

Sistemas de Comunicações Móveis

Referências:

- **“Wireless Communication Networks”,
William Stallings, 2nd. Ed.**
- **“Comunicações Sem Fio – Principios e Praticas”
T. S. Rappaport, 2^a. Ed.**
- **“Mobile Communications”
Jochen Schiller, 2nd. Ed.**
- **“Introduction to Wireless & Mobile Systems”
Dharma Prakash Agrawal, Qing-An Zeng, 3rd. Ed.**

Motivação

- Transparência de Localização
- Informação em qualquer lugar e a qualquer instante.
 - Conexão remota ou local
 - Informação personalizada.
- Avanços na computação móvel
- Segmento ainda em evolução (novo “modelo OSI”)
- Crescimento exponencial do nr de usuários

Motivação

Impacto da Mobilidade como Serviço pode ser comparado com outras “ondas”:

“O boom da Microinformática...”

“A ampla disseminação da Internet...”

“{Ethernet} x {802.11 x 802.16 x 802.15 x WWAN}”

Outra “onda”: a convergencia tecnologica

*“Muito em breve será quase impossível dizer o
que é um celular metido a computador
ou um
computador convencido de que é um celular.”*

Carlos Ridlewski

INTRODUÇÃO

Dispositivos Portáteis

Laptops/Notebooks



Sub-notebooks



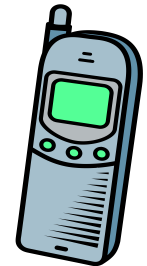
Palmtop



PDA



Mobile Phone



Aplicações de Redes Wireless

- ❑ “Tradicionais”
- ❑ Entretenimento (“Doom” no celular)
- ❑ Mcommerce
- ❑ Mbanking
- ❑ Madvertising
- ❑ B2B – B2C – B2Employee
- ❑ “Portais”

Aplicações

Requisitos → Desafios

- ❑ Velocidade
- ❑ Textos pequenos - Mínimo “Scroll”
- ❑ Economia de Banda Passante
- ❑ Economia de Imagens – Cores – Contrastes
- ❑ Pouca Entrada de Dados
- ❑ Usar recursos genéricos

CONCEITOS
BÁSICOS
EM RCM
CELULARES

Wireless vs Móvel



computador fixo



notebook em um hotel



wireless LANs



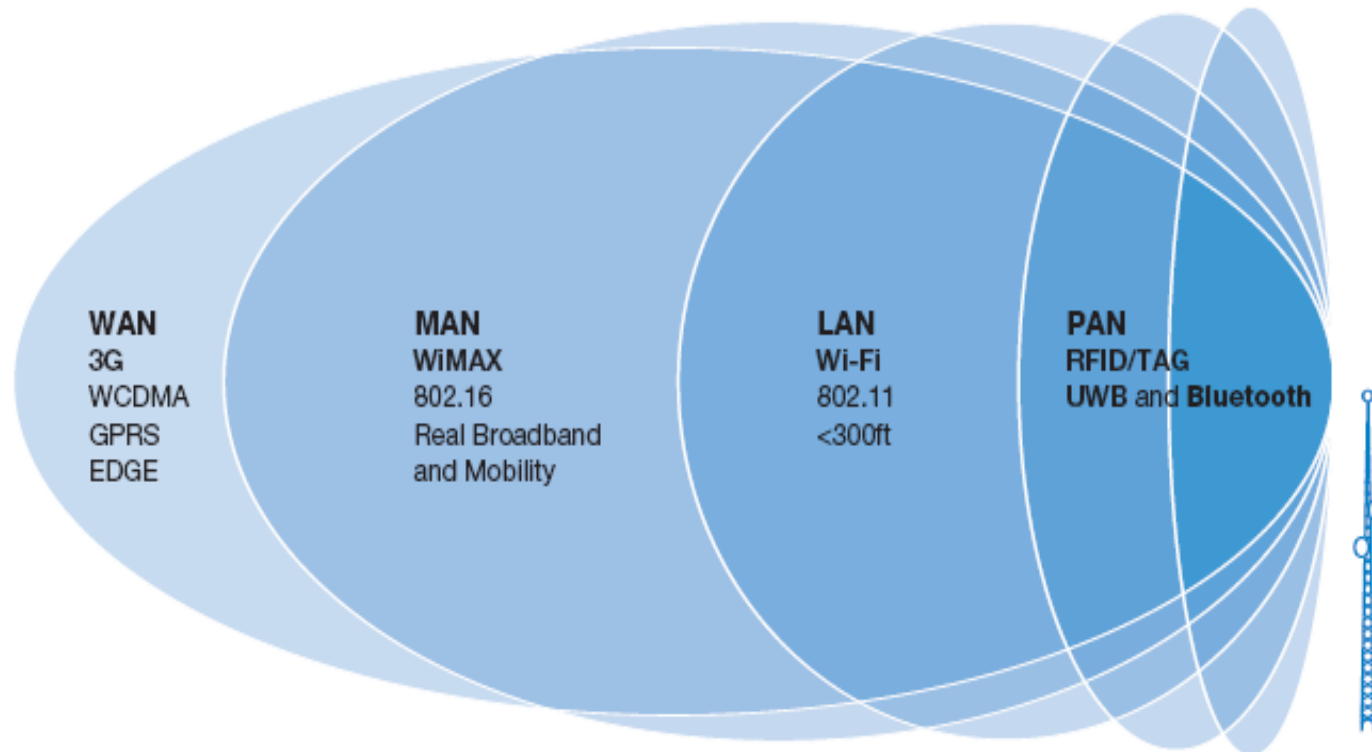
PDA



telefone móvel

Classificação

Quanto ao Alcance



Fonte: Intel {Trends in Telecom: Wireless Services for the Mainstream}

INTRODUÇÃO ÀS RCM CELULARES

Redes Celulares: baseadas no emprego de técnica desenvolvida para incrementar a ***capacidade*** dos serviços móveis via rádio

Sistemas clássicos: alta potência (larga distância) com um transmissor

Sistemas celulares: baixa potência (curta distância) com muitos transmissores

ESTRUTURA DE REDE

Múltiplos transmissores de baixa potencia (50 W ou menos)

Divisao da área de cobertura em células

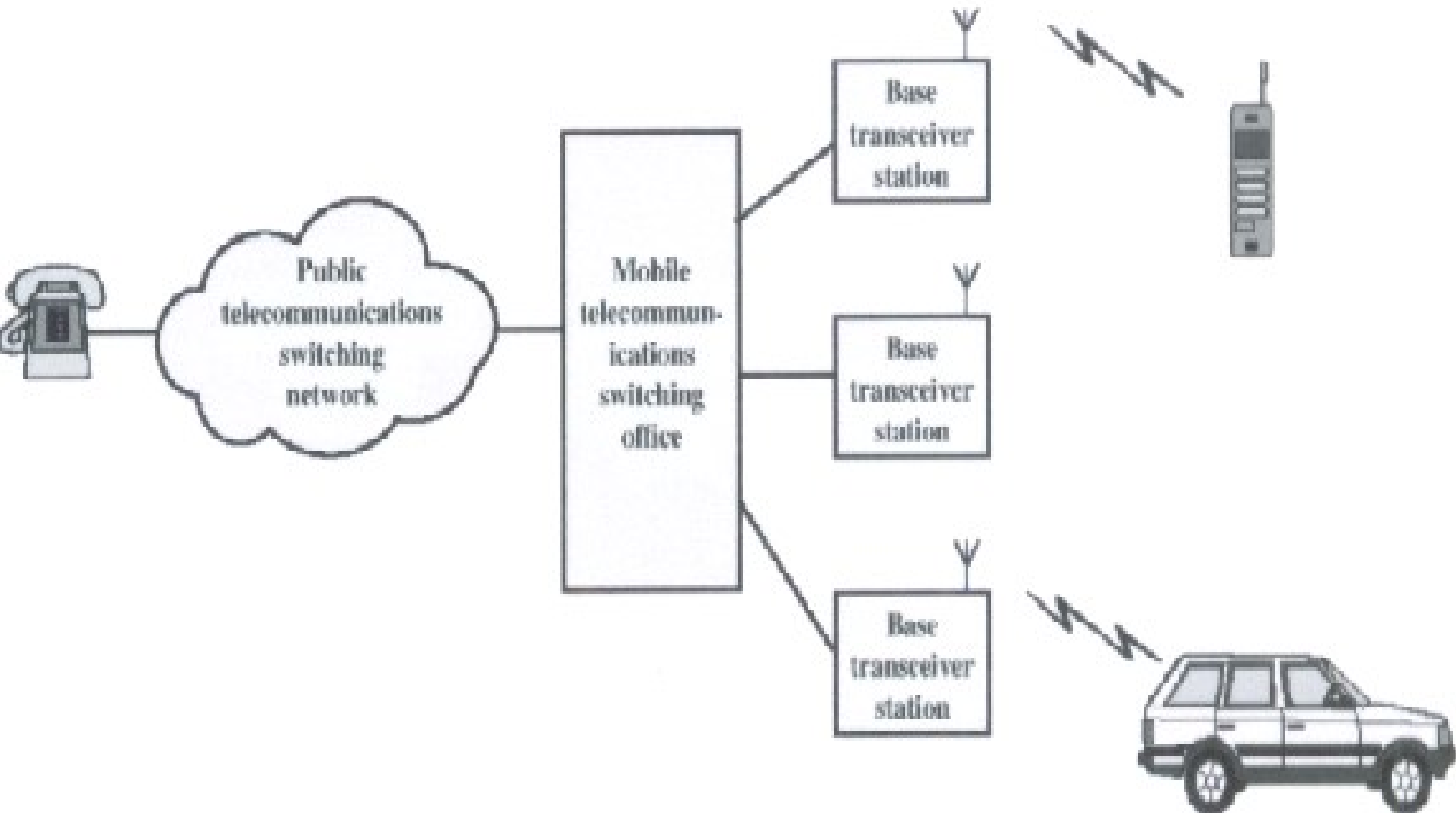
Em cada célula se usa um conjunto de frequências, sendo servida por uma **estação base**

Estação base: transmissor + receptor + sist. Controle

Células adjacentes utilizam bandas de frequência distintas

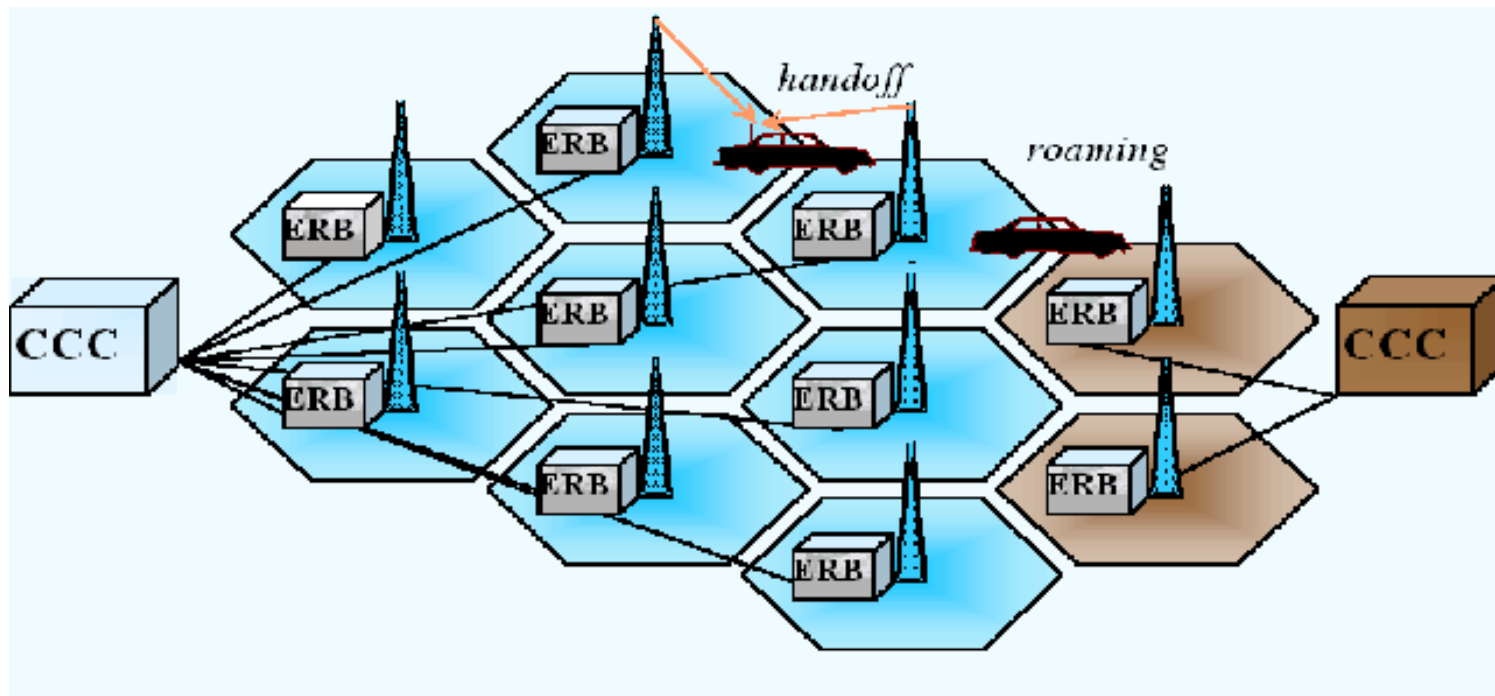
Células distantes podem usar o mesmo conjunto de frequências

ESTRUTURA BÁSICA DE REDE



VISÃO GERAL DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR

Handoff e Roaming



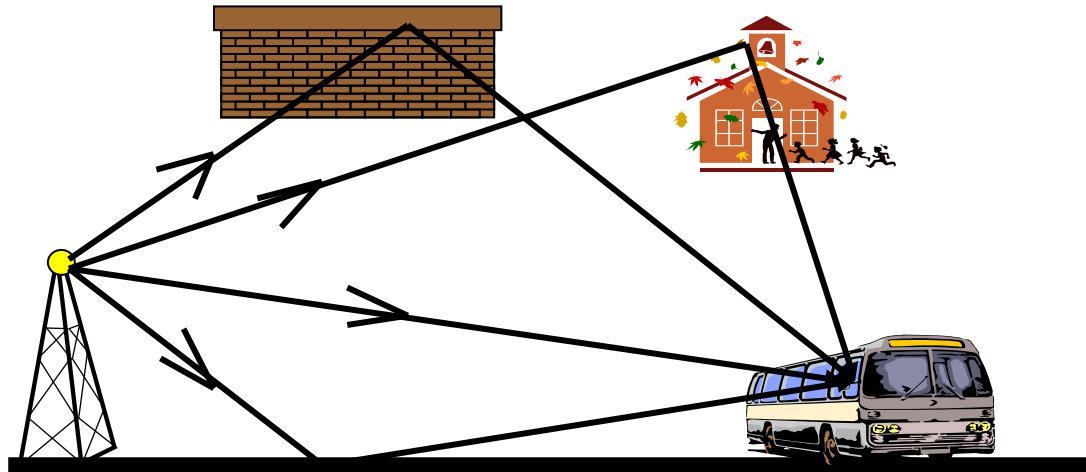
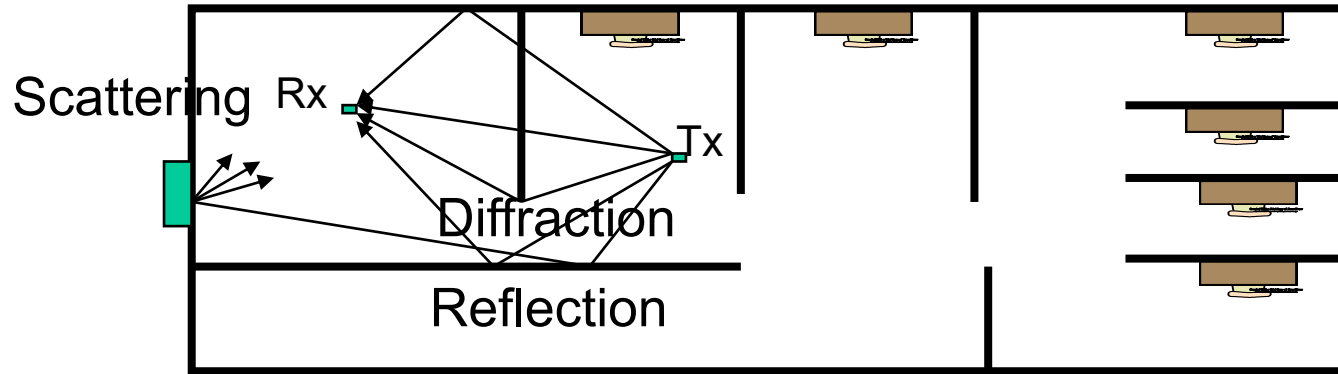
EFEITOS DA PROPAGAÇÃO

- Intensidade do sinal

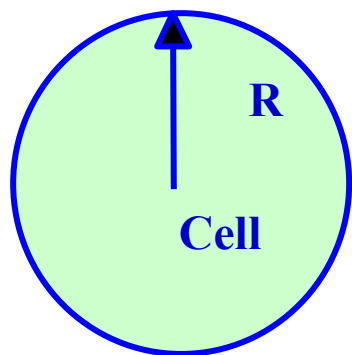
- ❑ Suficientemente elevado entre BS e u.m.
- ❑ Não deve ser tão elevado a ponto de criar interferência co canal com canais em outra célula usando a mesma banda

- Desvanecimento (“Fading”)

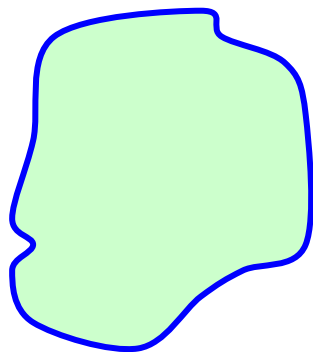
CANAL SEM FIO



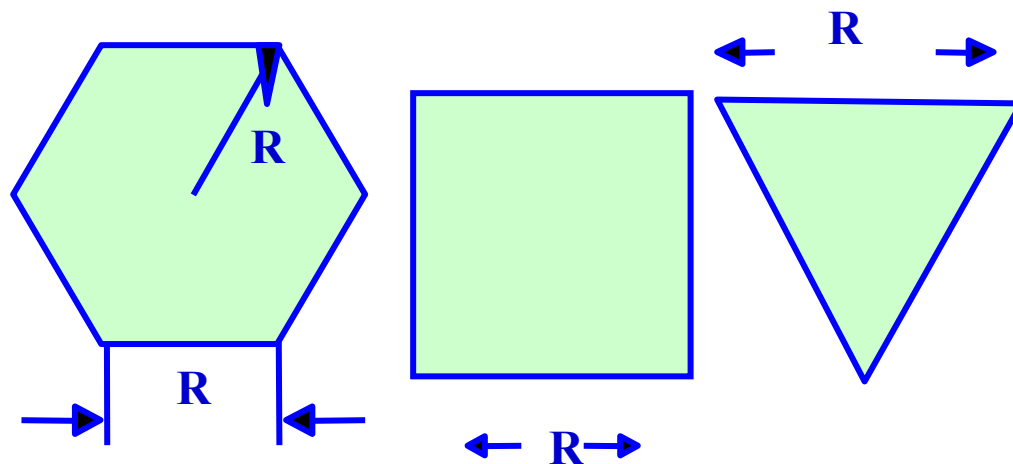
FORMATOS DE CÉLULAS



(a) Ideal



(b) Real



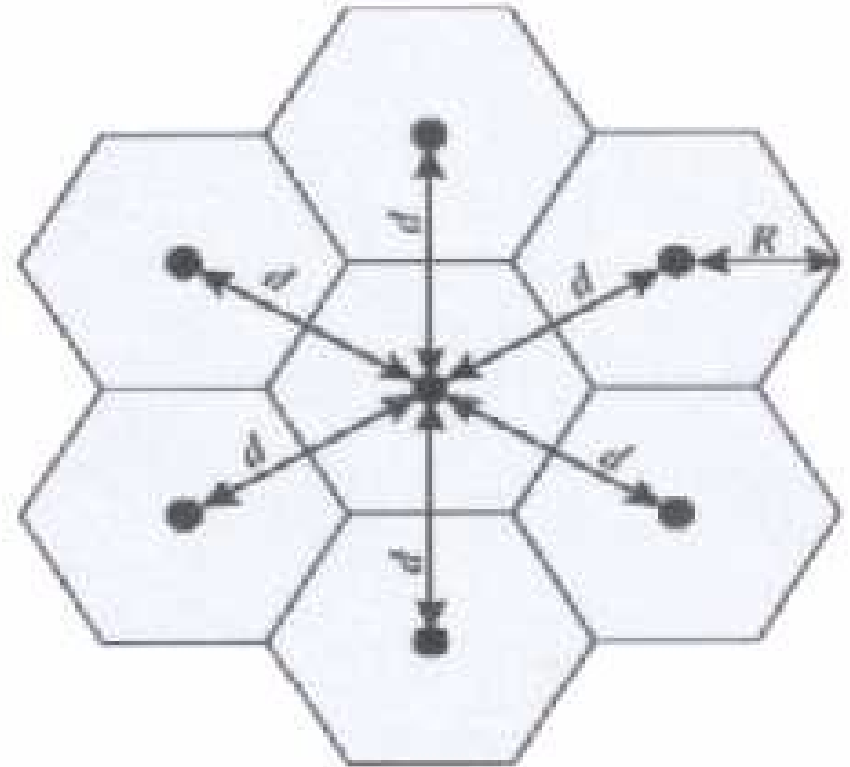
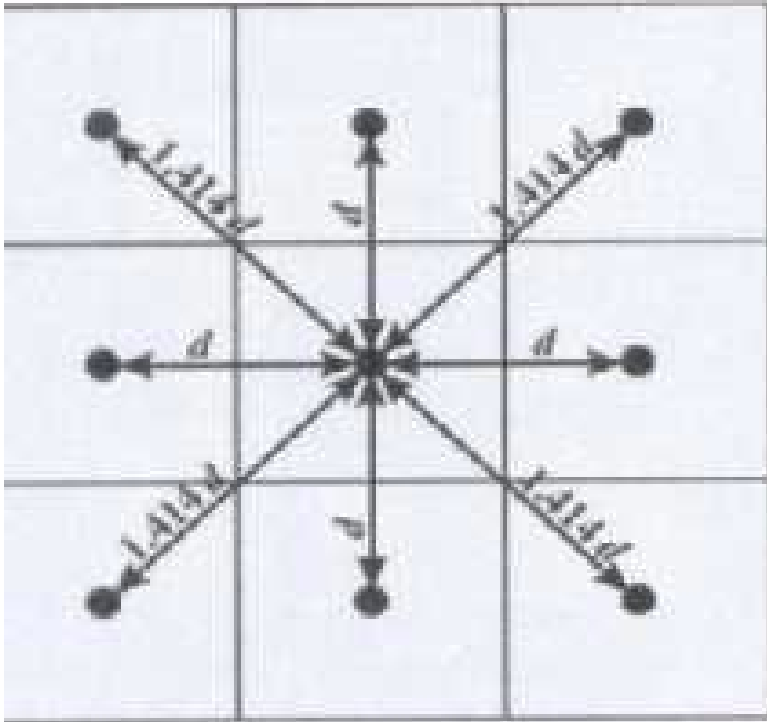
(c) Formatos para estudos/planejamentos

FORMATOS DE CÉLULAS

Opção 1: Usar células quadradas

- ❑ Não adequado geometricamente
- ❑ Diâmetro de uma célula: d
- ❑ Distâncias de células vizinhas: d e $1.41d$

FORMATOS DE CÉLULAS



FORMATOS DE CÉLULAS

Opção 2: Usar células hexagonais

- ❑ O raio de célula é aprox. o raio do círculo que a circunscreve.
- ❑ Para uma célula com raio **R**, a distância a uma célula adjacente é

Na prática, as células não são exatamente hexagonais, já que sua ***zona de cobertura depende de muitos fatores (quais?)***

ALOCAÇÃO DE ESPECTRO

Reutilização de frequências:

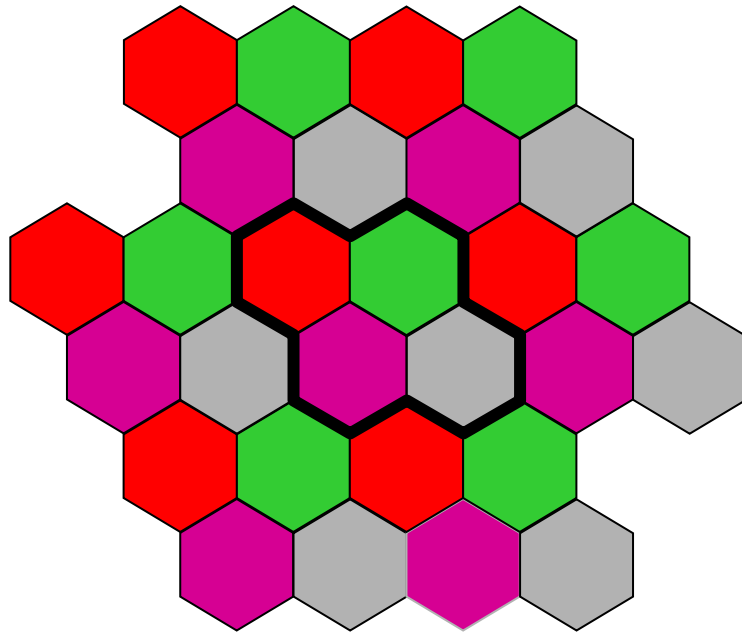
- ❑ Cada célula tem sua estação base com uma banda de frequências alocada;
- ❑ Potência de transmissão baixa → área de cobertura pequena;
- ❑ Possível reutilizar bandas de frequências em distintas células não adjacentes.

Técnicas de alocação estáticas, dinâmicas, híbridas

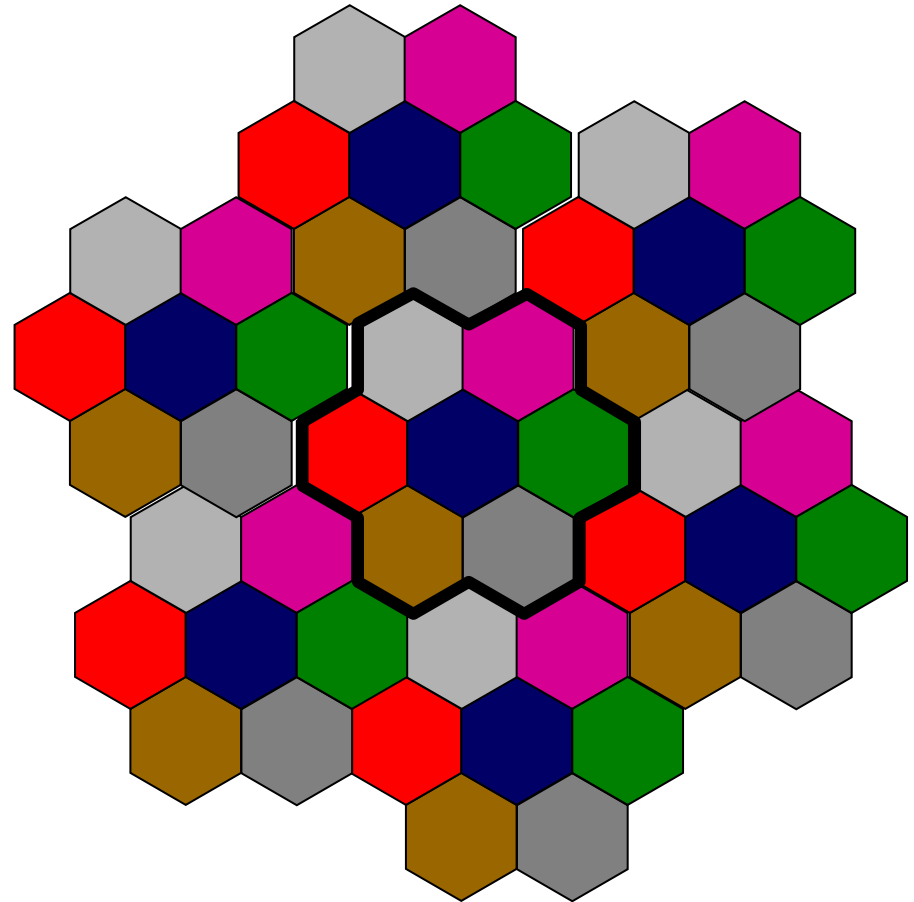
ALOCAÇÃO DE ESPECTRO

- Objetivo: conhecer quantas células devem haver entre duas células que utilizam a mesma banda de frequências para que não haja interferência;
- São possíveis vários padrões de reutilização;
- Se um padrão consiste em **N** células e cada célula tem alocada o mesmo número de frequências, cada célula pode ter
 K / N frequências,
sendo **K** o número total de frequências disponíveis.
- Necessidade de tratar demandas diferenciadas!

