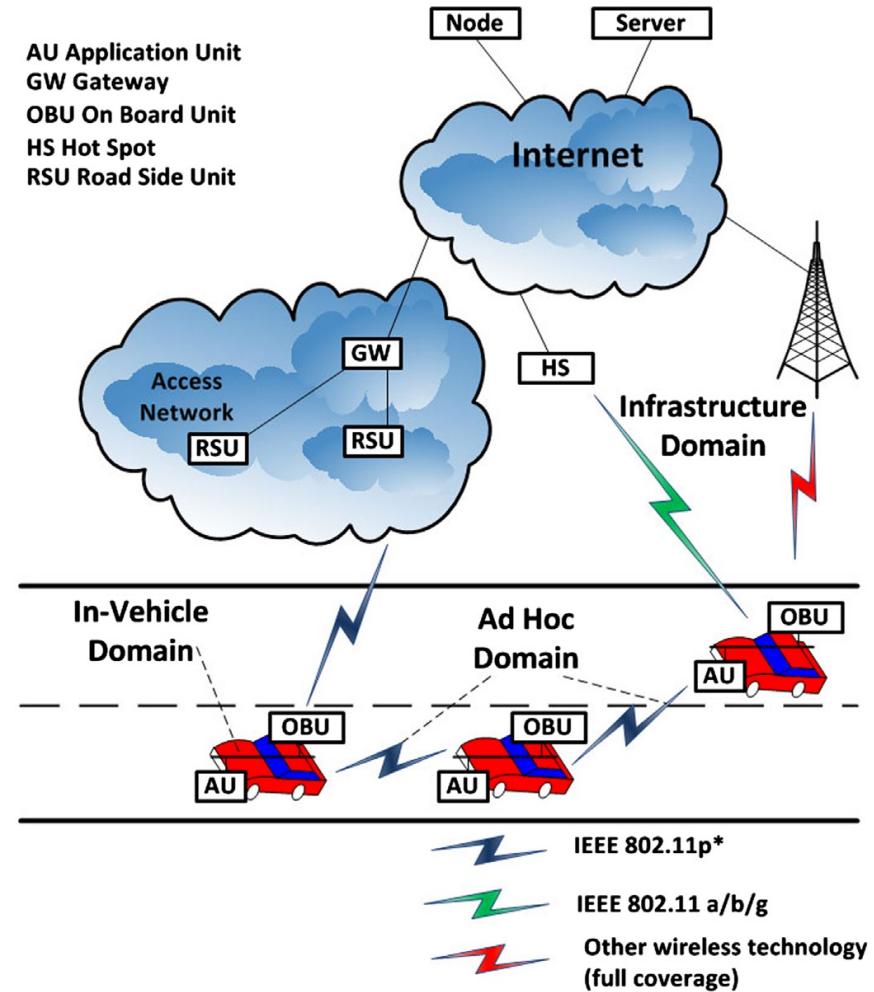
<http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/intelligent-transport>

NPR 2023/2024, © Universidade do Minho



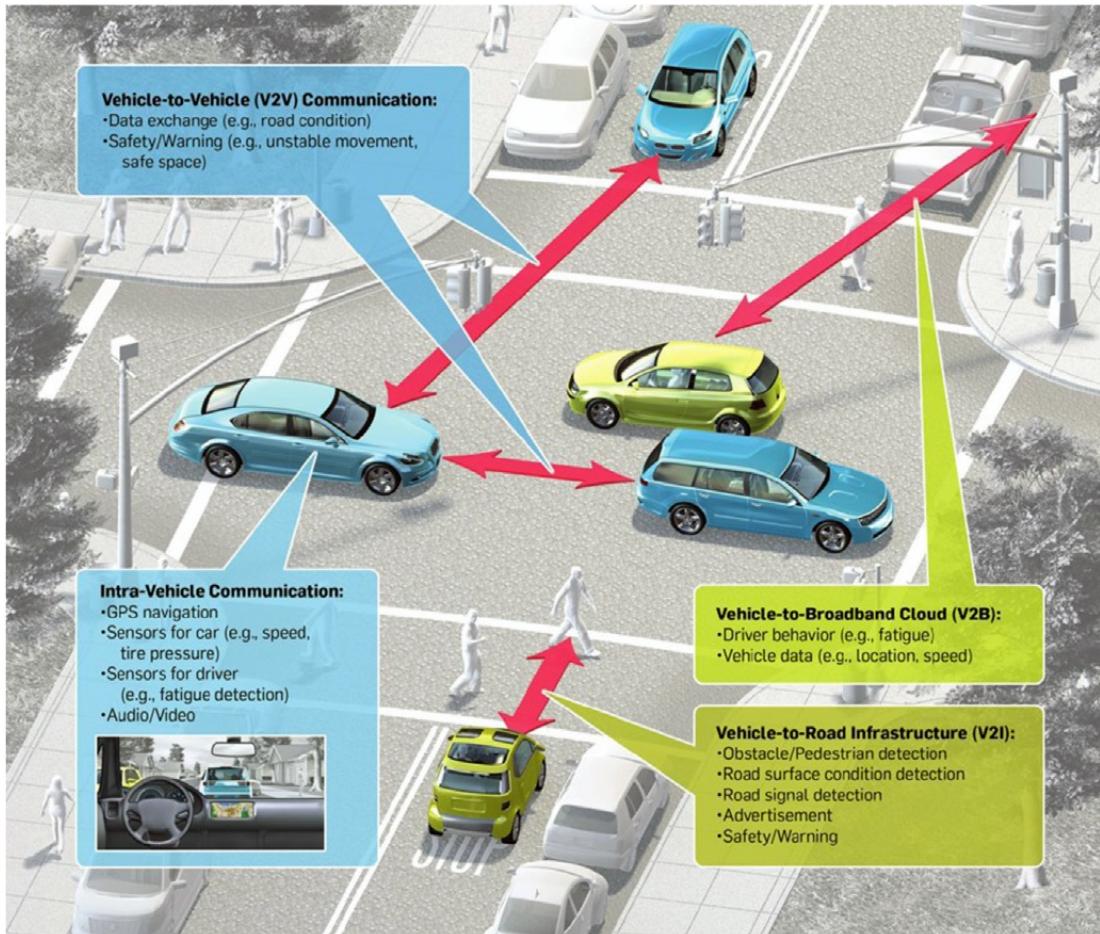
Arquiteturas das redes veiculares

- Entidades
 - *AU – Application Unit*
 - *OBU – On Board Unit*
 - *RSU – Road Side Unit*
- Domínios de comunicação
 - *Intra-veículo*
 - *Ad-Hoc*
 - *Infraestrutura*

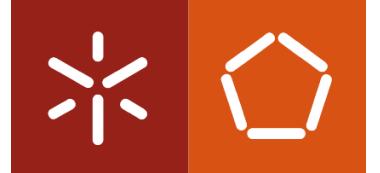




Terminologia



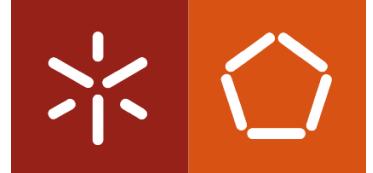
- **V2V**: Vehicle-to-Vehicle
- **V2I**: Vehicle-to-Infrastructure
- **V2N**: Vehicle-to-Network
- **V2P**: Vehicle-to-Pedestrian
- **V2X**: Vehicle-to-Everything



Introdução

● Principais características das redes veiculares

- Mobilidade previsível (mapas)
- Permitem:
 - Condução segura
 - Conforto dos passageiros
 - Eficiência rodoviária (tráfego)
- Sem restrições de energia elétrica
- Densidade da rede é muito variável (depende das zonas, das horas do dia, etc)
- Topologia está sempre a mudar
- Rede (muito) alargada com grande capacidade sensorial do ambiente (os veículos atuais possuem uma panóplia grande de sensores, incluindo câmaras de vídeo)

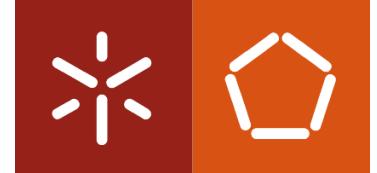


Introdução

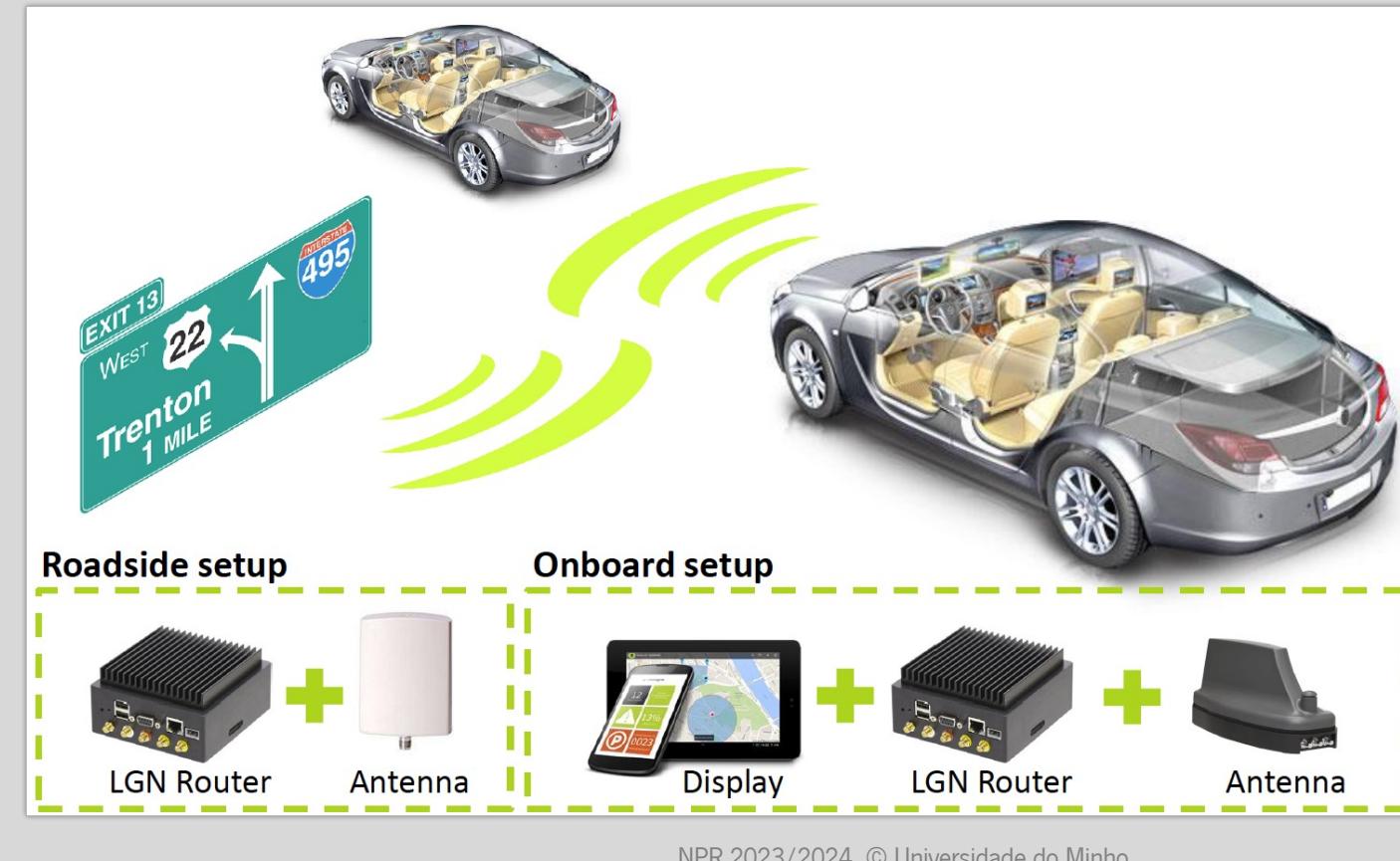
● Principais desafios das redes veiculares

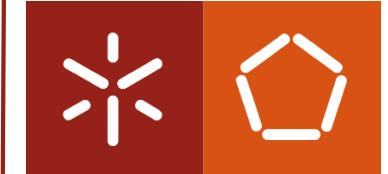
- Atenuação do sinal (*Signal fading*) – na presença de múltiplos obstáculos, tais como edifícios, infraestruturas rodoviárias (sinalização, viadutos, etc.), outros veículos, etc.
- Limitações de largura de banda – não há associação nem entidades centrais, necessidade de controlo de acesso ao meio distribuído, probabilidade elevada de congestionamento nos vários canais, especialmente em ambientes densos...
 - Exige mecanismos de acesso ao meio baseados na contenção e em prioridades
- Conectividade – mobilidade elevada, mudanças topológicas frequentes, fragmentação da rede
 - Pode-se aumentar a potência de transmissão mas com degradação do débito
- Diâmetro efetivo da rede é baixo
- Segurança e privacidade
- Routing

Exemplos de dispositivos OBU/RSU



Commsignia (<http://www.commsignia.com>)



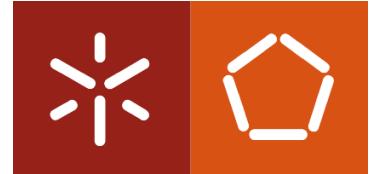


Exemplos de dispositivos OBU/RSU

Auto-Talks PANGEA (<https://auto-talks.com/products/>)



Exemplos de dispositivos OBU/RSU



ChodaWireless (<http://www.cohdawireless.com/solutions/hardware/>)

ON-BOARD UNIT
MK6 OBU

Cohda Wireless MK6 On-Board Unit is the most advanced V2X OBU with dual V2X technology accommodating C-V2X and DSRC. It offers a robust, secure foundation for intelligent transport systems of the future no matter the technology.

[Read more ...](#)

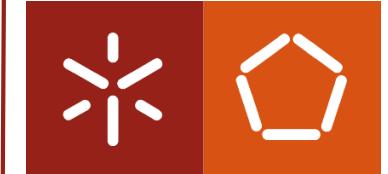


ROAD-SIDE UNIT
MK6 RSU

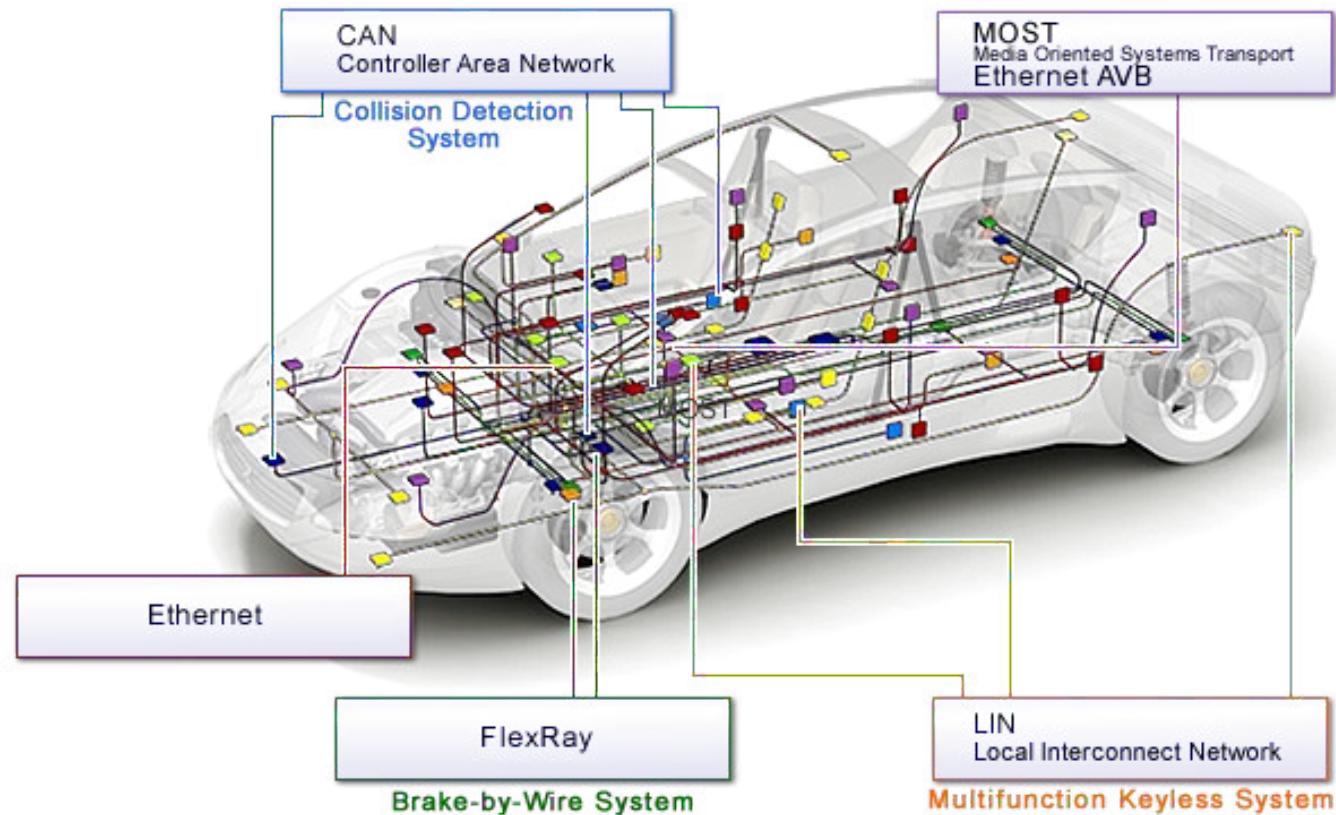
Cohda Wireless MK6 Road-Side Unit comes with dual V2X technology and is production ready for smart cities no matter the technology choice of C-V2X or DSRC.

