

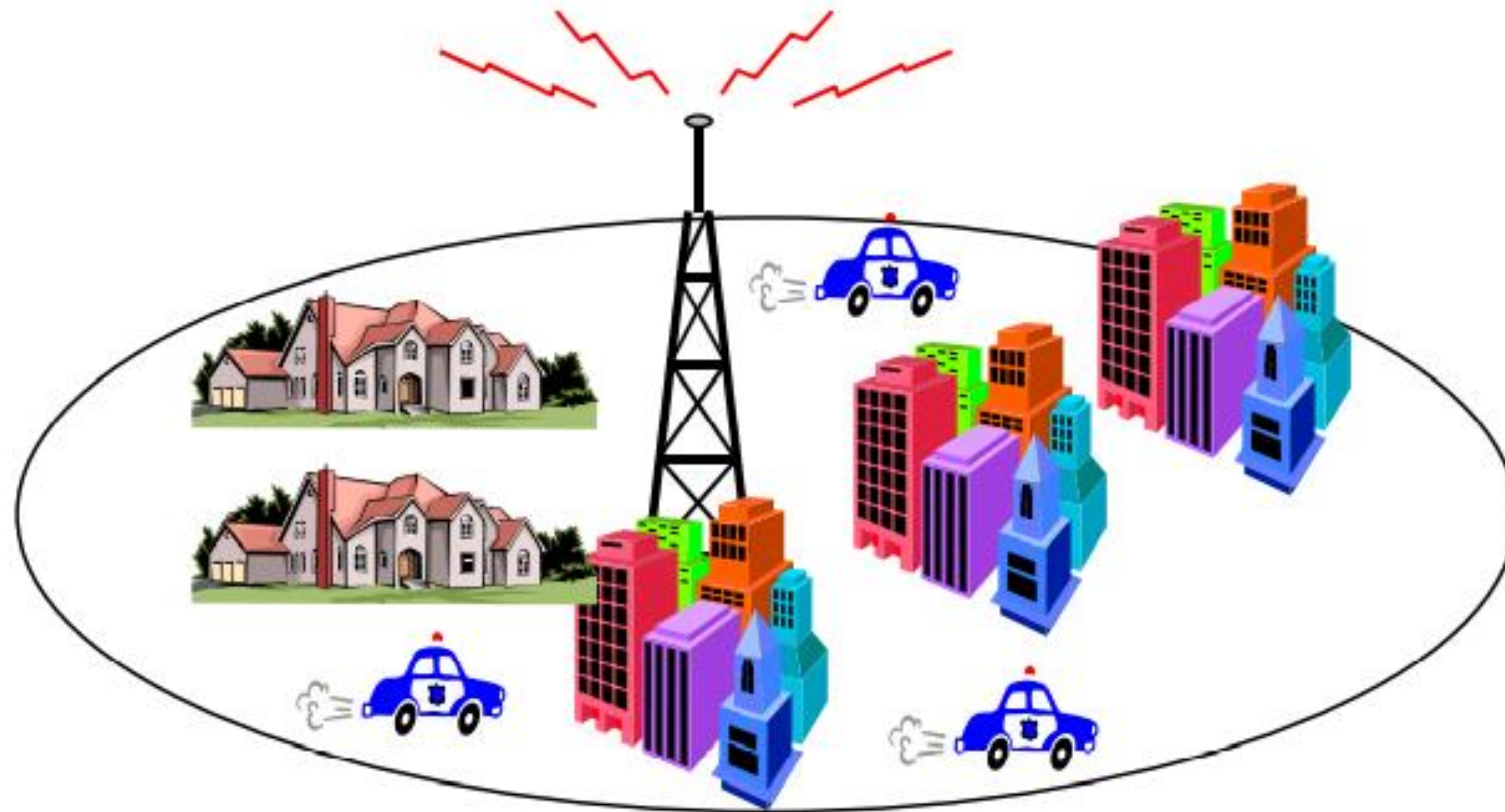
# Curso: Engenharia de Computação

**Sistemas de Comunicações Móveis**

Prof. Clayton J A Silva, MSc  
clayton.silva@professores.ibmec.edu.br



# Tipos de Sistemas de Comunicações Móveis



# Sistemas convencionais

# Sistemas convencionais

## Elementos

1. Transmissores/Receptores
2. Estações repetidoras



# Sistemas convencionais

## Transmissores/receptores - transceptores

- Terminais de usuário
- Quanto à portabilidade: fixos, móveis ou portáteis
- Quanto à frequência/modulação: HF-SSB, VHF-FM ou UHF-FM





# Sistemas convencionais

HF 3 – 30 MHz	Onda ionosférica acima da distância mínima; onda de superfície a distâncias curtas.	Comunicação muito dependente do comportamento da ionosfera; onda de superfície bastante atenuada.
VHF 30 - 300 MHz	Propagação em visibilidade; difração; tropodifusão (ondas espaciais).	Efeitos de refração; difração pelo relevo; espalhamento troposférico.
UHF 300 - 3000 MHz	Propagação em visibilidade; difração; reflexão e tropodifusão.	Efeitos de refração; multipercursos e dutos (faixa alta); difração e obstrução pelo relevo e vegetação.

# Sistemas convencionais

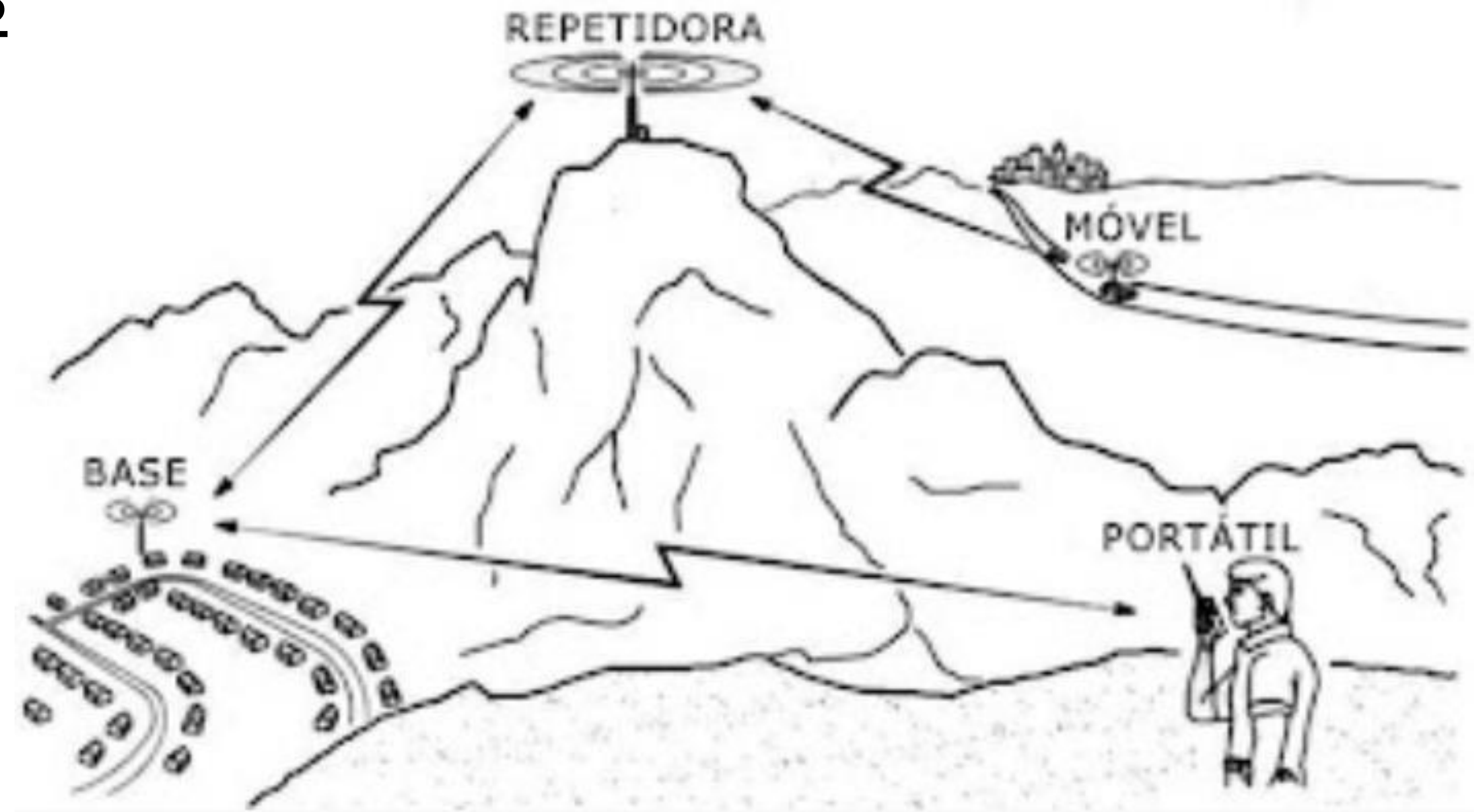
## Estações repetidoras

- Conjunto de equipamentos (um receptor, um transmissor, uma antena e um duplexador) que recebem um sinal e o retransmitem para terminais em uma área de cobertura
- Normalmente operam em uma frequência para recepção (RX) e outra frequência para transmissão (TX) – a diferença entre elas é chamada de *offset*
- Possuem potência elevada e são instaladas em torres para liberar o sinal de obstáculos