CONCEITOS: REUSO DE FREQUÊNCIA

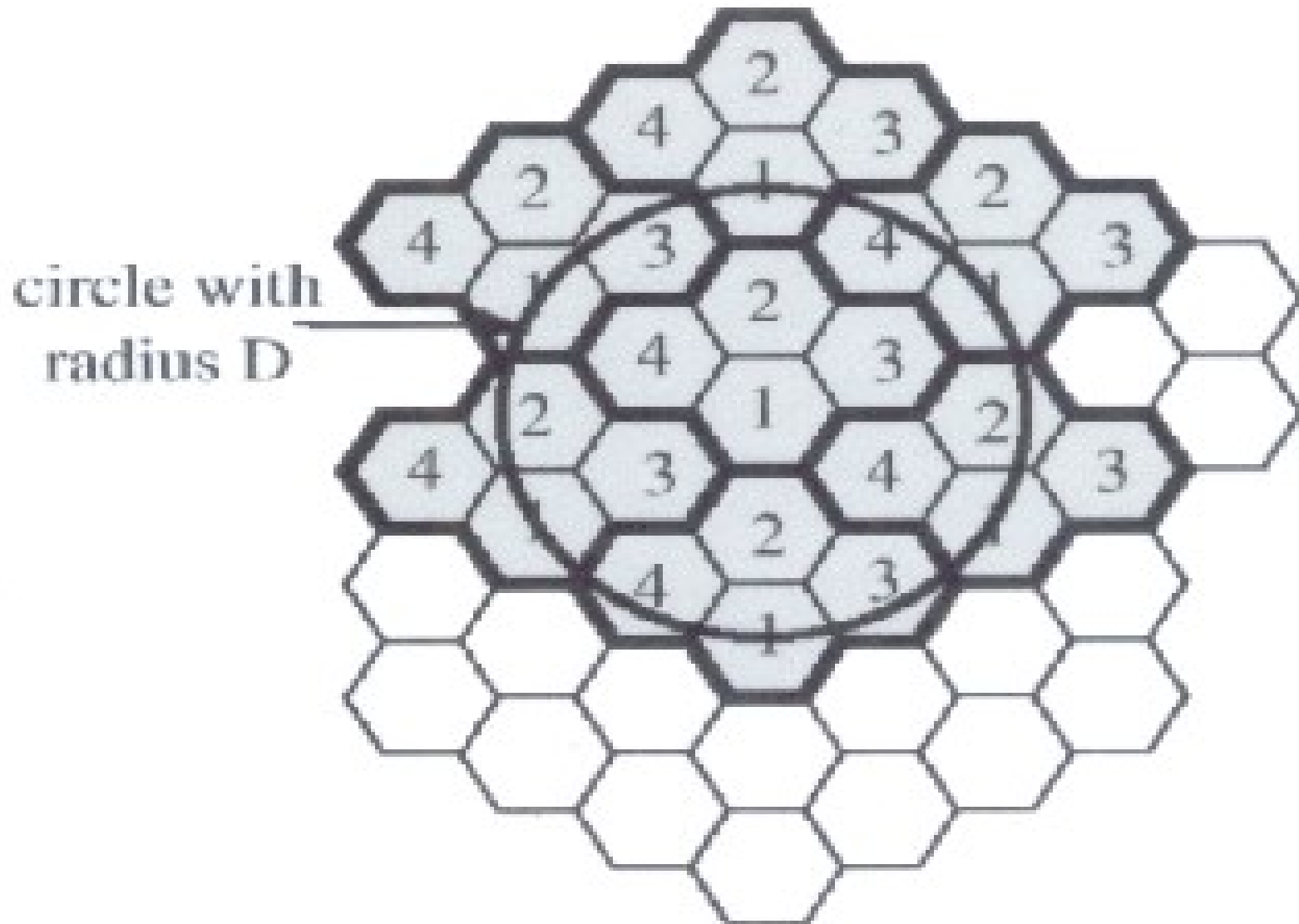


4-cell (N=4)

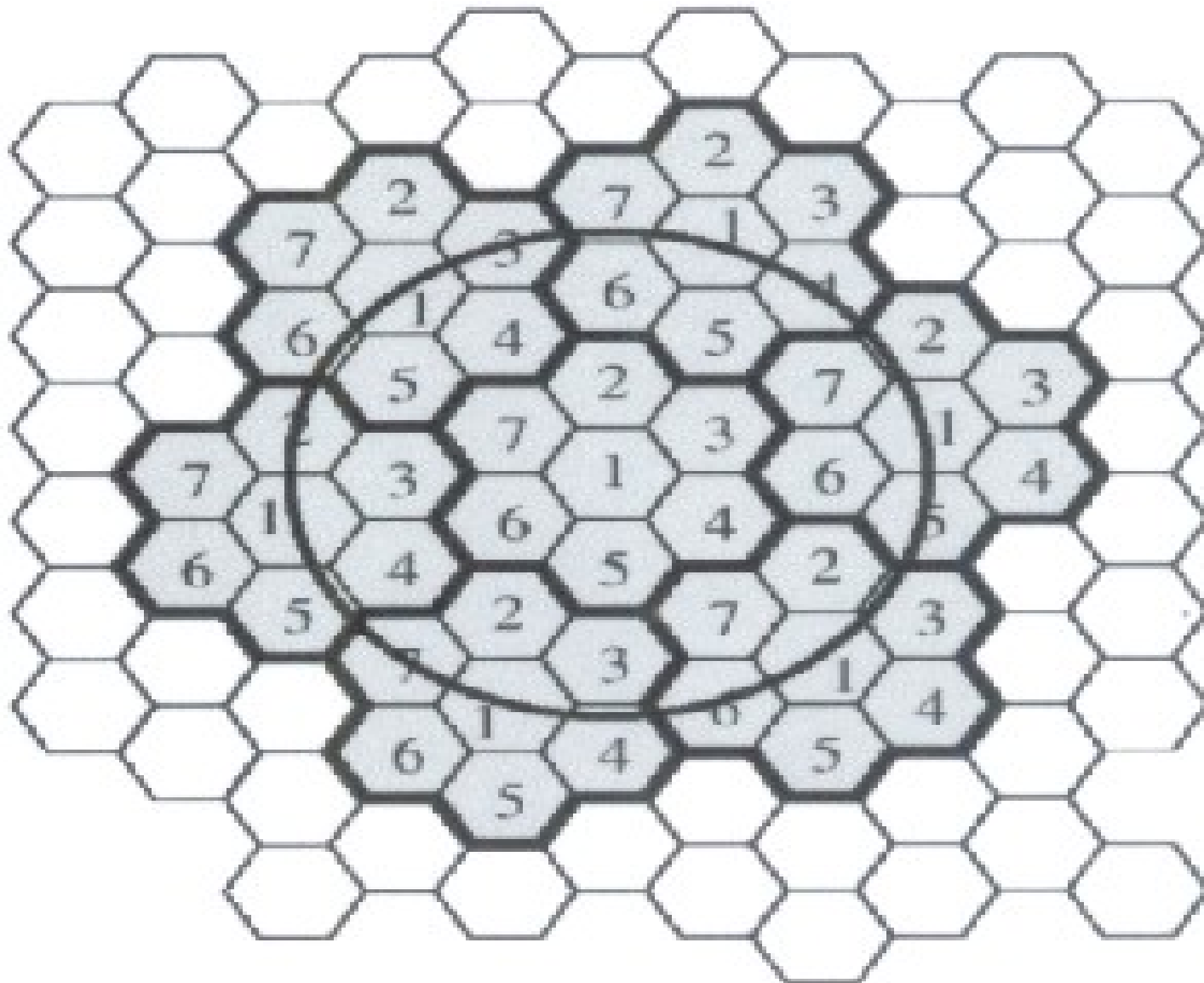


7-cell (N=7)

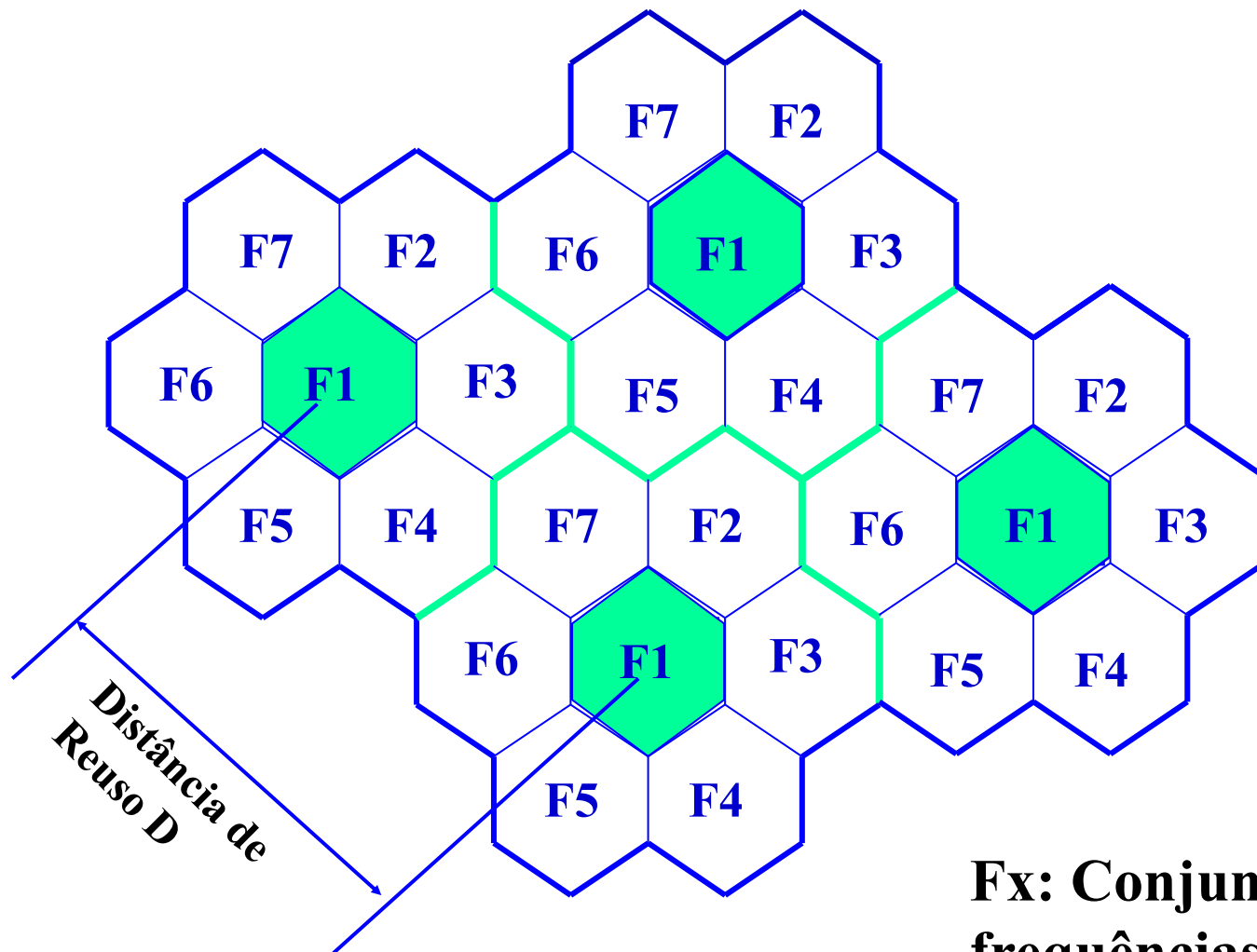
REUSO DE FREQUÊNCIAS – 4 células



REUSO DE FREQUÊNCIAS– 7 células



REUSO DE FREQUÊNCIAS



**Cluster de reuso
com 7 células**

**F_x: Conjunto de
frequências**

REUSO DE FREQUÊNCIAS

Sejam:

- ❑ **D**: Mínima distância entre os centros de células que usam as mesmas frequências (co-canais)
- ❑ **R**: Raio da célula
- ❑ **d**: Distância entre os centros de células adjacentes (Pitágoras...)

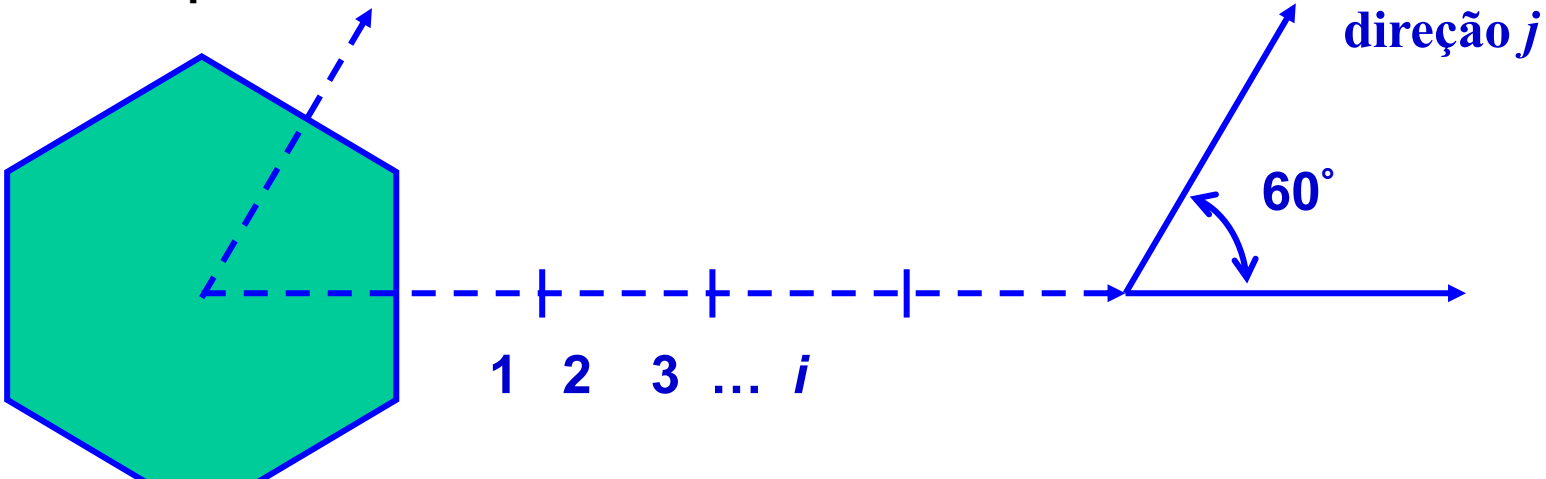
$$d = \sqrt{3}R$$

- ❑ **N**: Tamanho de cluster = número de células em um padrão de reuso).

Com um padrão hexagonal, os valores possíveis são:

$$N = i^2 + j^2 + (i \times j), \text{ com } i, j = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Valores possíveis: $N = 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, 21, \dots$



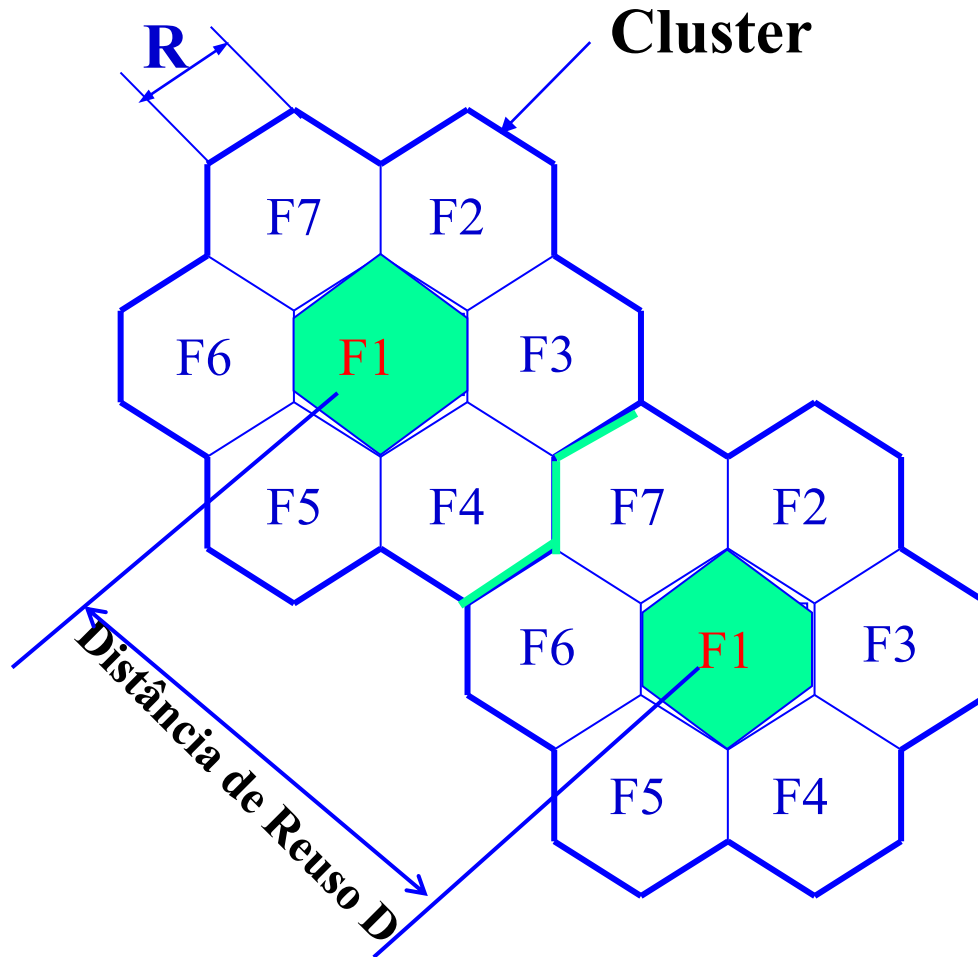
ORGANIZAÇÃO CELULAR

Com a formulação anterior,

$$\frac{D}{d} = \sqrt{N}$$

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

DISTÂNCIA DE REUSO



- Para células hexagonais, a *distância de reuso* é dada por:

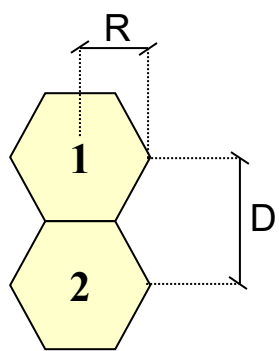
$$D = \sqrt{3NR}$$

R: raio da célula

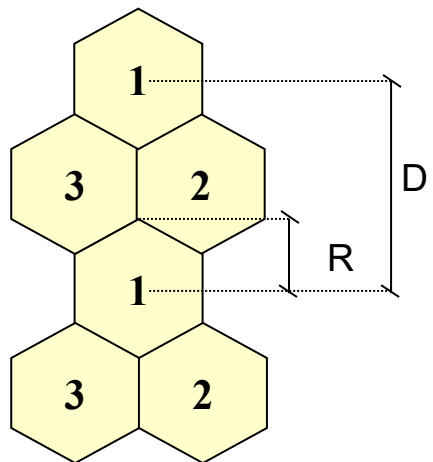
N: padrão de reuso (o tamanho do cluster ou o número de células por cluster).

- *Fator de reuso*:

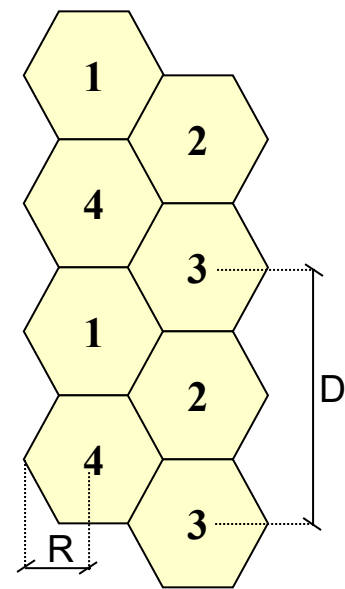
$$q \equiv \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$



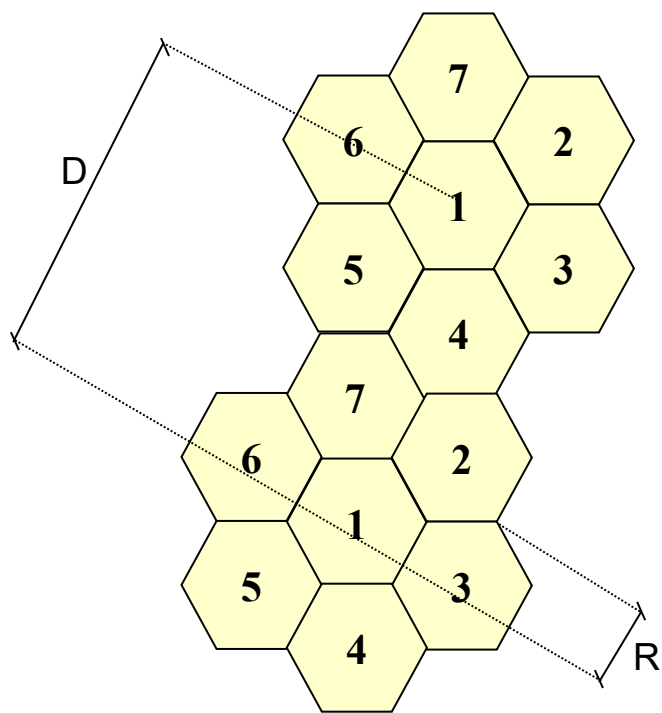
(a)



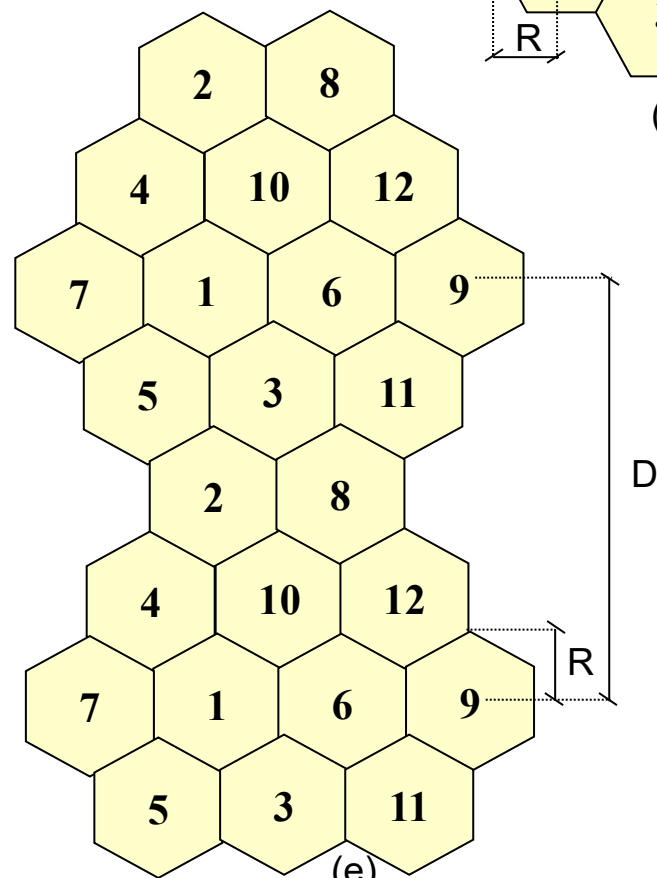
(b)



(c)



(d)



(e)

CAPACIDADE DE TRÁFEGO E INTERFERÊNCIA CO-CANAL

Tam.Cluster (N)	D/R= $\sqrt{3N}$	Canais por Célula	Capacidade de Tráfego	Qualidade Transm
1	1.73	360	+ Alta	+Baixa
3	3.00	120		
4	3.46	90		
7	4.58	51		
12	6.00	30	+Baixa	+Alta

INTERFERÊNCIA E CAPACIDADE

- Interferência afeta o planejamento de reuso.
- Um padrão de reuso menor provoca:
 - ☺ *Maior* disponibilidade de banda em cada célula.
 - ☹ *Maior* interferência.

Sistema	(C/I) min	(D/R)	N
AMPS	~18 dB	~4.6	7
GSM	~11 dB	~3.0	4
IS-54	~16 dB	~3.9	7
CDMA	~15 dB	~7.0	1

Conceitos: **NÚMERO DE CANAIS E DE USUÁRIOS SIMULTÂNEOS**

- Se a cada célula for atribuído um número idêntico de canais, o número de canais por célula:

$$N_{cpc} = \frac{K}{N}$$

- Número máximo de usuários simultâneos no sistema:

$$N_{simultaneous\ users} = N_{clusters} \times K$$

TIPOS DE INTERFERÊNCIA

- Ocorrência: dois (ou mais) canais usando frequências muito próximas ou idênticas

- Tipos:

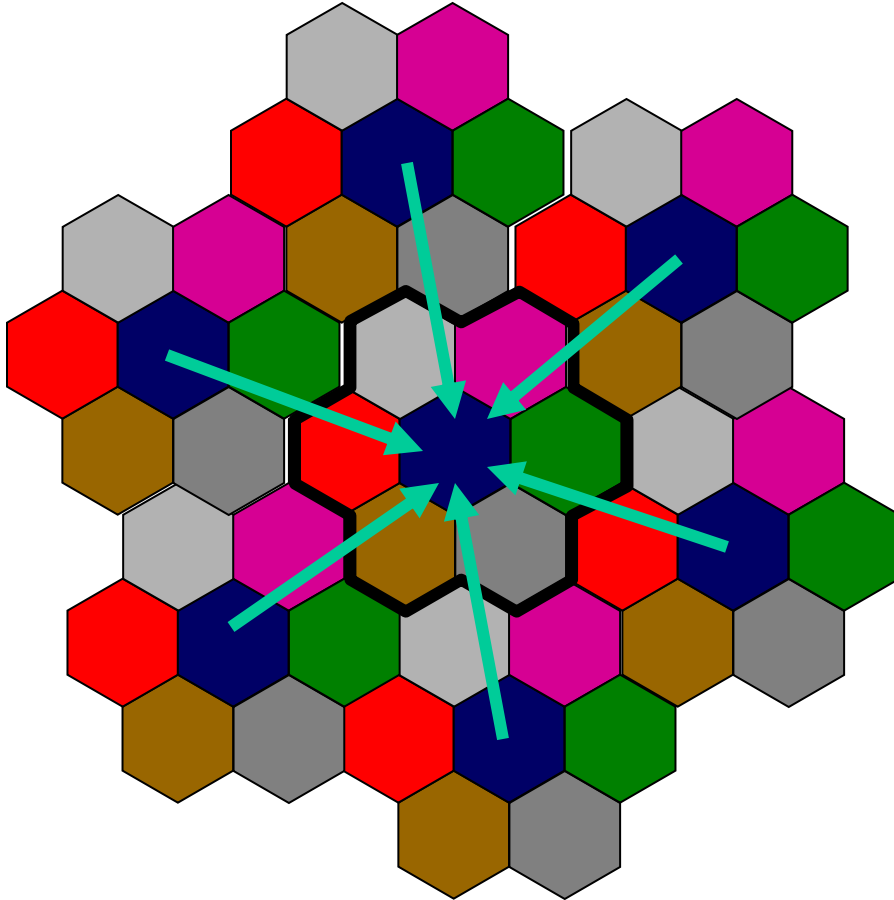
- Interferência **co-canal**: uso da mesma frequência f em diferentes células, quando

$$(potência\ em\ f\ por\ ERB1) / (\sum potênc\ em\ f\ das\ células\ vizinhas\ de\ ERB1) < limite$$

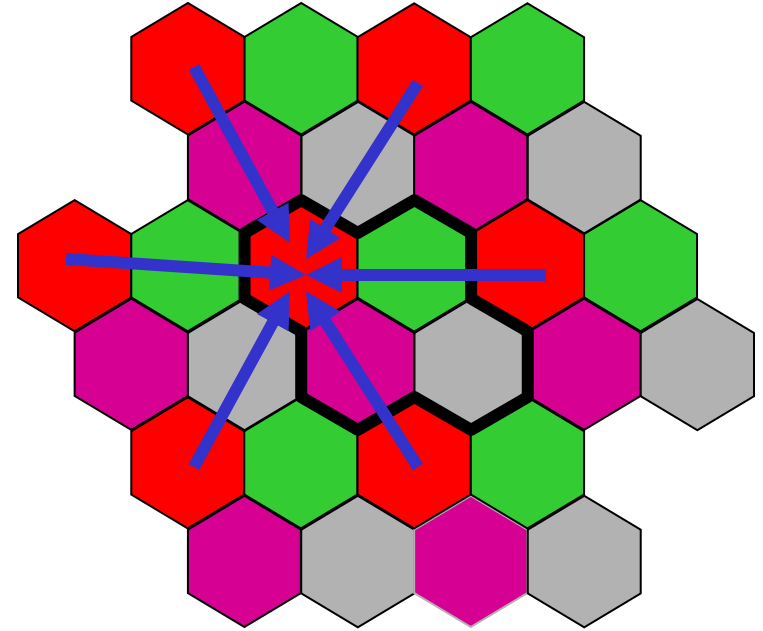
- Interferência **de canal adjacente**: devido a frequências próximas de f