[Read more ...](#)

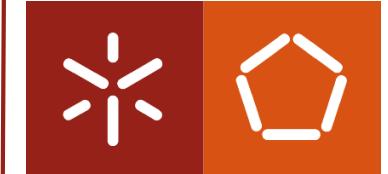




Redes Intra-Veículo



<https://www.renesas.com/en-us/solutions/automotive/technology/networking.html>



Redes Intra-Veículo

Protocol	Bitrate	Medium	Protocol
LIN	19.2 Kbps	Single Wire	Serial
CAN	1 Mbps	Twisted Pair	CSMA/CR
FlexRay	20 Mbps	Twisted Pair/Optical Fibre	TDMA
MOST	150 Mbps	Optical Fibre	TDMA
LVDS	655 Mbps	Twisted Pair	Serial/Parallel

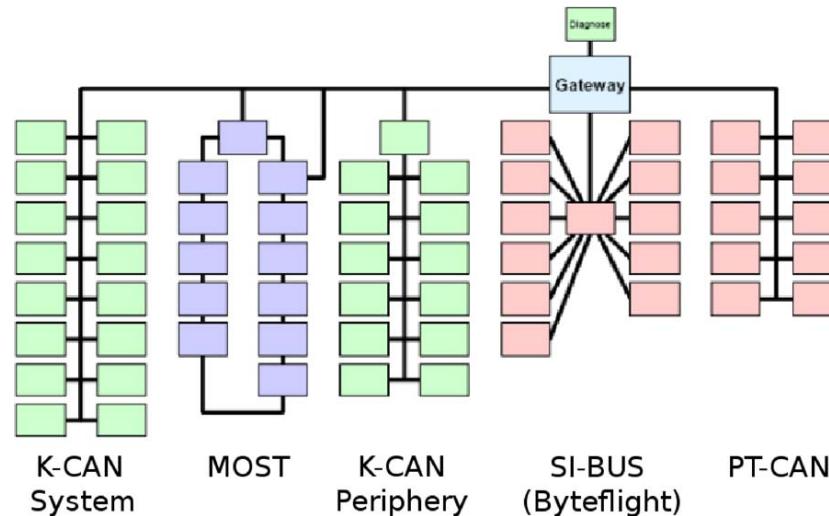


Fig. 2. BMW 7 series architecture [27].

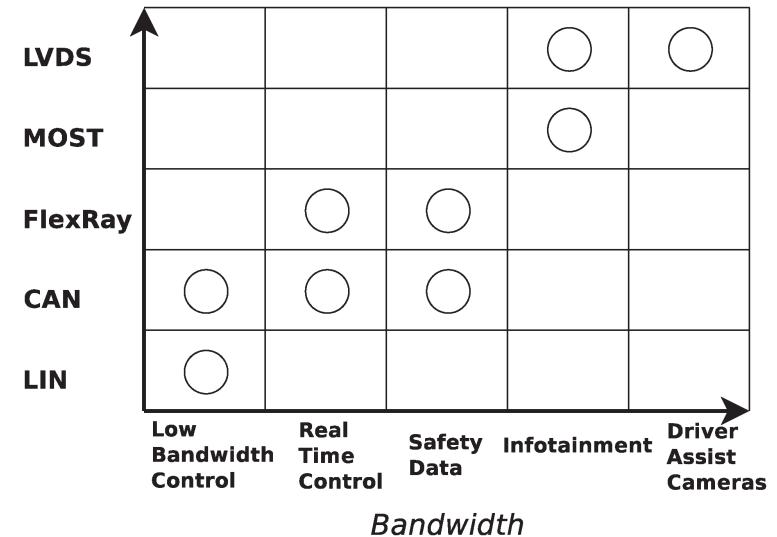
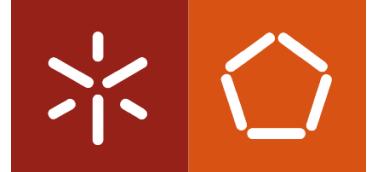


Fig. 3. Mapping of traffic types to network technologies.



Normalização

- **Entidades de normalização na Europa:**

- **ETSI – European Telecommunications Standards Institute**, com o seu comité técnico para os sistemas inteligentes de transporte (**TC ITS**)
 - cobrindo todo o tipo de meios de transporte
 - **CEN – Comité Européen de Normalisation**, comité técnico **TC 278 (Road Transport and Telematics)**
 - mais focado nas portagens virtuais e infraestruturas

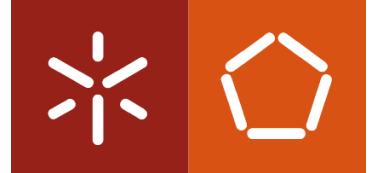
- **Entidades de normalização nos USA:**

- **U.S. DOT – US Department of Transportation**

- **Entidades de normalização no Japão, na Índia, etc...:**

- ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) - Japan

Embora possam ter muitos pontos comuns, há muitas diferenças até na nomenclatura:
acabamos por ser "invadidos" com terminologia made in USA!
(Ex: DSRC em vez de C-ITS)



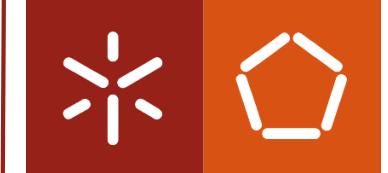
Normalização

- **Historicamente o desenvolvimento de normas decorreu em paralelo na Europa e nos Estados Unidos...**

- Resultou em diferentes normas, embora com pontos comuns
- Há esforços de compatibilização entre as várias normas que permitem implementar mais que uma versão de normas no mesmo sistema com pouco esforço e a baixo custo



→ NOTA: Nesta apresentação privilegiam-se as normas europeias



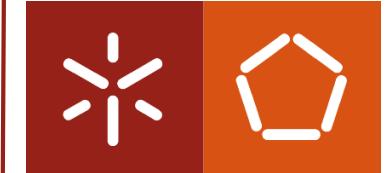
Aplicações

➤ Agora é o momento de ver um **vídeo ilustrativo** de alguns Use Cases, quer americanos (ex: US DOT) ou europeus (ex: CAR 2 CAR Consortium) que são de certa forma equivalentes

- <https://www.youtube.com/watch?v=POcQUTIOvZs>
- <https://www.youtube.com/watch?v=YokekT9r9sM>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ztlNe9Pc-qs>

- **Uma possível classificação das aplicações:**

- Segurança rodoviária ativa (*Active road safety*)
- Eficiência rodoviária colaborativa (*Cooperative Traffic efficiency*)
- Serviços locais (*Cooperative local services*)
- Serviços Internet (*Global Internet Services*)

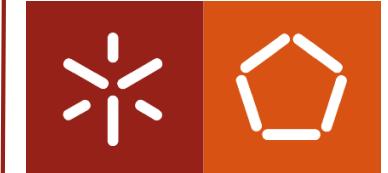


Aplicações

● Casos de Uso ETSI (1) – *Active Road Safety*

Applications class	Application	#(see note)	Use case
Active road safety	Driving assistance - Co-operative Awareness (CA)	UC001	Emergency vehicle warning
		UC002	Slow vehicle indication
		UC003	Intersection collision warning
		UC004	Motorcycle approaching indication
	Driving assistance - Road Hazard Warning (RHW)	UC005	Emergency electronic brake lights
		UC006	Wrong way driving warning
		UC007	Stationary vehicle - accident
		UC008	Stationary vehicle - vehicle problem
		UC009	Traffic condition warning
		UC010	Signal violation warning
		UC011	Roadwork warning
		UC012	Collision risk warning
		UC013	Decentralized floating car data - Hazardous location
		UC014	Decentralized floating car data - Precipitations
		UC015	Decentralized floating car data - Road adhesion
		UC016	Decentralized floating car data - Visibility
		UC017	Decentralized floating car data - Wind

Norma ETSI TS 102 637 - 1



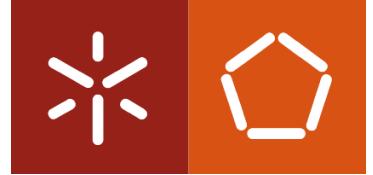
Aplicações

- Casos de Uso ETSI (2) – *Cooperative Traffic efficiency* (3) – *Cooperative Local Services* e (4) – *Global Internet Services*

Applications class	Application	#(see note)	Use case
Co-operative traffic efficiency	Speed Management (CSM)	UC018	Regulatory/contextual speed limits notification
		UC019	Traffic light optimal speed advisory
	Co-operative Navigation (CoNa)	UC020	Traffic information and recommended itinerary
		UC021	Enhanced route guidance and navigation
		UC022	Limited access warning and detour notification
		UC023	In-vehicle signage
	Location Based Services (LBS)	UC024	Point of Interest notification
		UC025	Automatic access control and parking management
		UC026	ITS local electronic commerce
		UC027	Media downloading
Global internet services	Communities sServices (ComS)	UC028	Insurance and financial services
		UC029	Fleet management
		UC030	Loading zone management
	ITS station Life Cycle Management (LCM)	UC031	Vehicle software/data provisioning and update
		UC032	Vehicle and RSU data calibration

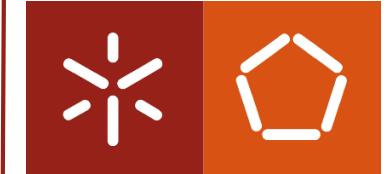
NOTE: The identifier of the use case is defined and used only within the present document.

Norma ETSI TS 102 637 - 1

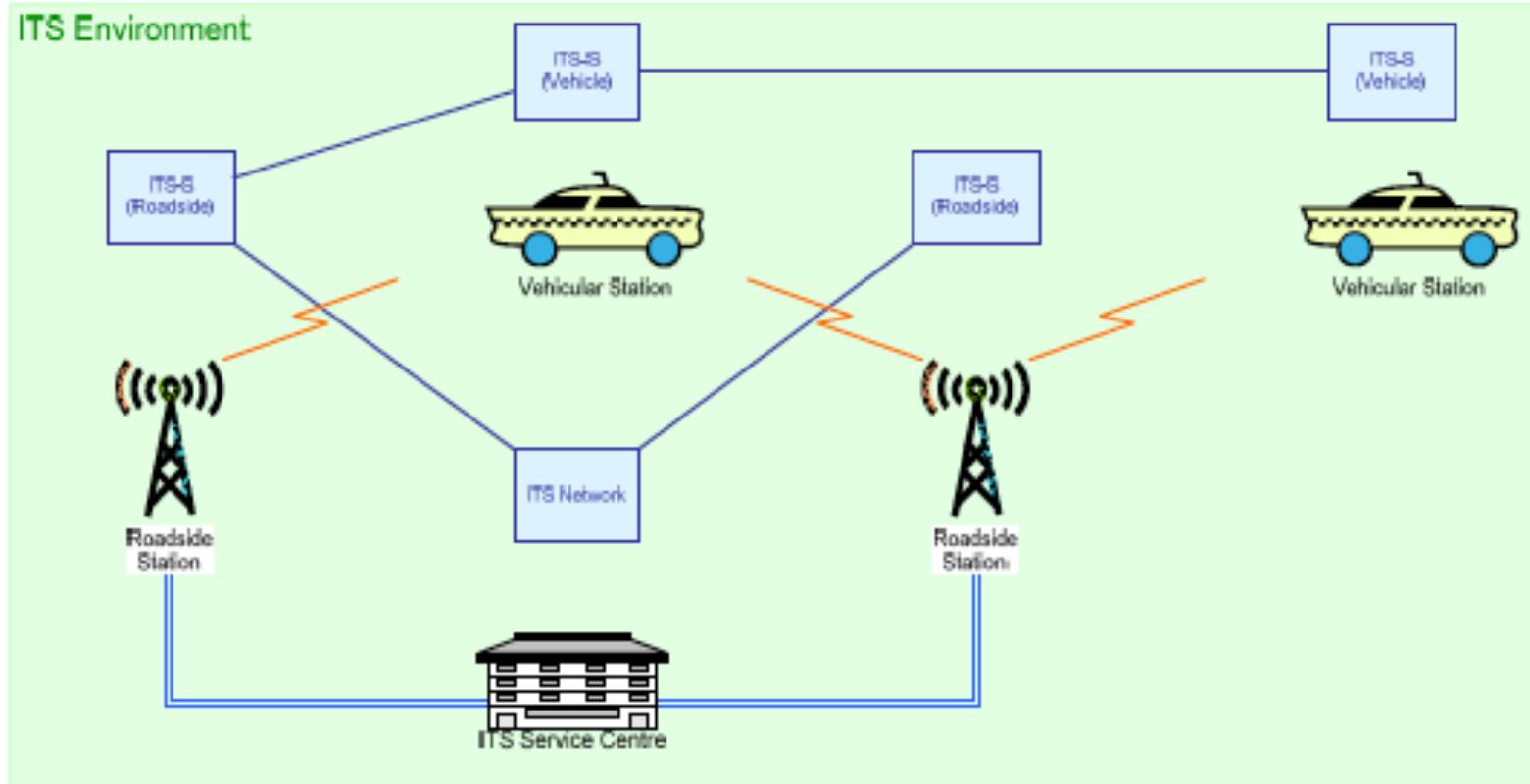


Aplicações – Requisitos

Application Class	Application	Max Latency	Min Freq.	MSG Type	Mode	Other
Active Safety	Emergency Vehicle Warning	100 ms	10 Hz	Periodic Triggered	V2V	
	Slow Vehicle Warning	100 ms	2 Hz	Periodic Triggered	V2V	
	Emergency Electronic Break Light	100 ms	10 Hz	Time-Limited Broadcast	V2V	
	Stationary Vehicle Warning	100 ms	10 Hz	Time-Limited Broadcast	V2V	
	Traffic Condition Warning		1 Hz	Time-Limited Broadcast	V2V	
	Roadwork Warning	100 ms	2 Hz	Time-Limited Broadcast	I2V	
	Collision Risk Warning from RSU	100 ms	10 Hz	Time-Limited Broadcast Event	I2V	
	Decentralized Floating Car Data		1 to 10 Hz	Time-Limited Broadcast Event	V2V	
Traffic	Regulatory Speed Limits	100 ms	1 to 10 Hz	Periodic Broadcast	I2V	
	Traffic Light Optimal Speed Advisory	100 ms	2 Hz	Periodic Broadcast	I2V	Minimum positioning accuracy: 5m
	Traffic Information and Recommended Itinerary	500 ms	1 to 10 Hz	Periodic Broadcast	I2V	
	Enhanced Route Guidance and Navigation	500 ms	1 Hz	On-Demand	I2V	Internet access: IPv6 is required
	Limited Access Warning, Detour Notification	500 ms	1 to 10 Hz	Periodic Broadcast	I2V	
Comfort	Point of Interest Notification	500 ms	1 Hz	Periodic Broadcast	I2V	Internet access: IPv6 is required
	Media Downloading	500 ms	1 Hz	On-Demand	I2V	Internet access: IPv6 is required
	Insurance and Financial Services	500 ms	1 Hz	On-Demand	I2V	Internet access: IPv6 is required
	Vehicle Software Data Provisioning and Update	500 ms	1 Hz	On-Demand	I2V	Internet access: IPv6 is required