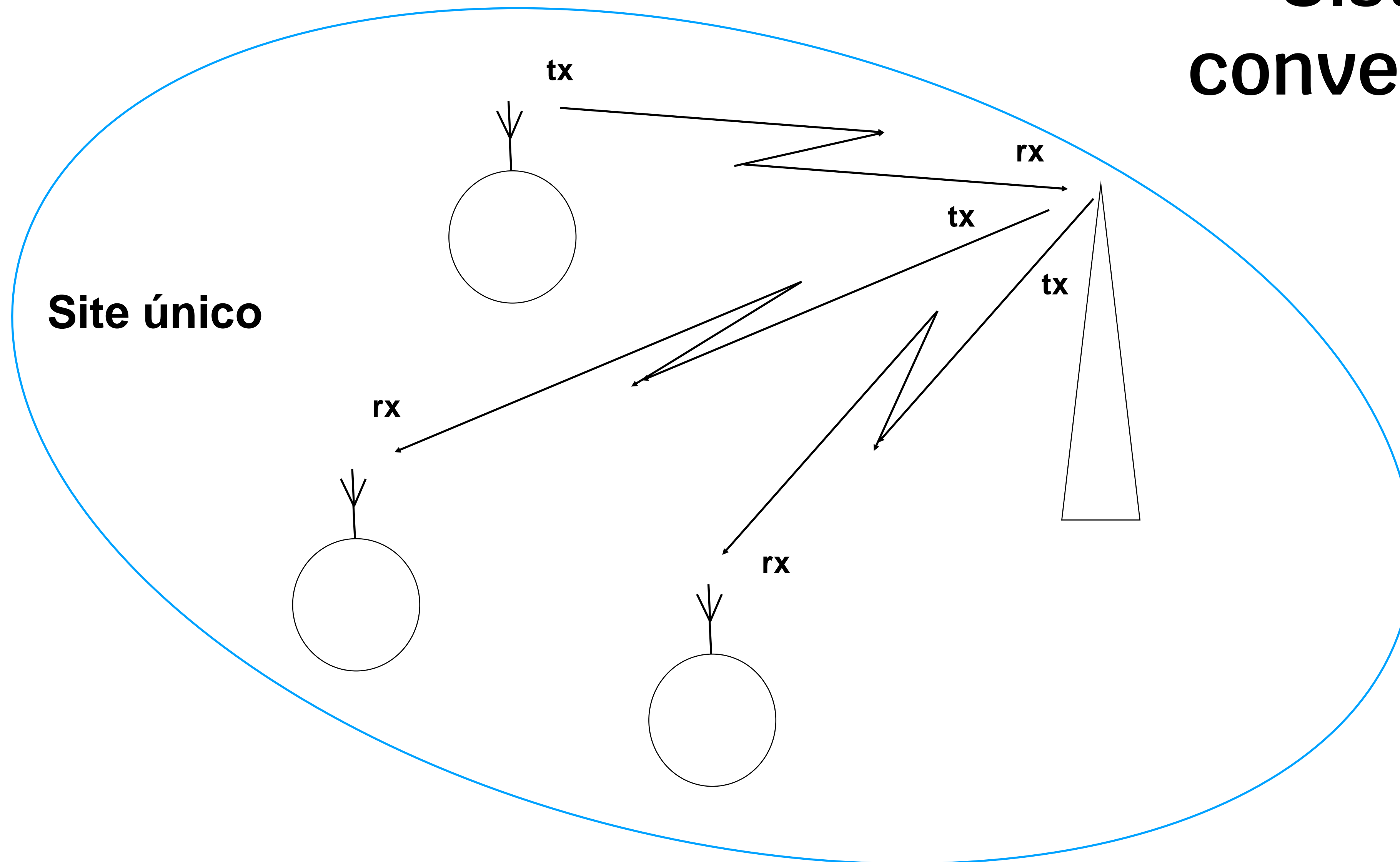
# Sistemas convencionais

## Estações repetidoras





# Sistemas convencionais



Canais

tx	rx
<i>f1</i>	<i>f2</i>
<i>f3</i>	<i>f4</i>
<i>f5</i>	<i>f6</i>

# Sistemas convencionais

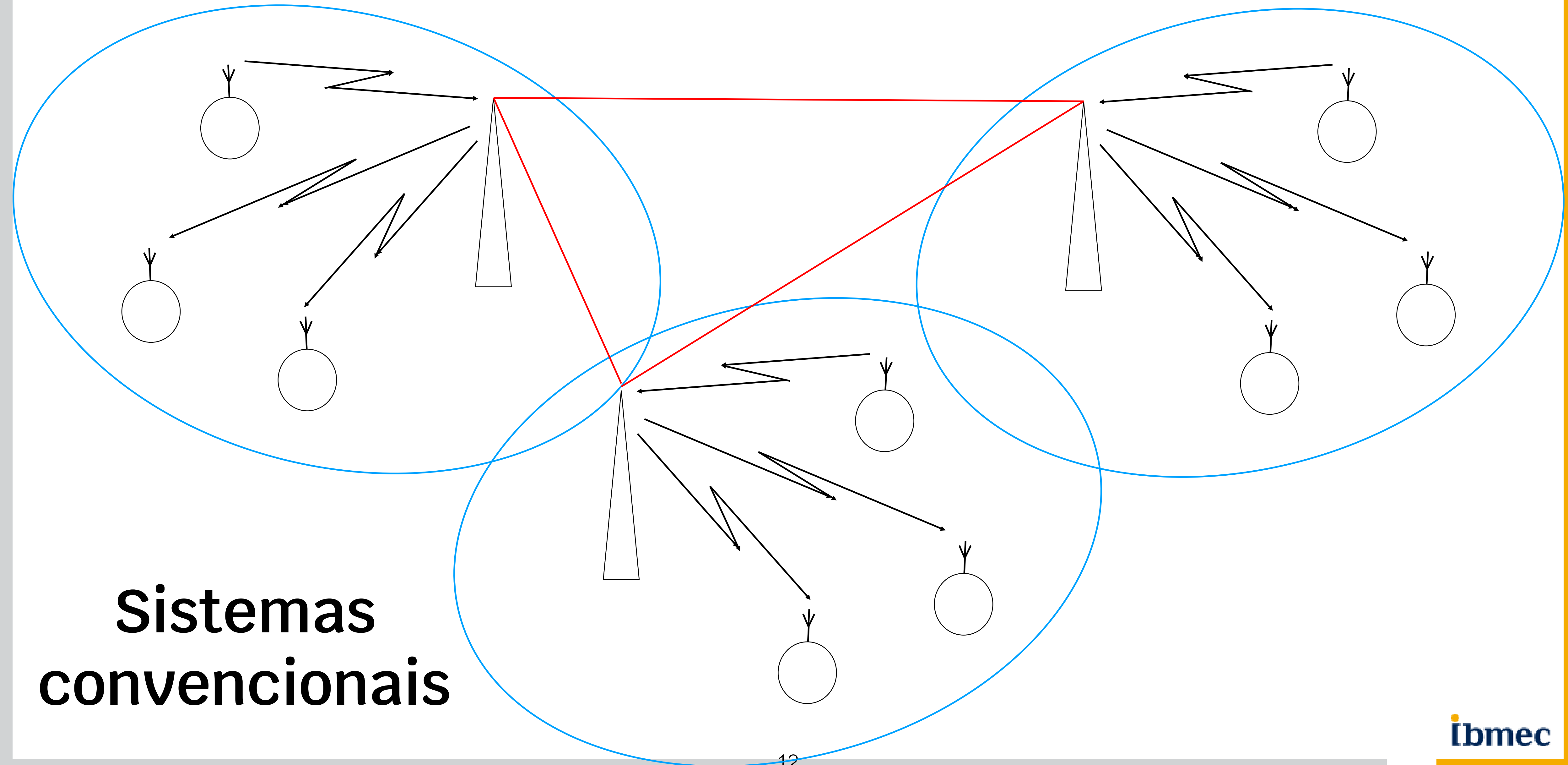
## Exploração do serviço

- Constituídas redes operacionais com terminais de usuário
- Alocados canais para as redes operacionais
- Os terminais de usuário são sintonizados nos respectivos canais operacionais – o terminal sincronizado em um canal ‘escuta’ todas as conversas
- Um terminal pode ser sintonizado em várias redes diferentes
- Comunicação típica em grupo