- Devido a banda de frequência limitada, faz-se necessária o reuso de frequências em células não vizinhas

INTERFERÊNCIA CO-CANAL

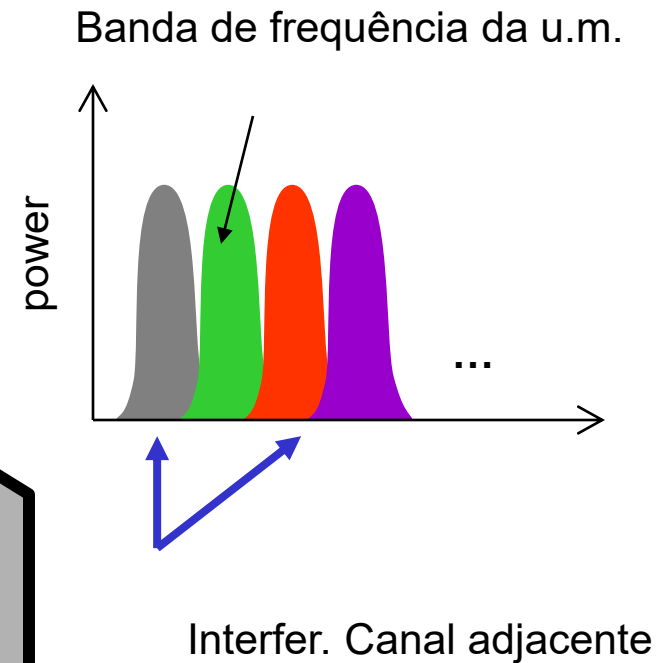
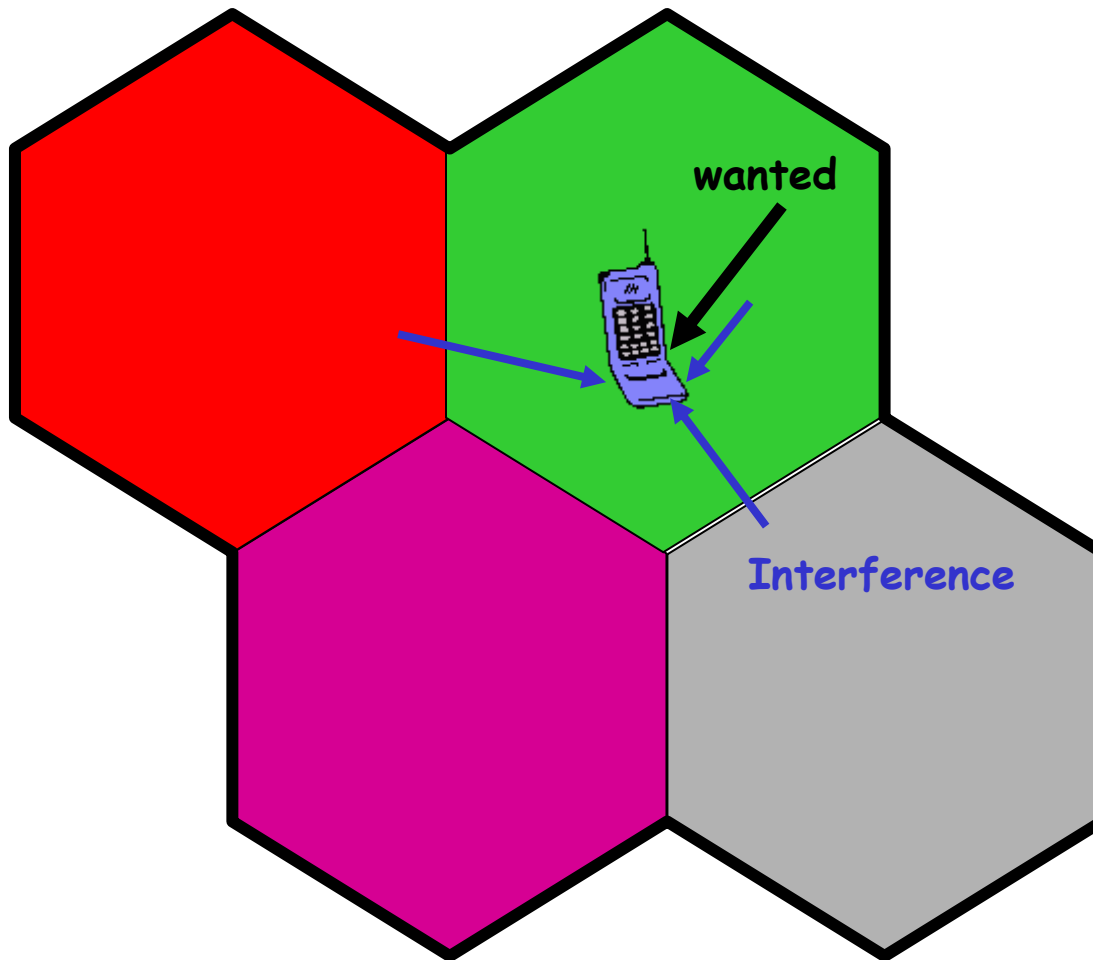


7-células (mais fraca)



4-células (mais forte)

INTERFERÊNCIA DE CANAL ADJACENTE



INTERFERÊNCIA

- Fontes de interferência:

- outras estações moveis na mesma célula
- chamada em andamento em célula vizinha
- outras BS na mesma faixa de frequência
- qualquer sistema celular que vaze energia para a banda de frequência do celular (exemplo: transmissores de prestadoras concorrentes)

INTERFERÊNCIA

- Canais de voz → ligação cruzada
- Canais de controle → erros na sinalização → chamadas perdidas e bloqueadas
- áreas urbanas:
 - maior nível de ruído de RF de fundo
 - maior nr. de BS's e de estações móveis
- gargalo importante no aumento de capacidade

INTERFERÊNCIA CO-CANAL

Usando a razão de reutilização do co-canal, vista anteriormente, podemos evitá-la:

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

- Um valor pequeno de **Q** oferece maior capacidade, pois **N** é pequeno, mas um **Q** grande melhora a qualidade de transmissão por conta do menor nível de interferência co-canal.

- **SIR(*Signal-to-Interference Ratio*)**: Seja i_0 o número de células de interferência co-canal, então a razão sinal-interferência pode ser medida da seguinte forma:

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i}$$

onde **S** é a potência desejada pela estação base e I_i é a potência de interferência causada pela estação-base da i -ésima célula do co-canal interferido.

INTERFERÊNCIA CO-CANAL

- Sabendo que a potência média do sinal recebido em qualquer ponto cai como uma grandeza de potência da distância de separação entre transmissor e receptor, temos:

$$P_r = P_o \left(\frac{d}{d_o} \right)^{-n}$$

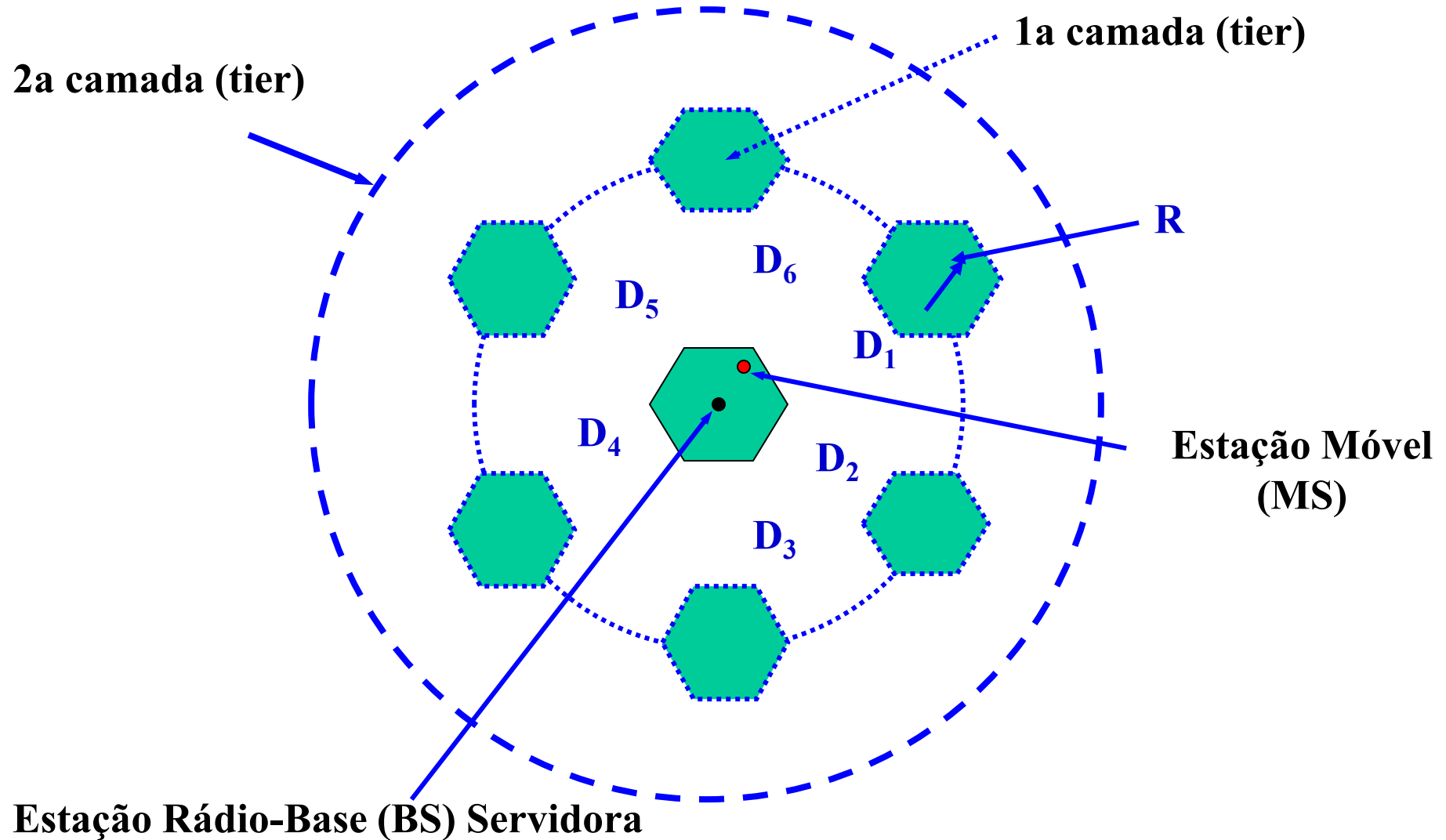
P_r: potência média recebida, **d**:distância da antenna transmissora, **P_o**: potência recebida em um ponto de referência próximo da região distante da antenna, **d_o**: potência a uma pequena distância da transmissora e **n**: expoente de perda do caminho; **n** varia conforme a região, em termos de presença maior ou menor de obstáculos.

-Quando a potência de transmissão de cada estação-base é igual e o expoente de perda do caminho é o mesmo em toda a área de cobertura, S/I para a u.m pode ser aproximada como:

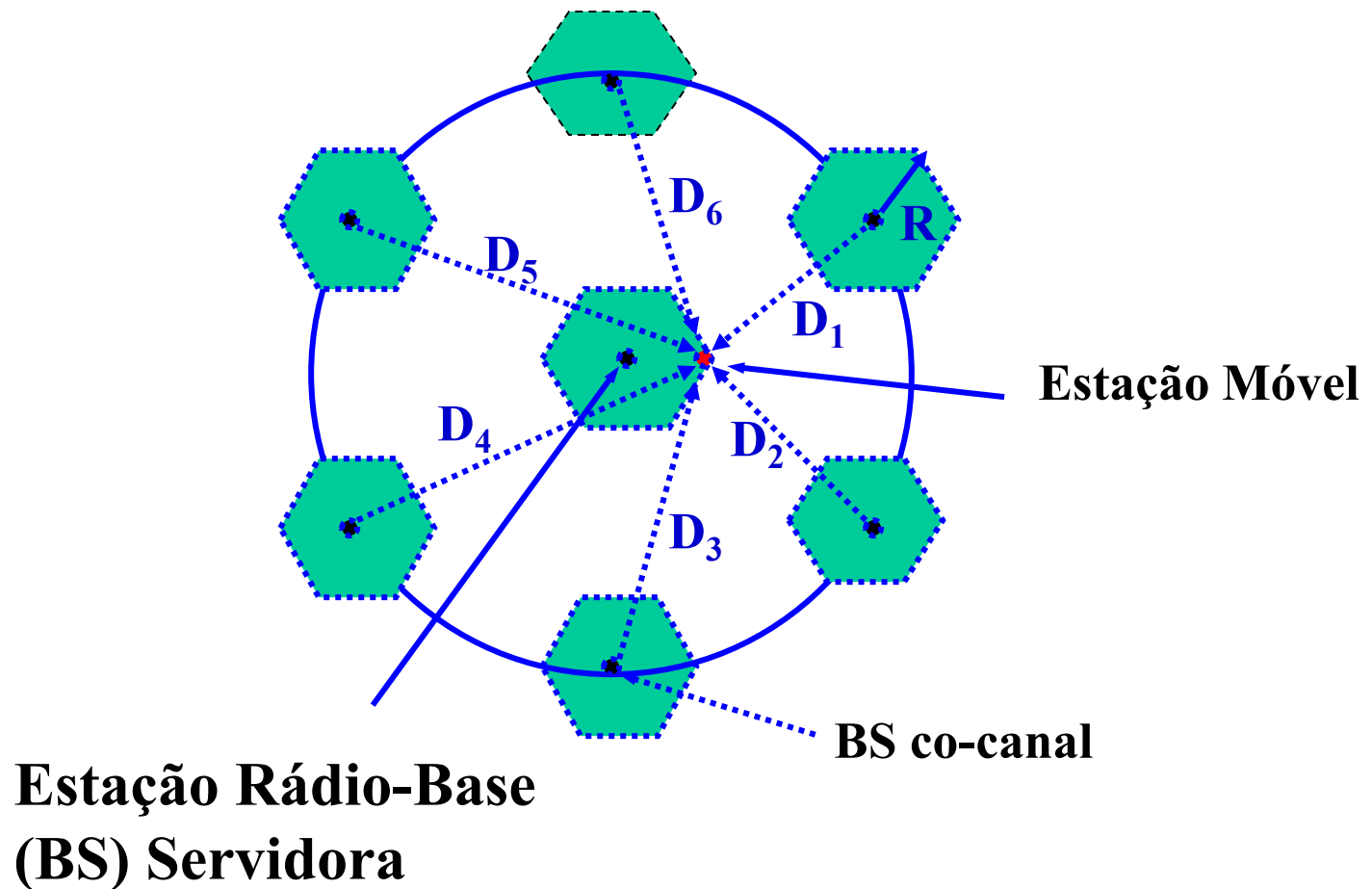
$$\frac{S}{I} = \frac{R^{-n}}{\sum_{i=1}^{i_0} (D_i)^{-n}}$$

sendo D_i a distância do i-ésimo interferidor da estação móvel e a potência recebida em determinada estação móvel, devida a interferência da i-ésima célula, será proporcional a (D_i)⁻ⁿ

INTERFERÊNCIA CO-CANAL



PIOR CASO DE INTERFERÊNCIA CO-CANAL



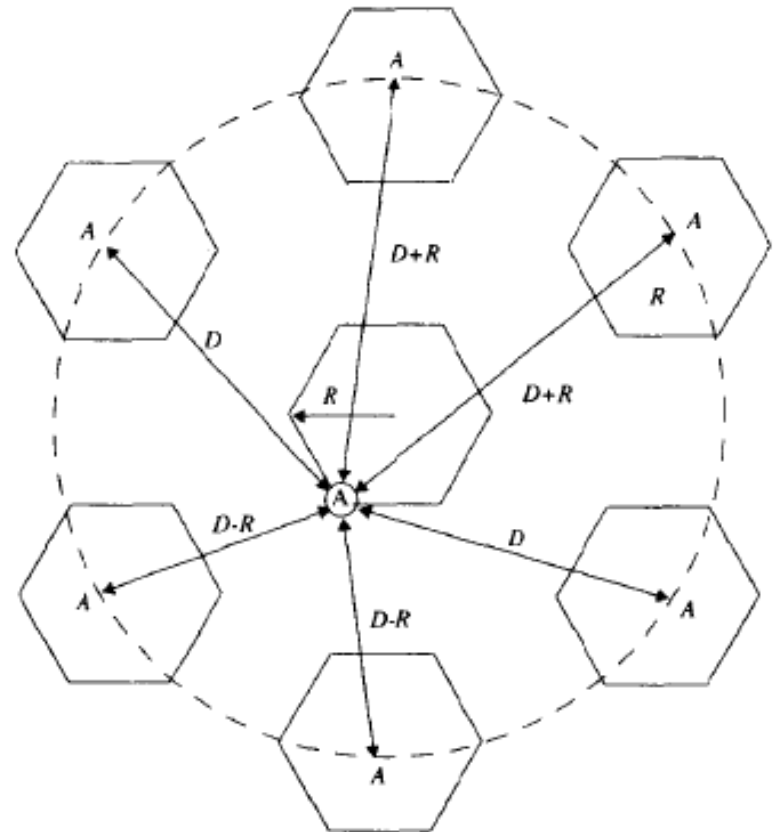
INTERFERÊNCIA CO-CANAL

- Considerando apenas a primeira camada de células co-canal interferindo, se todas as BS's que geram interferência estiverem eqüidistantes da estação-base desejada e se a distância for igual à distância D entre os centros de célula, então a equação anterior é simplificada para:

$$\frac{S}{I} = \frac{(D/R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$$

- S/I fica relacionado ao tamanho de cluster N , que por sua vez determina a capacidade geral do sistema.

Na figura, para um tamanho de cluster $N=7$, o ponto ilustrado representa o pior caso de interferência co-canal no canal direto.



INTERFERÊNCIA CO-CANAL - Exemplo

Se uma relação sinal-interferência de 15 dB for exigida para o desempenho satisfatório do canal direto de um sistema celular, qual é o fator de reutilização de frequência e tamanho de cluster que deve ser usado para obter o máximo de capacidade se o expoente de perda do caminho for:

a) $n = 4$;

b) $n = 3$.

Suponha que existem seis células de co-canal na primeira camada, e todas elas estejam à mesma distância da estação móvel.

Relembrando...

$$(dB) = 10 \log (P1/P2)$$

Exemplo:

Aplicamos um sinal com potencia de 15 watts numa linha de transmissão, e medindo o final da mesma, encontramos apenas 5 watts. Qual o valor em db da perda desta linha de transmissão?

$$\text{Perda} = 10 \log(5/15)$$

$$\text{Perda} = 10 \log(0,33) = (10)(-0,481) = -4,81 \text{ dB}$$

dBm

Refere-se a decibéis relativos a *um miliwatt (1mw)* de potencia dissipada

250mw representa 23,97dbm, pois

$$10\log(250/1)$$

$$=10.(2,397)$$

$$= 23,97\text{dbm}$$

INTERFERÊNCIA CO-CANAL - Exemplo

a) $n = 4$

Primeiro, considere um padrão de reutilização de sete células. Usando:

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

$$\frac{S}{I} = \frac{(D/R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$$

$D/R = 4,583$. Usando:

$$S/I = (1/6) \times (4,583)^4 = 75,3 = 18,66 \text{ dB}$$

Como este resultado é maior que o S/I exigido, $N=7$ pode ser usado.

INTERFERÊNCIA CO-CANAL - Exemplo

b) $n = 3$

Usamos o mesmo raciocínio, tendo:

$$S/I = (1/6) \times (4,583)^3 = 16,04 = 12,05 \text{ dB}$$

Como este resultado é maior que o S/I mínimo exigido, precisa-se de um N maior
Usando a equação:

$$N = i^2 + ij + j^2$$

$$i = j = 2 \rightarrow N = 12$$

O próximo valor possível de N é 12, assim a razão de co-canal correspondente é dada como $D/R = 6$

Logo:

$$S/I = (1/6)(6)^3 = 36 = 15,56 \text{ dB}$$

Assim, temos um S/I maior que o mínimo exigido e $N = 12$ é utilizado

INTERFERÊNCIA de CANAL ADJACENTE

- A interferência resultante de sinais em canais adjacentes em frequência ao sinal desejado
- Geralmente resulta de filtros receptores imperfeitos, que permitem que frequências vizinhas “vazem” para a banda de passagem.
- Pode ser grave quando um transmissor perto de um receptor interfere de forma que sinais fracos sejam confundidos com este “vazamento” de banda.
- Pode ser evitada com um cuidado especial na filtragem e na administração dos canais no caso de adjacência de frequências
- Com fatores de reutilização altos (N pequeno, por exemplo) pode não ser obter uma separação entre os canais adjacentes na estação-base suficiente para manter o nível de interferência do canal adjacente dentro de limites toleráveis.

TÉCNICAS PARA AUMENTO DE CAPACIDADE

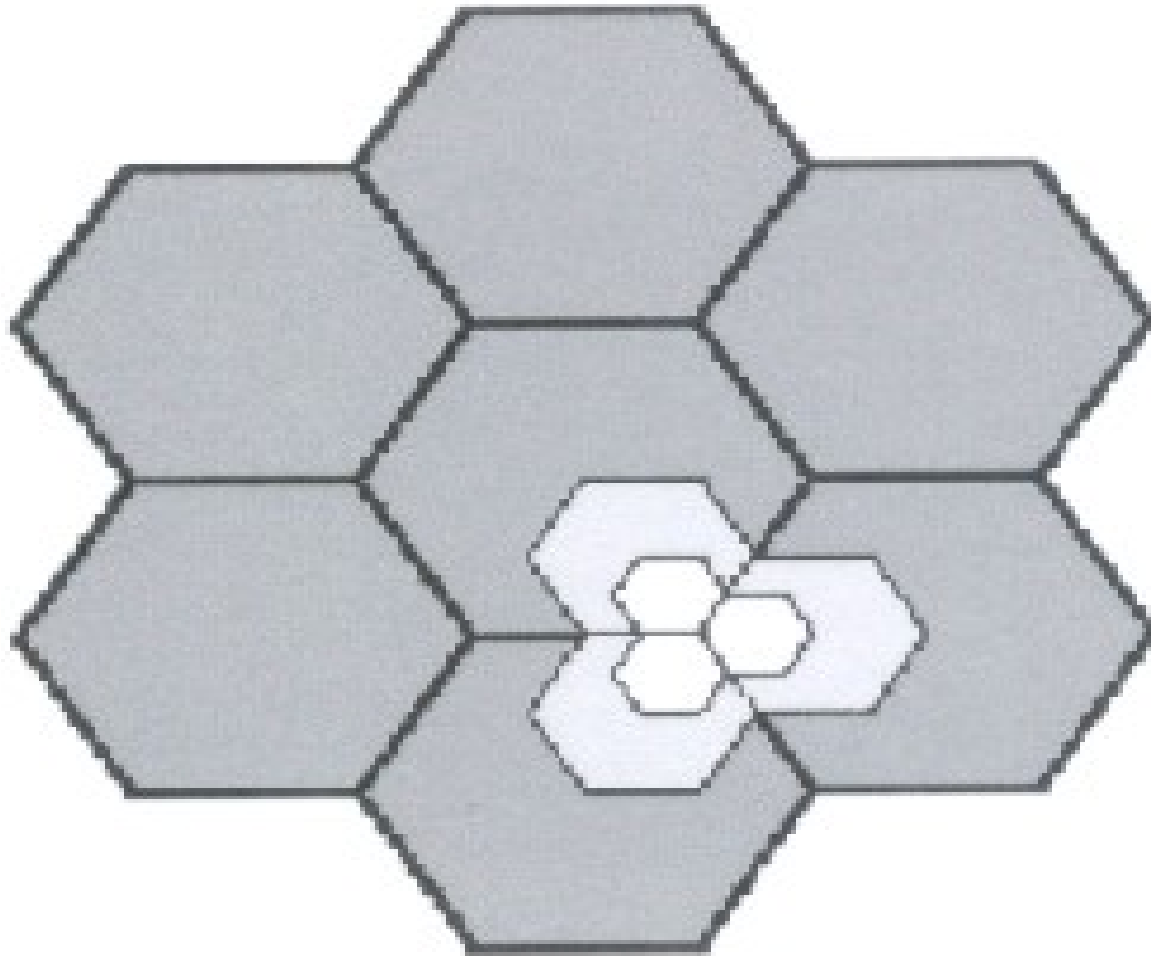
“Splitting” de Células:

- ❑ Consiste em dividir uma célula em microcélulas;
- ❑ Célula menor ==> maior número de canais efetivos em uma região; maior número de handoffs;
- ❑ Instalam-se mais ERBs que transmitem em baixa potência;
- ❑ Uso em cidades e zonas muito congestionadas.

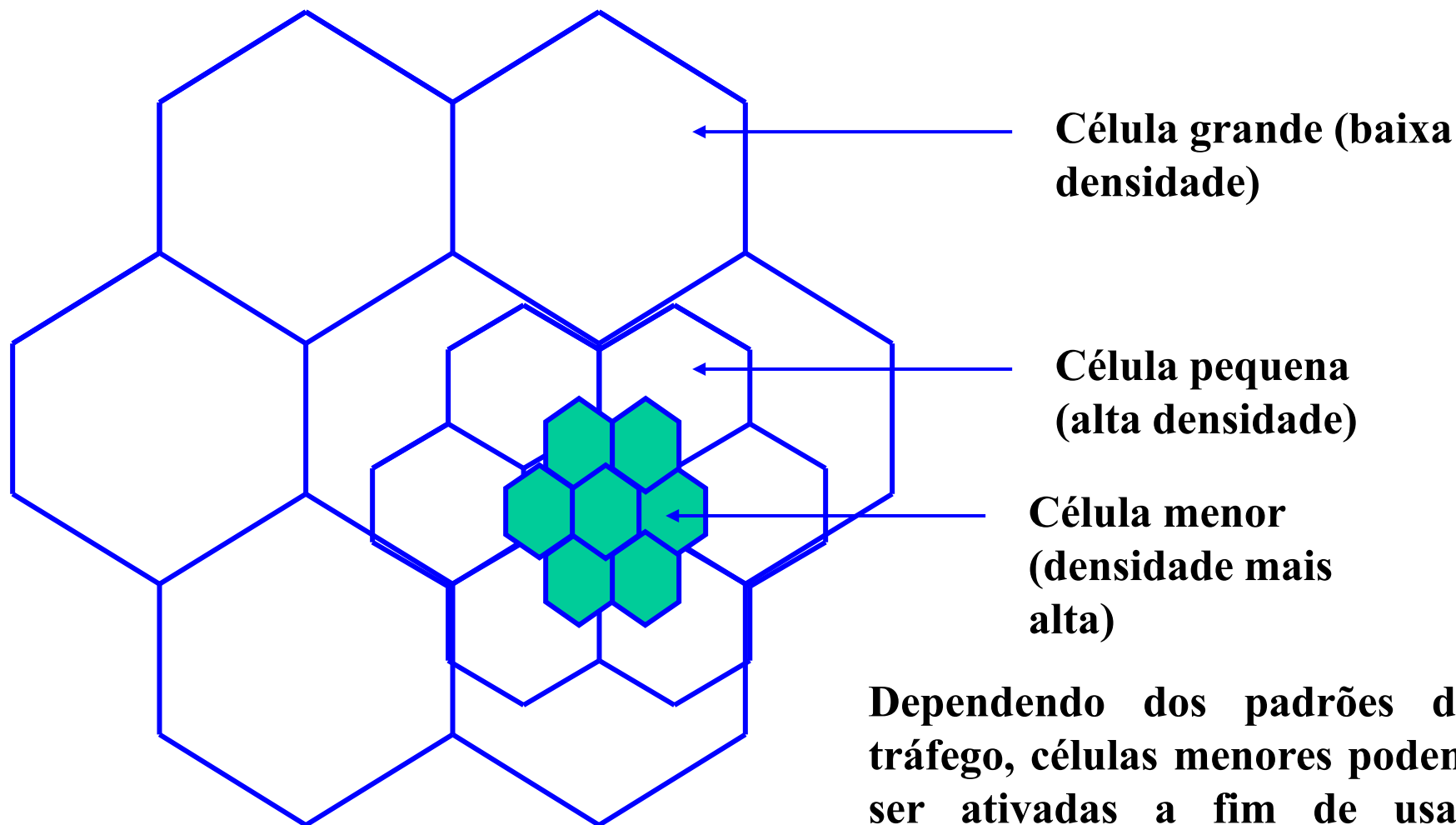
DIVISÃO DE CÉLULAS – CELL SPLITTING

- Processo de subdividir uma célula em células menores para aumentar a capacidade de um sistema, aumentando o número de vezes que os canais são reutilizados, ou seja, um número maior de canais por unidade de área
- Usado quando existe a saturação de tráfego em uma determinada área
- Novas estações base são inseridas
- Como as novas células tem tamanho menor, as novas estações-base transmitem com potência reduzida.