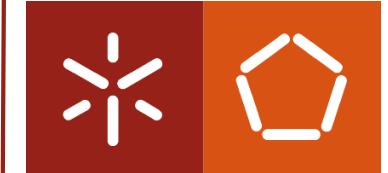


Nomenclatura ETSI

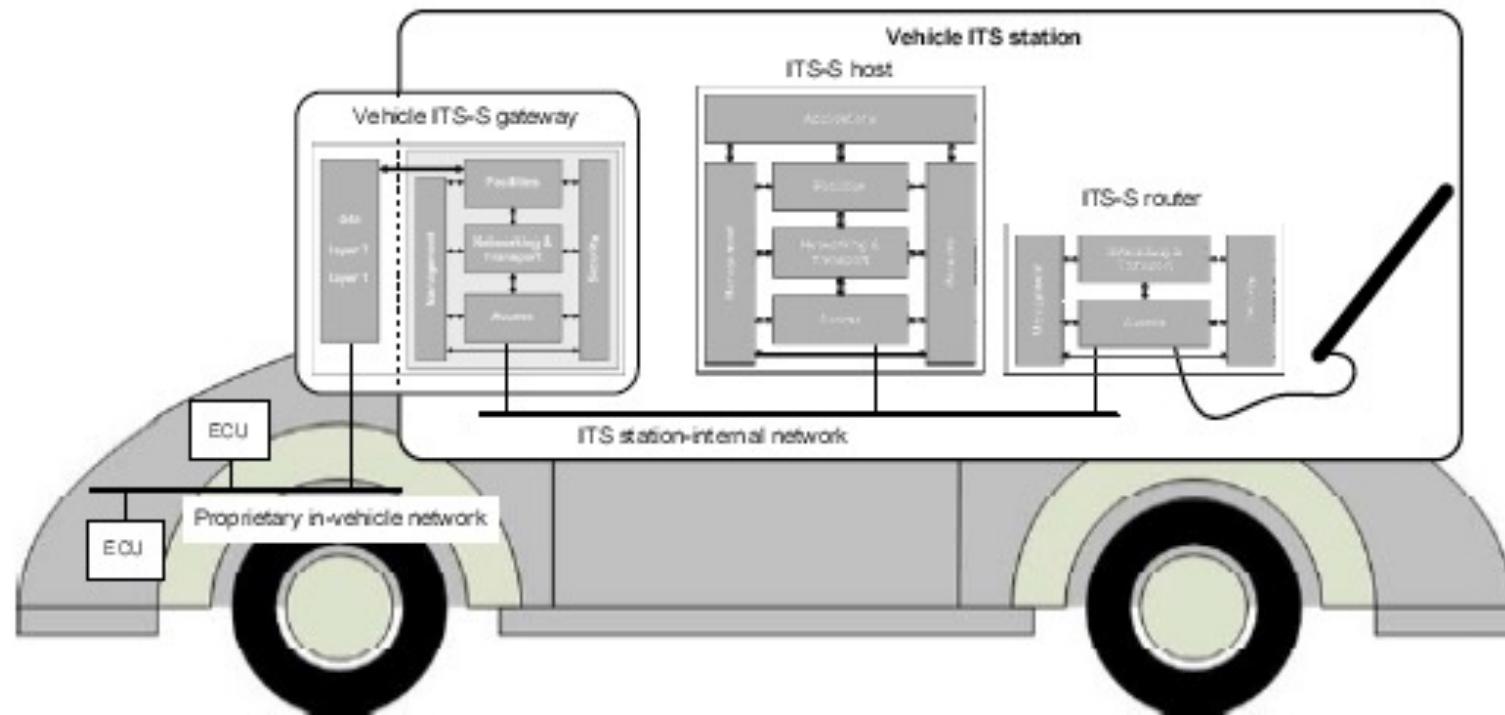


ITS: Intelligent Transportation System

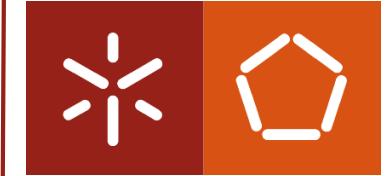
ITS-S: ITS Station



Nomenclatura ETSI



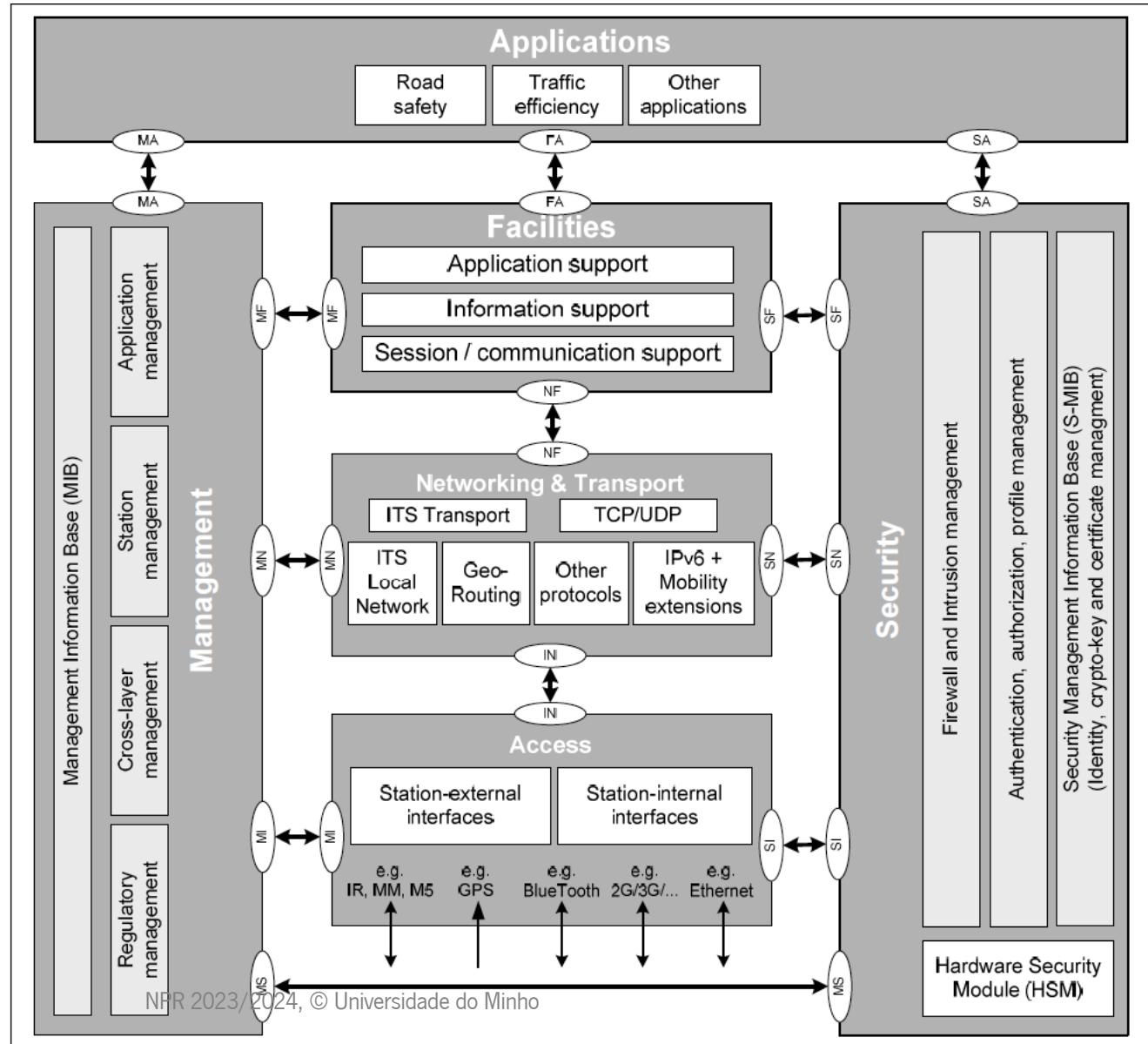
ITS-S Host
ITS-S Router
ITS-S Gateway

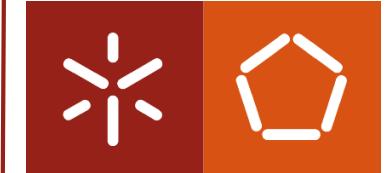


Pilha Protocolar – Europa

● C-ITS (Europa)

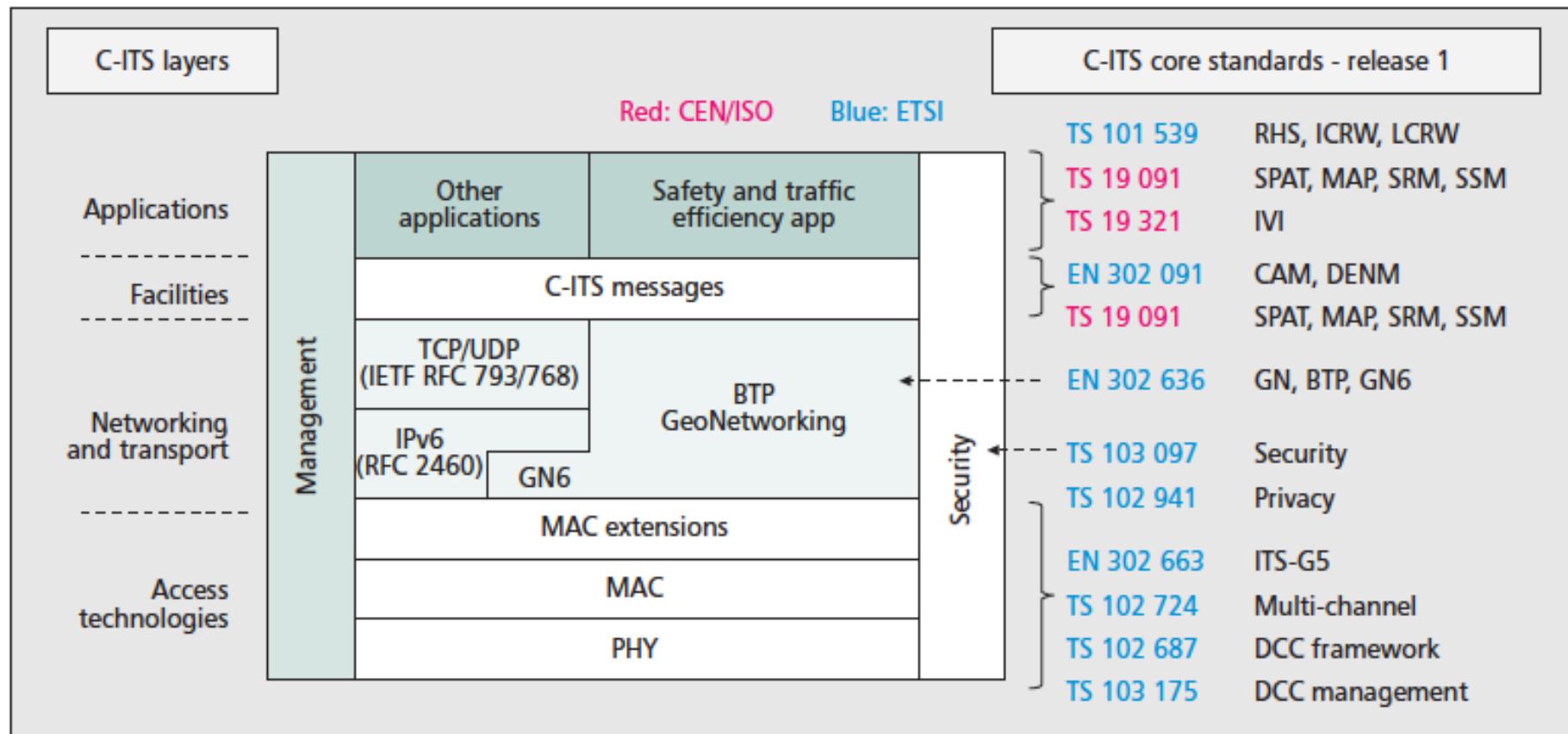
Vista
simplificada
por camadas

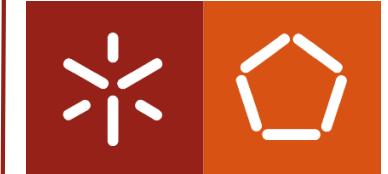




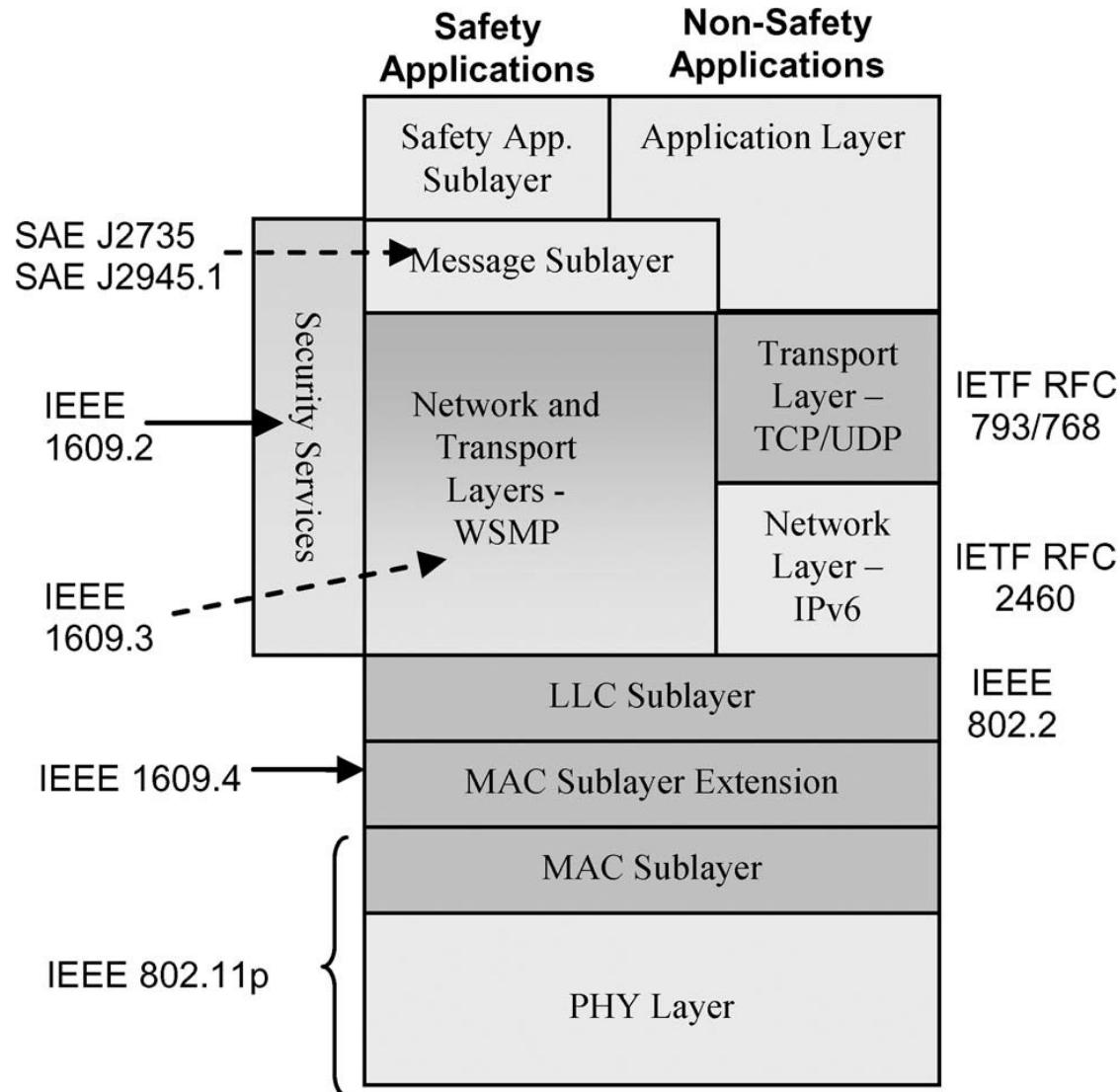
Pilha Protocolar – Europa

● C-ITS (Europa)



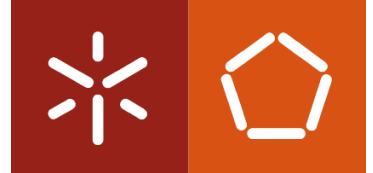


Pilha Protocolar – USA



● DSRC (USA)

- Duas opções conforme requisitos das aplicações
- Aplicações de segurança rodoviária usam *broadcast* na vizinhança (apenas um salto) sobre WSMP
- Outras aplicações podem usar IPv6, por exemplo se precisarem de encaminhamento (mais que um salto)



Mensagens: CAM

- **CAM: Cooperative Awareness Messages**

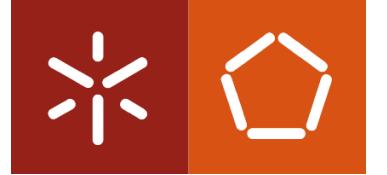
- Definidas na norma ETSI EN 302 663 como parte do serviço “**Cooperative Awareness Basic Service**” (**CA**)
- As mensagens CAM são enviadas pela estação ITS-S que as cria para todas as ITS-S que sejam diretamente alcançáveis pelo sinal rádio
- As CAM são geradas periodicamente, com uma frequência controlada pelo serviço CA na estação ITS-S de origem; A frequência é determinada tendo em conta as ‘variações de estado’ da estação ITS-S:
 - *alteração de posição do veículo, alteração da velocidade, taxa de ocupação do canal rádio (algoritmo distribuído de controlo de congestionamento - DCC)*
- Ao receber mensagens CAM, o serviço CA disponibiliza o conteúdo das mesmas às aplicações ITS em execução ou a outros serviços (*facilities*) dentro da veículo ITS-S, por exemplo o **Local Dynamic Map (LDM)**

- **Intervalo de tempo máximo entre mensagens CAM: 1 s**

1 Hz

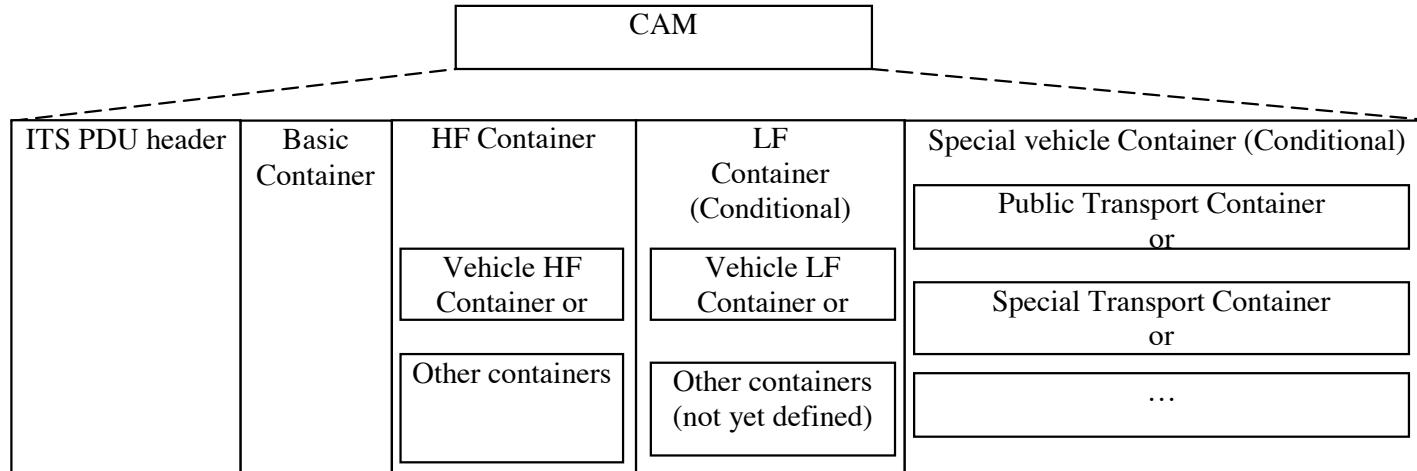
- **Intervalo de tempo mínimo entre mensagens CAM: 0,1 s**