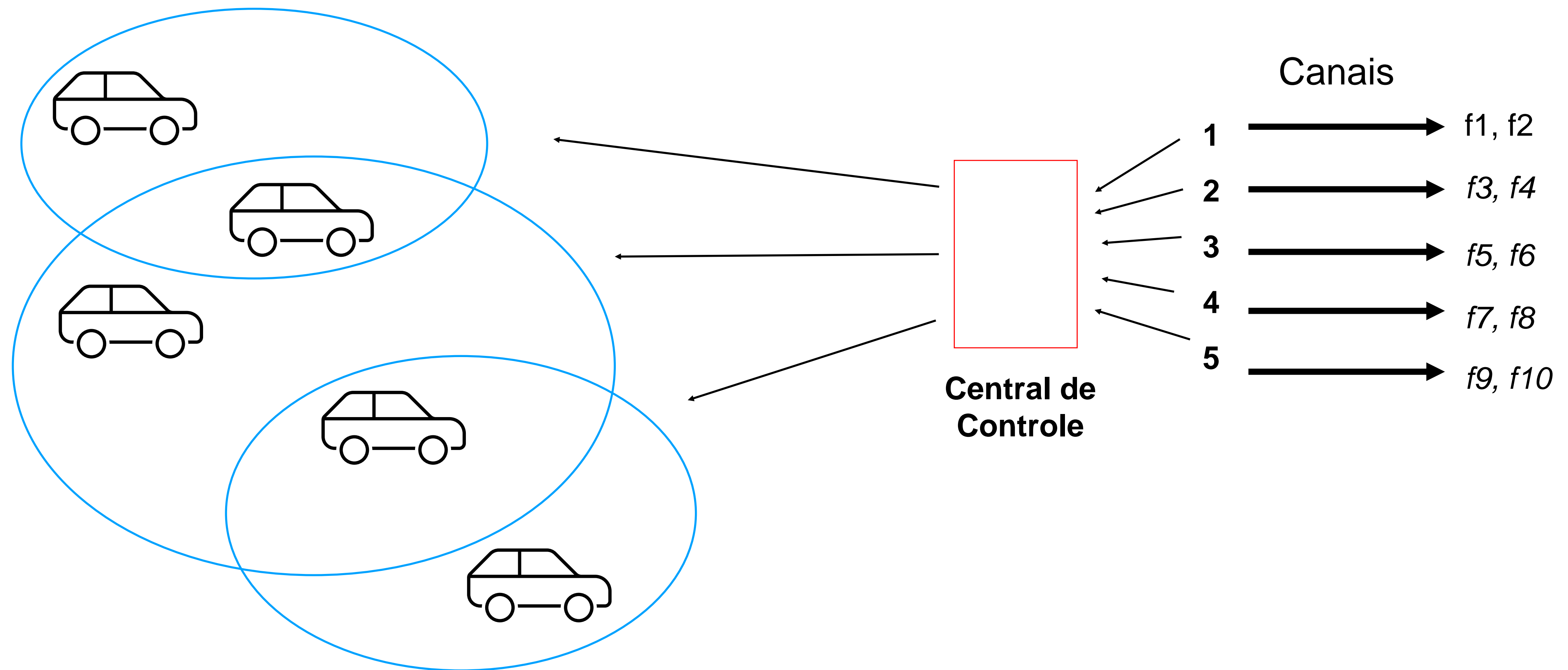
# Múltiplos Sites



**Sistemas  
convencionais**

# Sistemas troncalizados

# Exploração do serviço





# Sistemas *trunking*

## Elementos

1. Transmissores/Receptores
2. Estações repetidoras
3. Central de controle

# Padrão TETRA

## *Terrestrial Trunked Radio*

- Padrão europeu desenvolvido para aplicações de radiocomunicação em geral
- Utiliza **método de acesso TDMA** com **modulação DQPSK-4**, permitindo quatro canais de voz em um **canal de largura de 25 kHz**.
- Suporta uma taxa de dados para uma portadora de **36 kbps**.
- Cada canal pode suportar conversação utilizando-se de um codificador ACELP (*Algebraic Code Excited Linear Prediction*), agregando correção de erros.
- Consiste de *frames*, cada um contendo quatro espaços de tempo (*slots*).

# Técnicas de acesso

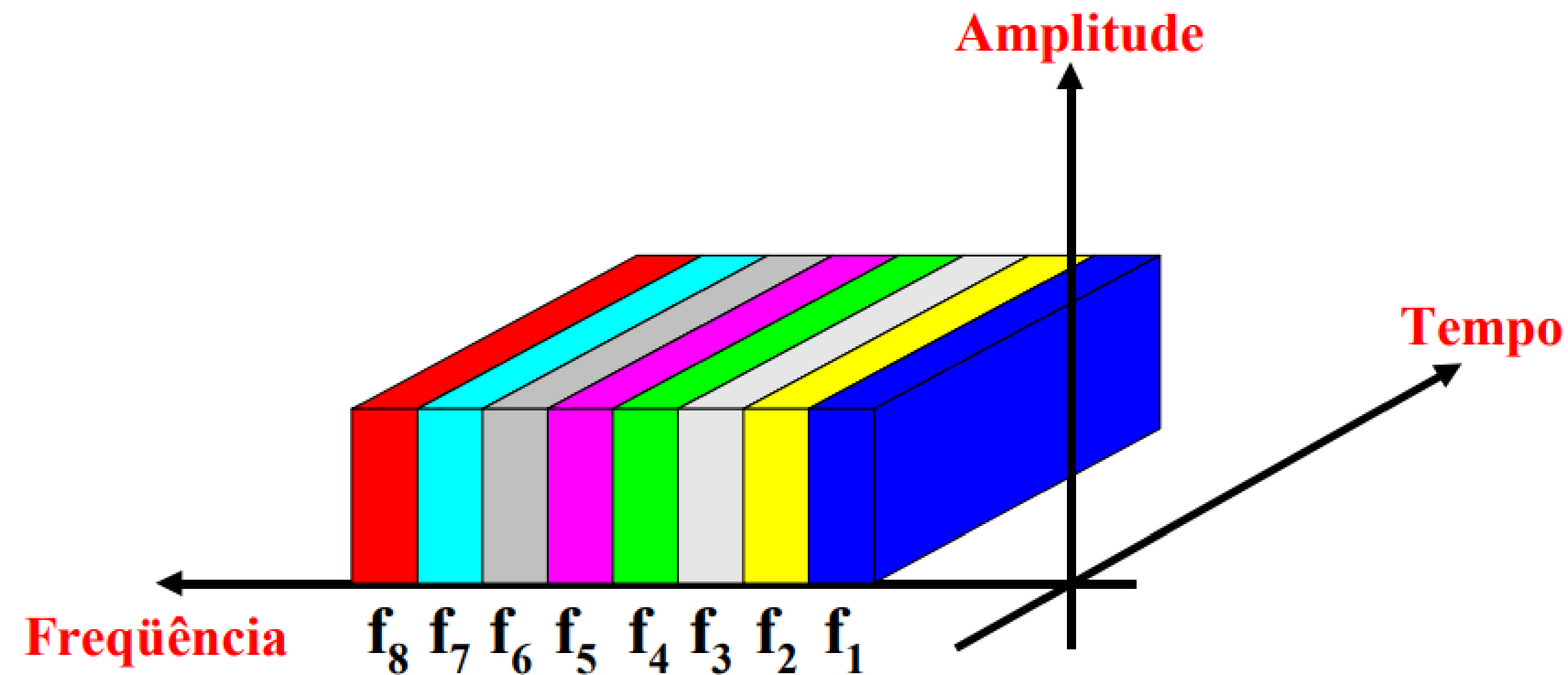
- As técnicas de acesso são utilizadas para permitir o compartilhamento de uma determinada faixa de radiofrequência entre vários terminais móveis.
- O compartilhamento objetiva maximizar o número de usuários simultâneos nessa faixa de frequências
- As técnicas mais elementares são a TDD (*Time Division Duplexing*) e FDD (*Frequency Division Duplexing*) para comunicação bidirecional