DIVISÃO DE CÉLULAS - CELL SPLITTING



DIVISÃO DE CÉLULAS - CELL SPLITTING



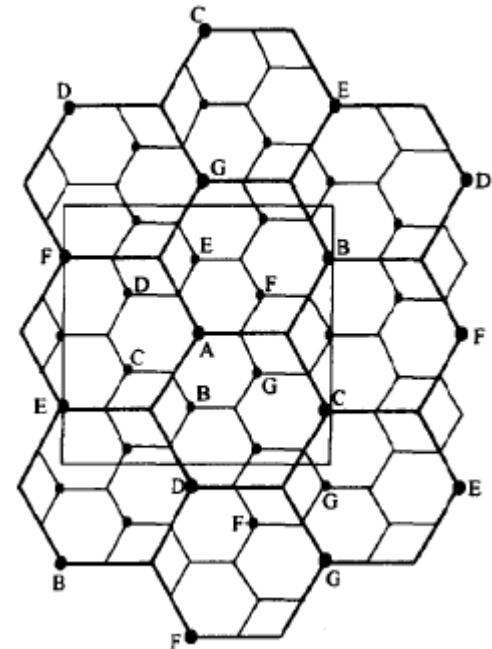
Dependendo dos padrões de tráfego, células menores podem ser ativadas a fim de usar eficientemente os recursos (canais) das células

DIVISÃO DE CÉLULAS - CELL SPLITTING

– Exemplo

Considerando a Figura, suponha que cada estação base use 60 canais, independentemente do tamanho da célula. Se cada célula original tem um raio de 1km e cada microcélula tem um raio de 0,5km, ache o número de canais contidos em um quadrado de 3km por 3km centralizado em torno de A sob as seguintes condições:

- a) Sem o uso de microcélulas
- b) Quando forem usadas microcélulas rotuladas com letras conforme mostra a figura
- c) Se todas as estações-base originais forem substituídas por microcélulas. Considere que as células na borda do quadrado estejam contidas nele.



DIVISÃO DE CÉLULAS - CELL SPLITTING

– Exemplo

- a) Para cobrir o quadrado de 3km por 3km centralizado na estação-base “A”, precisamos cobrir 1,5KM em direção a direita, a esquerda, acima e abaixo de “A”. Também podemos ver que a área contém cinco estações. Como em cada estação temos 60 canais, o número total é:

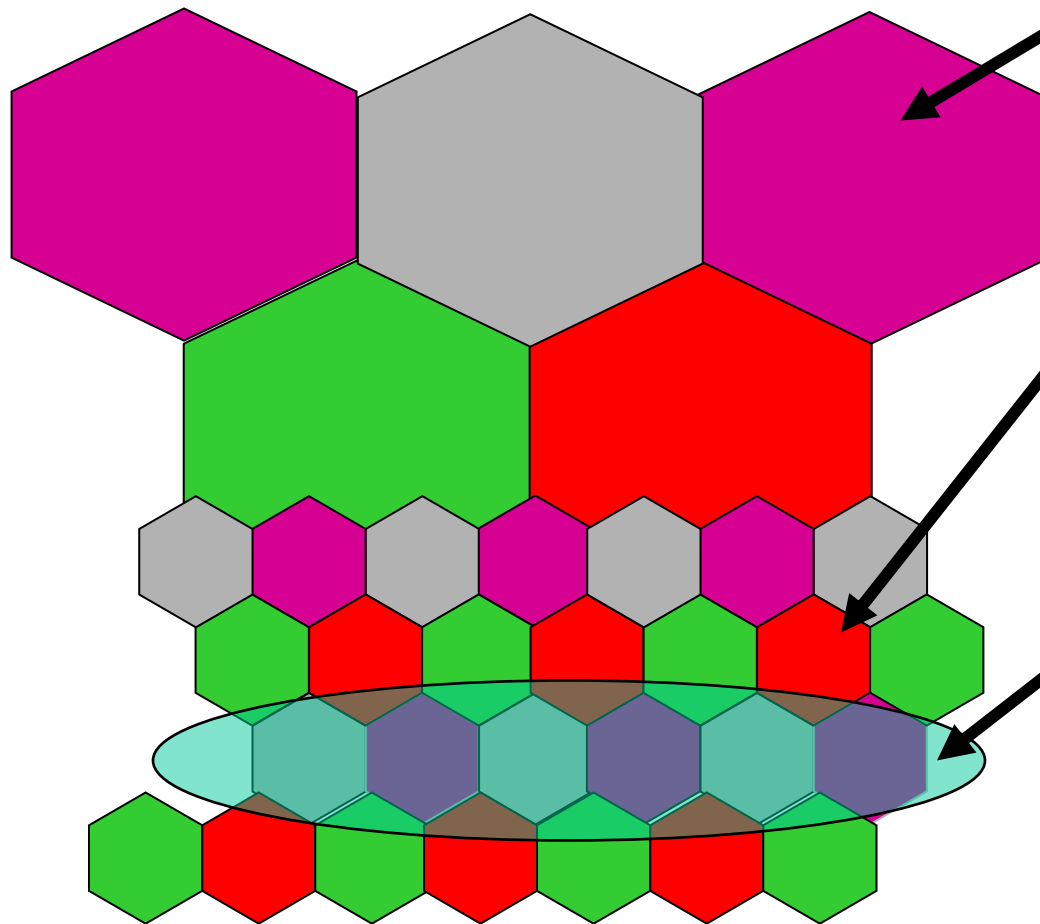
$$5 \times 60 = 300 \text{ canais}$$

- b) “A” está cercada por seis microcélulas, assim o número de estações na área quadrada sobe para 11. Refazendo o cálculo:

$$11 \times 60 = 660 \text{ canais}$$

- c) Aumenta-se a quantidade de estações para 17, gerando uma quantidade de 1020 canais.

CONCEITOS SOBRE CÉLULAS



Células grandes: para áreas com baixo tráfego

Microcélulas: regiões com alta demanda de tráfego.

Células guarda-chuva (“umbrella cells”): áreas com movimentação rápida entre células (p.ex. freeways)

AUMENTO DE CAPACIDADE

Setorização de células:

Divisão de uma célula em um conjunto de setores, cada um com suas próprias frequências

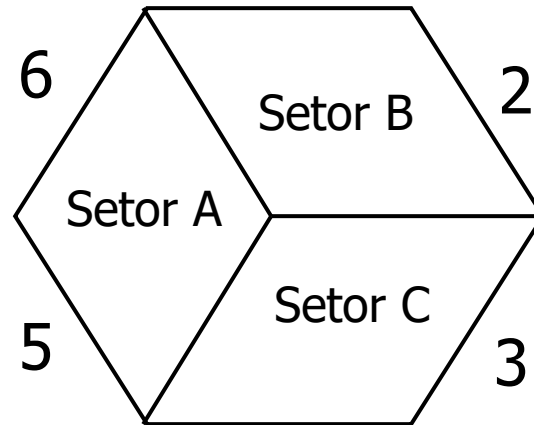
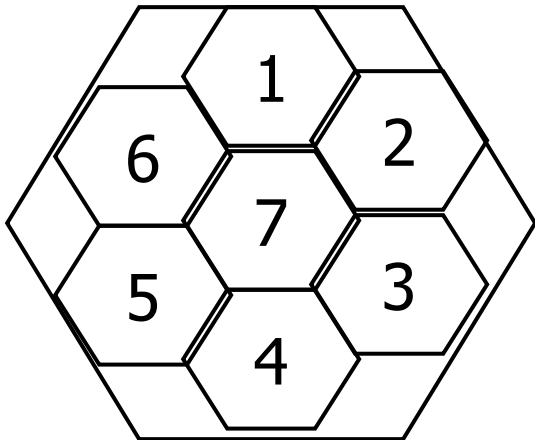
A cada setor se aloca um subconjunto de frequências e se usam antenas direcionais na base, para dar cobertura a cada setor.

Mais comum: de 3 a 6 setores

Reduz a interferência co-canal

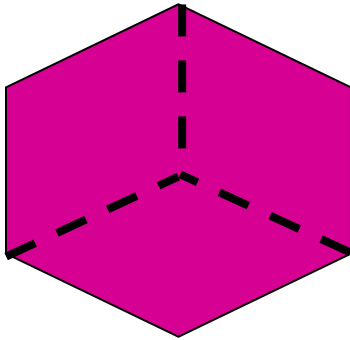
AUMENTO DE CAPACIDADE

Setorização de células

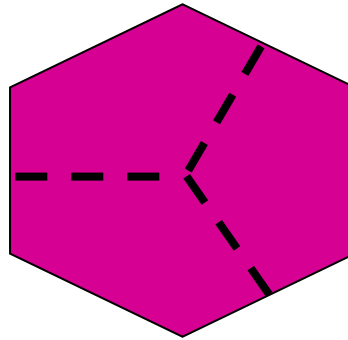


SETORIZAÇÃO

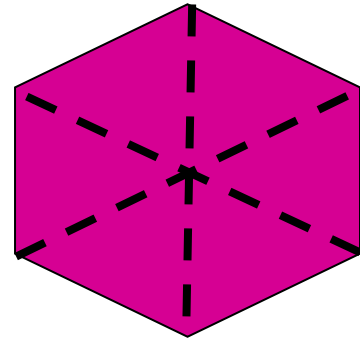
- Algumas células setorizadas comumente usadas:



Rombica

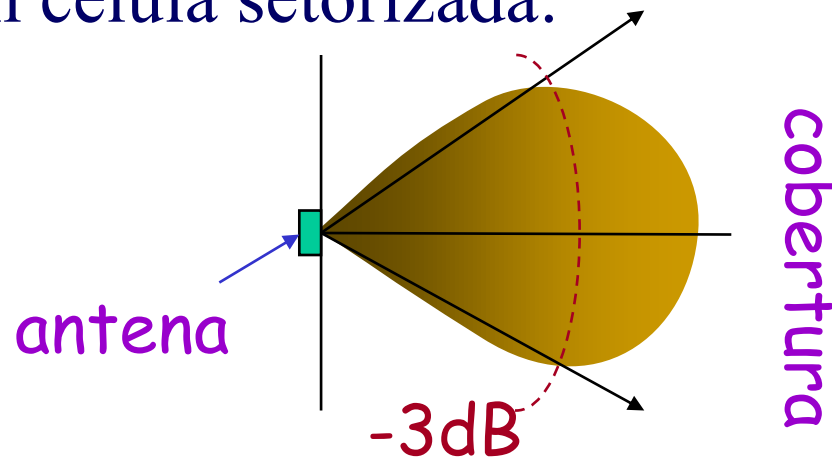


Hexagonal

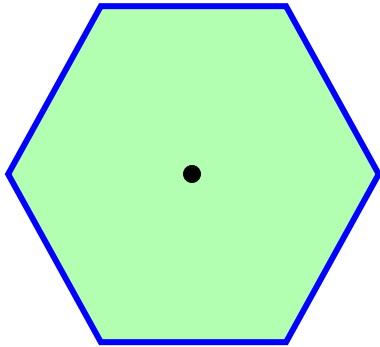


Triangular

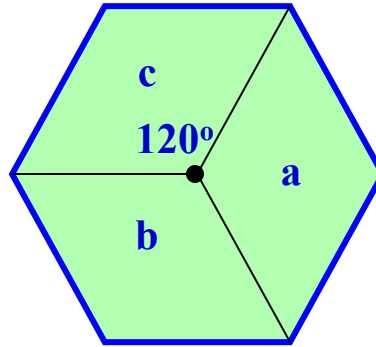
- Antena em célula setorizada:



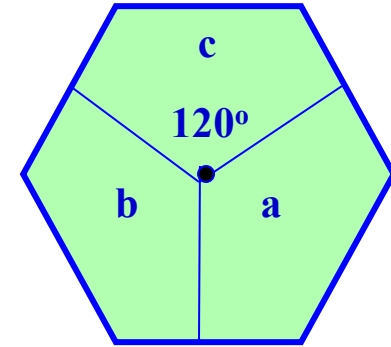
SETORIZAÇÃO POR PROJETO DE ANTENA



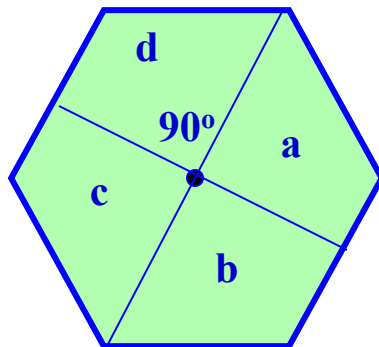
(a) Omnidirecional



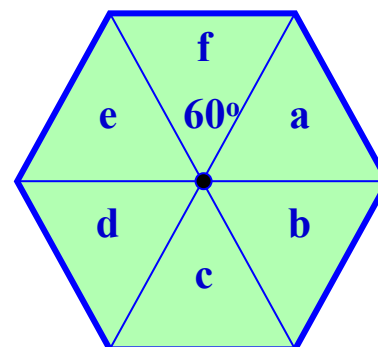
(b) Setor de 120°



(c) Setor de 120° (alternativo)



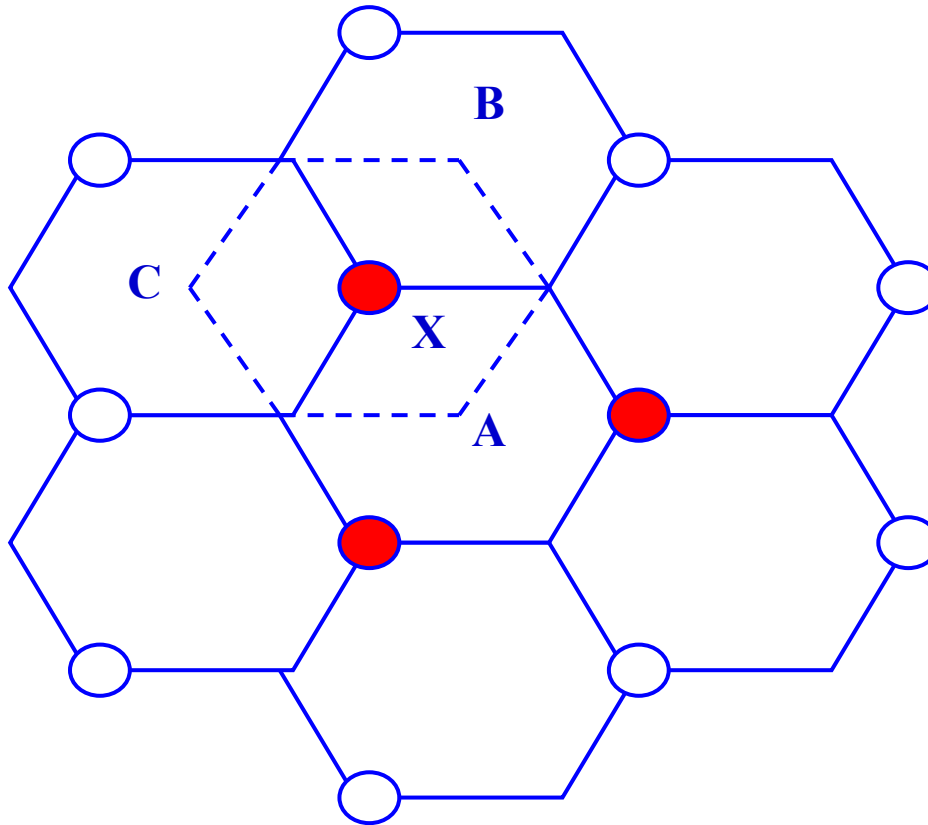
(d) Setor de 90°



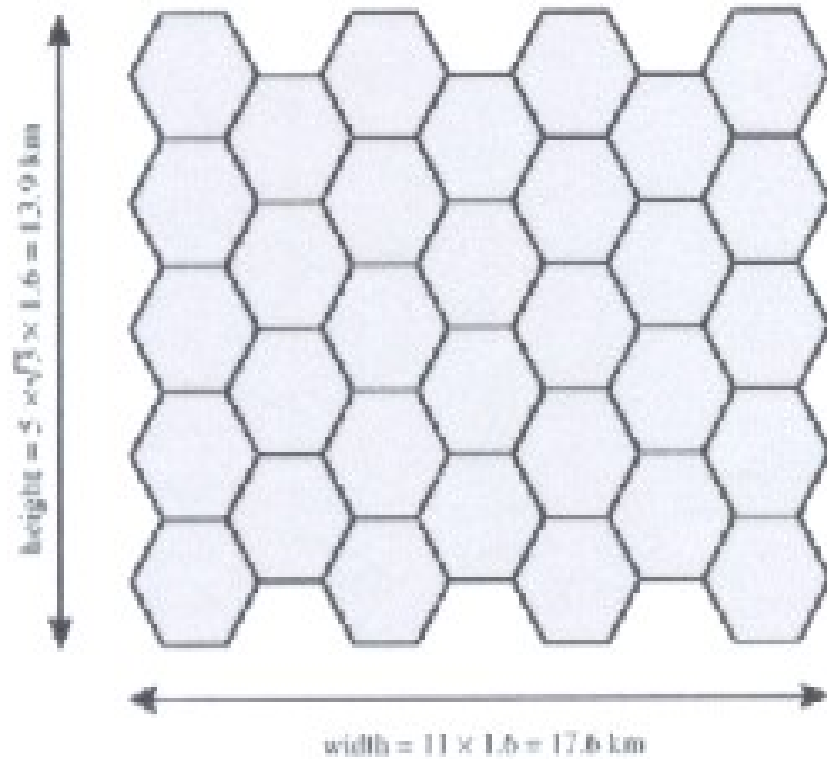
(e) Setor de 60°

SETORIZAÇÃO POR PROJETO DE ANTENA

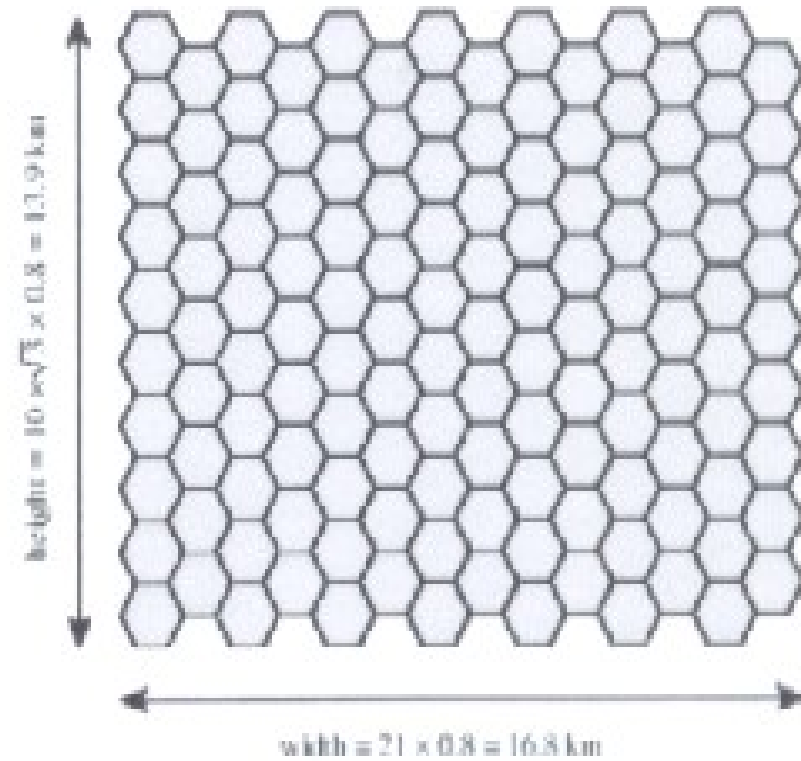
- **Instalação de transmissores direcionais no encontro das fronteiras de células adjacentes**



AUMENTO DE CAPACIDADE



(a) Cell radius = 1.6 km



(b) Cell radius = 0.8 km

EXERCÍCIO

Seja um sistema de 32 células, raio de célula = 1.6 Km, 336 canais de tráfego, fator de reuso = 7.

- a) qual a área geográfica coberta?
- b) quantos canais existem por célula? (aloc. uniforme)
- c) qual o nr. de chamadas concorrentes que pode ser tratada?
- d) repetir para $R = 0.8$ Km.

SOLUÇÃO

a) qual a área geográfica coberta?

Hexágono: $1.5 R^2 (3)^{1/2} \rightarrow 6.65 \times 32 = 213 \text{ Km}^2$

b) quantos canais existem por célula e no total?

$$336/7 = 48 \text{ canais}$$

c) qual o nr. total de canais?

capacidade total: $48 \times 32 = 1536$ canais

d) repetir para $R = 0.8 \text{ Km}$.

$1.66 \times 128 = 213 \text{ km}^2$; $336/7 = 48$ canais;

$48 \times 128 = 6144$ canais.

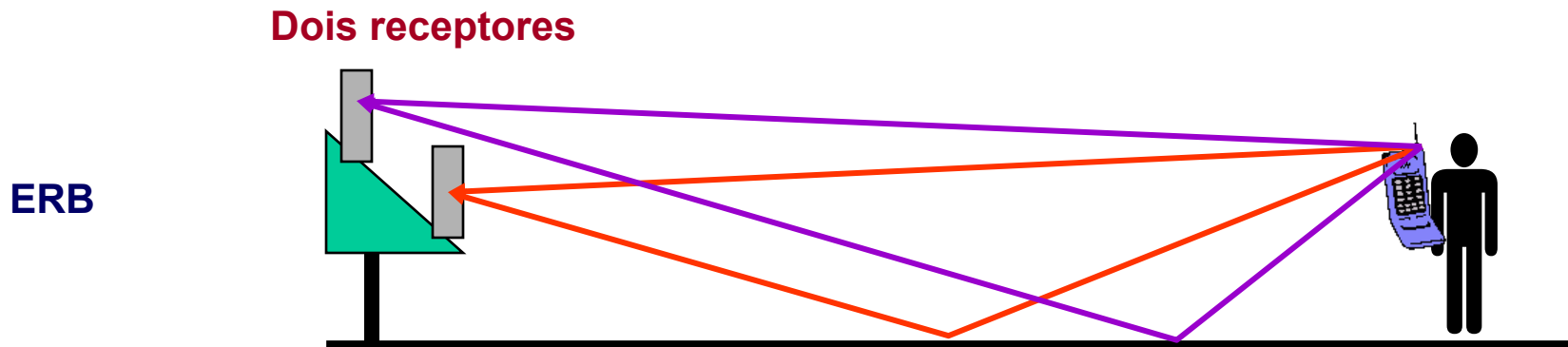
AUMENTO DE CAPACIDADE

Outras técnicas para incrementar a capacidade celular são:

- ❑ **Acrescentar novos canais:** se houver disponíveis
- ❑ **Empréstimo de frequências:** dinamicamente; células pouco congest. a células congestionadas; CBWL – Channel Borrowing Without Locking.
- ❑ **Múltiplas antenas (SISO → MIMO)**
- ❑ **Rádio Cognitivo**-usuários primários x secundários; acesso oportunista
- ❑ **Escoamento de Tráfego** (“offloading”, “steering” - ex.: LTE → WiFi)
- ❑ **VAD(“Voice Activity Detection”)**-períodos “talkspurt” x “idle” (silêncio)

DIVERSIDADE ESPACIAL

- ▶ Multipercurso em transmissões sem fio resultam em “Rayleigh Fading” (ou “fading” rápido).
- ▶ Antenas múltiplas são usadas a fim de receber sinais de um terminal móvel reduzindo efeitos do “fading”.



MODO DE OPERAÇÃO

Cada célula dispõe de:

- ❑ Uma estação base (situada no centro) BS
- ❑ Um controlador
- ❑ Um número de transceivers que usam os canais alocados à célula.

Cada estação base está conectada a uma Mobile Telecommunications Switching Office (MTSO), ou MSC (Mobile Switching Center), que se interliga a várias estações base (BS) via BSC – Base Station Controller

A MTSO/MSC conecta as chamadas entre os usuários móveis e por sua vez está conectada com a rede fixa.

MODO DE OPERAÇÃO

Tipos de canais móvel \leftrightarrow BS:

- ❑ **Canal de controle:** troca informação de controle que permite manter a transferência de dados pelo canal de tráfego.
- ❑ **Canal de tráfego:** transporta voz ou dados entre usuários

MODO DE OPERAÇÃO

Alguns Eventos Possíveis:

- Relativos a Chamadas

- ☐ Chamadas desde / para usuários moveis
- ☐ Bloqueio de chamada
- ☐ Término de chamada
- ☐ Queda de chamada (“call drop”)
- ☐ Chamadas desde / para usuários fixos

- Relativos a Gerenciamento de Mobilidade

- ☐ Handoff, handover
- ☐ Registro
- ☐ Atualização de localização
- ☐ Paging

ALGUMAS MÉTRICAS de QoS:

- ❑ ***Call Blocking Probability:*** Probabilidade de que uma nova chamada seja bloqueada;
- ❑ ***Call Dropping Probability:*** Probabilidade de que, feito um handoff, a chamada seja terminada;
- ❑ ***Call Completion Probabiity:*** Probabilidade de que uma chamada aceita se mantenha sem cortes até o final;
- ❑ ***Probability of unsuccessful handoff:*** Probabilidade de que un processo de handoff solicitado não se realize.
- ❑ ***Call Delay Probability***

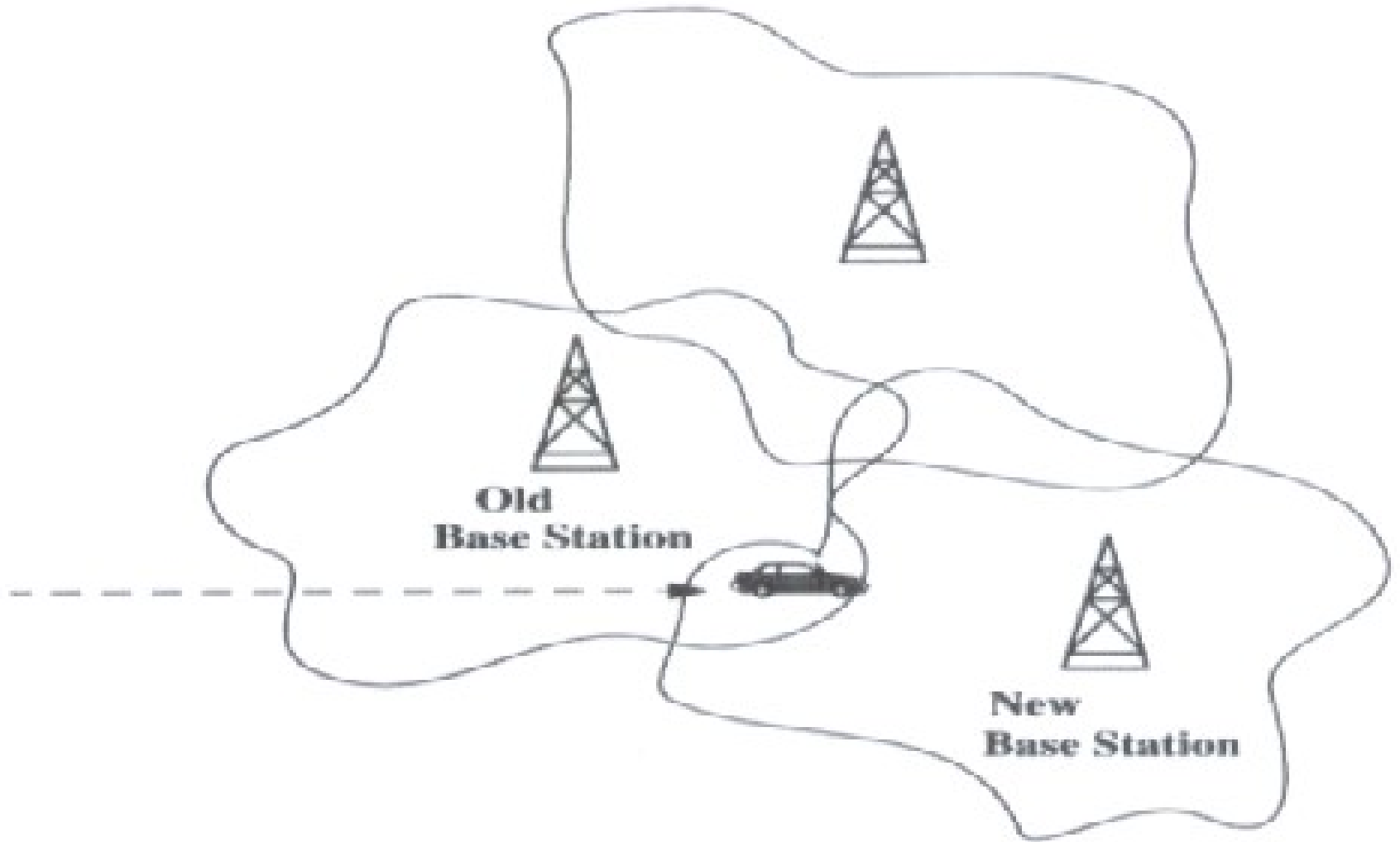
HANDOVER ou HANDOFF

Handover (Handoff): Troca de BS pela u.m.