10 Hz



Mensagens: CAM

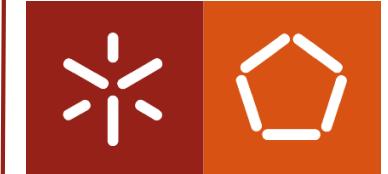
- **CAM: Cooperative Awareness Messages**



```
BasicContainer ::= SEQUENCE {  
    stationType StationType,  
    referencePosition ReferencePosition,  
    ...  
}
```

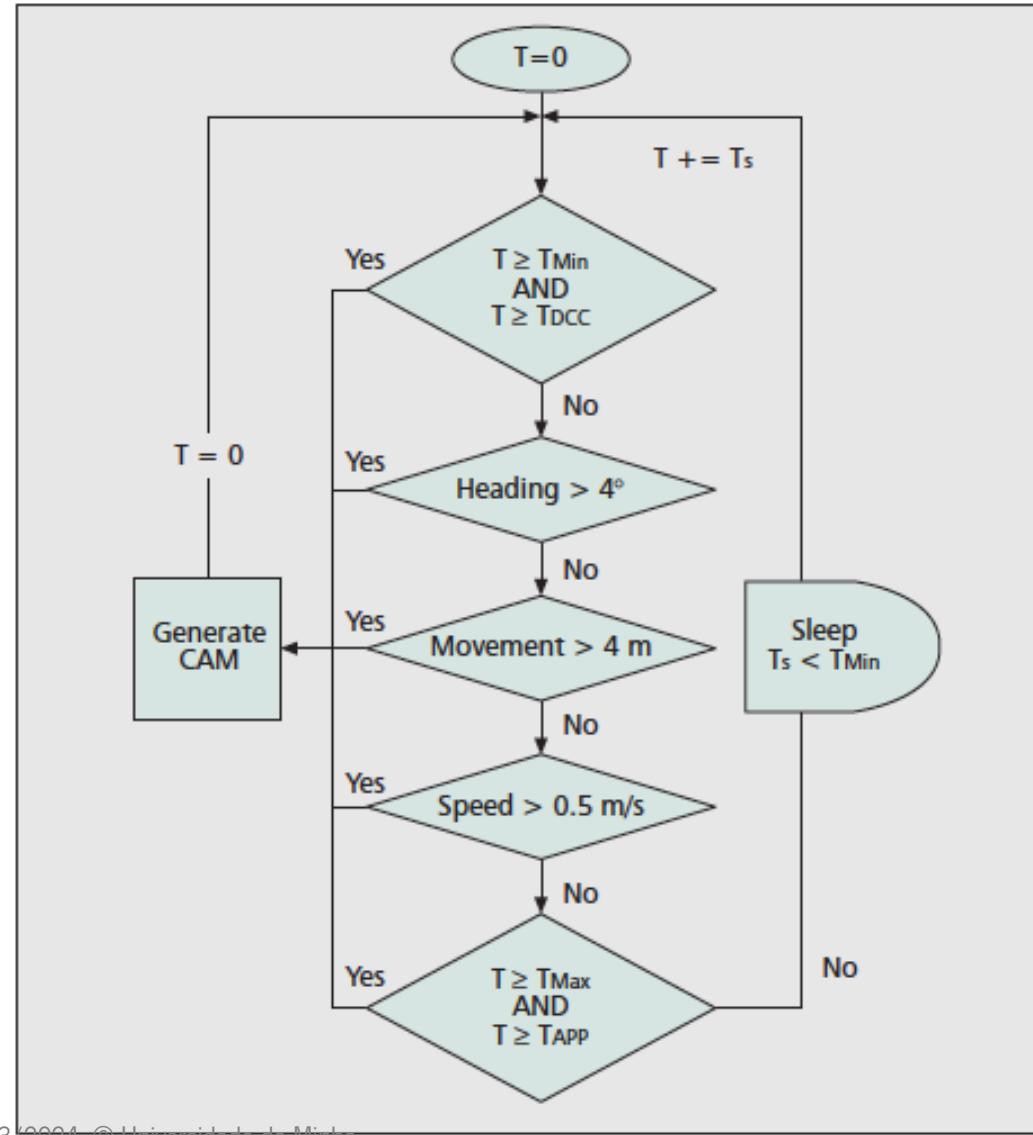
```
BasicVehicleContainerHighFrequency ::= SEQUENCE {  
    heading Heading,  
    speed Speed,  
    driveDirection DriveDirection,  
    vehicleLength VehicleLength,  
    vehicleWidth VehicleWidth, longitudinalAcceleration LongitudinalAcceleration,  
    ....
```

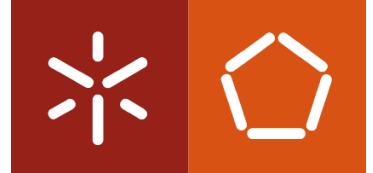
```
BasicVehicleContainerLowFrequency ::= SEQUENCE {  
    vehicleRole VehicleRole,  
    exteriorLights ExteriorLights,  
    pathHistory PathHistory  
}
```



Mensagens: CAM

- Regras para a geração de CAM
 - Passou o tempo mínimo e não há congestionamento no canal de rádio?
 - Mudanças na direção?
 - Mudanças na distância?
 - Mudanças na velocidade?
 - Passou o tempo máximo entre CAM?

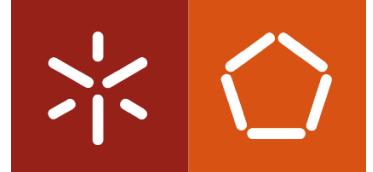




Mensagens: DENM

● **DENM: Decentralized Environmental Notification Messages**

- Definidas na norma ETSI EN 302 637-3 como parte do serviço “**Decentralized Environmental Notification Messages Basic Service**” (**DEN**)
- As mensagens DENM são enviadas pela estação ITS-S que esteja a executar uma aplicação “*Road Hazard Warning*” para todas as ITS-S que sejam diretamente alcançáveis
- As DENM são geradas por eventos detectados, e enviadas com um determinado ritmo enquanto o evento durar; a frequência é controlada pelo serviço DEN na estação ITS-S de origem;
- Ao receber mensagens DENM, o serviço DEN disponibiliza o conteúdo das mesmas às aplicações ITS em execução ou a outros serviços (*facilities*) dentro da veículo ITS-S, por exemplo o **Local Dynamic Map (LDM)**

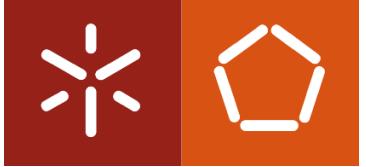


Mensagens: DENM

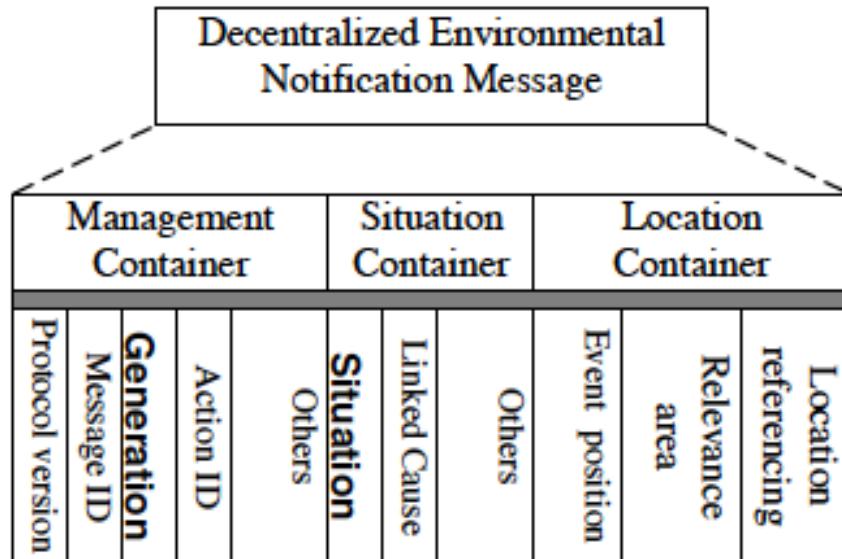
- DENM: eventos – condição de início e de fim de envio

Use case	Triggering condition	Terminating condition
Emergency electronic brake light	Hard breaking of a vehicle	Automatic after the expiry time
Wrong way driving warning	Detection of a wrong way driving by the vehicle being in wrong driving direction	Vehicle being in the wrong way has left the road section
Stationary vehicle - accident	e-Call triggering	Vehicle involved in the accident is removed from the road
Stationary vehicle - vehicle problem	Detection of a vehicle breakdown or stationary vehicle with activated warnings	Vehicle is removed from or has left the road
Traffic condition warning	Traffic jam detection	End of traffic jam
Signal violation warning	Detection of a vehicle being violating a signal	Signal violation corrected by the vehicle
Road-work warning	Signalled by a fix or moving roadside ITS station	End of the roadwork
Collision risk warning	Detection of a turning collision risk by a roadside ITS station	Elimination of the collision risk
	Detection of a crossing collision risk by a roadside ITS station	Elimination of the collision risk
	Detection of a merging collision risk by a roadside ITS station	Elimination of the collision risk
Hazardous location	Detection of a hazardous location	Automatic after the expiry time
Precipitation	Detection of a heavy rain or snow by a vehicle (activation of the windscreen wipers)	Detection of the end of the heavy rain or snow situation
road adhesion	Detection of a slippery road condition (ESP activation)	Detection of the end of the slippery road condition
Visibility	Detection of a low visibility condition (activation of some lights or antifog)	Detection of the end of the low visibility condition
Wind	Detection of a strong wind condition (stability control of the vehicle)	Detection of the end of the strong wind condition

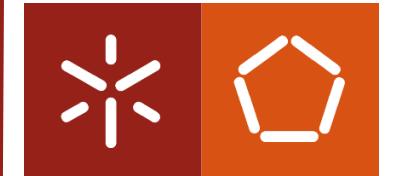
Mensagens: DENM



● DENM: Decentralized Environmental Notification Messages

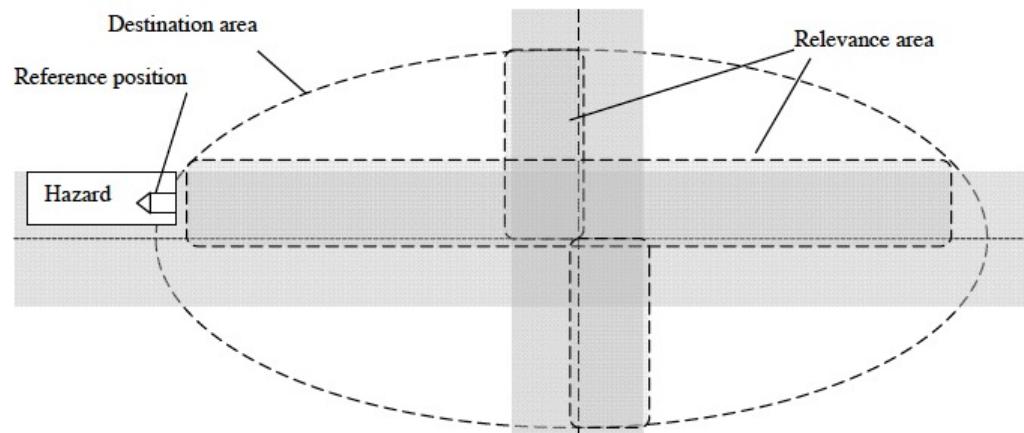
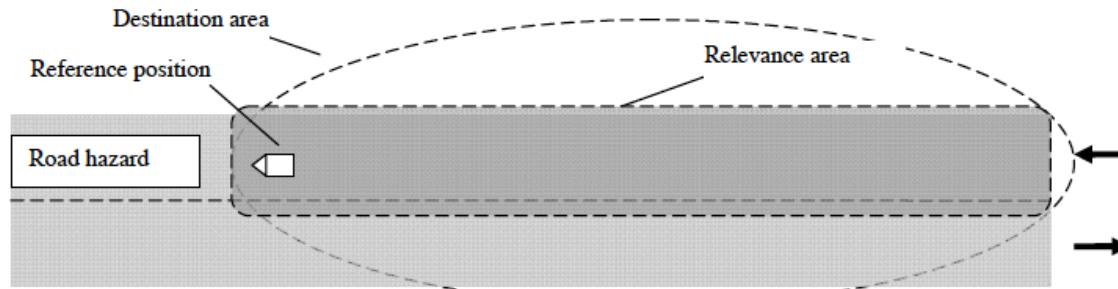


- **Management Container:** information related to the DENM protocol
actionID, detectionTime, referenceTime, termination, eventPosition, relevanceDistance, relevanceTrafficDirection, validityDuration, transmissionInterval, stationType
- **Situation Container:** information related to the type of the detected event
informationQualiry, eventType (causeCode, subCauseCode), linkedCause, eventHistory
- **Location Container:** describes the location of the detected event
eventSpeed, eventPositionHeading, traces (well-ordered waypoints that forms an itinerary), roadType

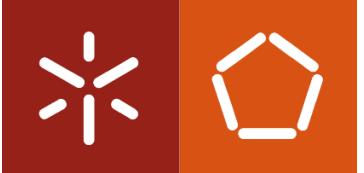


Mensagens: DENM

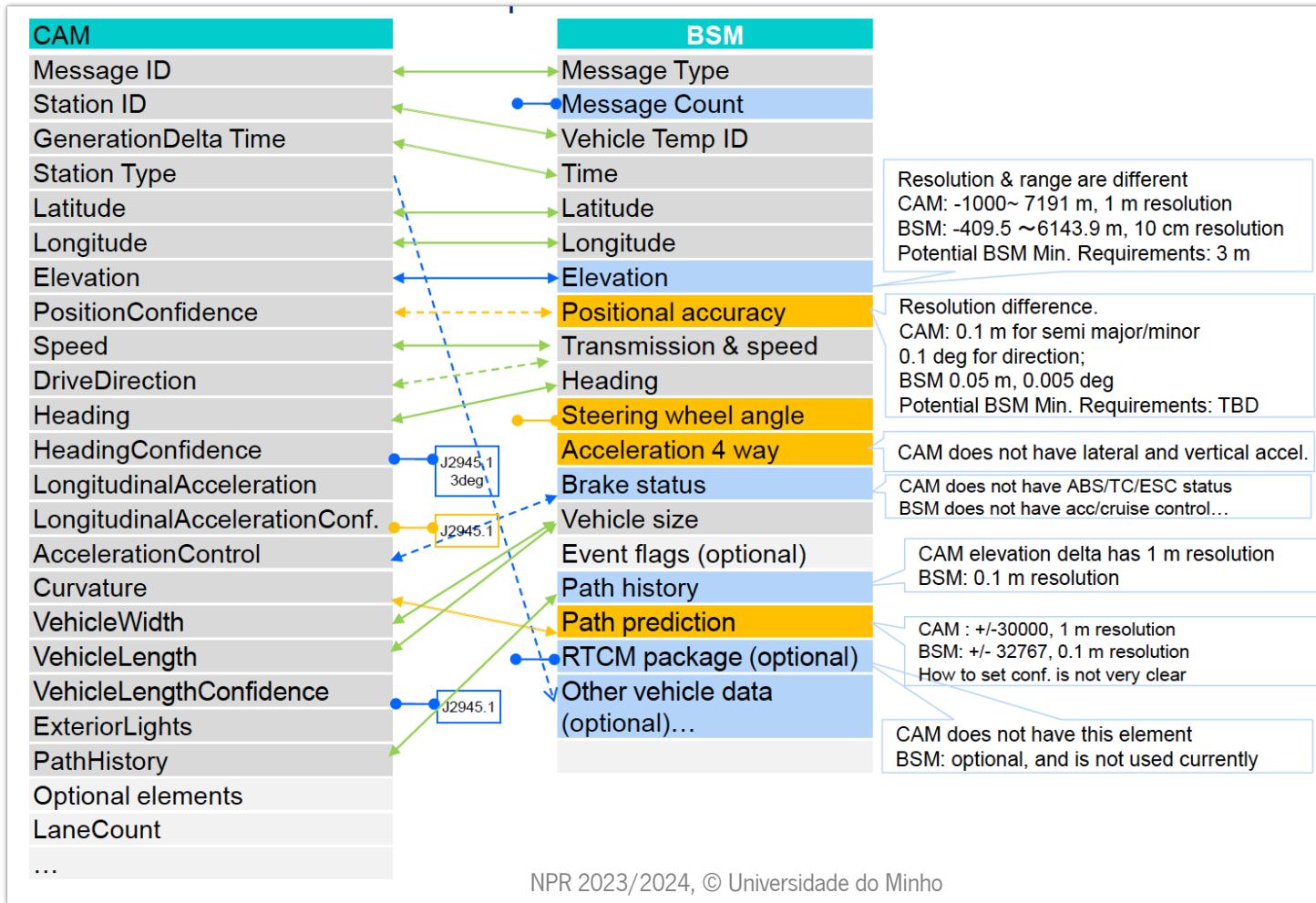
- DENM: Área de relevância para o evento