# Técnicas de acesso

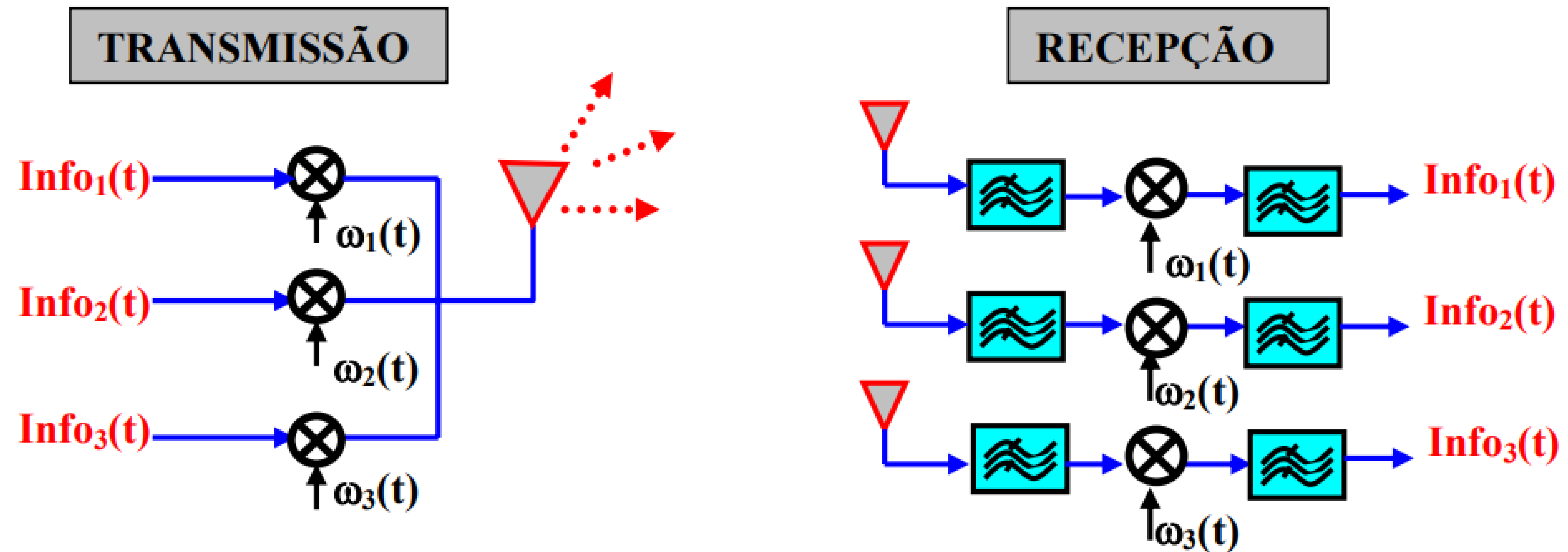
- Três métodos de acesso ao meio se destacaram nos sistemas de comunicação móveis diferenciados apenas pela manipulação adequada da frequência, tempo ou código:
  - Múltiplo Acesso por Divisão de Frequência (FDMA);
  - Múltiplo Acesso por Divisão de Tempo (TDMA);
  - Múltiplo Acesso por Divisão de Código (CDMA).

# Método FDMA



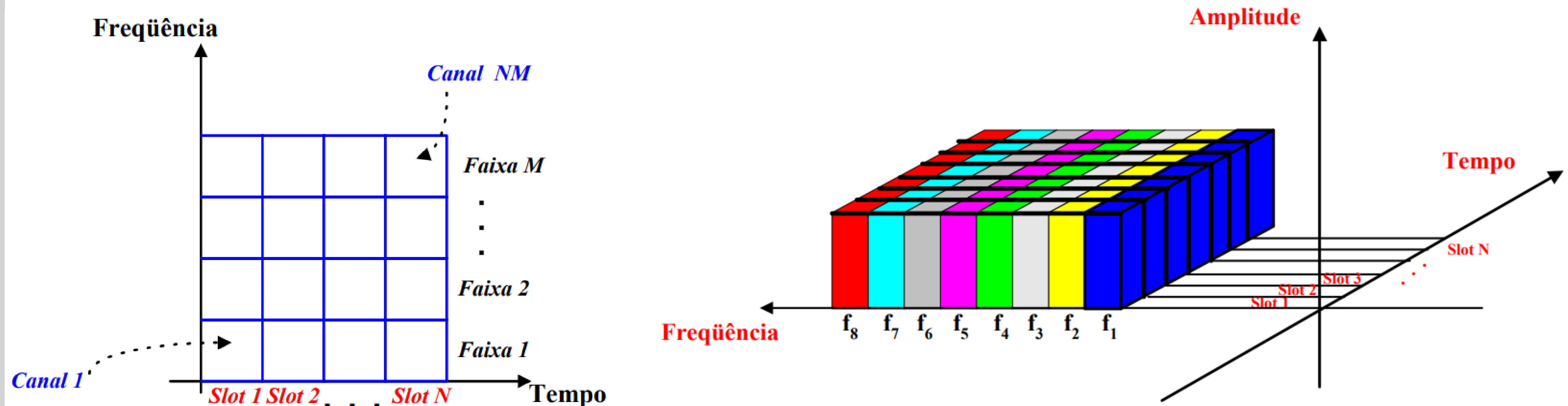
- A maneira usual de se realizar um esquema FDMA é através da associação de um canal a cada portadora (SCPC)
- O número de canais é função da largura de cada canal
- Dentre os canais disponíveis, uma pequena porção é dedicada a canais de controle, sendo os demais utilizados para tráfego de voz
- Os canais são atribuídos às EM pode demanda