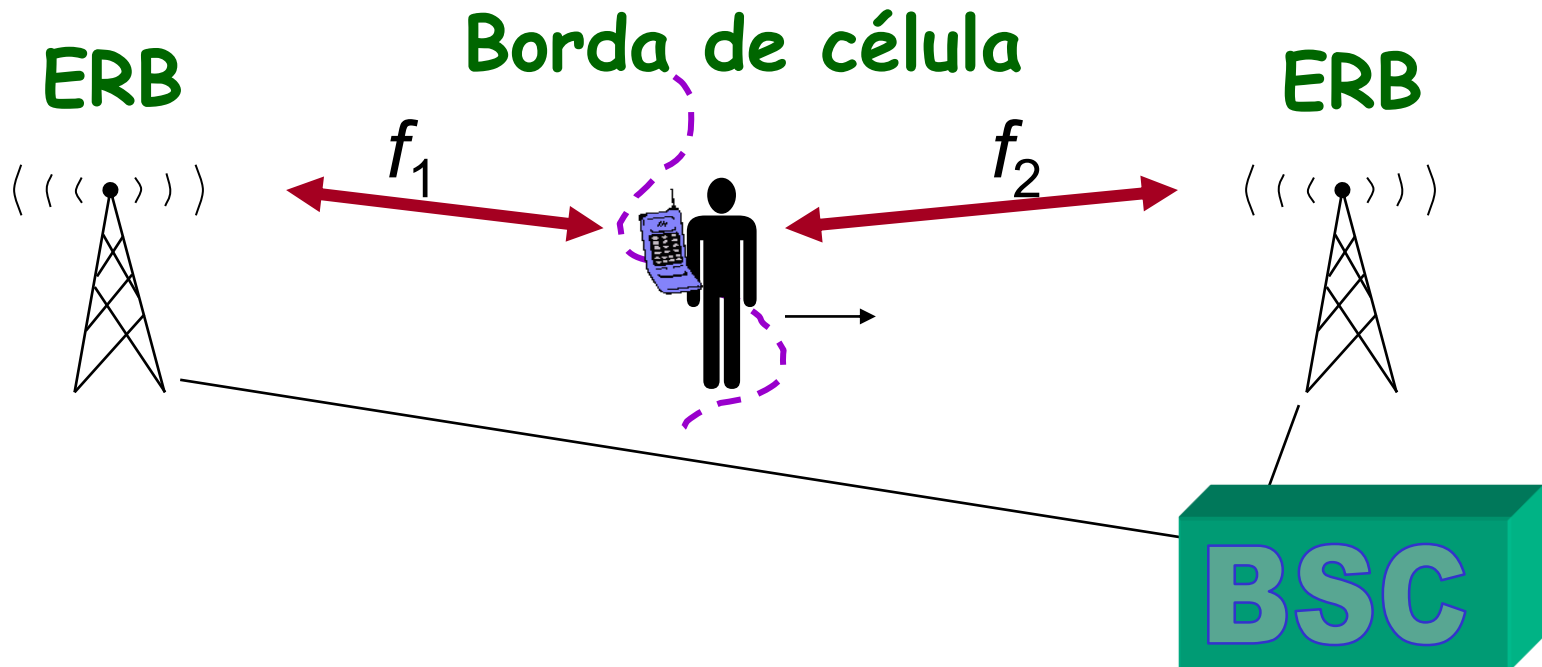
Pode ser iniciado por:

- ❑ *Estação base* (em função dos sinais enviados pela u.m.)
- ❑ *Unidade móvel* (em função do sinal recebido de distintas estações base)

HANDOVER or HANDOFF

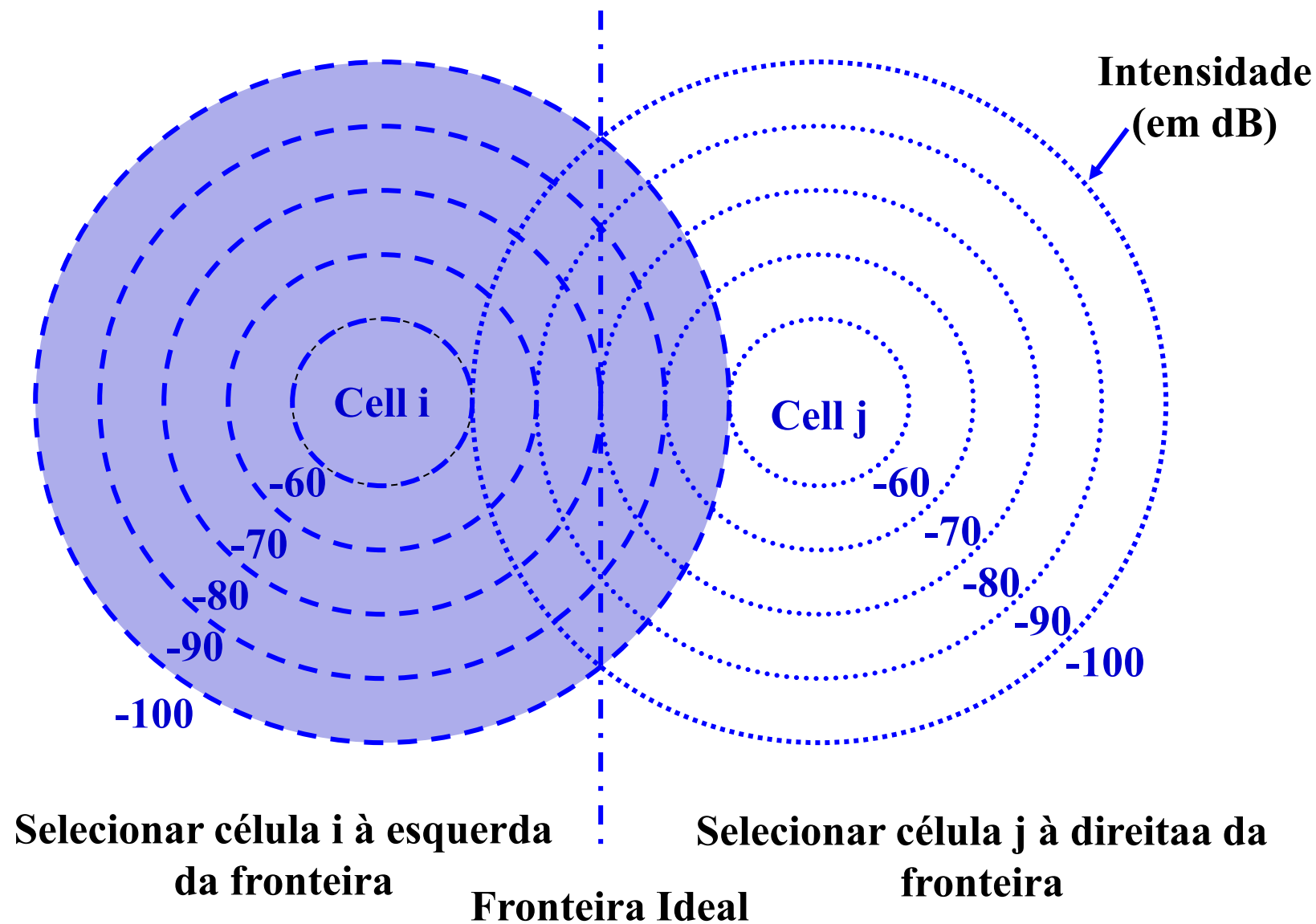


HANDOVER ou HANDOFF

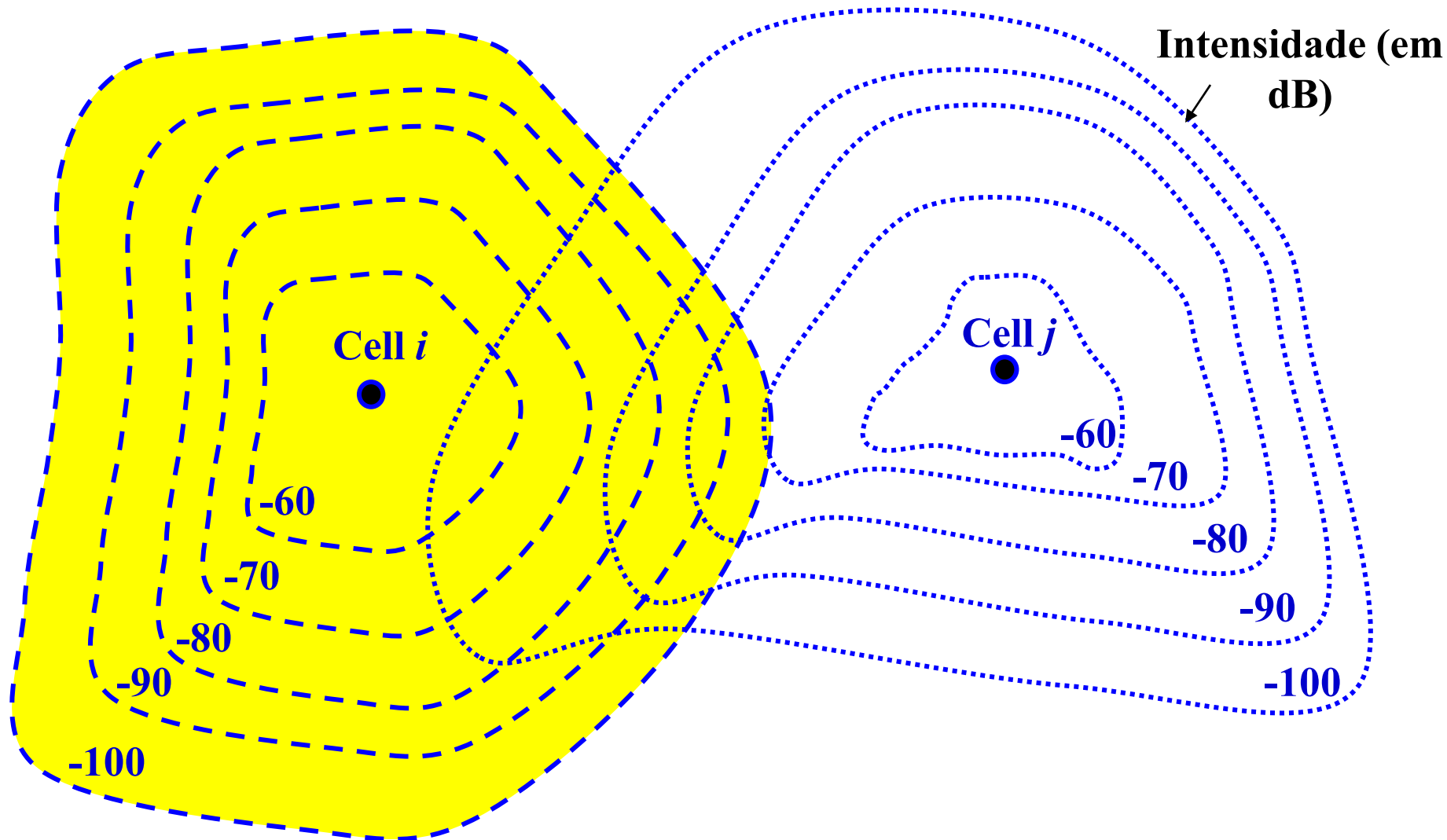


- Níveis de potência são constantemente medidos por BS's e-ou pelos terminais móveis, a fim de decidir sobre a necessidade de handover.

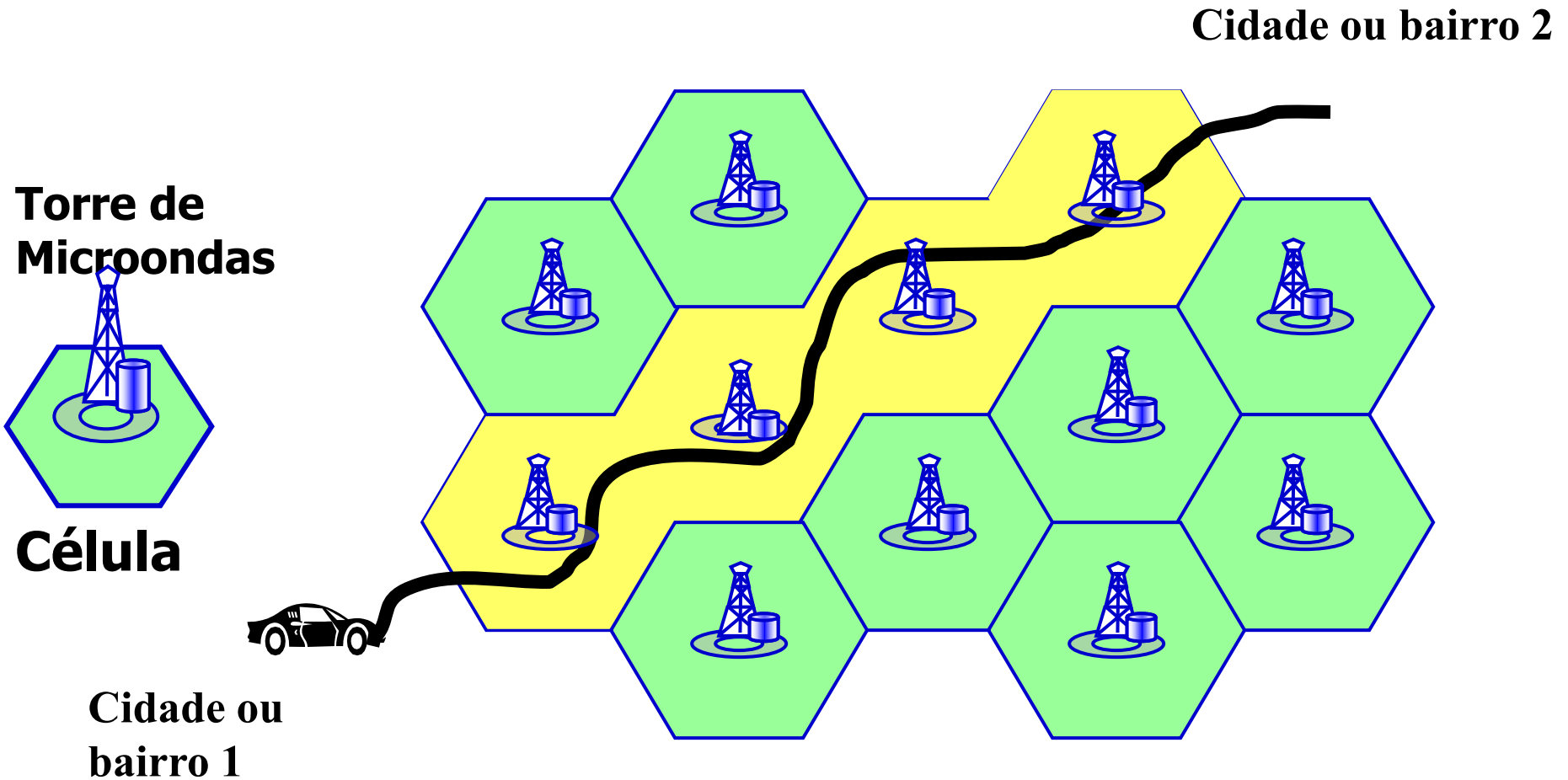
INTENSIDADE DO SINAL



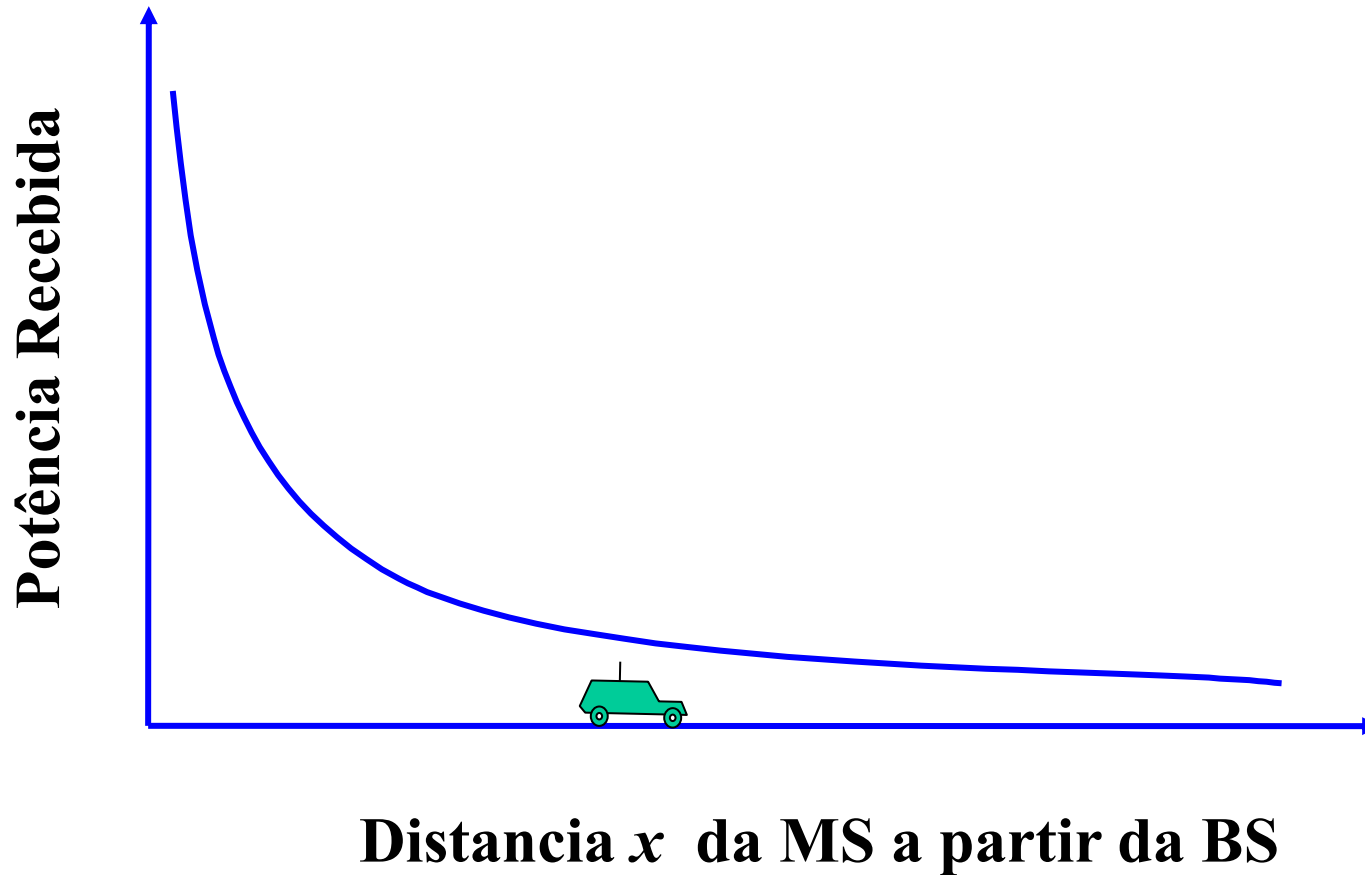
INTENSIDADE REAL DO SINAL



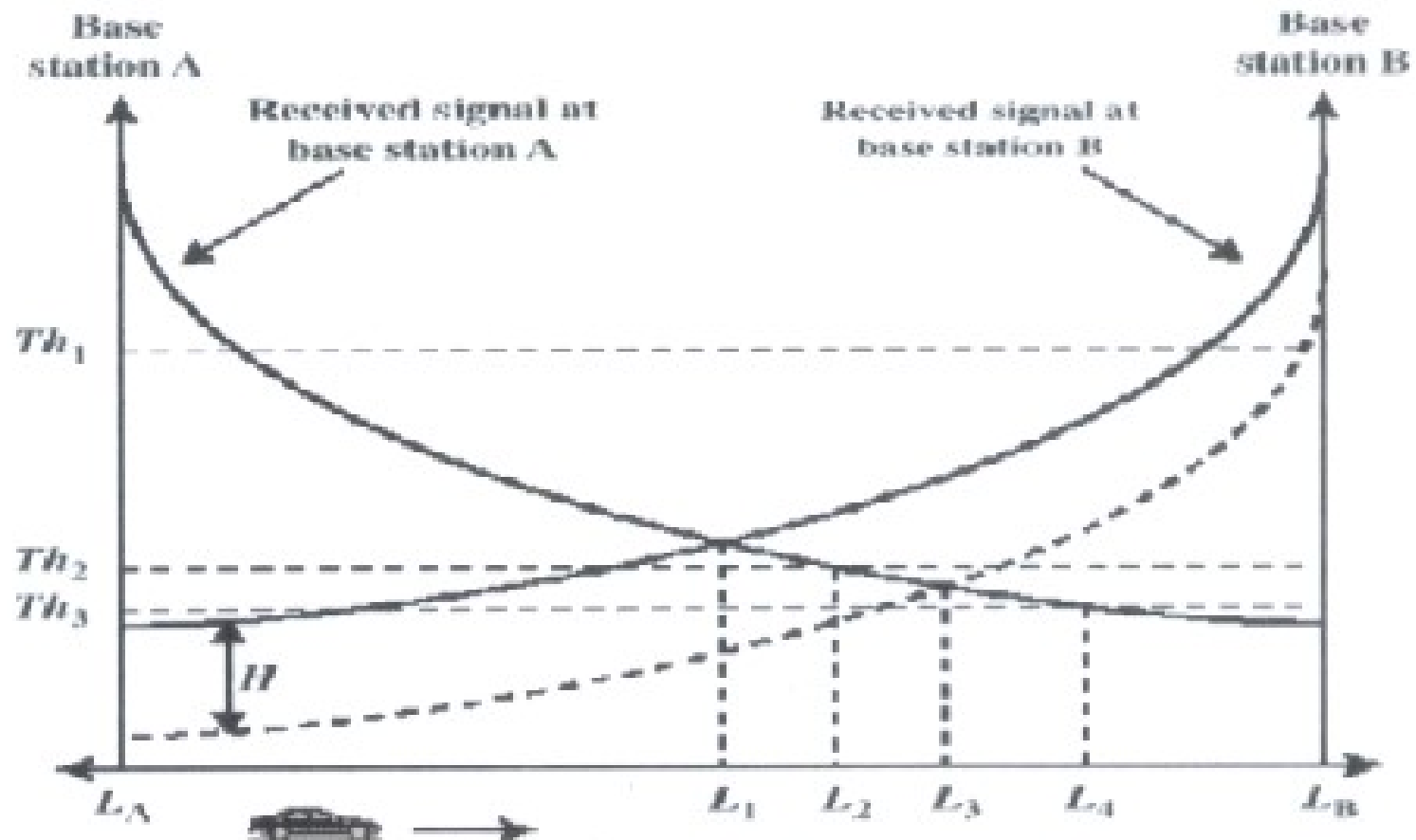
COBERTURA CELULAR DURANTE MOVIMENTAÇÃO



VARIAÇÃO DA POTÊNCIA RECEBIDA

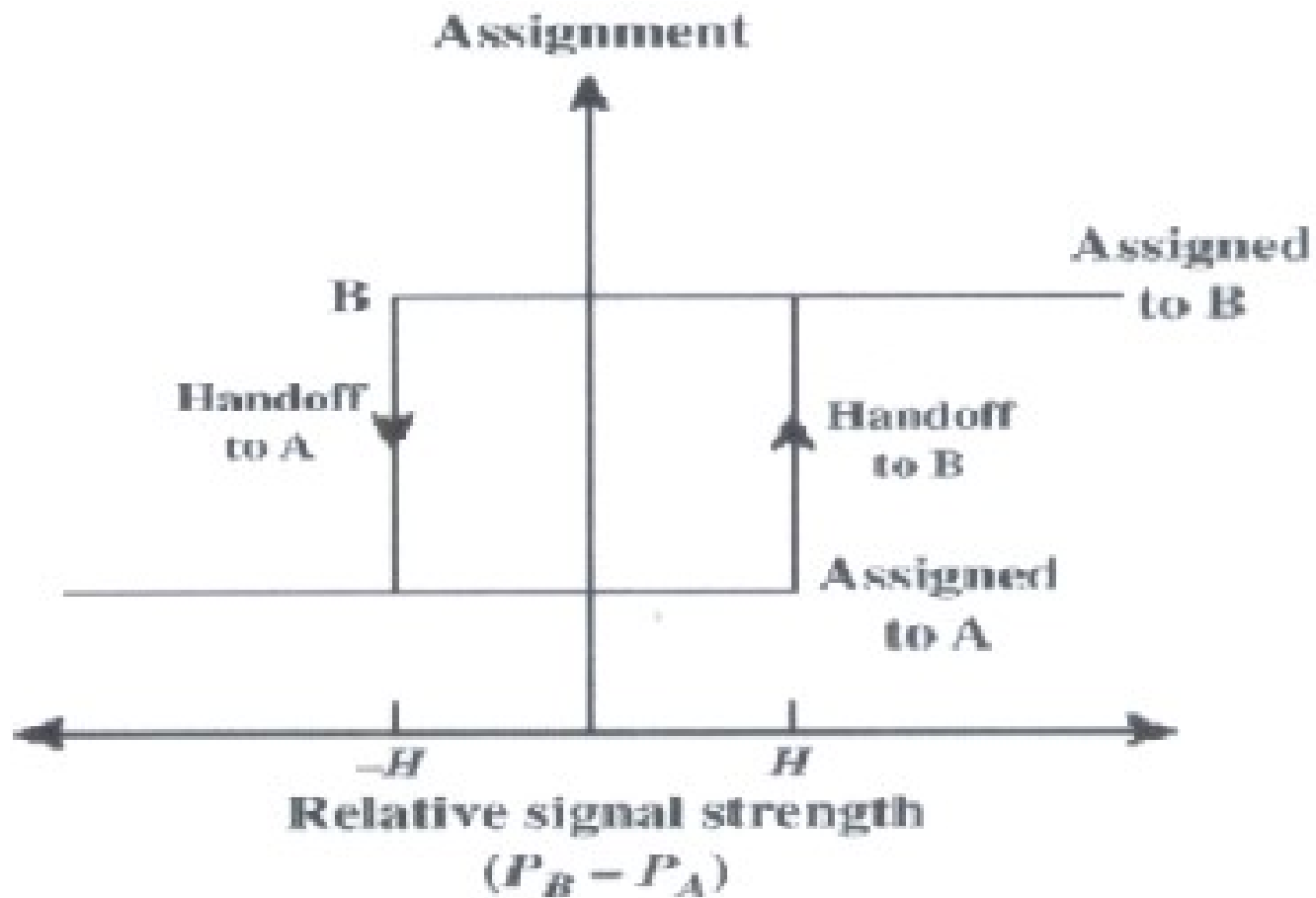


HANDOVER or HANDOFF



(a) Handoff decision as a function of handoff scheme

HANDOVER or HANDOFF



(b) Hysteresis mechanism

CONTROLE DE POTÊNCIA

É desejável dispor de um controle de potência dinâmico:

- ❑ A potência recebida deve ser suficiente para que o ruído de fundo não afete a comunicação.

É desejável reduzir a potência, para:

- minimizar a interferência entre canais (co canal);
- aumentar autonomia; e
- reduzir problemas de saúde.

Em sistemas que usam CDMA, é desejável equalizar o nível de potência recebido de todas as u.m.