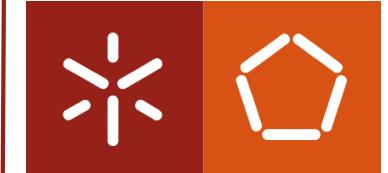


Mensagens: Harmonização EU-USA



- As mensagens são diferentes nos vários continentes... Mas há esforços de que pelo menos os objetos descritos sejam semanticamente equivalentes





Transporte e Rede: BTP e GN

- Há duas alternativas no que respeita ao transporte e rede

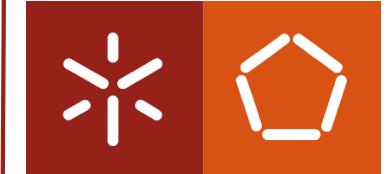
- TCP e UDP sobre IPv6, com as extensões de mobilidade do IPv6 (Mobile IPv6)
- BTP sobre GN, especificamente desenhados para aplicações ad-hoc veiculares
- A escolha da pilha de transporte é feita exclusivamente pelas aplicações:
 - Pilha **GeoNetworking** para aplicações Ad-Hoc veiculares
 - Pilha **IPv6** para comunicações com rede IP de infraestrutura (aplicações V2I)

- **Camada de transporte (BTP – Basic Transport Protocol)**

- Funções de multiplexagem e desmultiplexagem para a camada superior

- **Camada de Rede (GeoNetworking)**

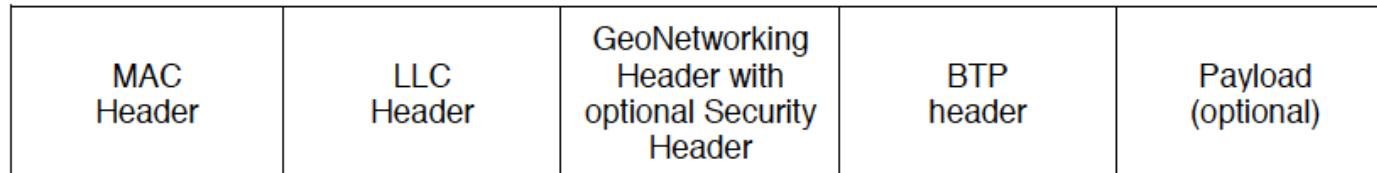
- Endereçamento geográfico
- Reenvio (*forwarding*) por critérios geográficos:
 - Geo-UNICAST, Geo-BROADCAST, Topologically-Scoped broadcast
- **GN6** – Carrega pacotes IPv6 nos GN para reenvio geográfico de IPv6



Transporte e Rede: BTP e GN

● BTP – Basic Transport Protocol

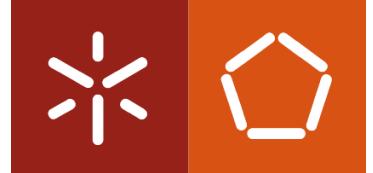
- Serviço de transporte não orientado à conexão... (não fiável)
 - Primitivas de serviço: BTP-Data.Request e BTP-Data.Indication
- Sobretudo para transporte de mensagens CAM e DENM, usando o serviço de rede *GeoNetworking*
- Portas de 16 bits (como no UDP): Porta de origem e porta de destino, com o conceito de “Portas bem Conhecidas” (*Well-known ports*)
- Pacotes BTP encapsulados em pacotes GN (por sua vez em tramas MAC):



- 2 Cabeçalhos possíveis BTP-A e BTP-B (só com porta de destino e informação)

BTP-A:	Destination port	Source port
--------	------------------	-------------

BTP-B:	Destination port	Destination port info
--------	------------------	-----------------------

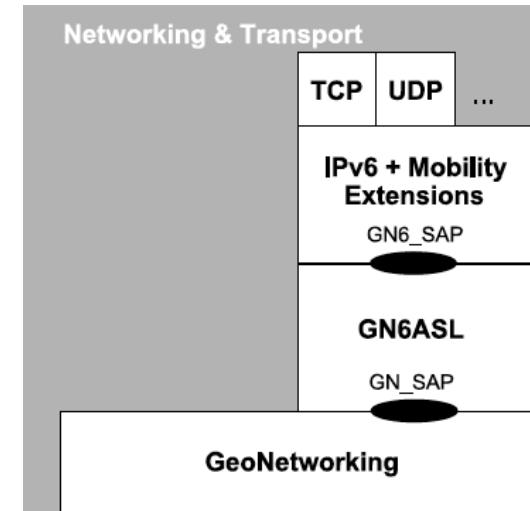


Transporte e Rede: BTP e GN

● **GN6ASL – Camada de adaptação do IPv6 ao GN**

(*GeoNetworking IPv6 Adaption Sub-Layer*)

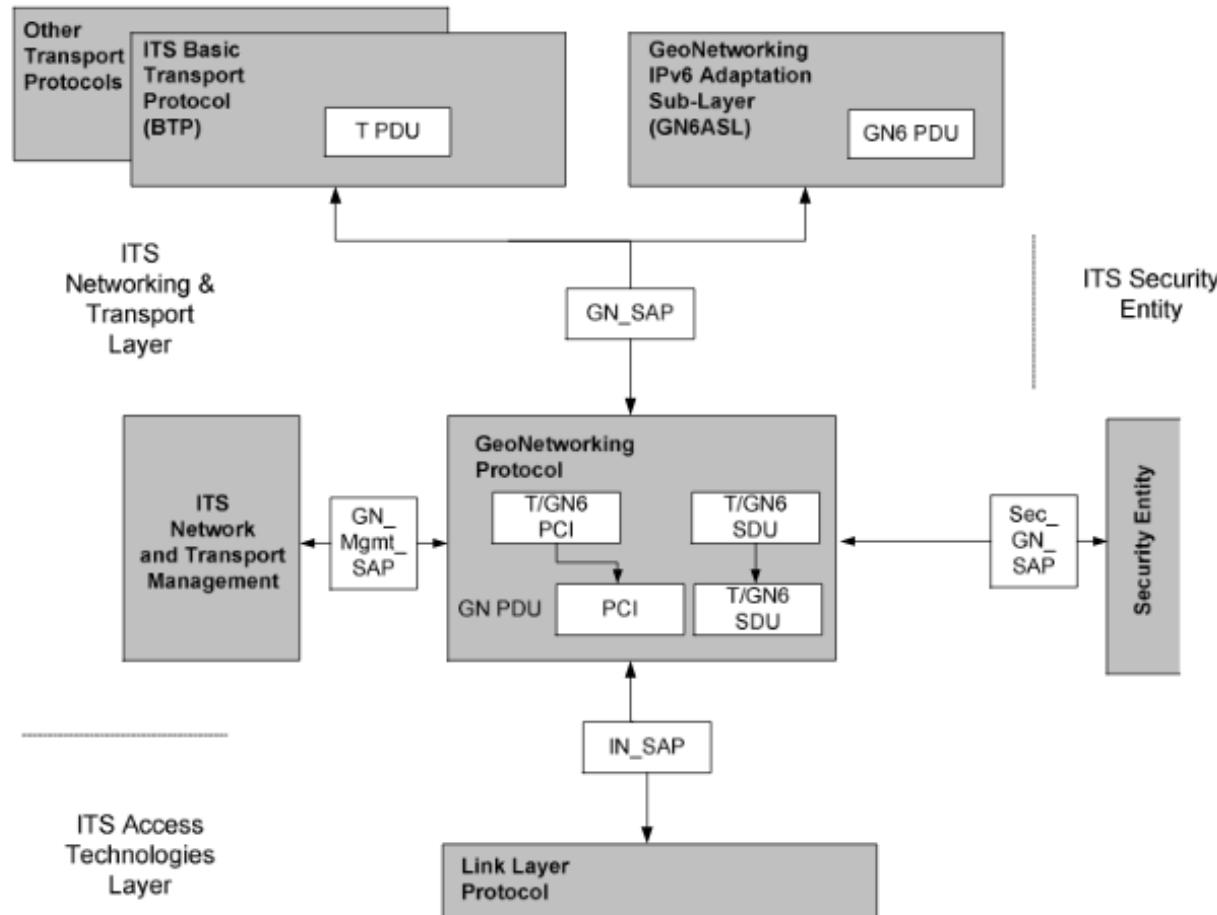
- Suporte para Router e Prefix Discovery, resolução de endereços, ...
- Define 3 tipos de links virtuais:
 - Link simétrico com contexto geográfico bem definido
 - Dois tipos de links que não garantem simetria mas ajudam a definir domínios de difusão
- Geographical Virtual Link (GVL) com dois subtipos:
 - GVL Estático (SGVL)
 - GVL Dinâmico (DGVL)

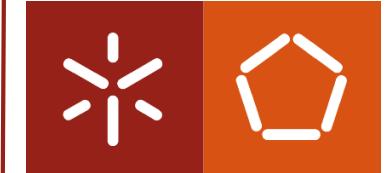




Transporte e Rede: BTP e GN

● GeoNetworking (ETSI 302 636-4-1)

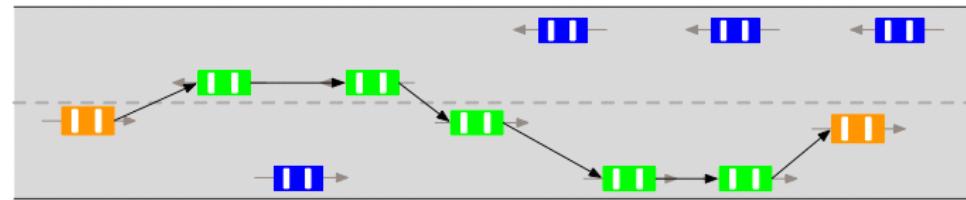




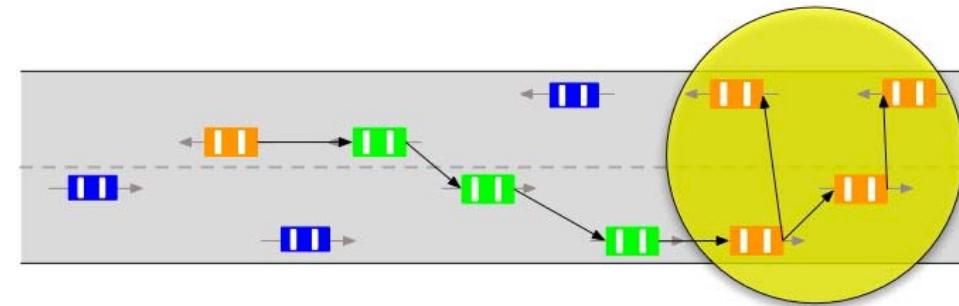
Transporte e Rede: BTP e GN

- **GN – GeoNetworking:** Pacotes são enviados para um nó pela sua posição, ou para uma área

Geo-Unicast: determina-se a posição do nó destino, reenvia-se para próximo nó, sucessivamente, até ao destino

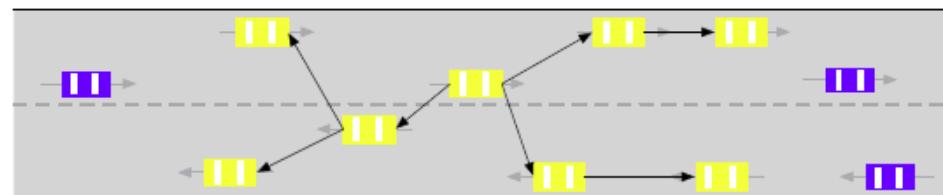


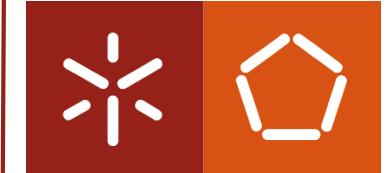
Geo-Broadcast: pacote é reenviado nó a nó até atingir a área geográfica de destino; todos os nós da área de destino reenviam em *broadcast*,



Geo-Anycast: variante em que os nós da área de destino não reenviam!

Broadcast topológico (1-salto, n-saltos): pacote é reenviado a todos os nós na vizinhança N saltos

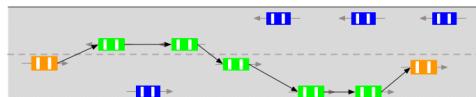


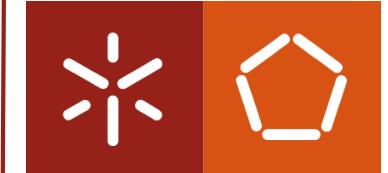


Transporte e Rede: BTP e GN

● Algoritmos de reenvio (fora da área): GF (Greedy Forwarding)

- Estratégia assente no originador (source-based):
 - Cada veículo com pacote GN para reenviar é que escolhe o próximo salto, com base no conhecimento que tem da sua vizinhança (Local Dynamic Map)
 - Algoritmo aplica a política de MFR ("*Most Forward Within Radius*") : o veículo com menor distância para o destino é o selecionado como próximo salto!
 - NextHop = Veículo Vizinho com menor distância para o destino
- Se não existir nenhum com menor distância que o próprio, não reenvia, e guarda num buffer de reenvio (*forwarding packet buffer*)
 - Se não houver espaço no buffer, os mais antigos são descartados, para dar lugar a este pacote mais recente
 - Os pacotes com o tempo de vida expirado são retirados do buffer

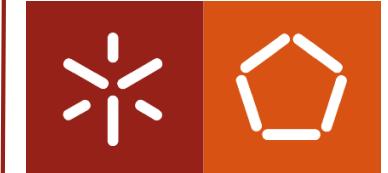




Transporte e Rede: BTP e GN

● **Algoritmos de reenvio (fora da área): CBF (Contention Based Forwarding)**

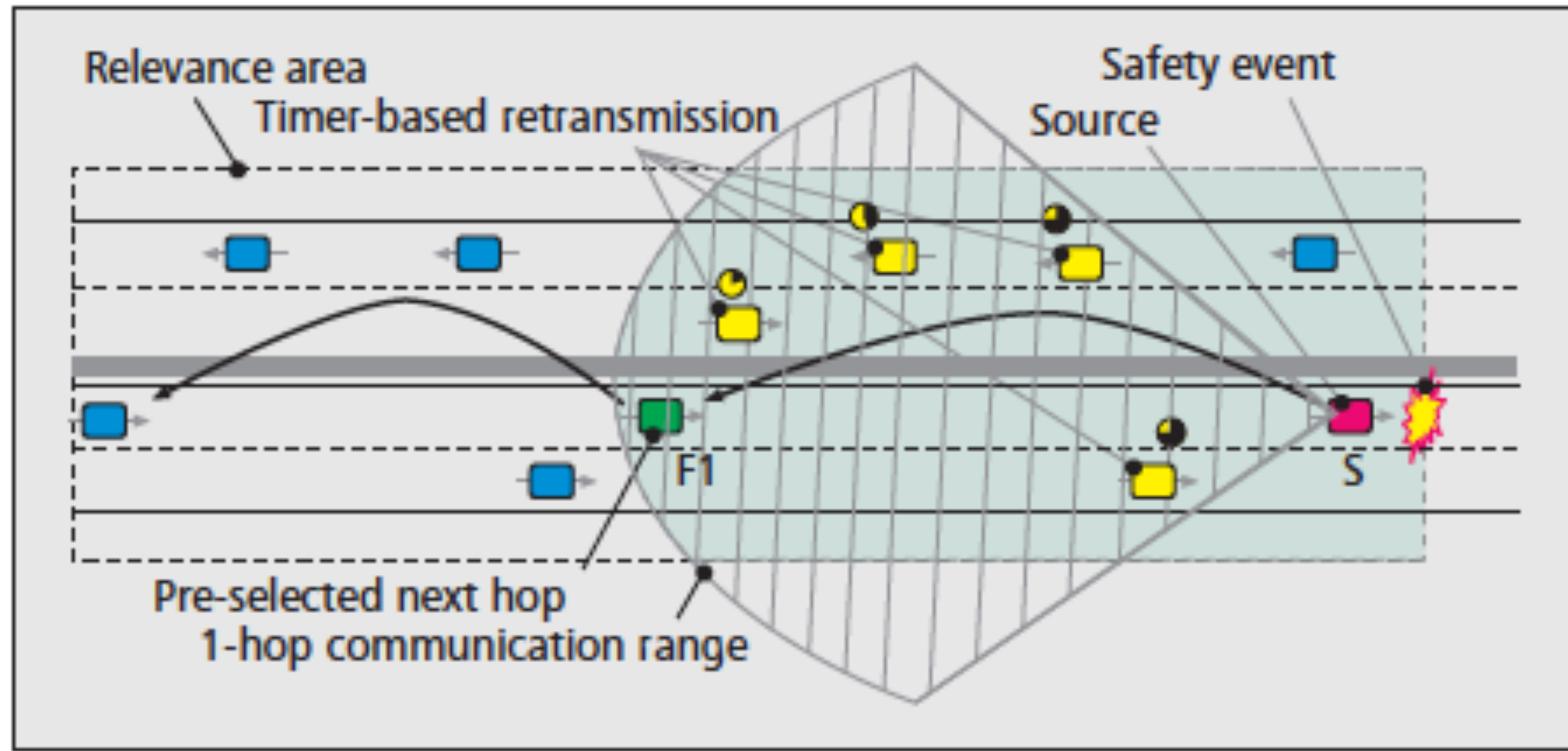
- Estratégia assente no receptor (receiver-based):
 - Cada veículo que recebe um pacote GN é que decide se o deve reenviar ou não!
 - O emissor não decide, a decisão é de cada nó que pode reenviar!
 - Esta estratégia é mais fiável que a anterior, pois garante que alguém vai reenviar o pacote no caso do veículo "escolhido" ou em melhores condições, não conseguir (erros de receção ou envio)
- O Geo AdHoc router envia o pacote por broadcast...
- Todos os vizinhos que receberem, processam-no e decidem se estão mais próximos do destino que quem enviou (MFR positivo)
 - Se sim, esperam um tempo inversamente proporcional ao "progresso no reenvio"
 - Se o progresso é menor (mais perto de quem enviou) o tempo é maior; Se o progresso é maior (mais longe de quem enviou e mais perto do destino) o tempo é menor;
 - Se durante o tempo de espera o pacote for "escutado" (algum outro nó reenviou), o nó desiste (mecanismo de contenção) – pára temporizador e remover pacote
 - Se ninguém reenviar, fica no buffer de retansmissão do Geo AdHoc Router



Transporte e Rede: BTP e GN

- **Algoritmos de reenvio (fora da área): AF (AdvancedForwarding)**

- Combina os dois anteriores (GF e CBF): origem escolhe o NextHop, mas se este não retransmitir os outros (em contenção) fazem-no de acordo com temporizador



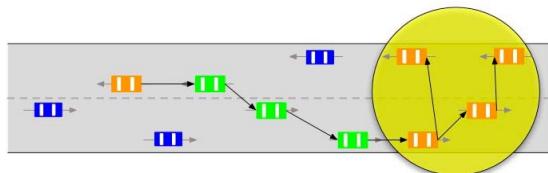
- esta estratégia é as duas coisas: baseada no emissor e no receptor



Transporte e Rede: BTP e GN

- **Algoritmos de reenvio (dentro da área): SGB (Simple GeoBroadcast)**

- Cada veículo com pacote GN para reenviar e que esteja dentro da área de destino do pacote GN, reenvia por broadcast
- Pode haver duplicação de pacotes...
- A gestão dos duplicados tem de ser feita mas não pelo algoritmo de reenvio!....
- A gestão dos duplicados é uma função intrínseca ao processamento de pacotes...