# Método FDMA



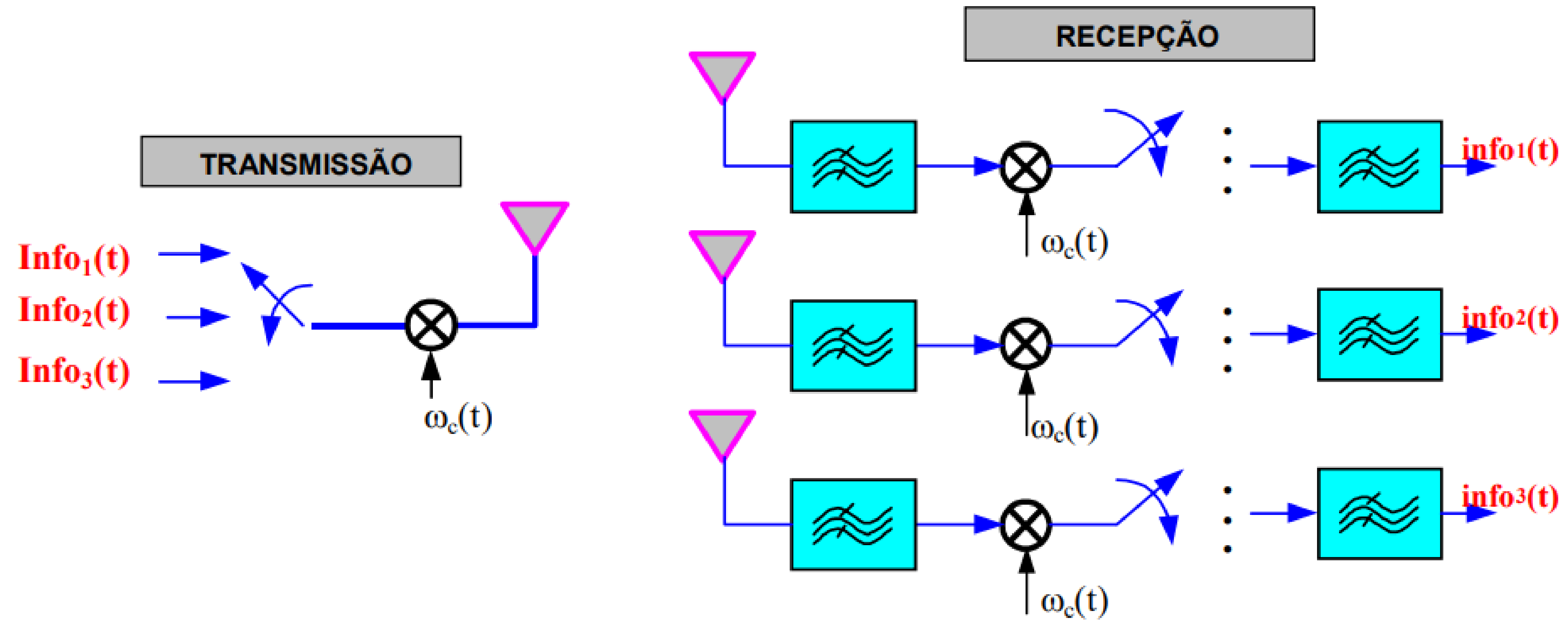


# Método TDMA

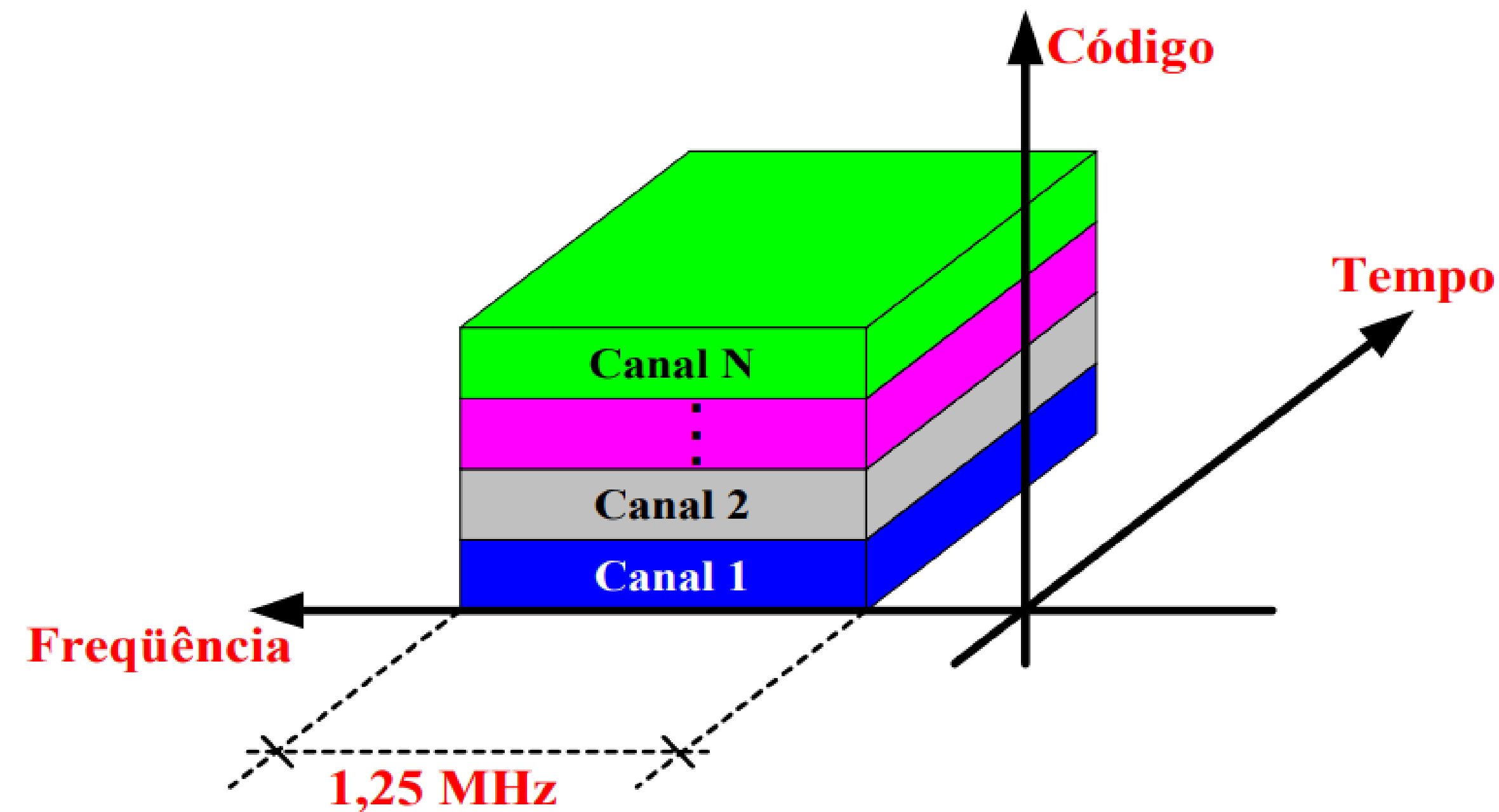


- A banda disponível é alocada a cada usuário por determinado intervalo de tempo, denominado *slot*. Em cada *slot* de tempo apenas um usuário terá acesso a toda (ou grande parte) da banda.
- Uma única portadora é compartilhada em vários slots de tempo, ou seja, é compartilhada por vários usuários, cada qual em seu instante determinado.

# Método FDMA



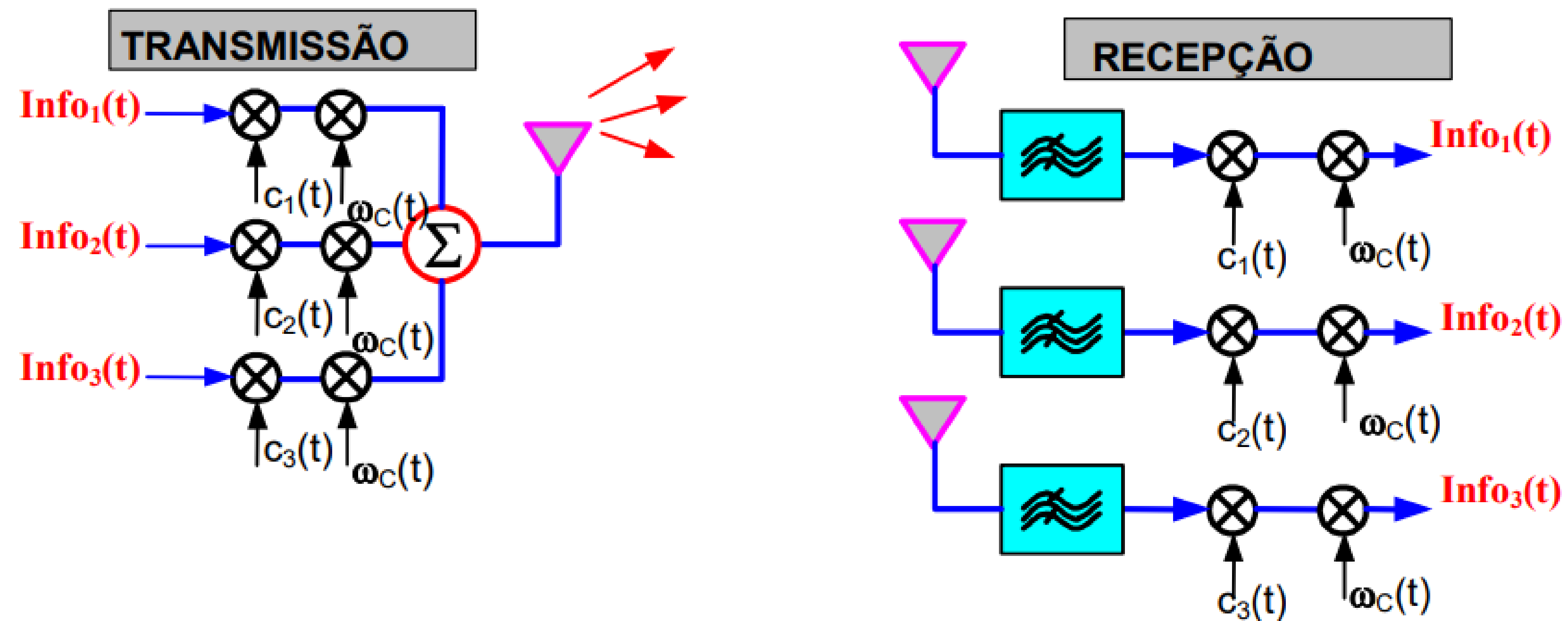
# Método CDMA



- Todos os usuários podem transmitir simultaneamente, nas mesmas frequências e utilizando toda a banda disponível.
- A cada usuário é designado um código, de forma que sua transmissão possa ser identificada. Os códigos dos usuários têm baixa correlação.



# Método FDMA



Análise comparativa de FDMA, TDMA e CDMA			
Características	Técnica de acesso múltiplo		
	FDMA	TDMA	CDMA
tecnologia	simples e dominada há largos anos	mais complexa, nomeadamente em termos de controlo global, mas atualmente dominada	a mais complexa de todas
sincronização entre estações	não necessária ↑	crítica para o bom funcionamento do sistema	não necessária ↑
intermodulação entre canais	introduzida pelo repetidor, sobretudo à saída do amplificador de potência	só está presente uma portadora no repetidor: o canal pode ser igualizado ↑	introduzida pelo repetidor, sobretudo à saída do amplificador de potência
eficiência de potência	mais baixa: o repetidor tem de operar abaixo da saturação	elevada: o repetidor pode operar próximo da saturação ↑	mais baixa: o repetidor tem de operar abaixo da saturação
controle de potência da ligação ascendente	necessária em ligações muito afetadas por interferências por intermodulação	não necessária ↑	necessária em todas as ligações para não privilegiar nenhum canal
memorização de informação	não necessária ↑	necessário armazenar grandes quantidades de informação: aumenta o atraso total	não necessária ↑

## Análise comparativa de FDMA, TDMA e CDMA

Características	Técnica de acesso múltiplo		
	FDMA	TDMA	CDMA
capacidade total do sistema	limite rígido imposto pela banda total do sistema	limite rígido imposto pelo débito total do sistema	limitado apenas pela interferência aceitável, mas sem limite rígido de canais ↑
capacidade dos canais de tráfego	permite canais de banda larga, desde que não seja ultrapassada a banda total do sistema ↑	permite canais de débito elevado, desde que não seja ultrapassado o débito total do sistema ↑	difícil suportar canais de débito mais elevado: exige, por exemplo, códigos múltiplos
ajuste dinâmico de tráfego	difícil ajustar dinamicamente o tráfego: exige emissão e recepção com banda variável	fácil ajustar dinamicamente o tráfego: basta atribuir intervalos de tempo de maior ou menor duração ↑	fácil ajustar dinamicamente o tráfego: basta variar o comprimento do código utilizado pelo canal ↑
aproveitamento de pausas de comunicação	difícil gerir a activação / desativação canais para aproveitar as pausas	utilizadas técnicas de interpolação de voz (DSI , <i>Digital Speech Interpolation</i> ) ↑	aproveitamento intrínseco: basta não transmitir o sinal para reduzir a interferência sobre outros canais ↑
reconfiguração de tráfego no satélite	difícil reconfigurar cobertura e serviços: interconexão complexa no domínio das frequências	fácil reconfigurar cobertura e serviços: interconexão simples no domínio dos tempos ↑	relativamente difícil reconfigurar cobertura e serviços: exige descodificar todos os canais
comutação dinâmica a bordo	praticamente inviável	permite comutação dinâmica do tráfego entre estações: comuta rajadas de tráfego ↑	pouco adaptado a técnicas de comutação a bordo: exige descodificar todos os canais

# Padrão APCO

- Desenvolvido pela APCO (*Association of Public Safety Communications Officials*), dos Estados Unidos
- O sistema P25 é dividido em duas fases: a primeira, usa o **método FDMA**, com canal de 12.5KHz e a segunda, usa o **método TDAM**, com canal de 12.5KHz porém, ofertando a eficiência espectral de 6.25 KHz.
- Utiliza correção de erro, totalizando **9,6 kbps** de taxa de transmissão.
- A faixa compreende 821-824/866-869 MHz em canais duplex. Nos Estados Unidos já operam na faixa 700 MHz.
- Sinal de voz **utiliza a técnica PCM**, para depois ser entregue ao vocoder que emprega técnica *Improved Multiband Excitation* (IMBE) para compressão dos sinais de voz a 4,4 kbit/s.