CONTROLE DE POTÊNCIA

- **Potências dos sinais:**
 - Tx no enlace direto: deve ser maior que o ruído de fundo;
 - Tx no uplink \Leftrightarrow reflexos sobre interferência co-canal, bateria, saúde.
- **Reflexão, difração, espalhamento, “fading”** \rightarrow variações do sinal

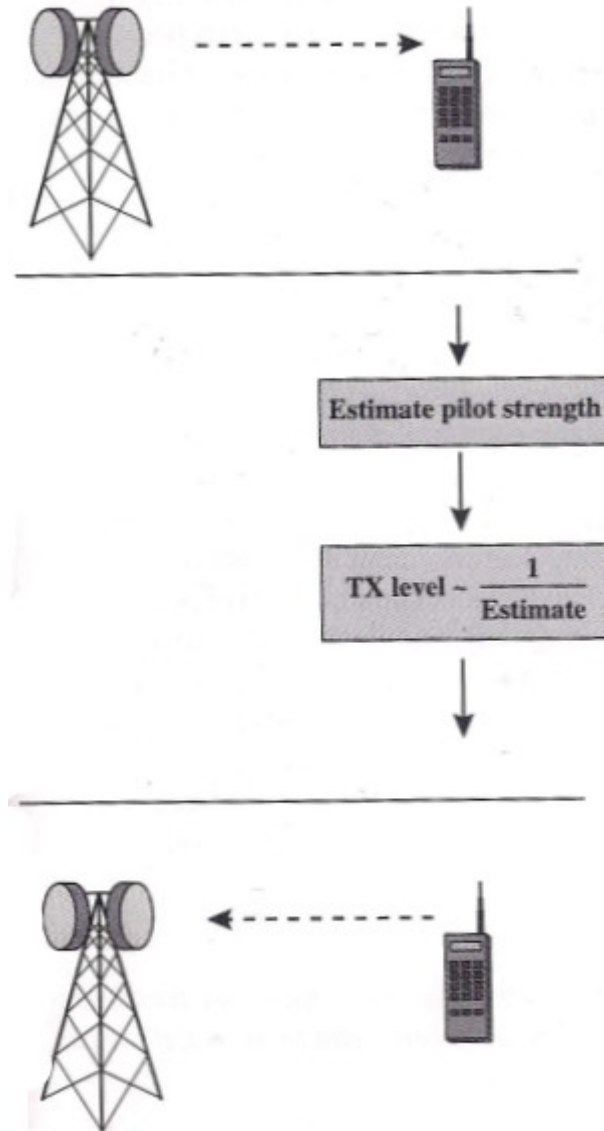
Controle de potência por loop aberto

- depende unicamente da u.m.; sem feedback da BS;
 - u.m. monitora sinal recebido do piloto; potência de Tx uplink inversamente proporcional;
- não tem a precisão do loop fechado, mas pode reagir rapidamente a flutuações de sinal.

Controle de potência por loop fechado

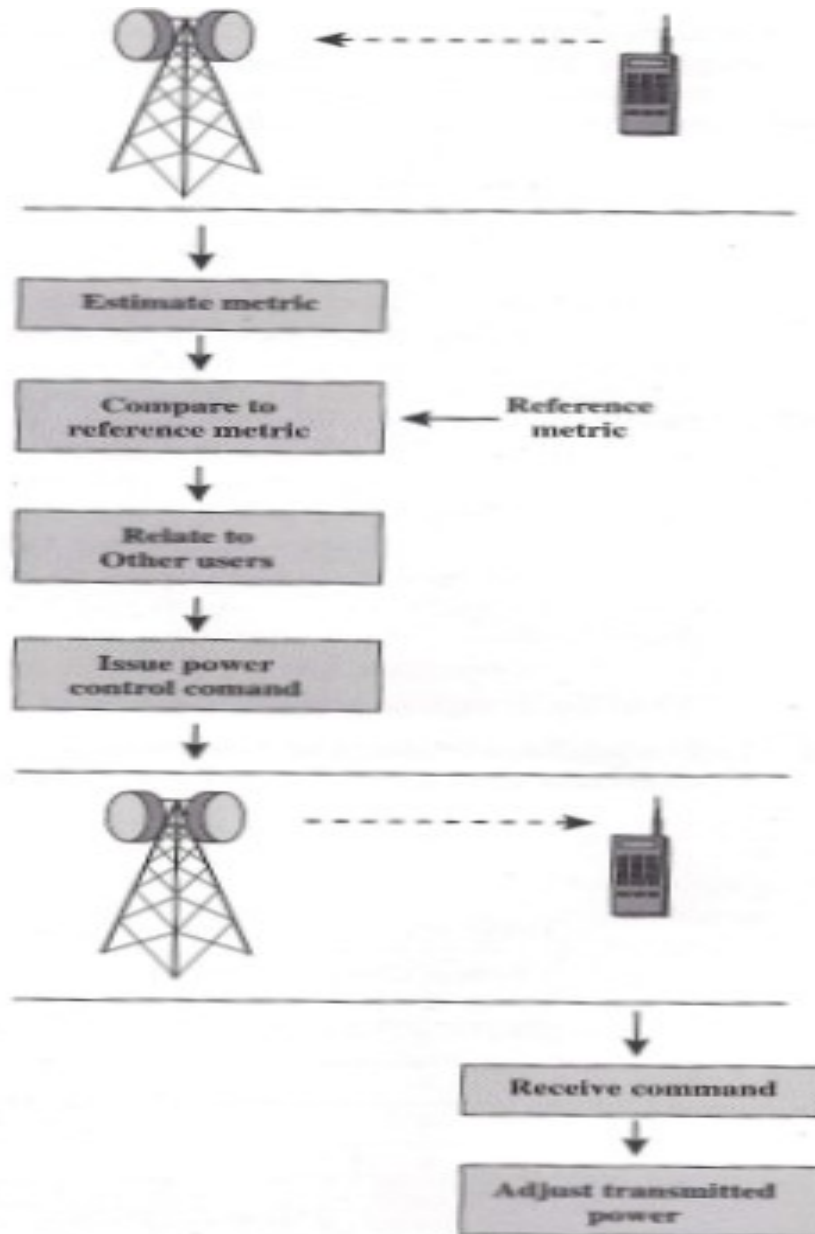
- estação base decide o ajuste de potência e o comunica a u.m.
 - métricas de ajuste: nível de pot. e SNR do sinal recebido, BER

CONTROLE DE POTÊNCIA



(a) Open-loop power control

CONTROLE DE POTÊNCIA



(b) Closed-loop power control

O SISTEMA

GSM

GSM: Overview

- ❑ Anteriormente: *Groupe Spéciale Mobile* (fundado 1982)
- ❑ Hoje: *Global System for Mobile Communication*
- ❑ Padrão Pan-Europeu (ETSI, European Telecommunications Standardisation Institute)
- ❑ Mais de 130 países na Ásia, África, Europa, Austrália, América
- ❑ Para uma visão atualizada, consultar:
<https://www.worldtimezone.com/gsm.html>

Características de Performance do GSM

Comunicação

- ❑ Mobilidade, comunicação sem fio; suporta serviços de voz e dados

Mobilidade Total

- ❑ Acesso Internacional, cartões-chip permitem o uso de diferentes provedores

Conectividade Através do Mundo

- ❑ Um único número, a rede provê a localização

Alta Capacidade

- ❑ Boa eficiência espectral, células menores, mais usuários por célula

Alta qualidade de Transmissão

- ❑ Alta qualidade de áudio, chamadas ininterruptas a grandes velocidades (ex: em carros e trens)
- ❑ Controle de acesso, autenticação via cartão-chip e PIN

Desvantagens do GSM

Não existe um sistema perfeito!!!

- ❑ Sem encriptação fim-a-fim dos dados do usuário
- ❑ O usuário não tem acesso a todo um canal de 64 kbit/s
- ❑ Possibilidade de abusos de dados privados
- ❑ Perfis de roaming acessíveis
- ❑ Alta complexidade do sistema
- ❑ Muitas incompatibilidades dentro dos padrões GSM

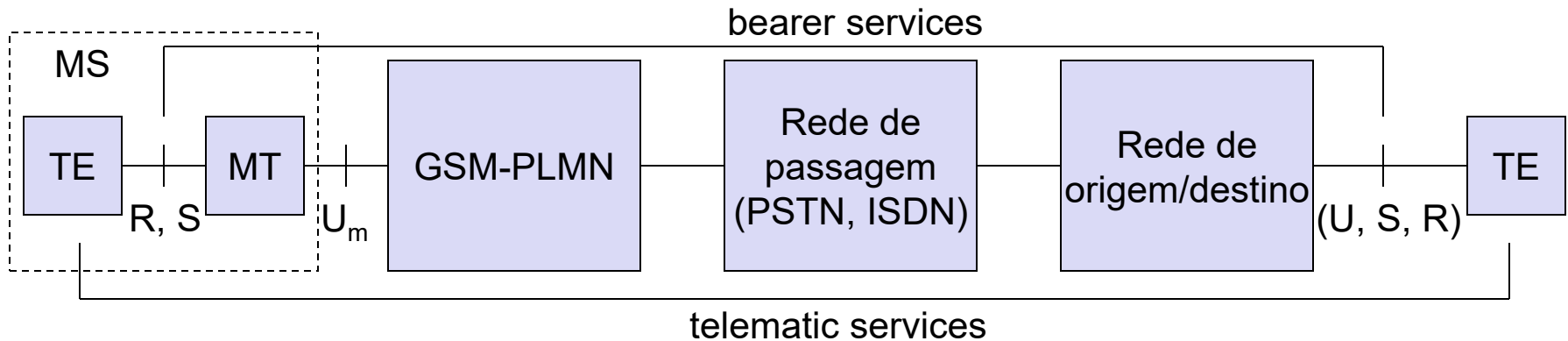
GSM: Serviços

GSM oferece

- ❑ Vários tipos de conexão
 - Conexão de voz, dados, SMS (short message service)
- ❑ Opção de multi-serviços (combinação de serviços básicos)

Três domínios de serviço

- ❑ Serviços de Portadora (Bearer Services)
- ❑ Serviços de Telemática (Telematic Services)
- ❑ Serviços Suplementares (Supplementary Services)



Serviços de portadora

- ❑ Serviços de telecomunicação para transferência de dados entre dois pontos de acesso
- ❑ Especificação dos serviços para interface com o terminal (Camadas 1-3 OSI)
- ❑ Diferentes taxas de transmissão para voz e dados
 - ❑ Serviço de dados (comutação de circuito)
 - síncrona: 2.4, 4.8 or 9.6 kbit/s
 - assíncrona: 300 - 1200 bit/s
 - ❑ Serviço de dados (comutação de pacotes)
 - síncrona: 2.4, 4.8 or 9.6 kbit/s
 - assíncrona: 300 - 9600 bit/s

Serviços de Telecomunicação I

- ❑ Serviços de Telecomunicação que permitem comunicação de voz via telefones moveis
- ❑ Todos esse serviços devem ter certas funcionalidades, medidas de segurança, etc.
- ❑ Serviços Oferecidos
 - ❑ telefone móvel

Objetivo preliminar do GSM era permitir que os telefones moveis funcionassem na banda tradicional de 3.1 kHz
 - ❑ Número de emergência

Um número comum na Europa (112); obrigatório para todos os provedores de serviços; sem custos; chamadas com maior prioridade

Serviços de Telecomunicação II

Serviços Adicionais

❑ Non-Voice-Teleservices

- Fax grupo 3
- Secretaria eletrônica
- Correio eletrônico
- Telemetria
- Short Message Service (SMS)

transmissão de dados alfanuméricos de/para o terminal móvel usando o canal de controle, permitindo simultaneamente a utilização dos serviços básicos e SMS

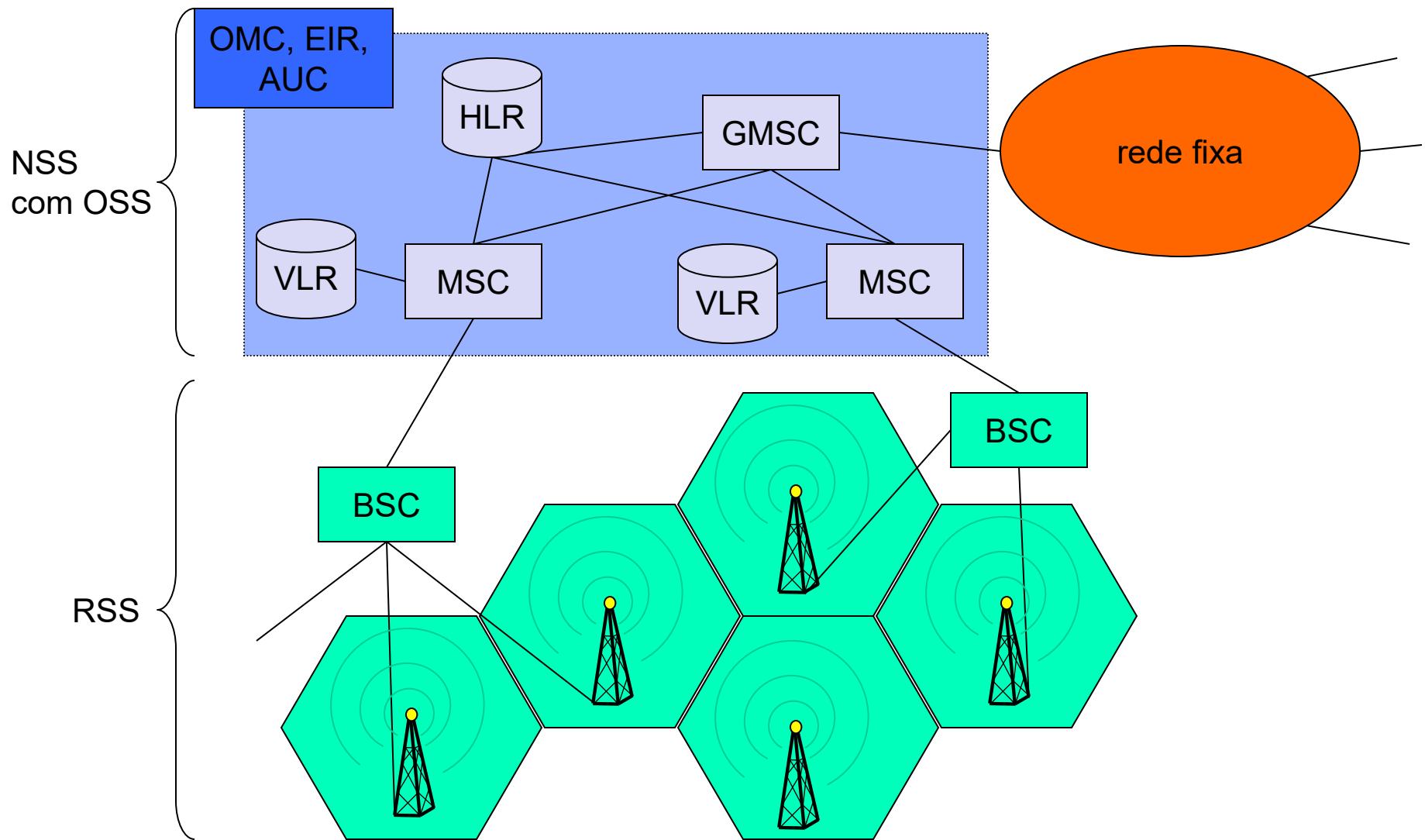
Serviços Suplementares

- ❑ Serviços adicionais, não podendo ser oferecidos sem o pacote de serviços básicos
- ❑ Pode diferir entre provedores de serviços distintos, países
- ❑ Serviços importantes
 - ❑ Identificação: envio do numero do assinante
 - ❑ Omissão do envio do número do assinante
 - ❑ Chamada de retorno automática
 - ❑ Conferencia com até 7 participantes
 - ❑ Travamento do terminal móvel (recebimento e iniciação de chamadas)
 - ❑ ...

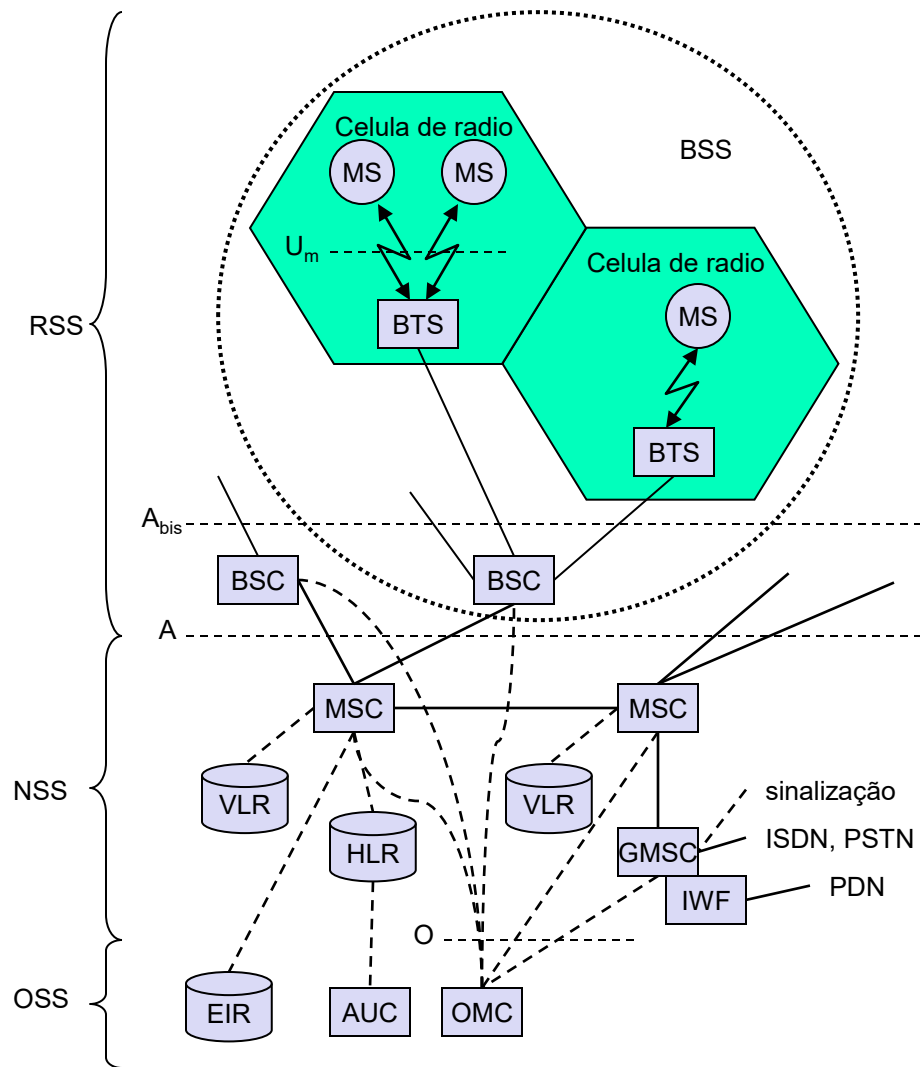
Arquitetura do Sistema GSM

- GSM permite implementar uma PLMN (*Public Land Mobile Network* – Rede móvel terrestre pública)
 - ❑ Vários provedores implementam redes moveis seguindo os padrões do GSM em cada pais
 - ❑ Subsistemas
 - RSS (subsistema de Radio): cobre todos os aspectos de radio
 - NSS (Subsistema de interconexão e rede)): envio de chamadas, handover, comutação
 - OSS (Subsistema de operação): operação/gerência da rede

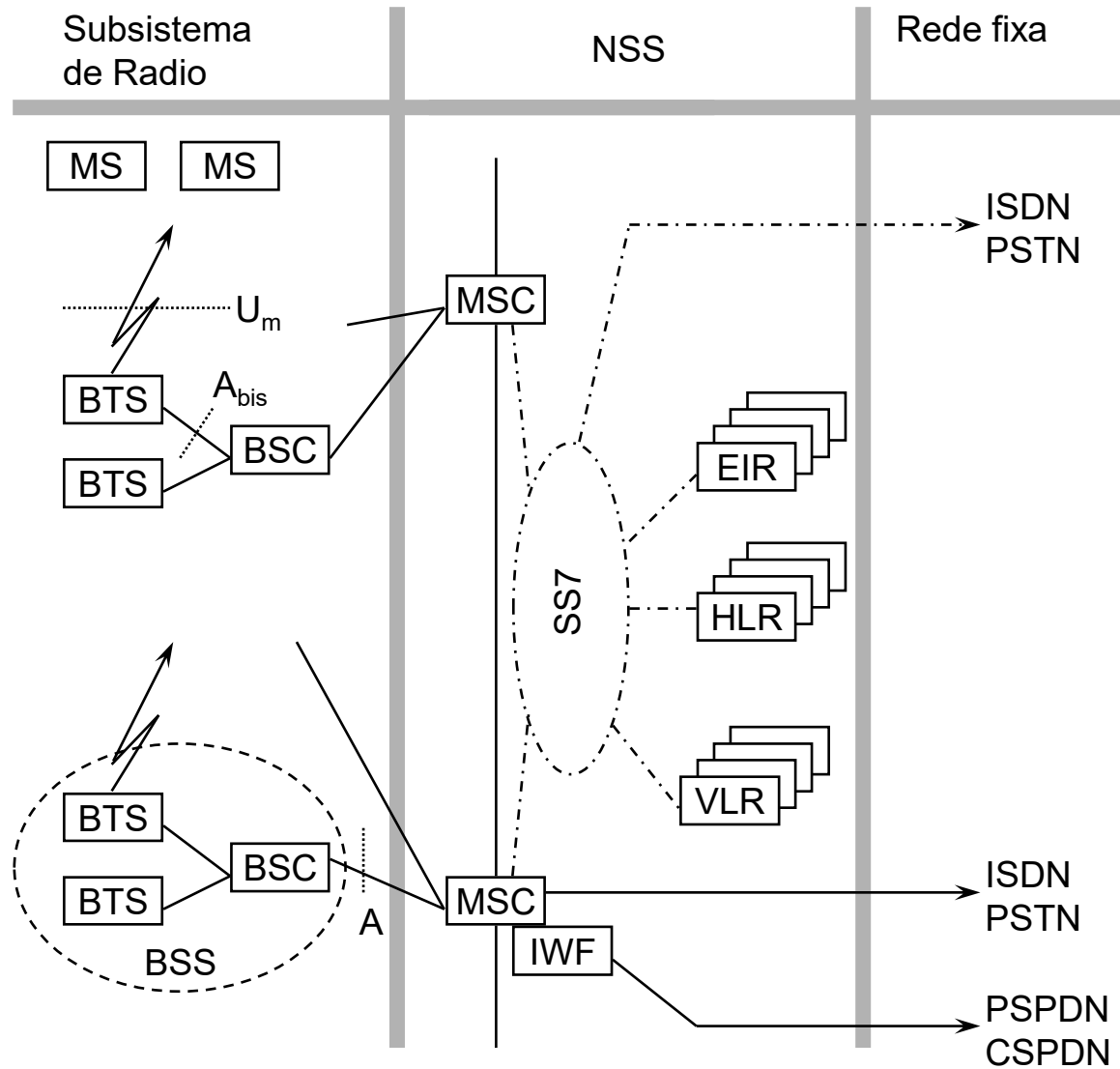
GSM - arquitetura



GSM: Elementos e Interfaces

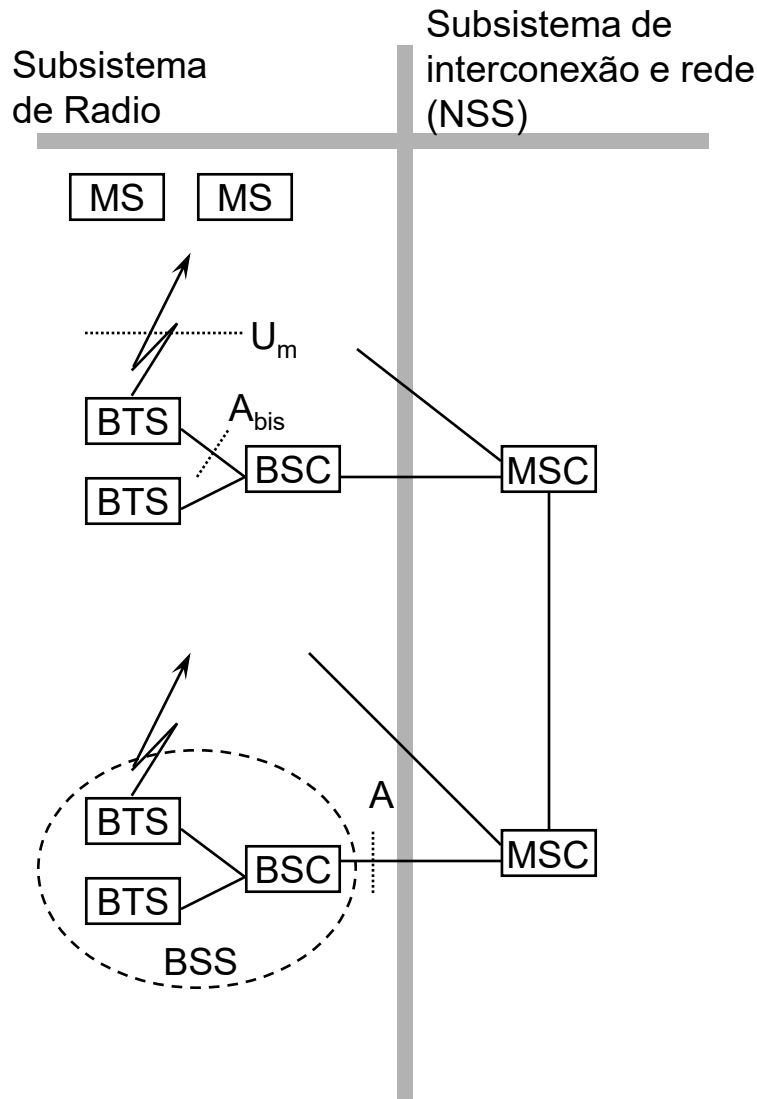


GSM: Arquitetura do Sistema



SS7: Signaling System
Nr. 7 ("out of band")

Arquitetura do Sistema : Subsistema de Radio



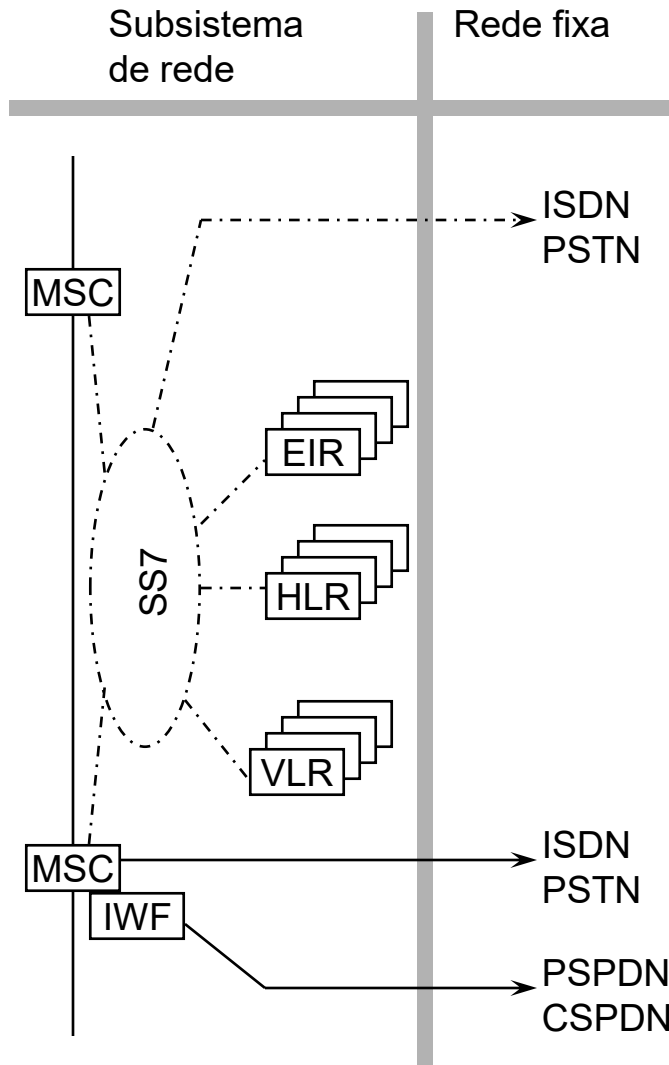
Componentes

- ❑ **MS** (Estação Móvel)
- ❑ **BSS** (Subsistema estação radio base): consiste em
 - **BTS** (Base Transceiver Station): receptor e transmissor
 - **BSC** (Base Station Controller): controle de vários transceivers

Interfaces

- ❑ U_m : interface de radio
- ❑ A_{bis} : padronizada, interface aberta com canais de 16 kbit/s para o usuário
- ❑ A : padronizada, interface aberta com canais de 64 kbit/s para o usuário

Arquitetura do Sistema : Subsistema de interconexão e rede



□ Componentes

- *MSC* (Mobile Services Switching Center):
- *IWF* (Interworking Functions)
- *ISDN* (Integrated Services Digital Network)
- *PSTN* (Public Switched Telephone Network)
- *PSPDN* (Packet Switched Public Data Net.)
- *CSPDN* (Circuit Switched Public Data Net.)