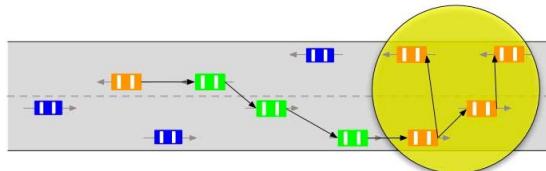


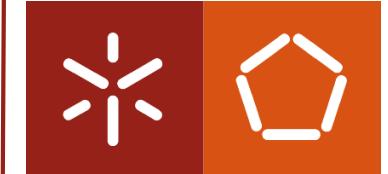


Transporte e Rede: BTP e GN

- **Algoritmos de reenvio (dentro da área): CBF (Contention Based Forwarding)**

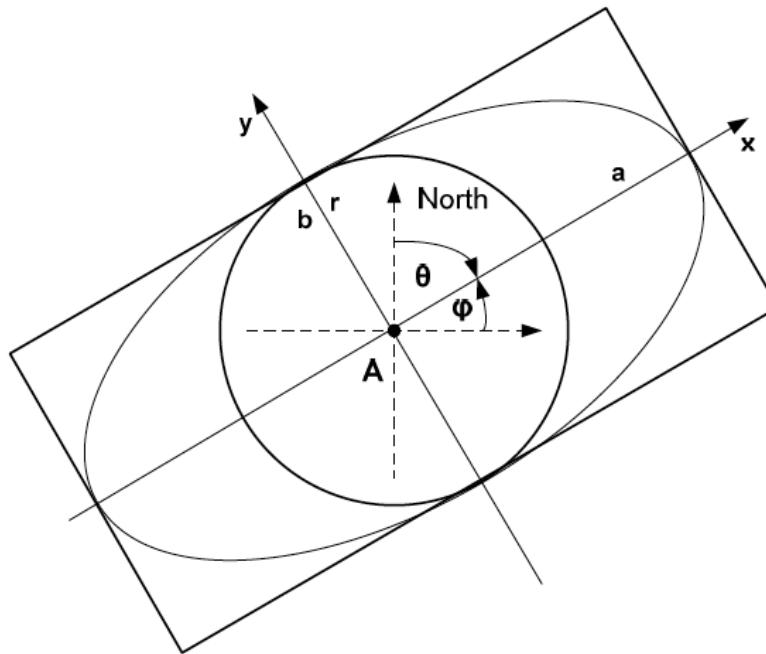
- Este algoritmo é semelhante ao algoritmo de contenção fora da área
 - Só se aplica quando os routers que recebem os pacotes GN estão dentro da área de destino
- Os pacotes são enviados por broadcast e todos os vizinhos que o recebem devem processá-lo e guardá-lo no buffer CBF
- Os veículos dentro da área, iniciam um temporizador com tempo inversamente proporcional ao progresso em relação ao anterior....
- O temporizador é terminado e a retransmissão abortada, caso se escutem retransmissões (pacote removido do buffer CBF)
- Senão, quando o temporizador expirar o pacote é enviado por *broadcast*



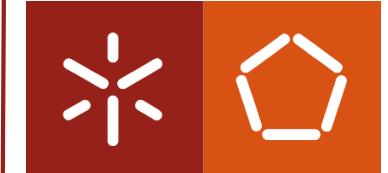


Transporte e Rede: BTP e GN

- Definição de áreas geográficas: círculo, elipse, retângulo

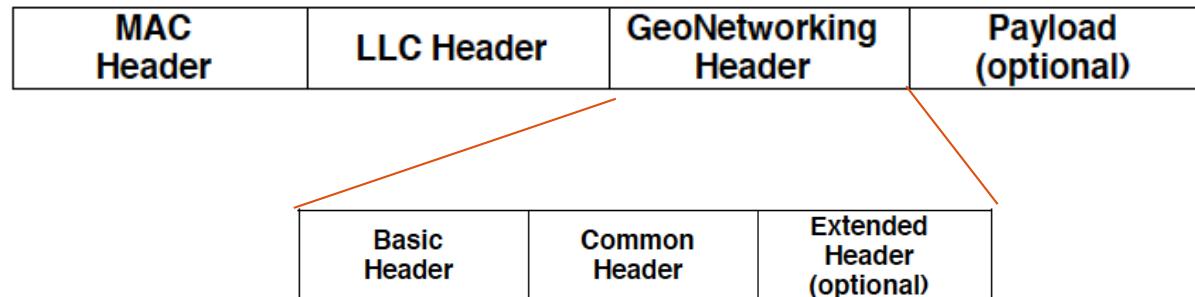


- Coordenadas do ponto A (obrigatório)
- Distâncias r (circulo), a e b (ellipse, retângulo)
- Ângulo em relação ao Norte (ellipse e retângulo)



Transporte e Rede: BTP e GN

- GN – GeoNetworking: Formatos dos pacotes



Basic Header :

0 0	1 1	2 2	3 3	4 4	5 5	6 6	7 7	1 0	0 1	1 2	2 3	3 4	4 5	5 6	6 7	2 0	1 1	2 2	3 3	4 4	5 5	6 6	7 7
Version				NH				Reserved				LT				RHL							

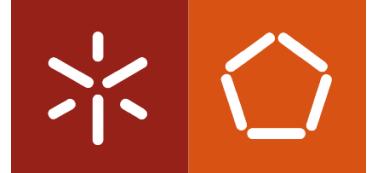
NH – Next header; LT – LifeTime; RHL – Remaining Hop Limit;

Common Header:

0 0	1 1	2 2	3 3	4 4	5 5	6 6	7 7	1 0	0 1	1 2	2 3	3 4	4 5	5 6	6 7	2 0	1 1	2 2	3 3	4 4	5 5	6 6	7 7
NH				Reserved				HT				HST				TC				Flags			
PL								MHL								Reserved							

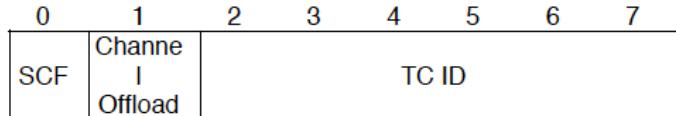
NH – Next header; HT, HST – Header Type e Subtype; TC – Classe de Tráfego

PL – Tamanho do pacote (carga útil); MHL – Max hop Limit

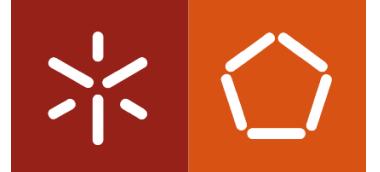


Transporte e Rede: BTP e GN

● GN – GeoNetworking: Classe de Tráfego



Field #	Field name	Octet/bit position		Type	Unit	Description
		First	Last			
1	<i>SCF</i>	Bit 0	Bit 0	Bit	n/a	Indicates whether the packet shall be buffered when no suitable neighbour exists (store-carry-forward, SCF) Length: 1 bit
2	<i>Channel Offload</i>	Bit 1	Bit 1	Bit	n/a	Indicates whether the packet may be offloaded to another channel than specified in the <i>TC ID</i> Length: 1 bit
3	<i>TC ID</i>	Bit 2	Bit 7	6-bit unsigned integer	n/a	TC ID as specified in the media-dependent part of GeoNetworking, e.g. in ETSI TS 102 636-4-2 [5] for ITS-G5 Length: 6 bits



Transporte e Rede: BTP e GN

● GN – GeoNetworking

Endereços (GN_ADDR):

M – um bit para dizer se o endereço foi configurado manualmente;
ST – Tipo de estação ITS-S (0 – desconhecido, 1 – pedestre, ... 5 – car ...)
MID – MAC ID: 48 bits do endereço MAC...

0	1	2	3	4	5	6	7	1	0	1	2	3	4	5	6	7	2	0	1	2	3	4	5	6	7	3	0	1	2	3	4	5	6	7
M	ST	Reserved	Mid																															

Vetor de Posicionamento (PV):

Formato Longo (LPV):

0	1	2	3	4	5	6	7	1	0	1	2	3	4	5	6	7	2	0	1	2	3	4	5	6	7	3	0	1	2	3	4	5	6	7
GN_ADDR																																		
TST																																		
Lat																																		
Long																																		
PAI	S	H																																

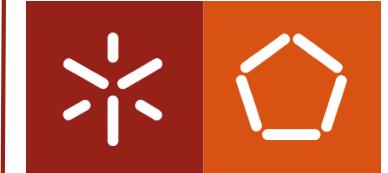
Formato Curto (SPV):

0	1	2	3	4	5	6	7	1	0	1	2	3	4	5	6	7	2	0	1	2	3	4	5	6	7	3	0	1	2	3	4	5	6	7
GN_ADDR																																		
TST																																		
Lat																																		
Long																																		

TST – tempo em que a posição foi adquirida;

Lat, Long – Latitude e Longitude

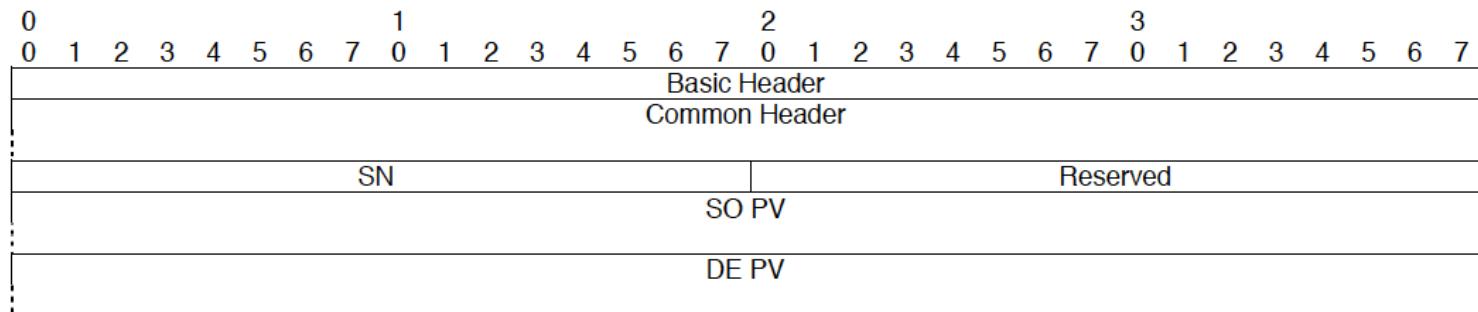
NPR 2023/2024, © Universidade do Minho PAI – Precisão S – Velocidade (Speed) H – Ângulo de direção (Heading)



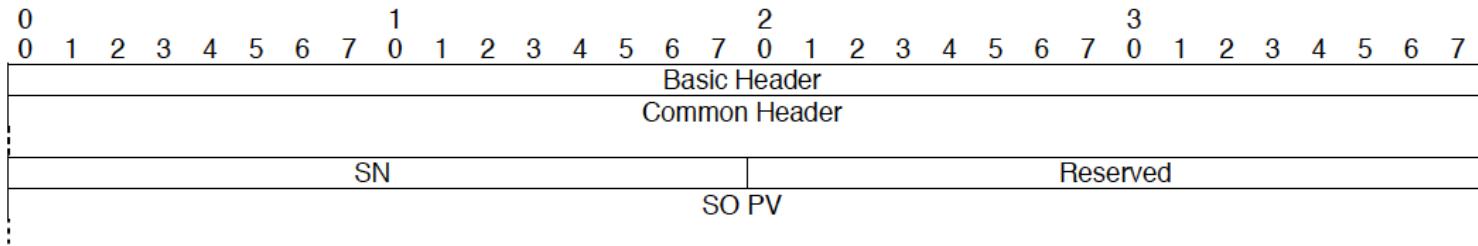
Transporte e Rede: BTP e GN

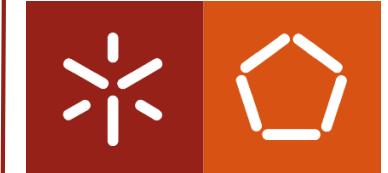
- **GN – GeoNetworking:** 7 formatos de pacotes **GUC** (*Geographically-Scoped Unicast*), **TSB** (*Topologically-Scoped Broadcast*), **SHB** (*Single-Hop Broadcast*), **GBC** (*Geographically-Scoped Broadcast*), **GAC** (*Geographically-Scoped Anycast*), **BEACON e LS** (*Location Service*)

Pacote GUC (*Geographically-Scoped Unicast*)



Pacote TSB (Topologically-Scopped Broadcast)

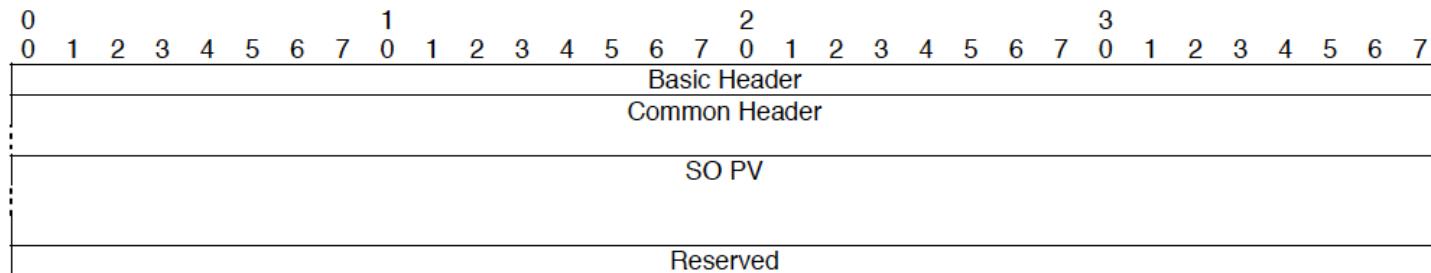




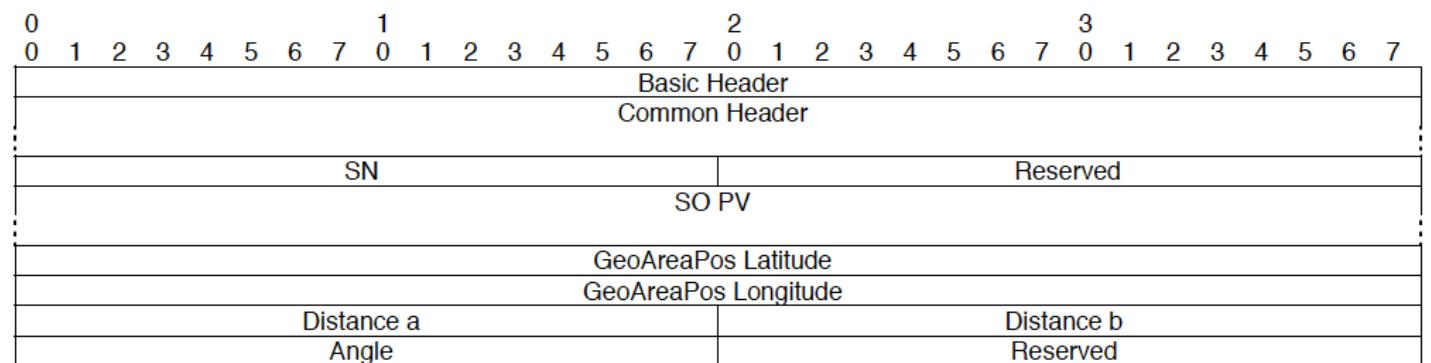
Transporte e Rede: BTP e GN

- **GN – GeoNetworking:** 7 formatos de pacotes **GUC** (*Geographically-Scoped Unicast*), **TSB** (*Topologically-Scoped Broadcast*), **SHB** (*Single-Hop Broadcast*), **GBC** (*Geographically-Scoped Broadcast*), **GAC** (*Geographically-Scoped Anycast*), **BEACON** e **LS** (*Location Service*)