# Sinalização em sistemas *trunking*

- O controle do sistema é realizado pela troca de mensagens de dados entre o móvel e o repetidor.
- Esta sinalização de dados ocorre simultaneamente com a voz na frequência sub-audível de 150 Hz, eliminando a necessidade de um canal de controle.
- *Handshaking*: Quando um móvel realiza uma chamada, um pacote de dados de solicitação de serviço é enviado ao repetidor e quando o repetidor detecta essa mensagem, transmite uma mensagem de volta ao móvel informando-lhe que ele acessou o sistema com sucesso.
- O repetidor é retido durante o período de duração da chamada de modo que uma chamada não seja interrompida.

# Sinalização em sistemas *trunking*

Mobile-to-Repeater Data Message

Sync	Area	Repeater In use	Home Repeater of Called Unit	ID code of called unit	Pass Character	Error Check bits
------	------	--------------------	------------------------------	------------------------	-------------------	---------------------

Mobile-to-Repeater Data Message (Repeater Busy)

Sync	Area	Go-To Repeater for called unit	Home Repeater of Called Unit	ID Code of Called Unit	Free Repeater	Error Check bits
------	------	---	---------------------------------	---------------------------	------------------	---------------------

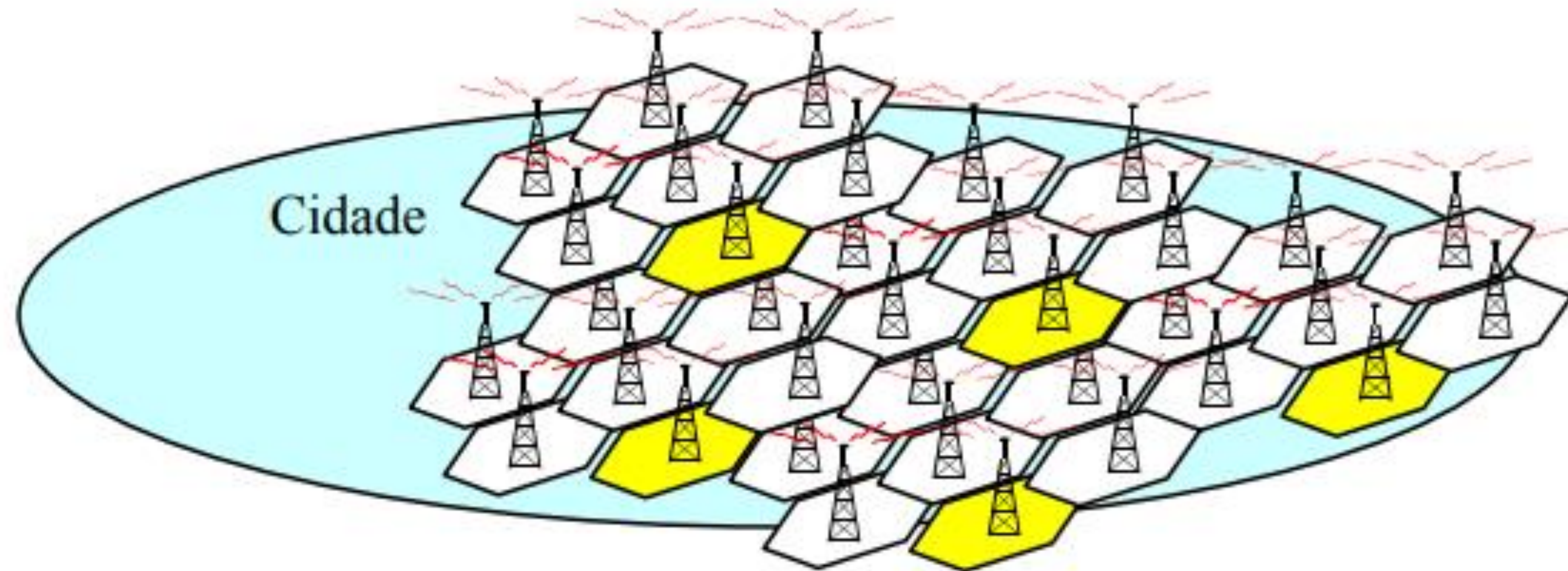
Mobile-to-Repeater Data Message (Repeater Idle)

Sync	Area	Repeater Number	Repeater Number	255	Repeater Number	Error Check bits
------	------	--------------------	--------------------	-----	--------------------	---------------------

# Sistemas celulares



# Sistemas celulares





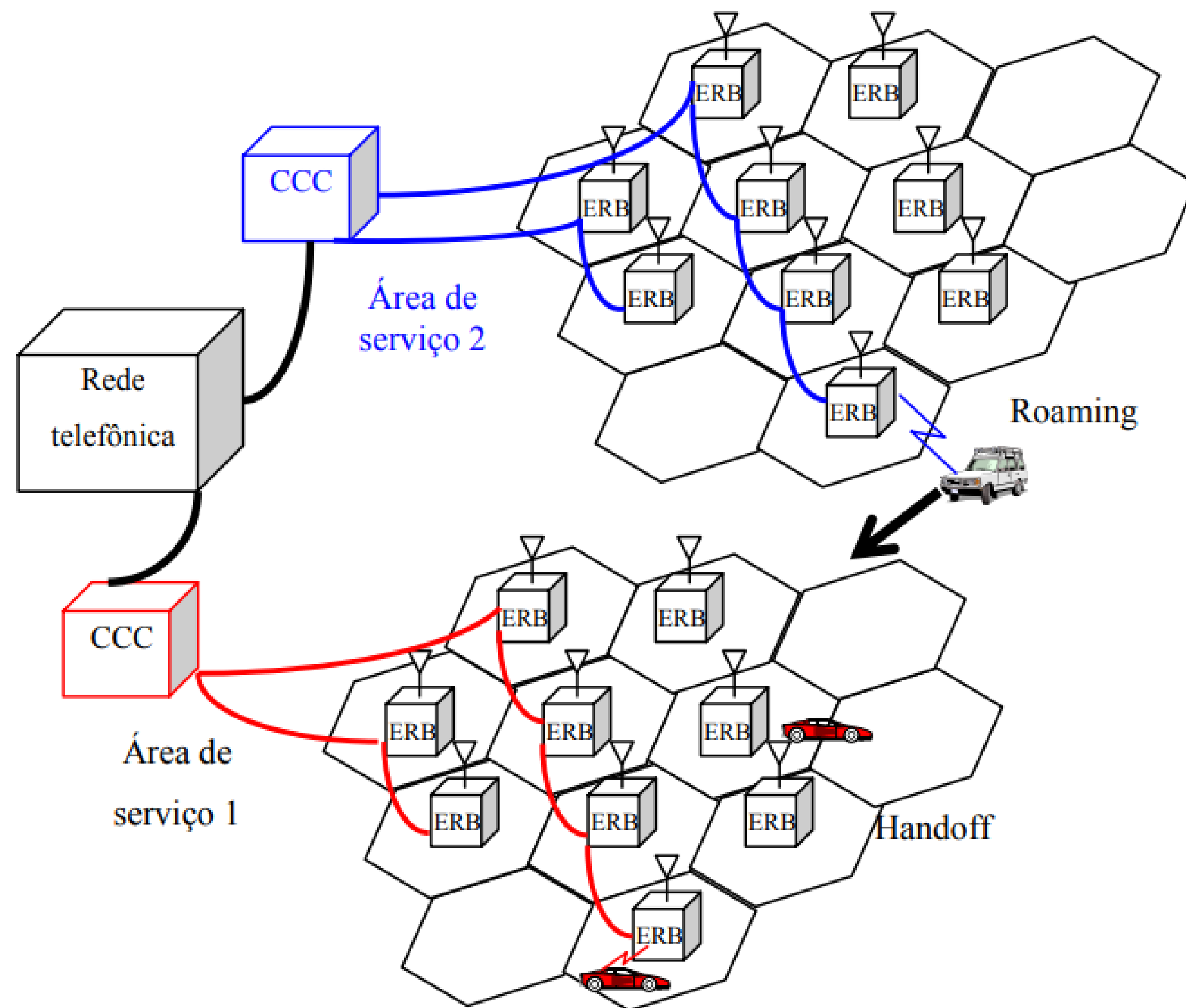
# Sistemas celulares

- **Célula** é a área geográfica iluminada por uma **ERB (Estação Rádio Base)** dentro da qual a recepção do sinal atende as especificações do sistema.
- Possibilita o **re-uso de canais**.
- A configuração celular final deve atender basicamente a dois objetivos: **cobertura e vazão de tráfego**.
- Cobertura: corresponde à **fração da área de serviço** em que o sinal tem **qualidade** acima da mínima especificada ou tolerável.
- Vazão de tráfego: é a função da **quantidade de canais** disponíveis nas células, da **taxa média de chamadas**, da **ocupação média** de canais, das **probabilidades de congestionamento** (bloqueio) e de **perda de conexão** (ligação) durante deslocamentos intercelulares.