□ Bases de Dados

- *HLR* (Home Location Register)
- *VLR* (Visitor Location Register)
- *EIR* (Equipment Identity Register)

□ SS7: Signaling System nr. 7

Comutador e Bases de Dados

CCC Centro de Comutação e Controle

- *Processamento da chamada*
- *Difusão dos parâmetros do sistema*
- *Gerencia o processo de paging*
- *Coordena atividades de handoff e roaming*

AuC Centro de Autenticação

- *Entidade responsável pelo gerenciamento, autenticação e processos de verificação associados a um assinante.*

HLR Home Location Register

VLR Visitor Location Register

- *Usados para suportar roaming automático*
- *Responsável por manter os registros (perfis) das u.m.'s*
- *Responsável em atribuir um MIN a todo MS em serviço (HLR).*
- *Armazenar os ESN das u.m.'s (HLR)*

EIR Equipment Identification Register

- *Registro para a identidade do equipamento do usuário para propósitos de autenticação*

OMC Oper and Maintenance Center

- *Controla entidades de rede*
- *Monitora tráfego, archit. TMN, uso SS7*

Subsistema de Radio

O subsistema de radio (RSS) conecta a rede celular móvel aos centros de comutação

❑ Componentes

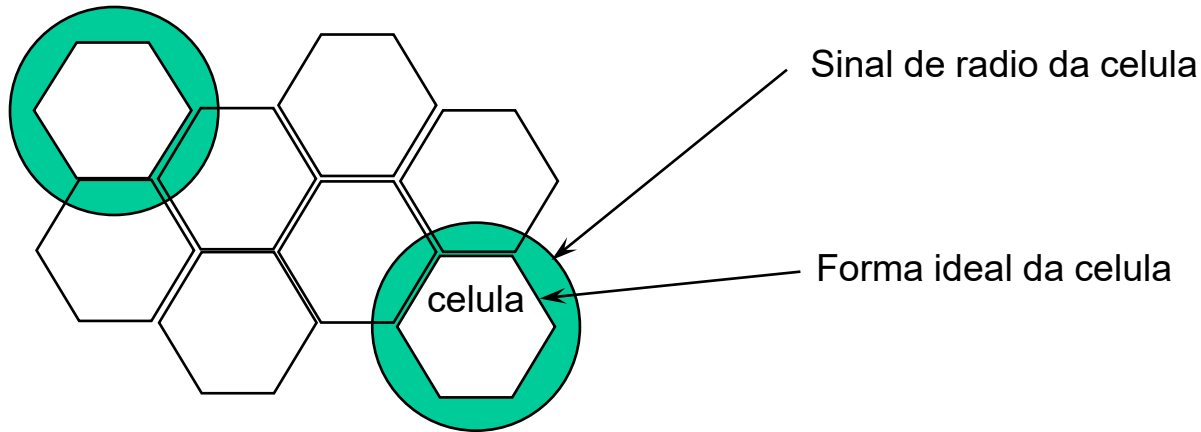
❑ Subsistema estação radio Base (BSS):

- Base Transceiver Station (BTS): componentes de radio incluindo transmissores, receptores, antenas – caso seja utilizado antenas direcionais uma BTS pode cobrir diversas células
- Base Station Controller (BSC): conexão entre diferentes BTSs, controle de BTSs, gerencia dos recursos da rede, mapeamento dos canais de radio (U_m) em canais terrestres (interface A)
- $BSS = BSC + \text{sum}(BTS) + \text{interconexão}$

❑ Estações Moveis (MS)

GSM: Rede Celular

Segmentação da área em células



- ❑ Utilização de várias portadoras de frequência
- ❑ Frequências diferentes para células adjacentes
- ❑ Tamanho da célula varia de 100 m até 35 km dependendo da densidade de usuários, da topologia geográfica, potencia de transmissão, etc.
- ❑ O formato hexagonal da célula é o ideal
- ❑ Se um usuário troca de célula
 - ❑ Ocorre o handover da conexão entre as células vizinhas

Base Transceiver Station e Base Station Controller

As tarefas do BSS são distribuídas entre BSC e BTS

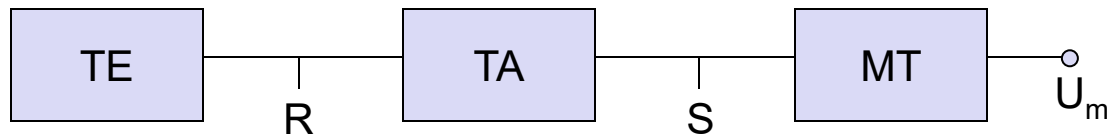
- ❑ BTS é responsável pelas funções de radio
- ❑ BSC é o comutador dos canais radio
- ❑ Corrigir: Adaptação da taxa de transmissão

Funções	BTS	BSC
Gerencia dos canais de Radio		X
Frequency hopping (FH)	X	X
Gerencia dos canais terrestres		X
Mapeamento dos canais terrestres em canais de radio		X
De/Codificação de canal	X	
Adaptação de taxa de transmissão	X	
Encriptação/desencriptação	X	X
Paging	X	X
Medição do sinal de Uplink	X	
Medição de Trafego		X
Autenticação		X
Location registry, location update		X
Gerenciamento de Handover		X

Estação Móvel (MS)

Terminal do usuário dos serviços GSM

- ❑ Um MS compreende vários grupos funcionais
 - ❑ MT (Mobile Terminal):
 - funções comuns utilizadas por todos os serviços que o MS oferece
 - corresponde à terminação de rede (network termination - NT) de um acesso ISDN
 - ponto de terminação da interface de radio (U_m)
 - ❑ TA (Terminal Adapter):
 - a adaptação terminal, esconde as características específicas do rádio
 - ❑ TE (Terminal Equipment):
 - dispositivo periférico do MS, oferece serviços ao usuário
 - não contém funções específicas do GSM
 - ❑ SIM (Subscriber Identity Module):
 - personalização do terminal móvel, armazena os parâmetros do usuário



Subsistema de interconexão e rede (NSS)

NSS é o componente principal da rede publica GSM

- ❑ interconexão, gerencia de mobilidade, interconexão com outras redes, controle do sistema

❑ Componentes

- ❑ Mobile Services Switching Center (MSC)
 - controla todas as conexões, por uma rede separada, de/para os terminais moveis dentro da área de cobertura de uma MSC – - várias BSC podem pertencer a uma mesma MSC
- ❑ Bases de Dados (escalabilidade, alta capacidade, high capacity, pouco atraso)
 - Home Location Register (HLR)
 - Base de dados central contendo os dados dos usuários (um provedor pode ter varias HLRs)
 - Visitor Location Register (VLR)
 - Base de dados local para alguns dados de usuários.

Mobile Services Switching Center

O MSC (mobile switching center) tem um papel importante no GSM

- ❑ funções de interconexão
- ❑ funções adicionais para suporte a mobilidade
- ❑ gerencia dos recursos da rede
- ❑ Integração de varias bases de dados

❑ Funções do MSC

- ❑ funções específicas para paging e encaminhamento de chamadas
- ❑ terminação do SS7 (sistema de sinalização no. 7)
- ❑ sinalização específica de mobilidade
- ❑ Registro de localização e envio das informações de localização
- ❑ Provisionamento de novos serviços (fax, chamada de dados)
- ❑ Suporte a short message service (SMS)
- ❑ Geração e encaminhamento de informações de 'billing'

Subsistema de Operação

O OSS (Operation Subsystem) permite a operação, a gerência, e a manutenção centralizada de todos os subsistemas do GSM

❑ Componentes

❑ Authentication Center (AuC)

- Gera parâmetros específicos de autenticação do usuário requeridos pela VLR
- Parâmetros de autenticação usados por terminais móveis e para criptografia de dados do usuário na interface aérea dentro do sistema GSM.

❑ Equipment Identity Register (EIR)

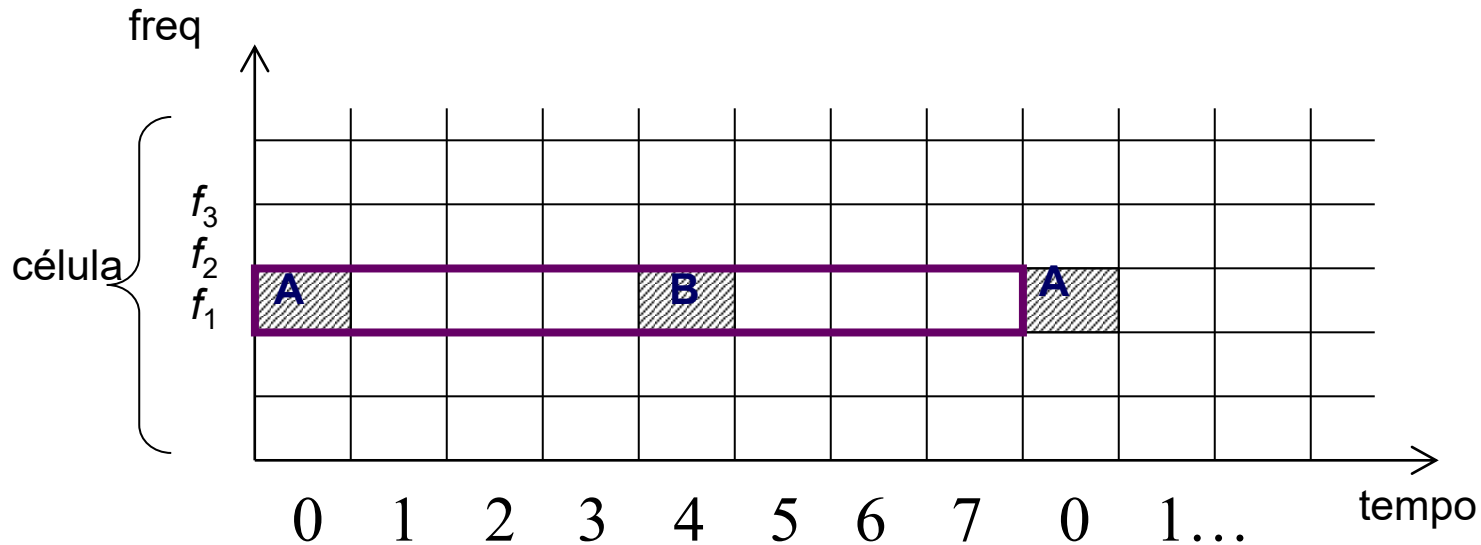
- Registra as estações GSM móveis e privilégios do usuário.
- Estações móveis que estão funcionando mal ou que foram roubadas podem ser bloqueadas ou até mesmo localizadas.

❑ Operation and Maintenance Center (OMC)

- Capacidades de controle diferentes para o subsistema de rádio e o subsistema da rede

GSM

- Uso de várias frequências (portadoras).
- Células: 100 m a 35 km (densidade demográfica, topografia, potência de Tx, etc).
- **Múltiplo Acesso = FDMA/TDMA**
 - FDMA \Rightarrow 200kHz
 - TDMA \Rightarrow 8 slots in a frame
 - ie. cada canal = $200\text{kHz}/8 = 25\text{kHz}$ (Bandwidth)



Parâmetros do GSM

- Downlink: 935 a 960 MHz
- Uplink: 890 a 915 MHz
- Banda do canal: 200 kHz
- Usuários por canal: 8
- Espaçamento entre canais direto e reverso: 45 MHz
- Número de canais full-duplex: 125
- Bit rate para codificação de voz: 13 kbps
- Modulação: GMSK

Processamento do Sinal de Voz no GSM

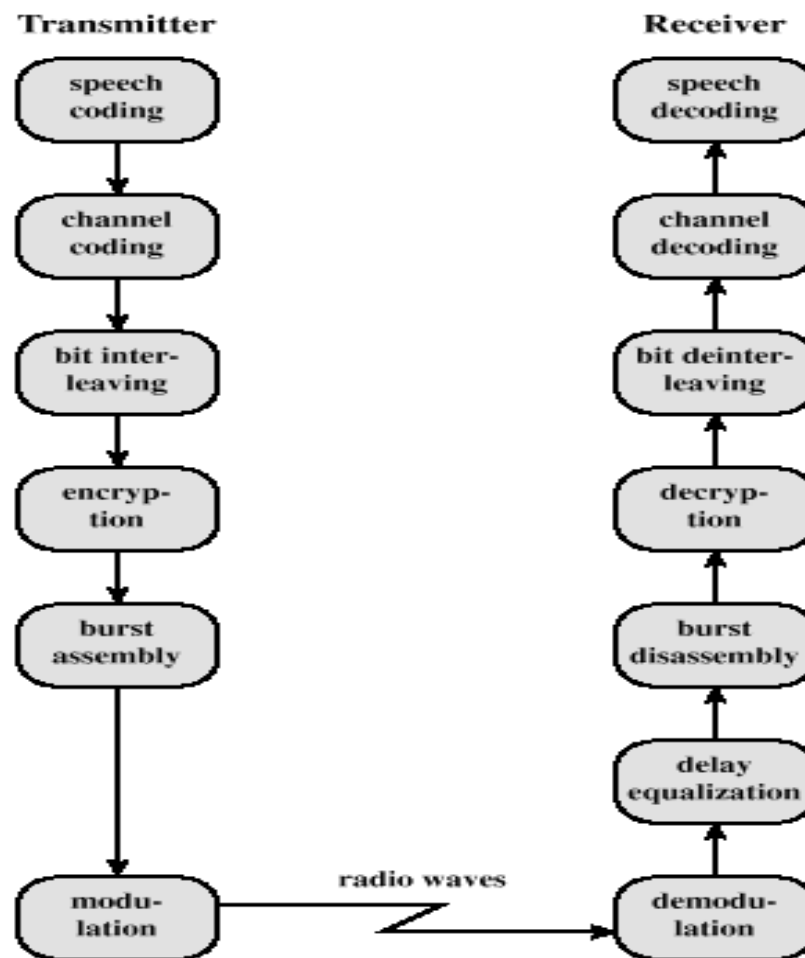
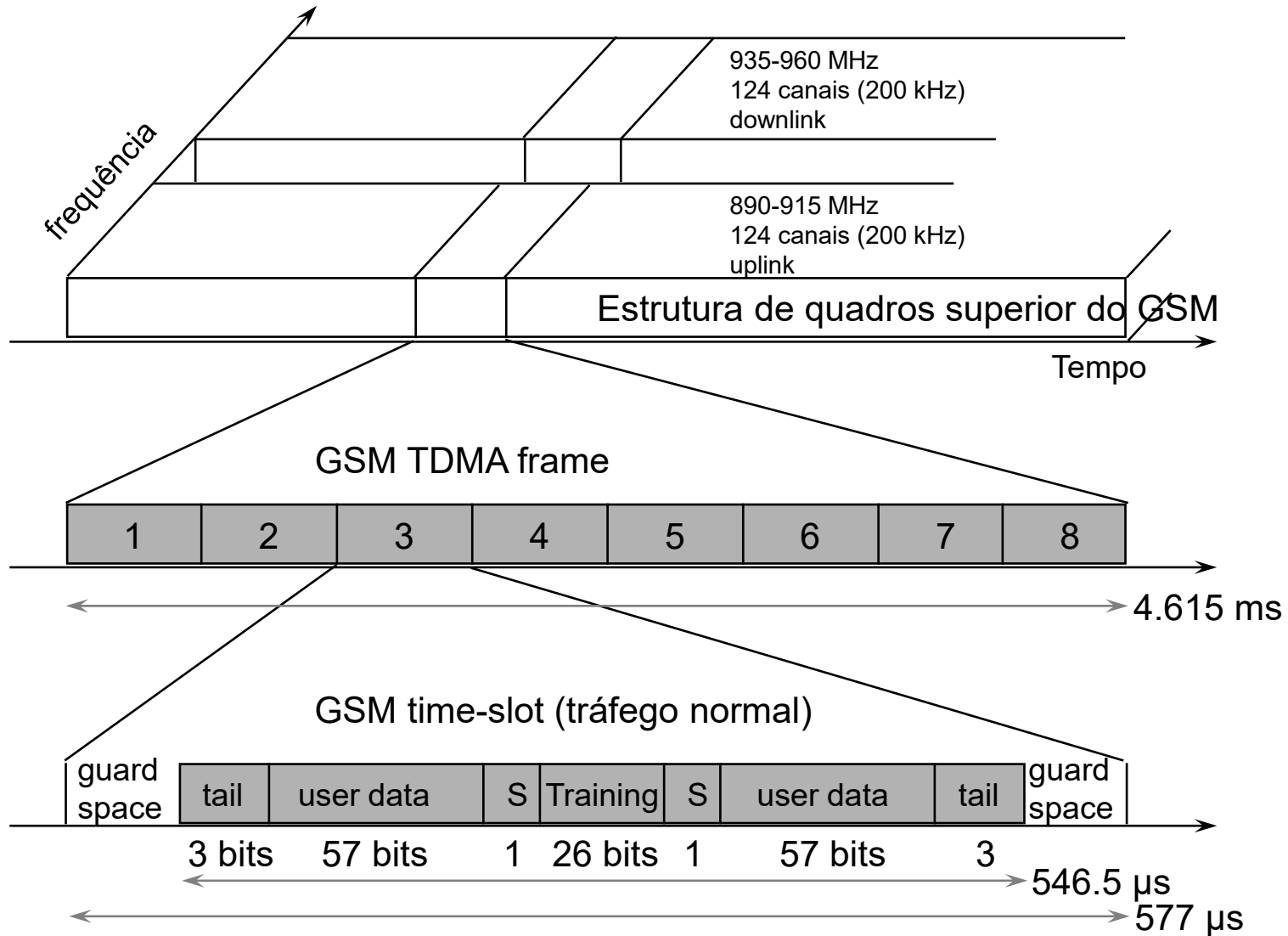


Figure 10.16 GSM Speech Signal Processing

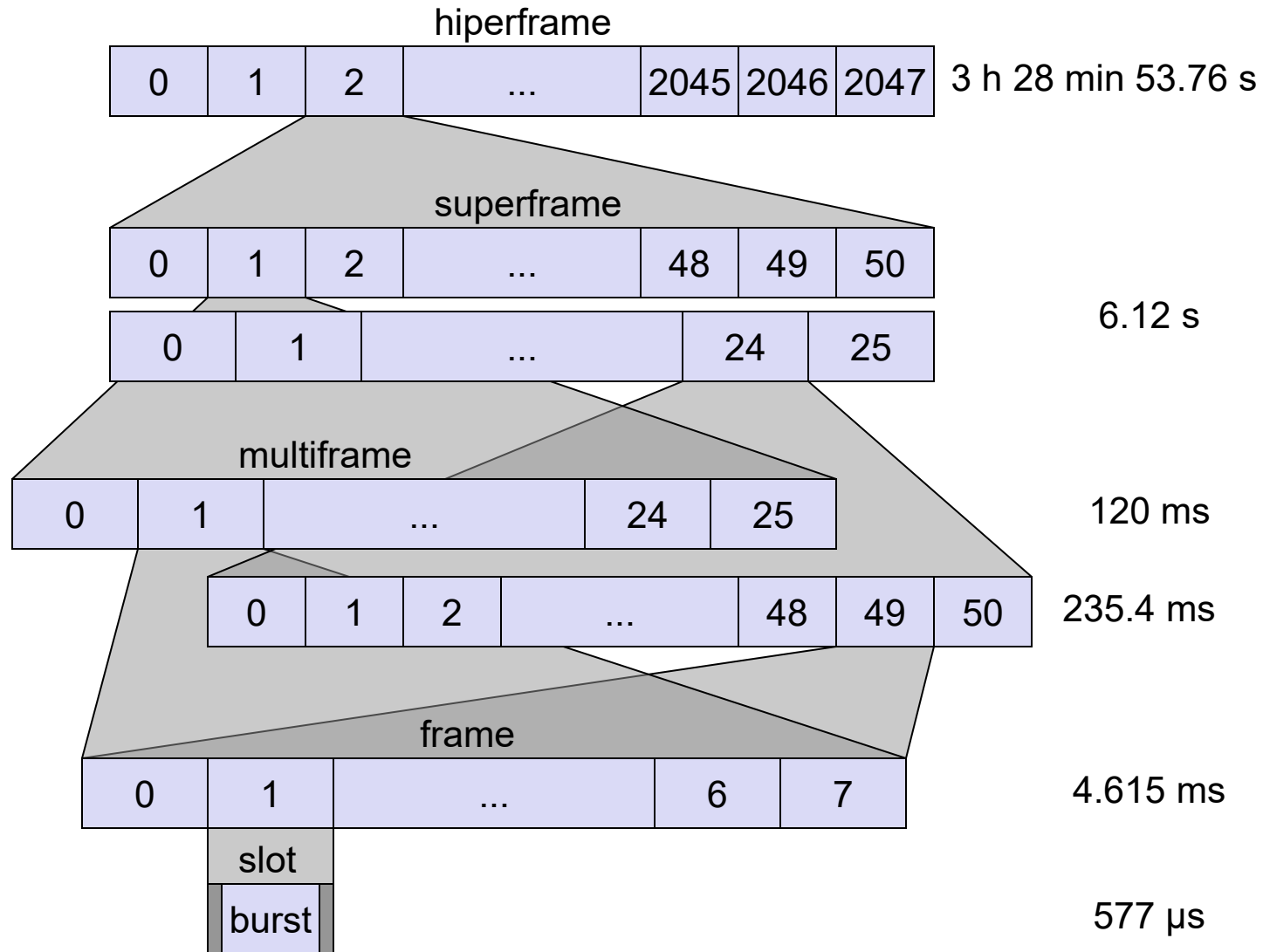
GSM: Canalizações

- ▶ Físico: TCH (Traffic Channel)
- ▶ Canais Lógicos usados para controle e sinalização (exemplos):
 - ▶ Synchronization channel (SCH):
 - prove sequências de treinamento às u.m.
 - ▶ Random access channel (RACH):
 - permite à u.m. solicitar um canal;
 - protocolo *Slotted Aloha*;
 - único canal sujeito a contenção no GSM.
 - ▶ Paging channel (PCH):
 - BS faz procura (paging) por u.m.
 - ▶

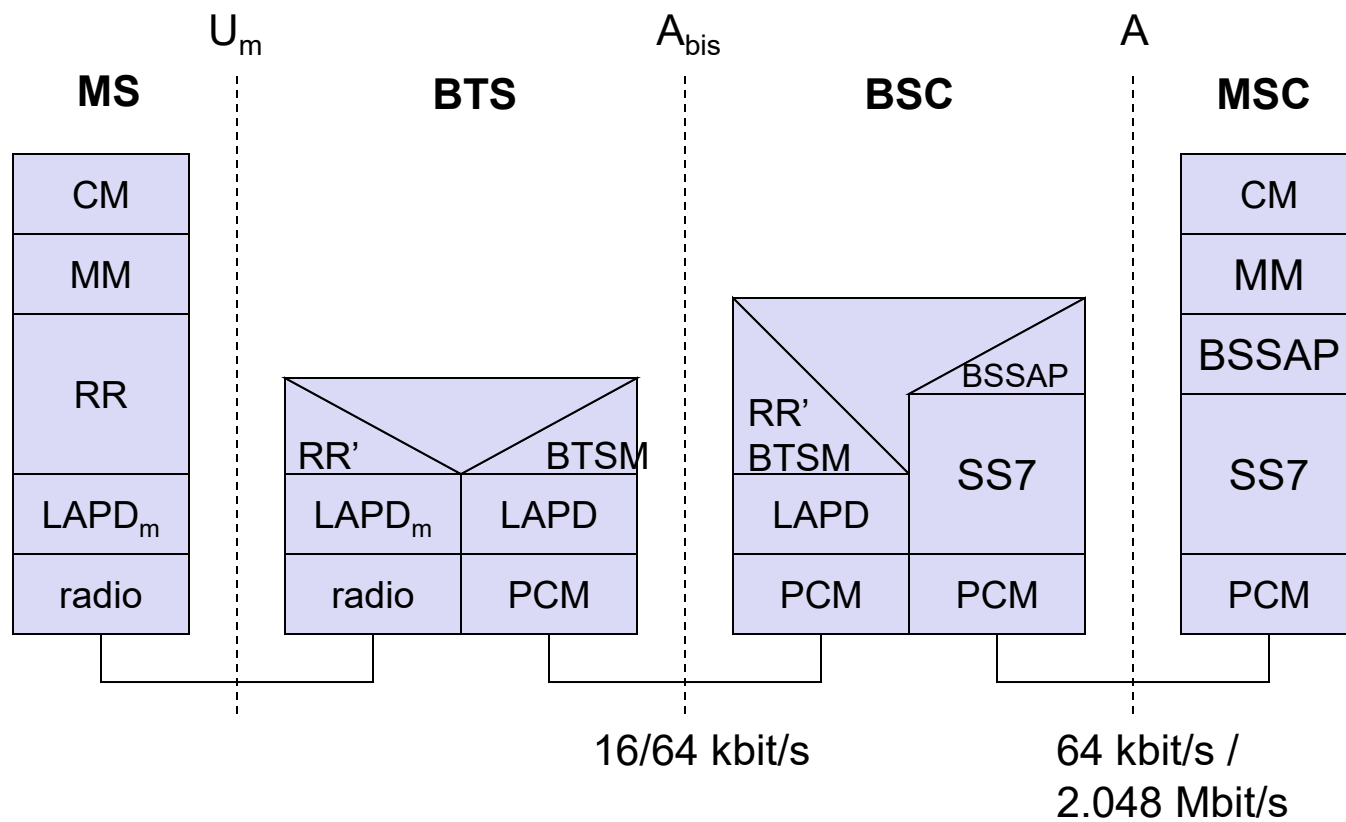
GSM - TDMA/FDMA



Hierarquia de Frames no GSM

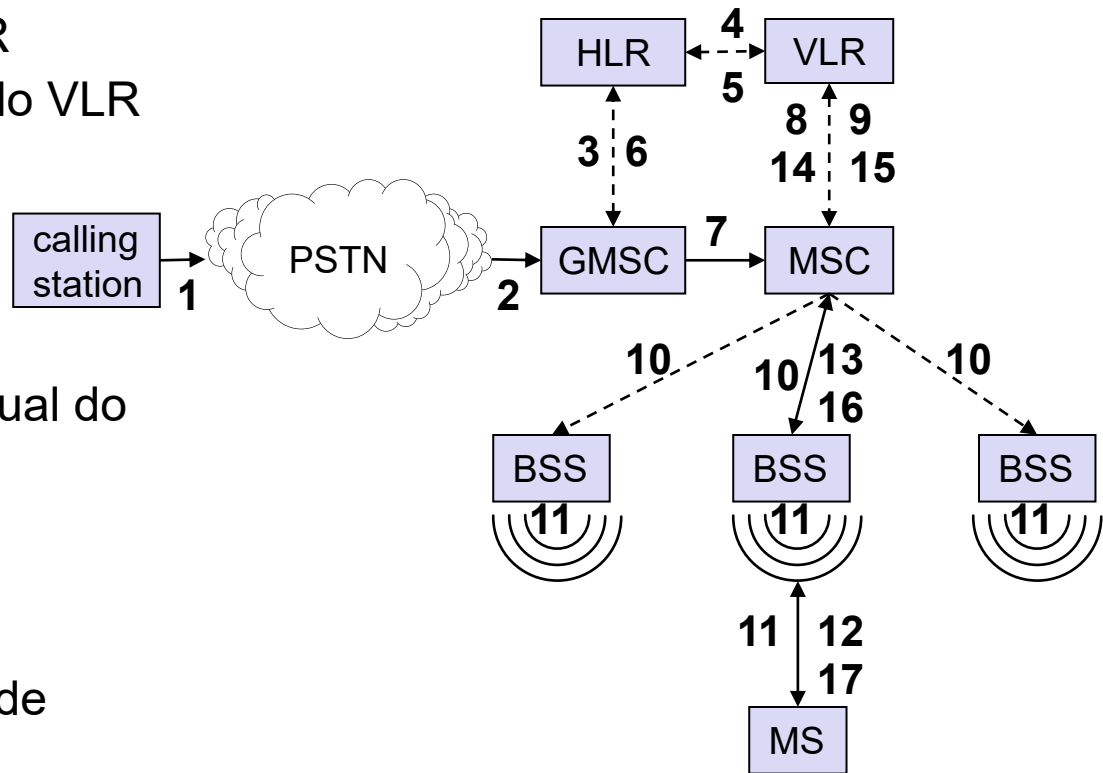


Camadas de sinalização do protocolo GSM



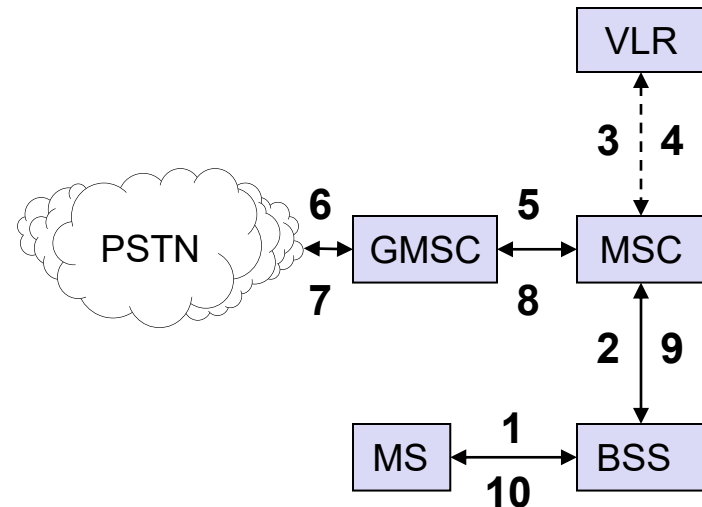
Etapas da Chamada de um móvel

- 1: chamada para um usuário GSM
- 2: envio de chamada para o GMSC
- 3: sinal de conexão com HLR
- 4, 5: requisição do MSRN pelo VLR
- 6: envio de resposta do MSC para GMSC
- 7: envio de chamada para o MSC atual
- 8, 9: verificação do estado atual do MS
- 10, 11: procurando pelo MS (paging)
- 12, 13: MS responde
- 14, 15: fazendo verificações de segurança
- 16, 17: estabelecimento da conexão