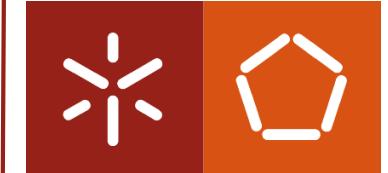
Pacote SHB (*Single-Hop Unicast*)



Pacote GBC/GAC (Geographically-Scopped Broadcast/Anycast)



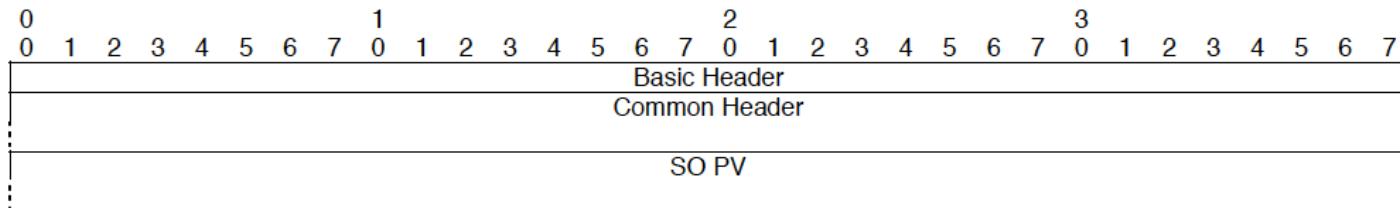
Área de destino



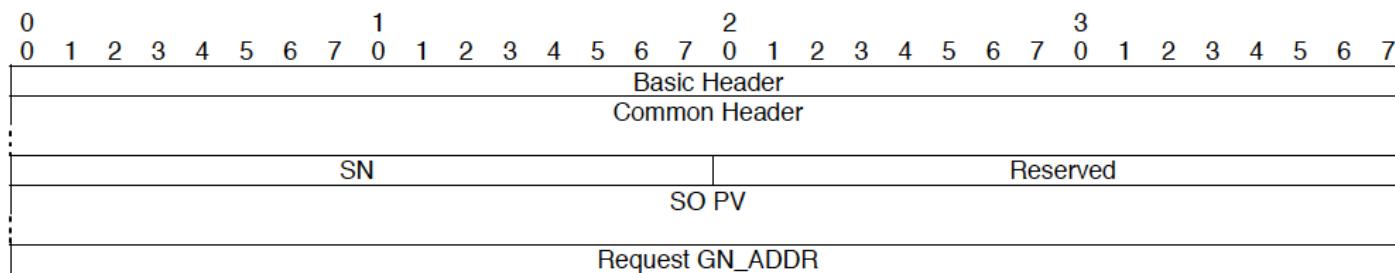
Transporte e Rede: BTP e GN

- **GN – GeoNetworking:** 7 formatos de pacotes **GUC** (*Geographically-Scoped Unicast*), **TSB** (*Topologically-Scoped Broadcast*), **SHB** (*Single-Hop Broadcast*), **GBC** (*Geographically-Scoped Broadcast*), **GAC** (*Geographically-Scoped Anycast*), **BEACON e LS** (*Location Service*)

Beacon



LS (Location Service) (Para obter a posição desconhecida de um GN_ADDR)

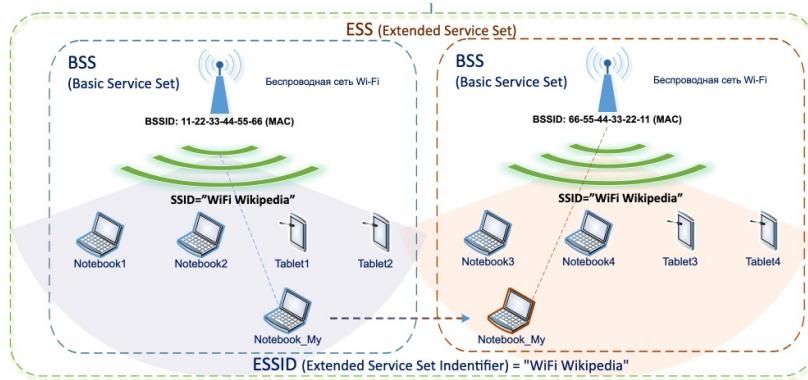




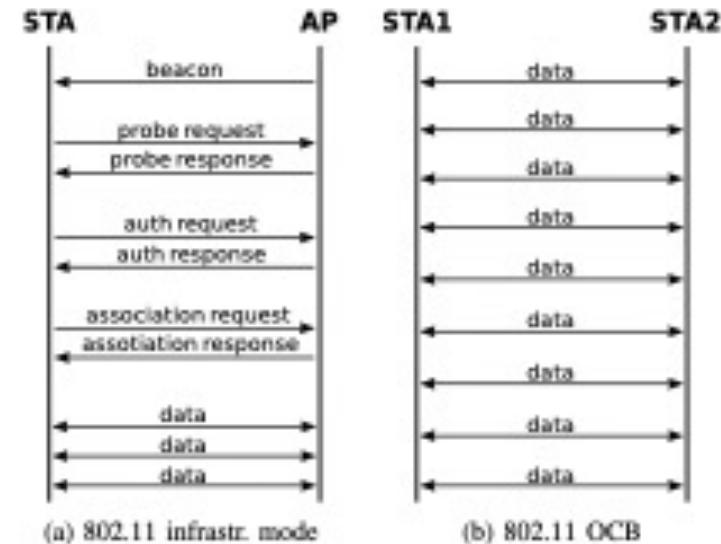
ETSI ITS-G5 – Access Layer

- O ETSI define um perfil IEEE802.11p para a Europa designado por ITS-G5

- Nível físico e lógico baseados no IEEE 802.11p
- Modo Ad-Hoc:
 - Modo de operação OCB – “Outside of the Context of a BSS”
 - Não há serviços MAC de SCAN, JOIN, ASSOCIATE ou AUTHENTICATE !



[https://en.wikipedia.org/wiki/Service_set_\(802.11_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Service_set_(802.11_network)

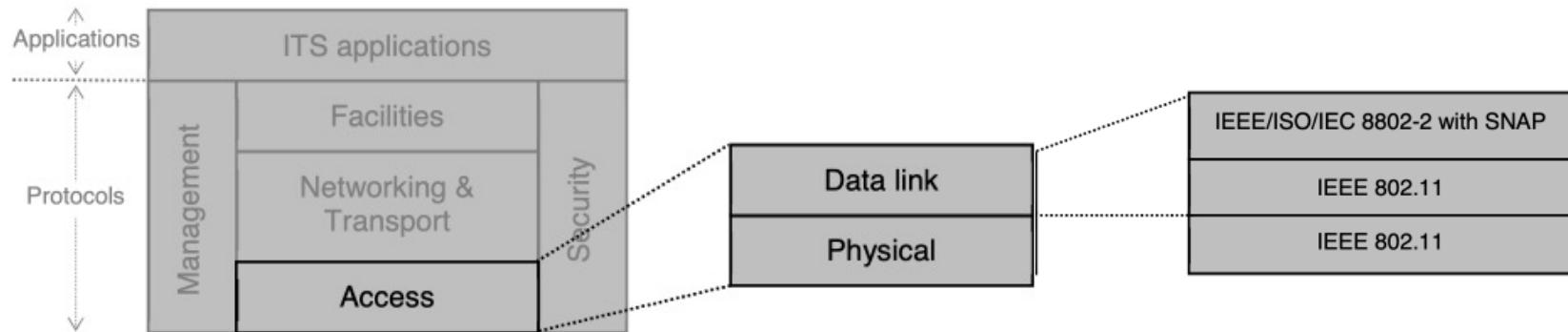


Grazia, C. A. (2018, September). On the performance of IEEE 802.11p Outside the Context of a BSS Networks.

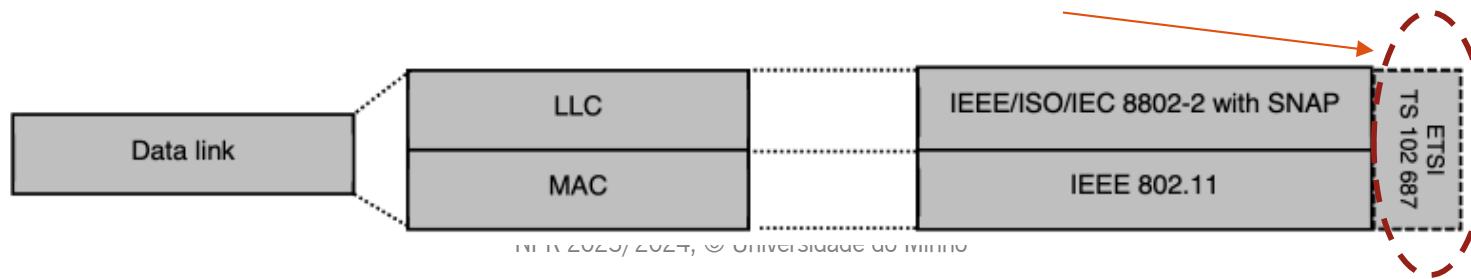
ETSI ITS-G5 – Access Layer

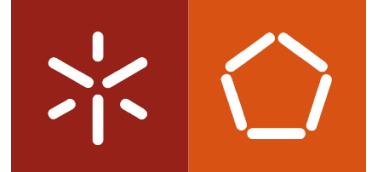


- ETSI EN 302 663 (V1.3.1 de 2020)



- A camada física do ITS-G5 é um derivado IEEE 802.11a
 - Usa OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) com canais de frequência de 10 MHz conforme descrito em IEEE 802.11-2016
 - As taxas de transferência obrigatórias são 3 Mbit/s, 6 Mbit/s e 12 Mbit/s.
- A camada lógica comprehende subníveis **LLC** e **MAC**
- Mecanismo de controlo de congestão: **DCC** – *Decentralized Congestion Control*

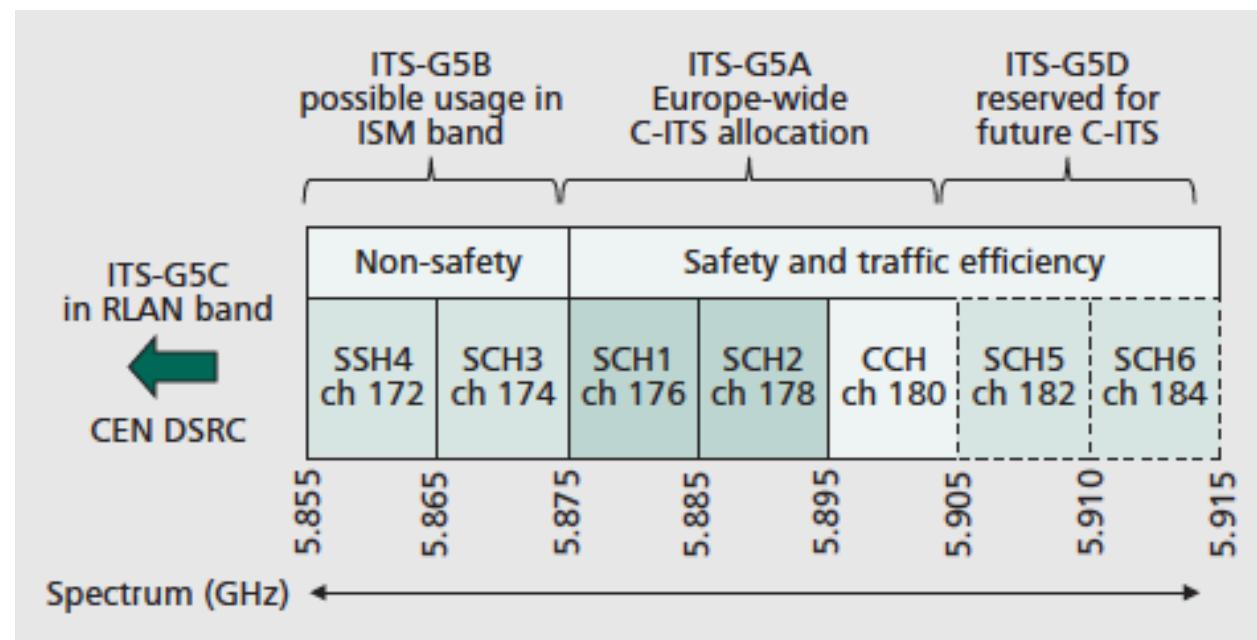


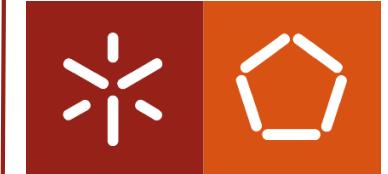


Nível físico – ITS-G5

● ITS-G5 – Bandas

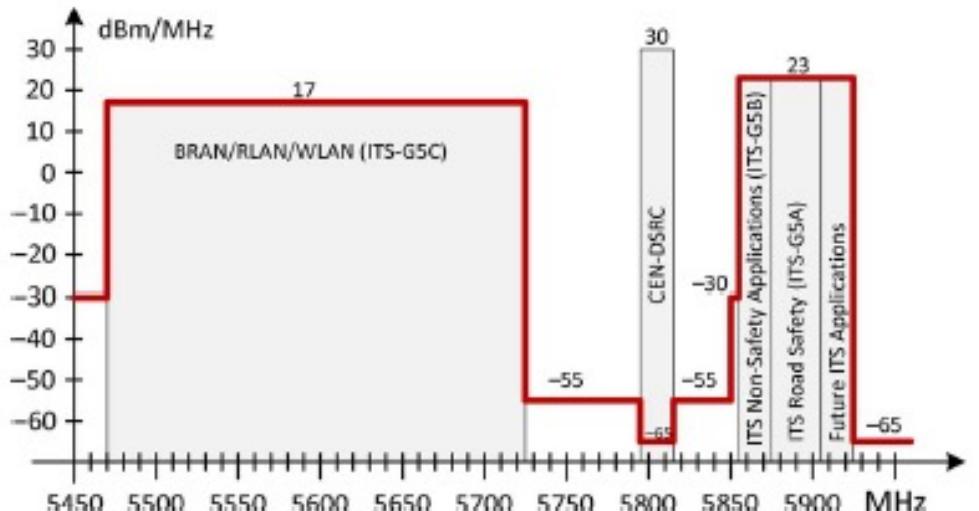
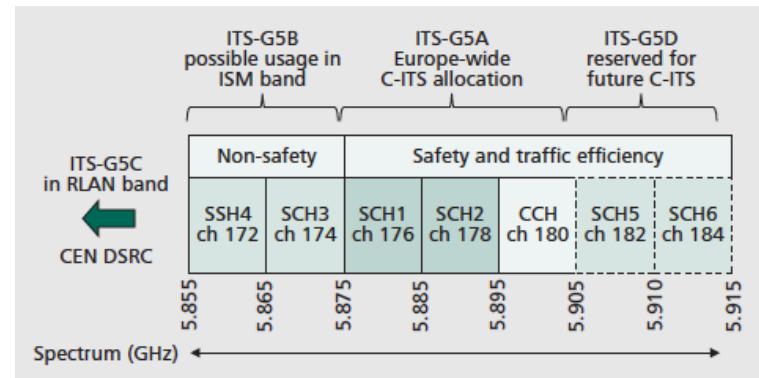
- ITS-G5A – 30MHz (3 canais de 10MHz) só para Segurança Rodoviária e Tráfego...
- ITS-G5B – 20MHz (2 canais de 10MHz) para outras aplicações (*non-safety*)
- ITS-G5C – 255MHz partilhados com RLAN usada por dispositivos WiFi (canais de 10 ou 20MHz)
- ITS-G5D – 20MHz (2 canais de 10MHz) para uso futuro em aplicações Segurança rodoviária e Tráfego

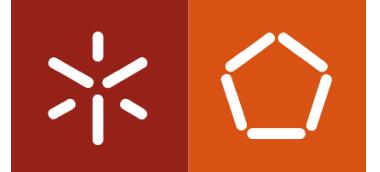




Nível físico – ITS-G5

- O **canal 180** é o canal **primário** de controlo para segurança rodoviária
- Os restantes são canais de serviço
- Podem-se agrregar 2 canais de serviço contínuos na gama **ITS-5GB**
- A gama **ITS-G5C** é partilhada e deve usar obrigatoriamente DFS (*Dynamic Frequency Selection*) para poder coexistir com sistemas de radar
 - Na prática o uso de um DFS *master* e um *slave* limita esta gama a comunicações V2I, com o master no RSU
- A gama de 5.795 a 5.805 é designada por **CEN DSRC** e é usada para portagens virtuais (não pode exceder -65dBm/MHz)

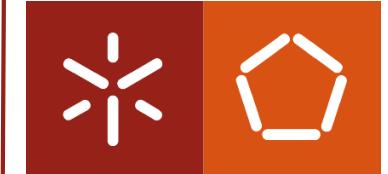




Nível físico – ITS-G5

- Nível físico é derivado do IEEE 802.11a

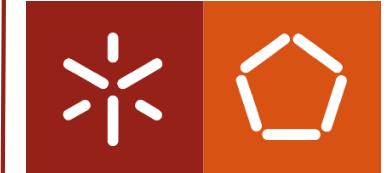
- Usa modulação usando multi-portadoras **OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) com 52 portadoras, 48 para dados
- Cada símbolo OFDM dura $8\mu s$ incluindo prefixo cíclico de $1.6\mu s$