# Sistemas celulares

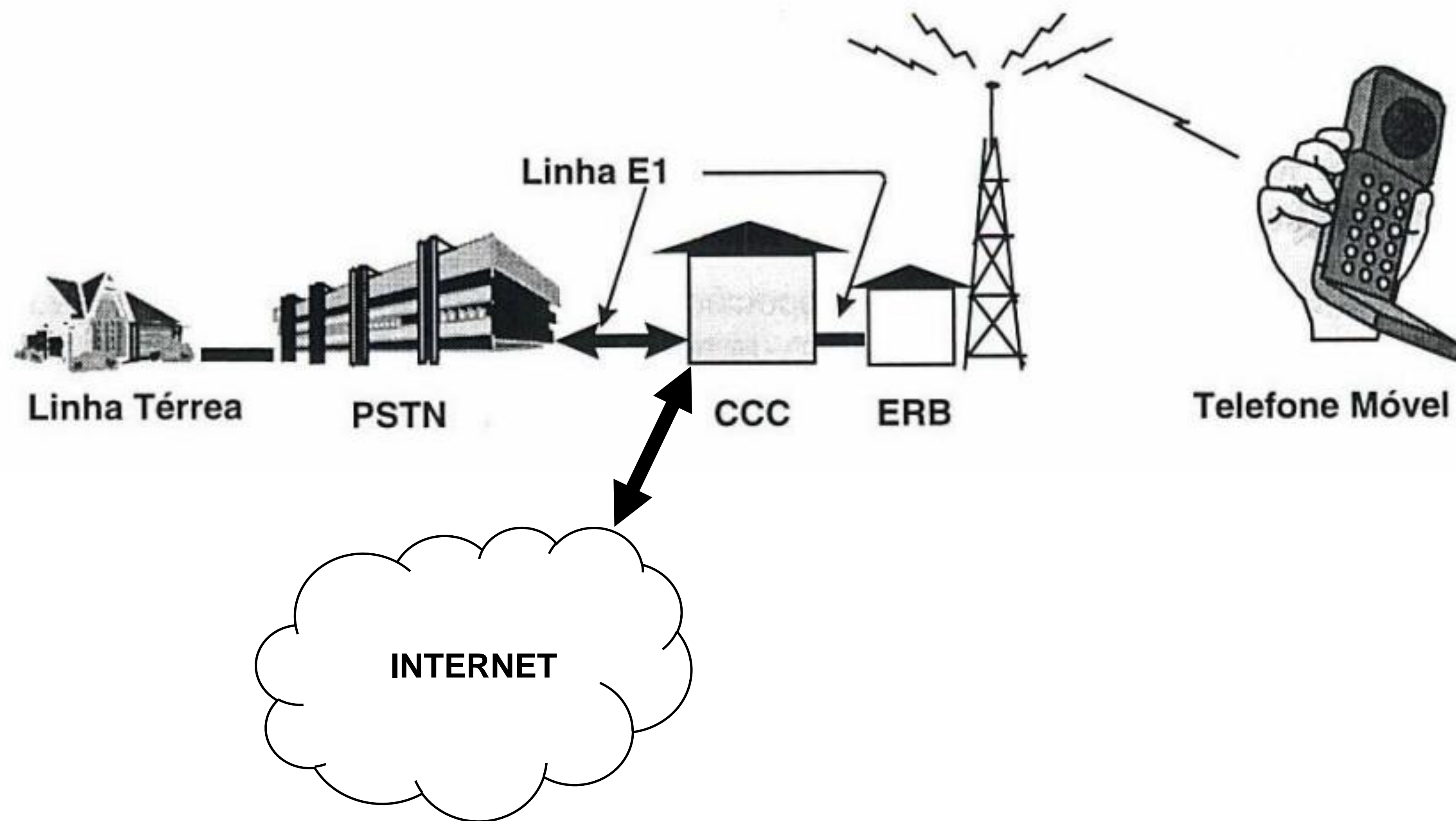
- **Célula** é a área geográfica iluminada por uma **ERB (Estação Rádio Base)** dentro da qual a recepção do sinal atende as especificações do sistema.
- Possibilita o **re-uso de canais**.
- A configuração celular final deve atender basicamente a dois objetivos: **cobertura e vazão de tráfego**.
- Cobertura: corresponde à **fração da área de serviço** em que o sinal tem **qualidade** acima da mínima especificada ou tolerável.
- Vazão de tráfego: é a função da **quantidade de canais** disponíveis nas células, da **taxa média de chamadas**, da **ocupação média** de canais, das **probabilidades de congestionamento** (bloqueio) e de **perda de conexão** (ligação) durante deslocamentos intercelulares.

# Sistemas celulares



- **CCC** – Central de Comutação e Controle, processador central do sistema com a função de controlar e comutar as chamadas do sistema, além de realizar todo o processamento de uma central digital mais as funções específicas do sistema celular
- **ERB** – Estação Rádio-Base, responsável pela área de cobertura através de suas antenas, além de prover a interligação das EMs com a CC através de links de comunicação em RF
- **EM** ou **TM** – Estação Móvel

# Interligação com a rede móvel terrestre



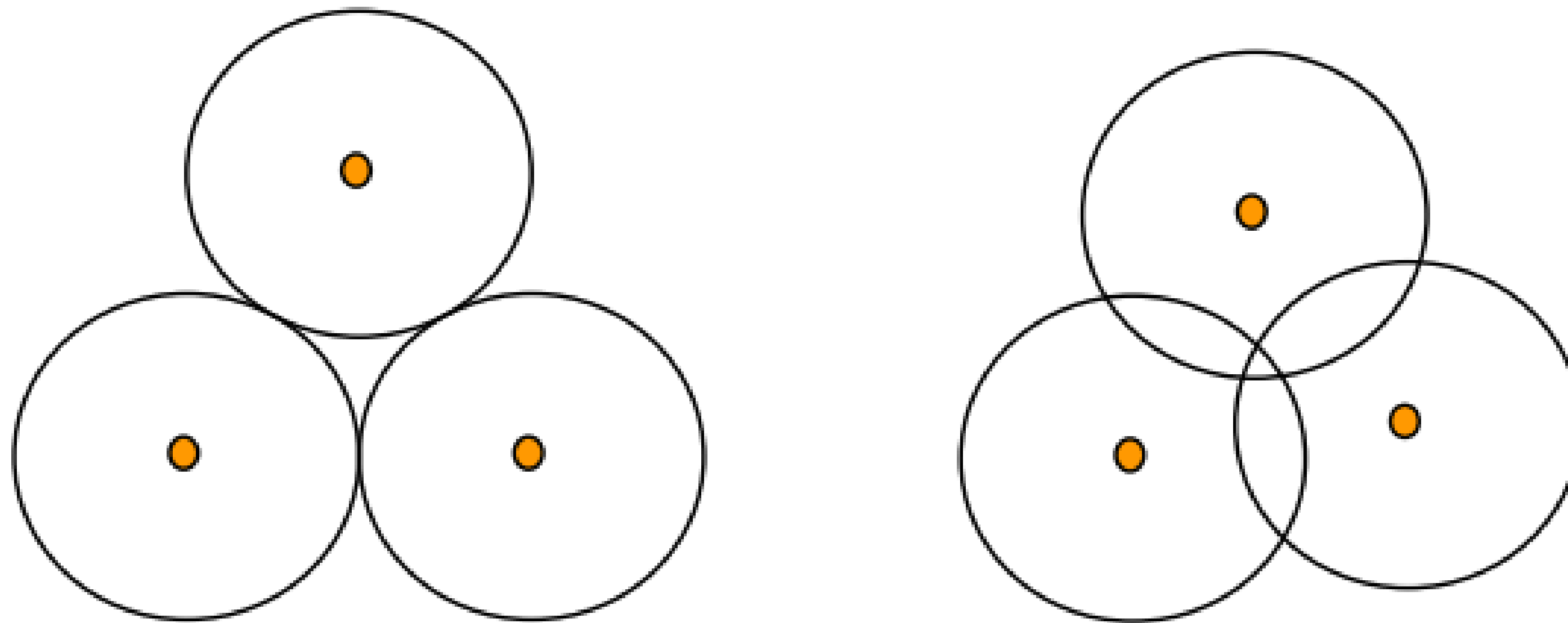


# Observações gerais

- **HLR** – *Home Location Register*, contém todos os dados do assinante móvel, tais como: identidade, serviços suplementares e informações sobre localizações necessárias para o encaminhamento das chamadas de entrada
- *Roaming* – o uso do sistema pela EM fora da área de serviço original
- *Handoff* - quando a EM desloca-se de uma célula para outra durante o estado de conversação, a ERB verifica que o nível do sinal da EM está diminuindo e então informa ao sistema, o qual irá procurar entre as células vizinhas qual possui o melhor sinal.

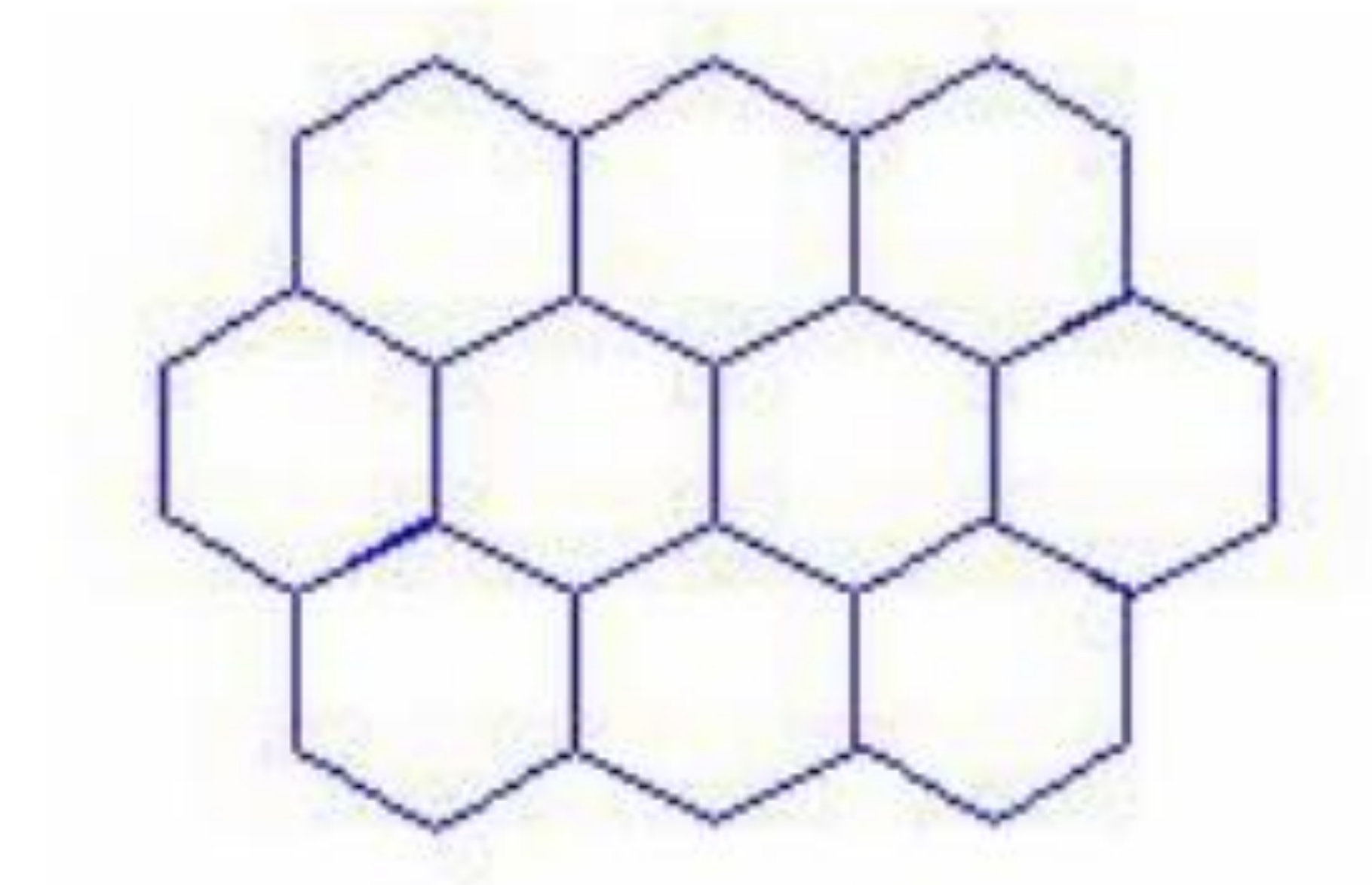


# Geometria celular



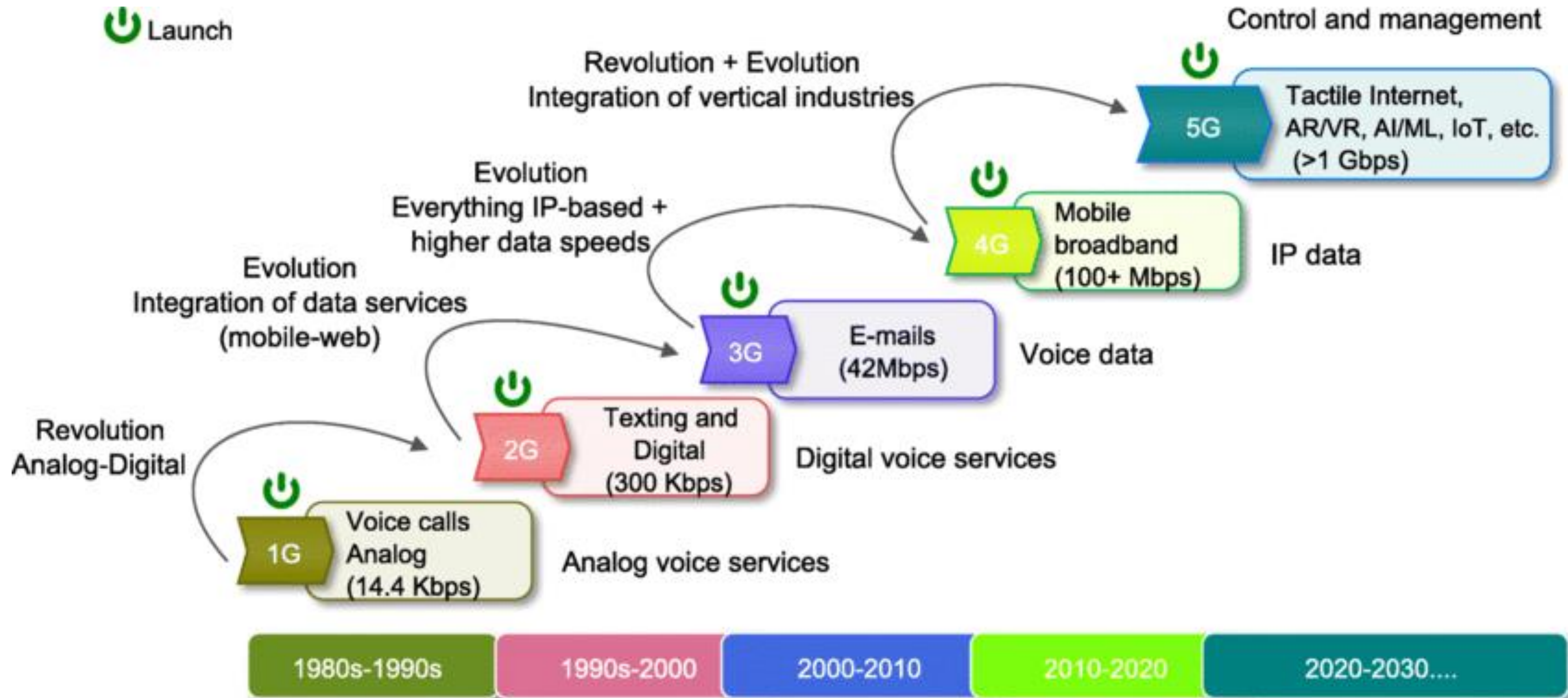
Propagação sob condições ideais

# Geometria celular



Geometria de padrões regulares

# Evolução dos sistemas móveis celulares





# Padrão LTE

## *Long Term Evolution*

- O LTE é a próxima etapa principal nas comunicações móveis por rádio e foi introduzida no *Release 8* do 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*).
- O 3GPP une seis organizações de desenvolvimento de padrões de telecomunicações (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TTA, TTC), conhecidas como "parceiros organizacionais", e fornece aos seus membros um ambiente estável para produzir os relatórios e especificações que definem tecnologias 3GPP.

# Objetivos do padrão LTE

- Desempenho e capacidade
  - Taxas de pico downlink  $> 100$  Mbps
  - Latência  $< 10$  ms
- Simplicidade
  - Suporta portadoras com largura de banda flexível, de menos de 5 MHz até 20MHz
  - Métodos de acesso FDD - *Frequency Division Duplex* ou TDD – *Time Division Duplex*
  - Produtos de construção simplificada e gerenciamento da próxima geração
- Ampla variedade de terminais





IBMEC.BR

 /IBMEC

 IBMEC

 @IBMEC\_OFICIAL

 @IBMEC

 **ibmec**