Nível lógico ITS-G5 MAC

● Acesso ao Meio

- O mesmo esquema do IEEE 802.11 → **CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*)**
- Haverá uma entidade MAC de acesso ao meio por cada canal!
- Esquema é expandido com QoS (Quality of Service):
 - ***Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)***
 - Diferentes níveis de prioridade de acesso a cada canal, com diferentes parâmetros de tempo de contenção e janela de contenção!
 - As tramas MAC são associadas às diferentes filas de espera (queues) EDCA de acordo com a classe de tráfego (TC) escolhida pela camada acima
- **MAC Extensions**: Acima das entidades de acesso ao meio existem duas funções:
 - **Gatekeeper** – assegura que as camadas acima não ultrapassam os limites de débito por classe (TC)
 - ***Multi-Channel Operation (MCO)*** – ajusta o transceiver para um dado canal de serviço (SCH), supondo que um dos transceivers estará sempre ajustado para o canal de controlo (CCH)



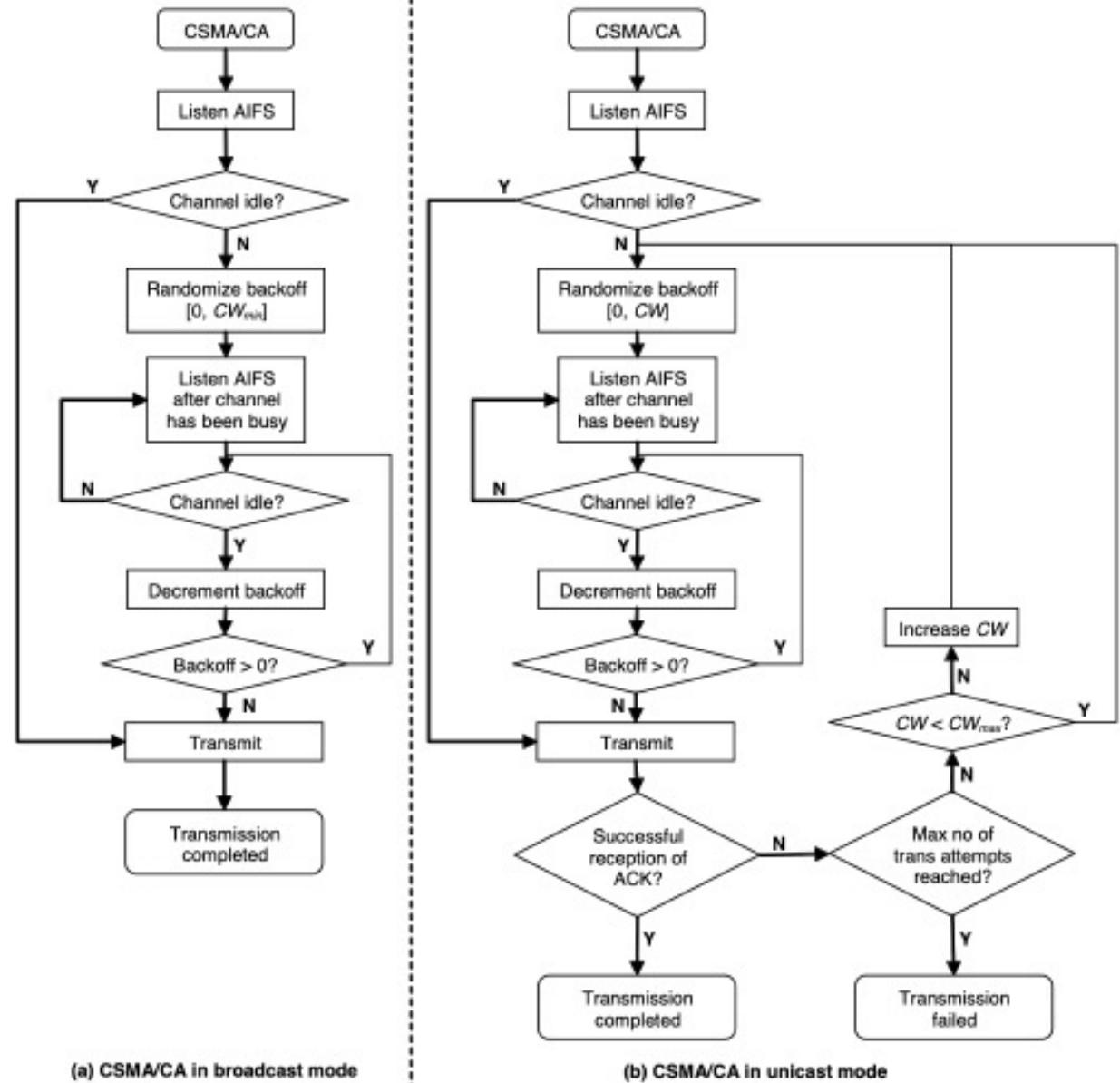
Nível lógico – MAC

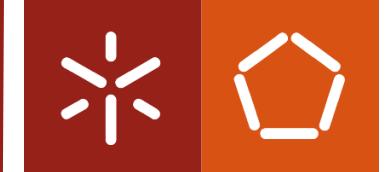
- Acesso ao Meio

- O mesmo esquema do IEEE 802.11 → **CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*)**

AIFS: período de tempo predefinido de escuta do canal (*Arbitration InterFrame Space*)

Os valores de AIFS e de CW_{min} e CW_{max} variam por cada ECDA!





Nível lógico – MAC

● ***Enhanced Distributed Chanel Access (EDCA)***

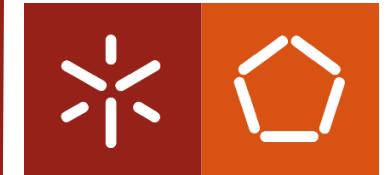
- Cada nó mantém filas com diferentes valores de AIFS (*Arbitration InterFrame Space*) e tamanhos de CW (*Contention Window*) com o objetivo de dar maior prioridade ao tráfego de dados e maior probabilidade de acesso ao canal
- A norma 802.11 define 8 valores de prioridade herdadas do IEE 802.1D
- A prioridade mais baixa é zero e a mais alta é 7

Table B.3: Mapping of UPs in 802.1D to the ACs of QoS facility in 802.11

UP in 802.1D	Data traffic type in 802.1D	AC in 802.11	Data traffic type in 802.11
1	Background (BK)	AC_BK	Background
2	Spare (-)	AC_BK	Background
0	Best effort (BE)	AC_BE	Best effort
3	Excellent effort (EE)	AC_BE	Best effort
4	Controlled load	AC_VI	Video
5	Video (VI)	AC_VI	Video
6	Voice (VO)	AC_VO	Voice
7	Network control (NC)	AC_VO	Voice

Table B.6: The resulting AIFS and CW sizes for 802.11p's ACs

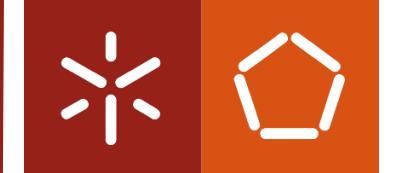
AC	CW _{min}	CW _{max}	AIFS
AC_VO	3	7	58 µs
AC_VI	7	15	71 µs
AC_BE	15	1 023	110 µs
AC_BK	15	1 023	149 µs



Decentralized Congestion Control (DCC)

● DCC – Decentralized Congestion Control

- Os recursos de rede, como largura de banda, são limitados e sujeitos a condições que podem variar de um momento para outro
- Além disso, existem cenários possíveis em que um grande número de veículos (estações ITS-S) estão dentro do alcance um do outro (por exemplo, um engarrafamento, um estacionamento, etc.), o que também pode causar congestionamento da rede (ou seja, uma degradação no desempenho da rede devido à transmissão mais dados do que pode manipular)
- Um serviço básico como o envio de mensagens CAM:
 - Tamanho típico de mensagem CAM próximo a 400 bytes...
 - Frequência de envio a variar entre 1 a 10 Hz, em função da mobilidade...
 - Mesmo sem considerar outros serviços, podemos sobrecarregar facilmente um canal de capacidade 6 Mbps na gama 5.9 GHz ...
- Precisamos de mecanismos para evitar sobrecargas e permitir que o serviço funcione (mecanismo de controlo de congestão DCC é obrigatório para a ETSI)



Decentralized Congestion Control (DCC)

- **Ideia base**

- É preciso manter a estabilidade da rede e uso justo dos recursos...
- ... controlando a forma como se mandamos pacotes e geramos tráfego!

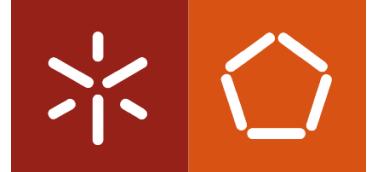
- **O que pode ser controlado?**

- Ajuste do débito de pacotes (quantos pacotes enviar)
- Ajuste da potência de transmissão (baixar a potência diminui o alcance e as colisões)
- Ajuste do débito (*data rate*) no link (ex: 3 Mbit/s, 6 Mbit/s, 12 Mbit/s)

- **Exemplo:**

- controlar o débito de pacotes **Transmission Rate Control (TRC)**

$$LCBR \equiv \frac{T_{Lbusy}}{T_{LCBR}}$$



Decentralized Congestion Control (DCC)

● Métrica de ocupação de canal

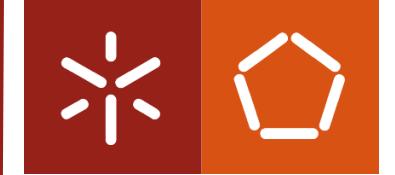
LCBR (Local Channel Busy Ratio)

- T_LBusy: tempo em que o canal está ocupado
- T_{LCBR}: janela temporal de 100ms

$$LCBR \equiv \frac{T_{Lbusy}}{T_{LCBR}}$$

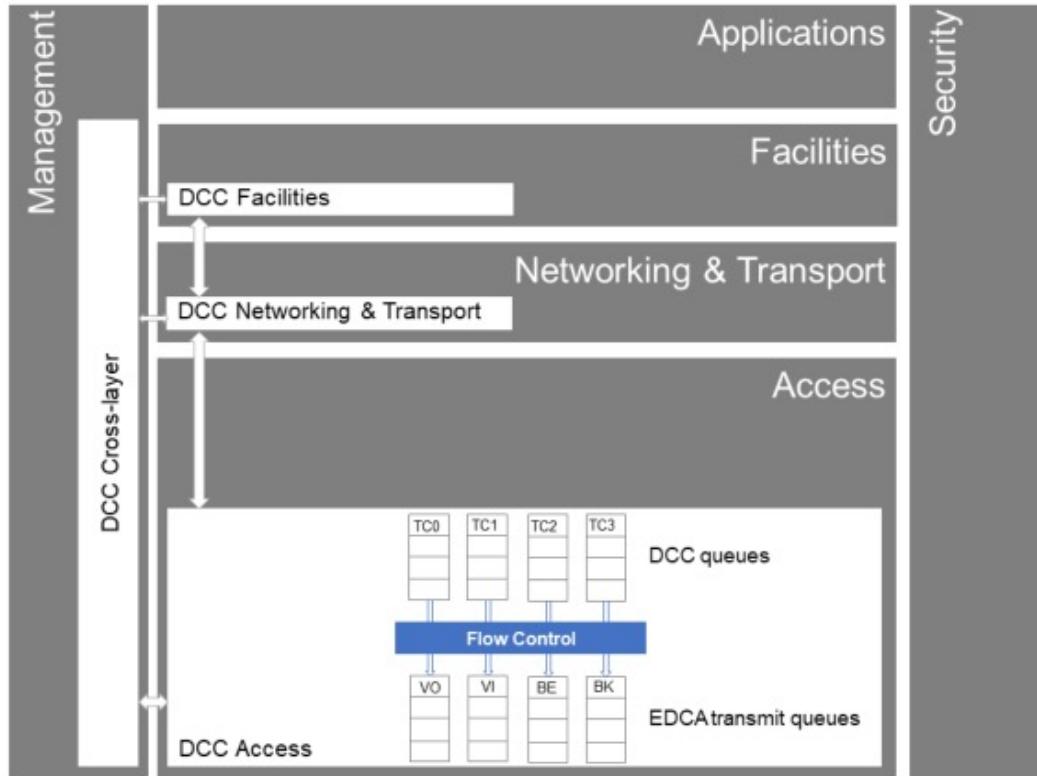
- Estima ocupação do canal escutando as transmissões dos nós vizinhos
- Canal é considerado ocupado se o sinal exceder -85 dBm
- É um valor entre 0 e 1 (rácio)

Um ITS-S deverá ser capaz de limitar suas transmissões de dados individuais para cada canal de rádio independentemente de outros canais para não exceder sua taxa de transmissão.

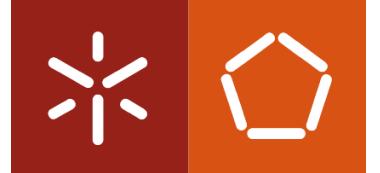


Decentralized Congestion Control (DCC)

- Arquitetura DCC do ETSI (operação em várias camadas)



- Alguns serviços da camada facilities (ex: CAM) podem ajustar os seus débitos de acordo com os valores que lhes são definidos pelo DCC
- Outros (ex: DENM) podem não ter de se ajustar pela sua natureza

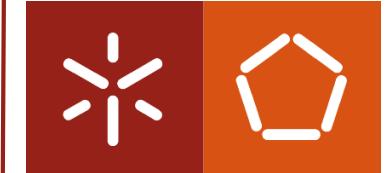


Decentralized Congestion Control (DCC)

● Arquitetura DCC do ETSI (operação em várias camadas)

(continuação...)

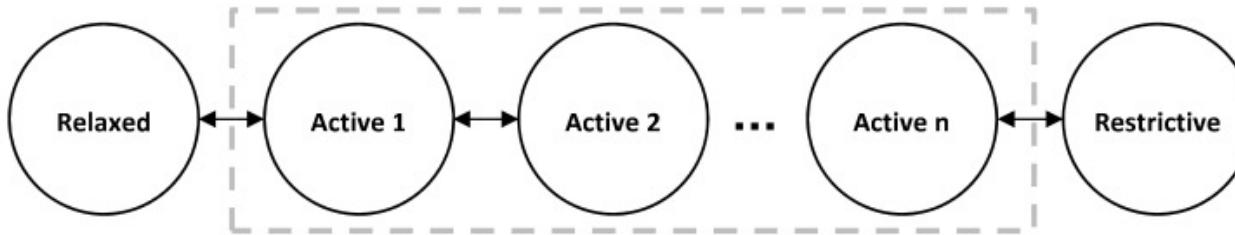
- As mensagens geradas pelos serviços são classificadas em classes de tráfego (TC) anteriormente designadas por perfis DCC
 - 4 prioridades: mensagens DNEM na prioridade TCO (maior)
- As mensagens classificadas em diferentes classes de serviço entram em filas de saída ECDA
- Os mecanismos de controlo DCC limitam o ritmo de envio das filas ECDA
- Os pacotes ficam à espera na camada MAC nas filas ECDA até que possam ser enviados, sendo enviados por prioridades



Decentralized Congestion Control (DCC)

● Mecanismo de controlo reativo

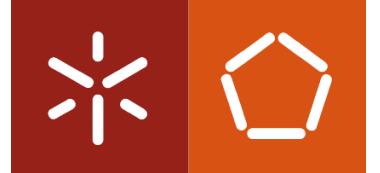
- Utilização de uma máquina de estados finita
- O canal está em diferentes estados: RELAXED, ACTIVE, RESTRICTIVE



- Possível parametrização definida na norma ETSI TS 102 687 V1.2.1 de 2018 (packet rates permitidos por cada ITS-S em cada estado)

Table A.1: Mapping of CBR values to state and the currently allowed transmission opportunities per second when T_{on} is max 1 ms

State	CBR	Packet rate	T_{off}
Relaxed	< 30 %	10 Hz	100 ms
Active 1	30 % to 39 %	5 Hz	200 ms
Active 2	40 % to 49 %	2,5 Hz	400 ms
Active 3	50 % to 60 %	2 Hz	500 ms
Restrictive	> 60 %	1 Hz	1 000 ms



Decentralized Congestion Control (DCC)

● Mecanismo de controlo adaptativo

- A abordagem adaptativa ETSI DCC foi definida inicialmente em ETSI TS 102 687 V1.2.1
- O algoritmo ETSI Adaptive DCC é usado por cada ITS-S para determinar a sua taxa de envio permitida, representada pelo parâmetro δ :
 - δ : a fração máxima de tempo que o ITS-S pode transmitir no canal.
- Para calcular δ , cada ITS-S mede, a cada 100 ms, a percentagem de tempo o canal está ocupado nesses 100 ms (CBR).
- A diferença entre o CBR medido e um CBR alvo é o feedback para determinar o δ adequado para um ITS-S



Bibliografia

- **ETSI** <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/automotive-intelligent-transport>
- **V2V Use Cases video:** <https://www.youtube.com/watch?v=POcQUTIOvZs>
- S. Al-Sultan, M. M. Al-Door, A. H. Al-Bayatti, and H. Zedan, “A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 37, no. 1, pp. 380–392, 2014.
- ETSI, “ETSI TR 102 638 V1.1.1 (2009-06): Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions,”
- A. Festag, “Cooperative intelligent transport systems standards in Europe,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 12, pp. 166–172, 2014.
- J. B. Kenney, “Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States,” *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 7, pp. 1162–1182, 2011.
- B. Ribeiro, A. Santos, and M. J. N. Nicolau, “A Survey on Vehicular Communication Technologies,” in *IOS Press Ebooks*, vol. 21, no. Ambient Intelligence and Smart Environments, 2016, pp. 308–317.