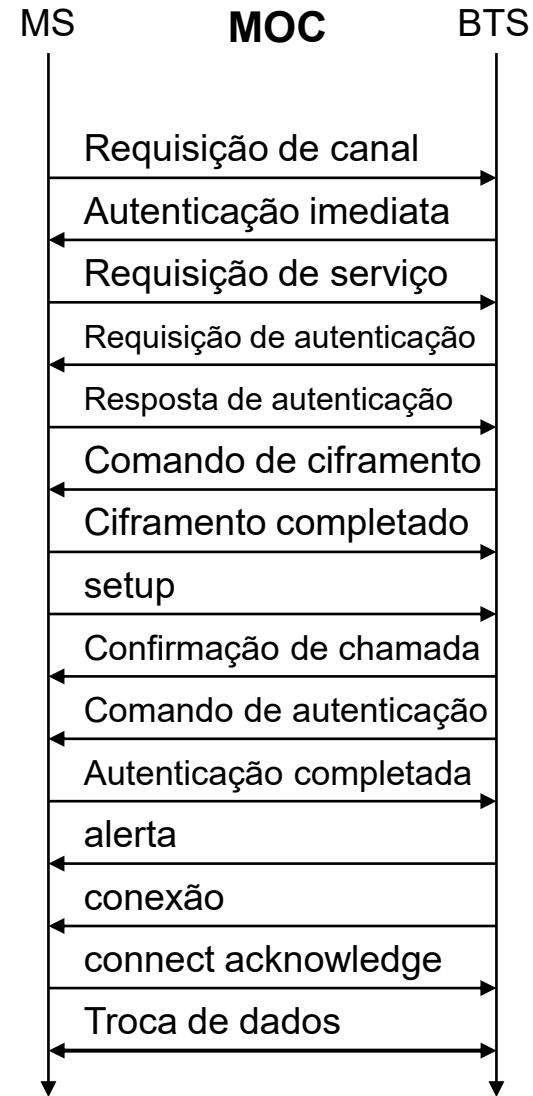
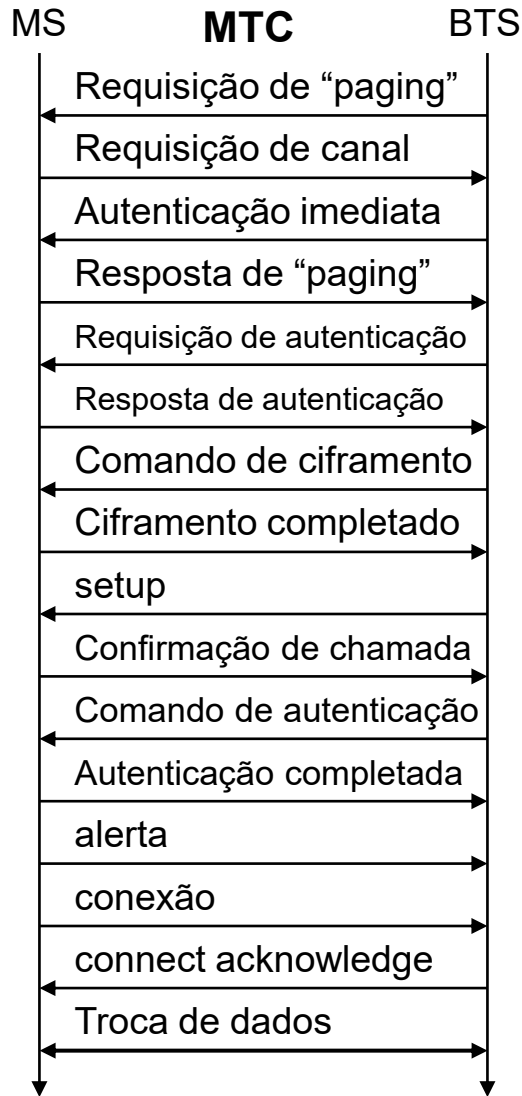


Processo de iniciação de uma chamada de um móvel

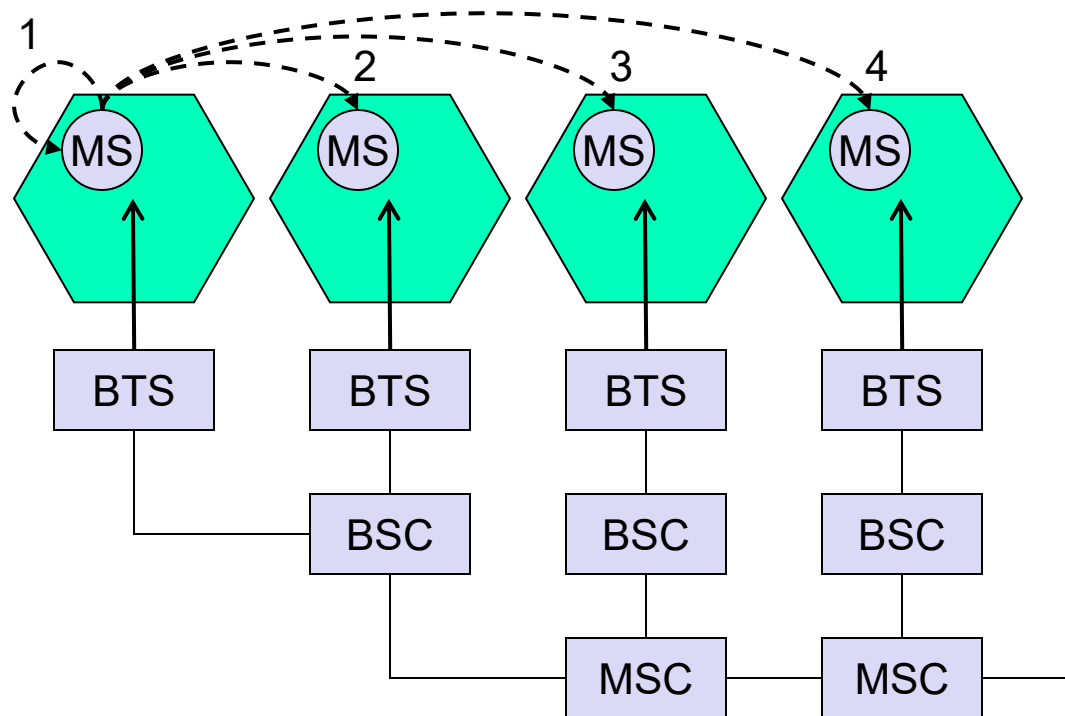
- 1, 2: requisição de conexão
- 3, 4: verificação de segurança
- 5-8: verificação de recursos
(disponibilidade do canal)
- 9-10: configuração da chamada



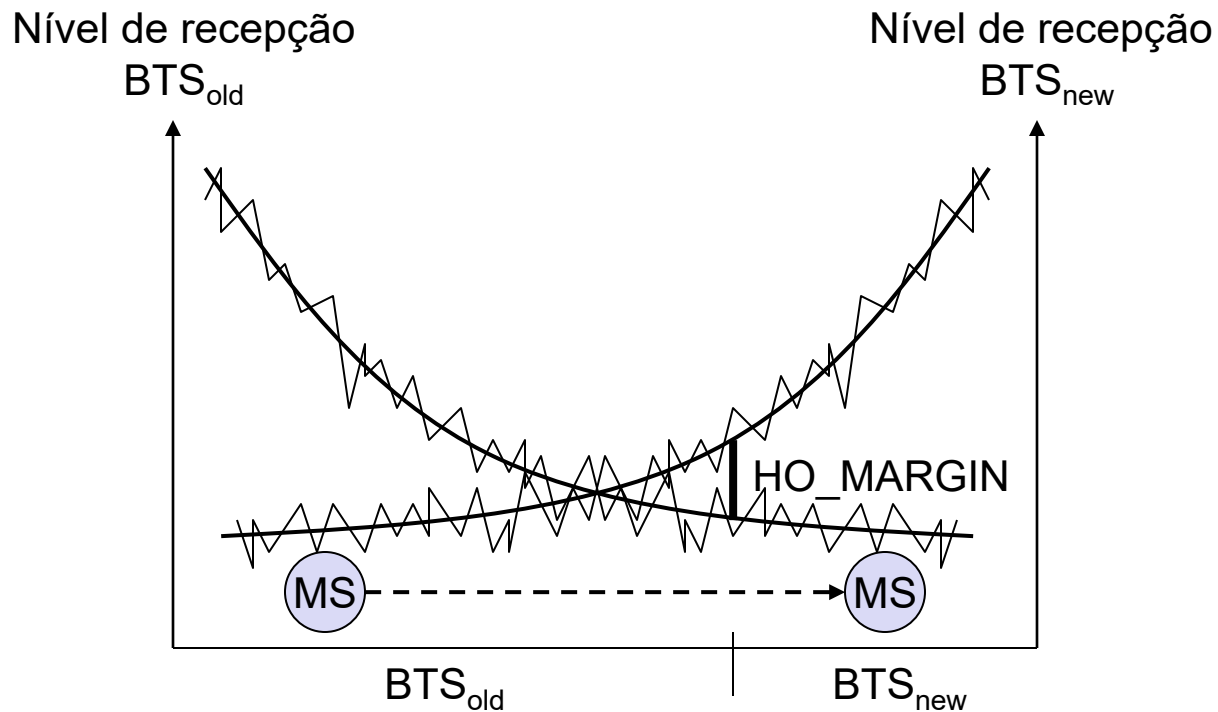
MTC/MOC



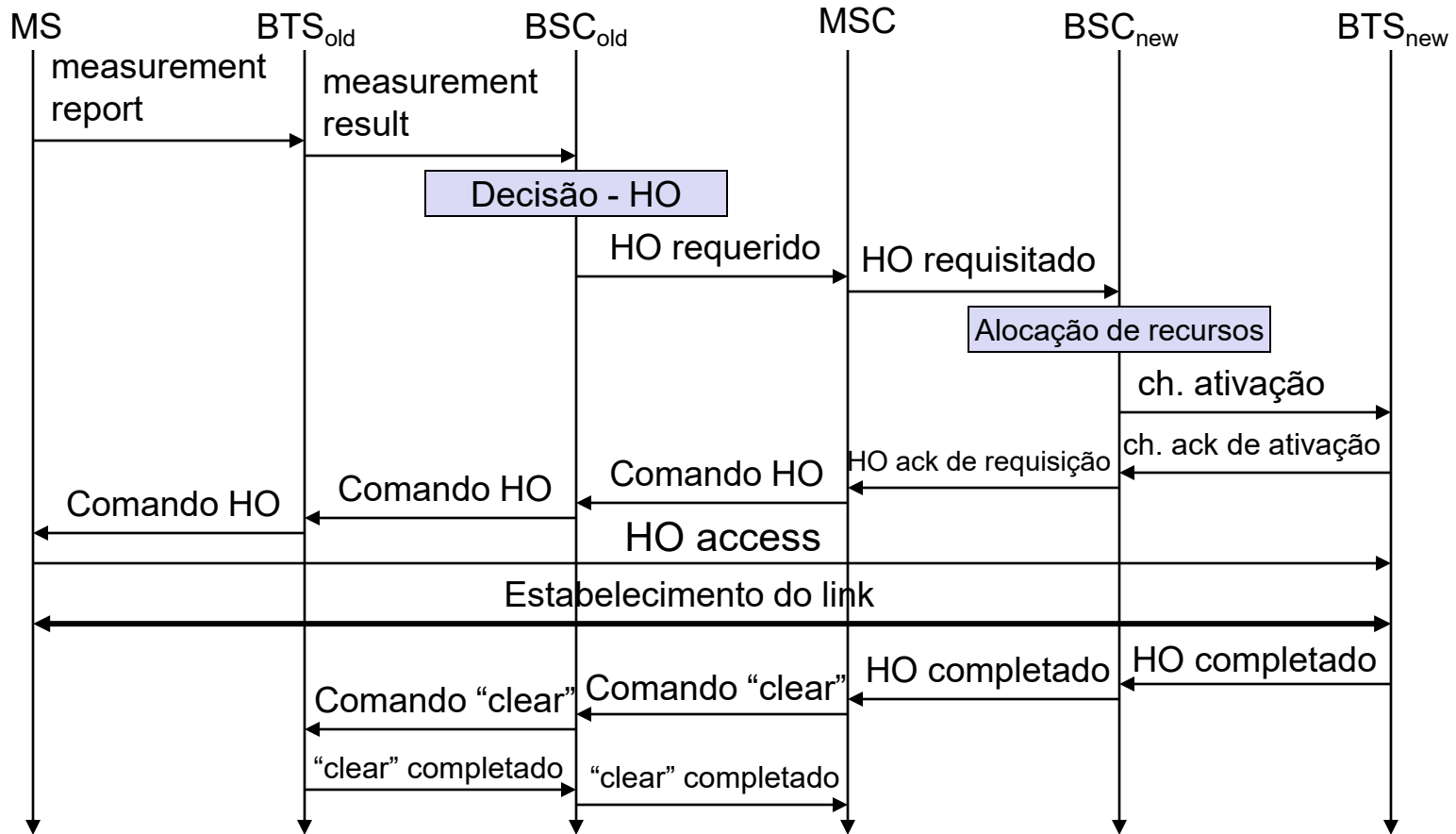
4 tipos de handover



Processo decisório de Handover



Procedimento de Handover



Segurança no GSM

Serviços de Segurança

❑ Controle/Autenticação de acesso

- usuário ❑ SIM (Subscriber Identity Module): PIN (personal identification number) secreto
- SIM ❑ rede: método de resposta de desafio

❑ confidencialidade

- Voz e sinalização criptografados no link sem fio (após autenticação bem sucedida)

❑ anonimato

- Identificador temporário TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)
- Atribuído a cada nova localização do móvel - location update
- Transmissão criptografada

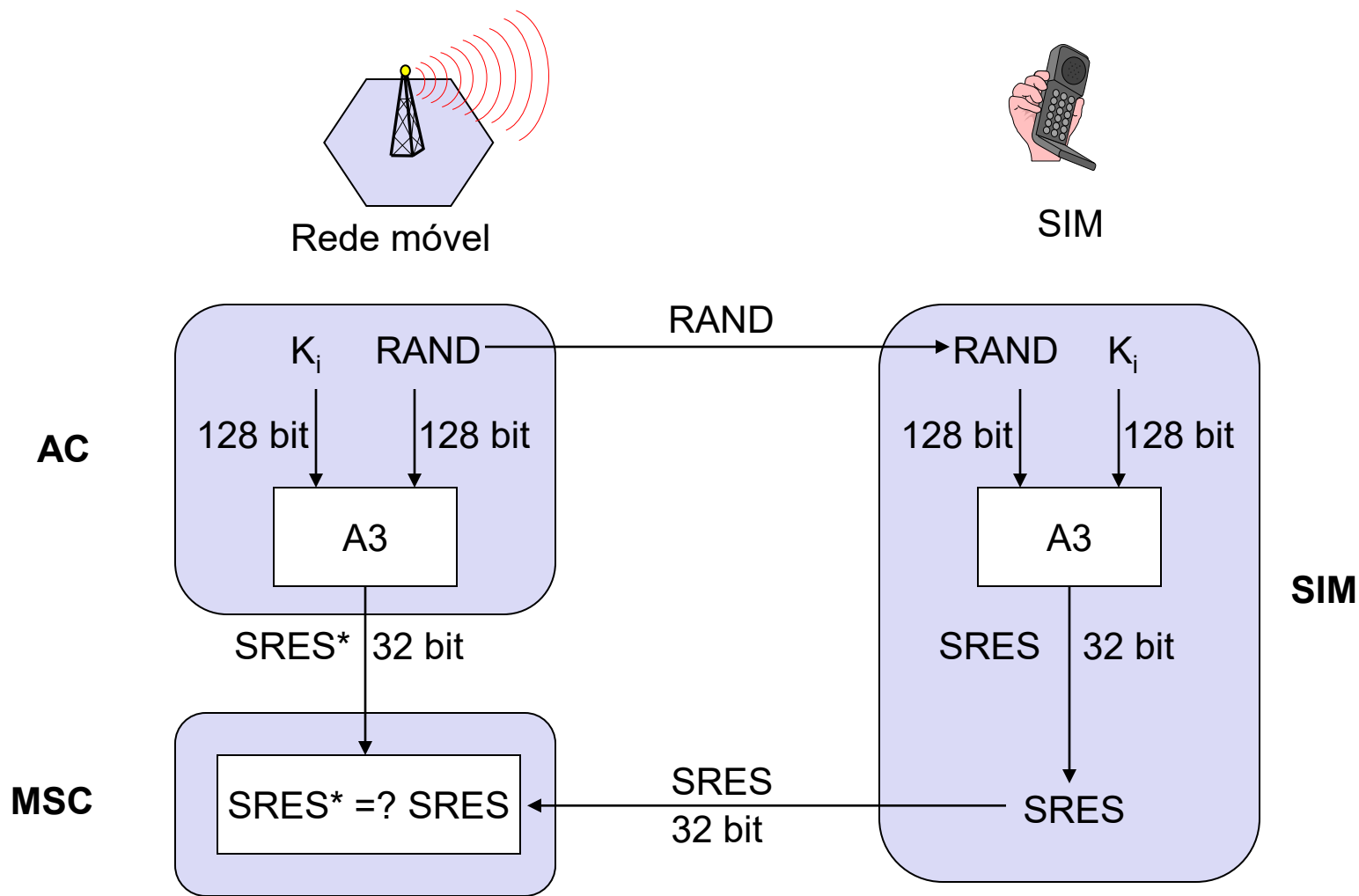
“secreto:”

- A3 e A8 na Internet
- provedores de rede podem reforçar mecanismos

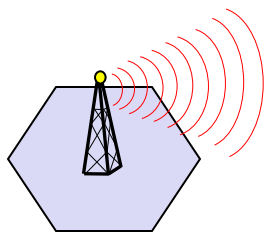
3 algoritmos especificados no GSM

- ❑ A3 para autenticação (“secreto”, interface aberta)
- ❑ A5 para criptografia (padronizado)
- ❑ A8 para geração de chave (“secreto”, interface aberta)

GSM - autenticação



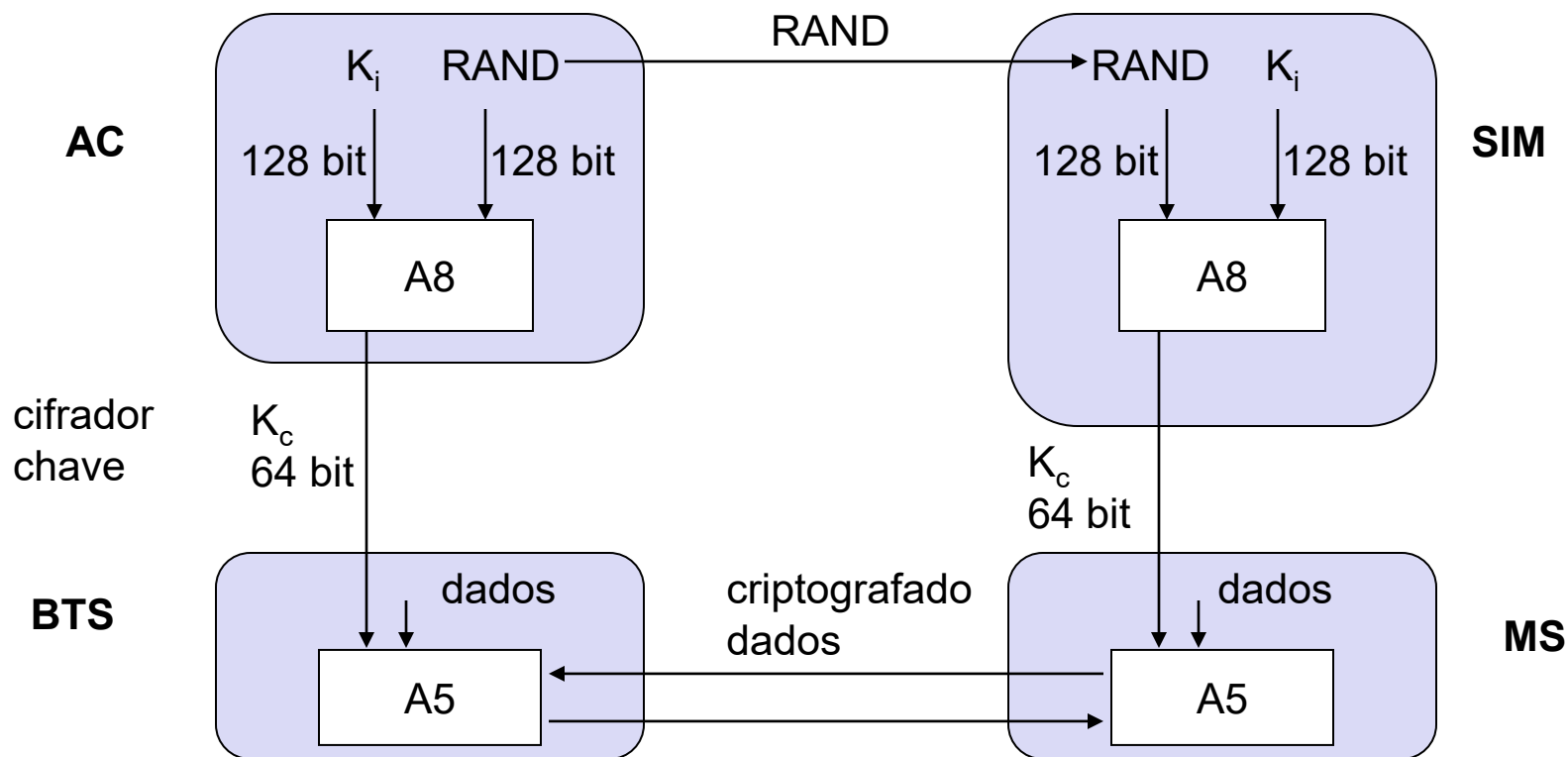
GSM – geração de chave e criptografia



Rede móvel (BTS)



MS com SIM



Serviço de Dados no GSM I

Transmissão de dados padronizada em 9.6 kbit/s somente

- ❑ A codificação avançada permite 14,4 kbit/s
- ❑ Não é o bastante para a Internet e as aplicações multimídia

HSCSD (High-Speed Circuit Switched Data)

- ❑ Já padronizada
- ❑ Encapsulamento dos diversos time-slots começando dos mais altos

AIUR (Air Interface User Rate)

(e.g., 57.6 kbit/s usando 4 slots, 14.4 cada)

- ❑ vantagens: pronto para usar, qualidade constante, simplicidade
- ❑ desvantagens: canais bloqueados para transmissão de voz

AIUR [kbit/s]	TCH/F4.8	TCH/F9.6	TCH/F14.4
4.8	1		
9.6	2	1	
14.4	3		1
19.2	4	2	
28.8		3	2
38.4		4	
43.2			3
57.6			4

O SISTEMA

GPRS

Serviço de Dados no GSM II

GPRS (General Packet Radio Service)

❑ Comutação de pacotes

- ❑ Uso de slots livres somente se os pacotes de dados já tiverem sido mandados
(115 kbit/s usando 8 slots temporariamente)
- ❑ vantagens: uma etapa(transição) para o UMTS, mais flexibilidade
- ❑ desvantagem: necessidade de mais investimento

GPRS elementos de rede:

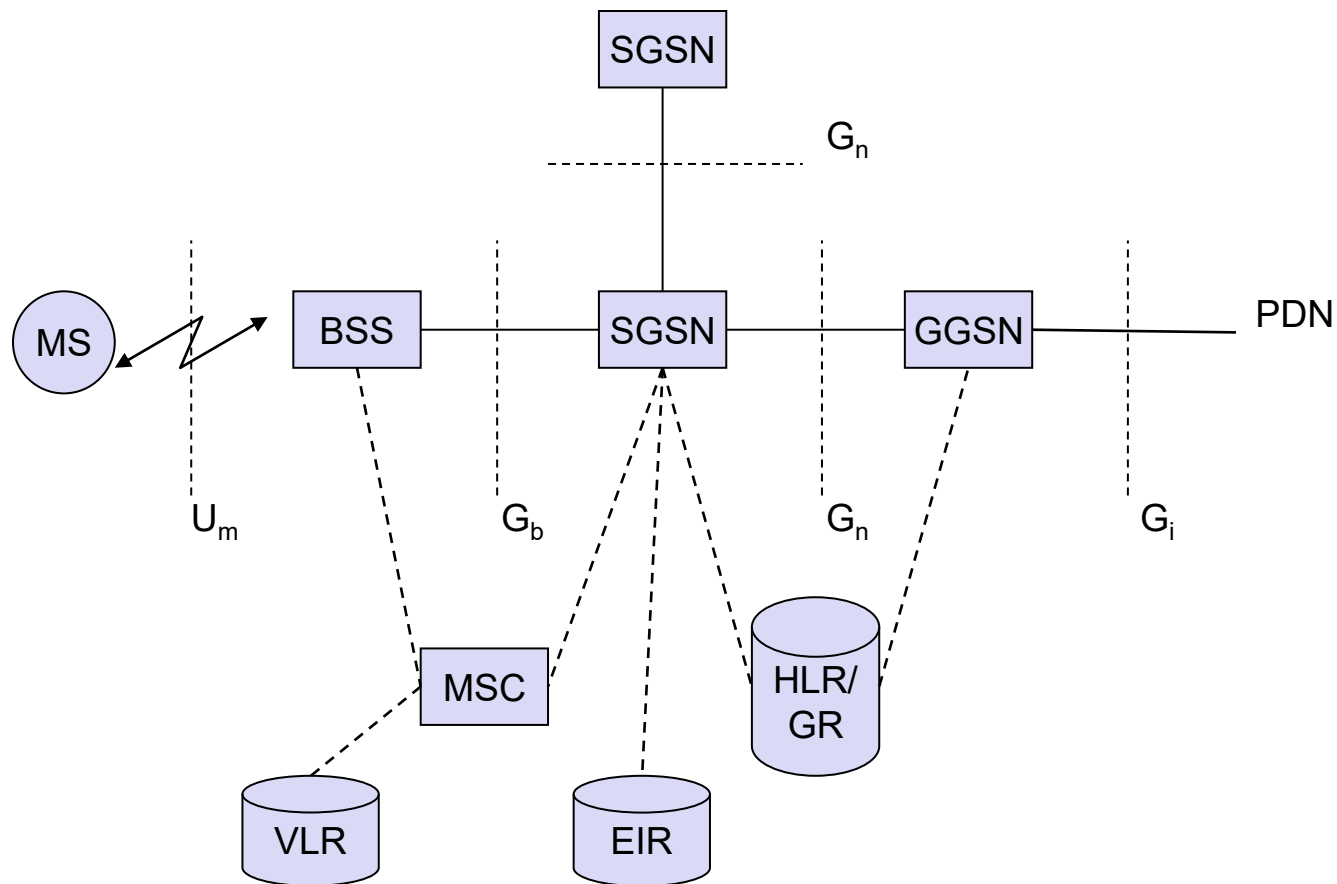
- ❑ GSN (GPRS Support Nodes): GGSN e SGSN
- ❑ GGSN (Gateway GSN)
 - Unidade de rede entre o GPRS e o PDN (Packet Data Network)
- ❑ SGSN (Serving GSN)
 - suporte ao MS (posição, faturamento, segurança)
 - registro (GR)
 - endereços do usuário

Qualidade de Serviço no GPRS

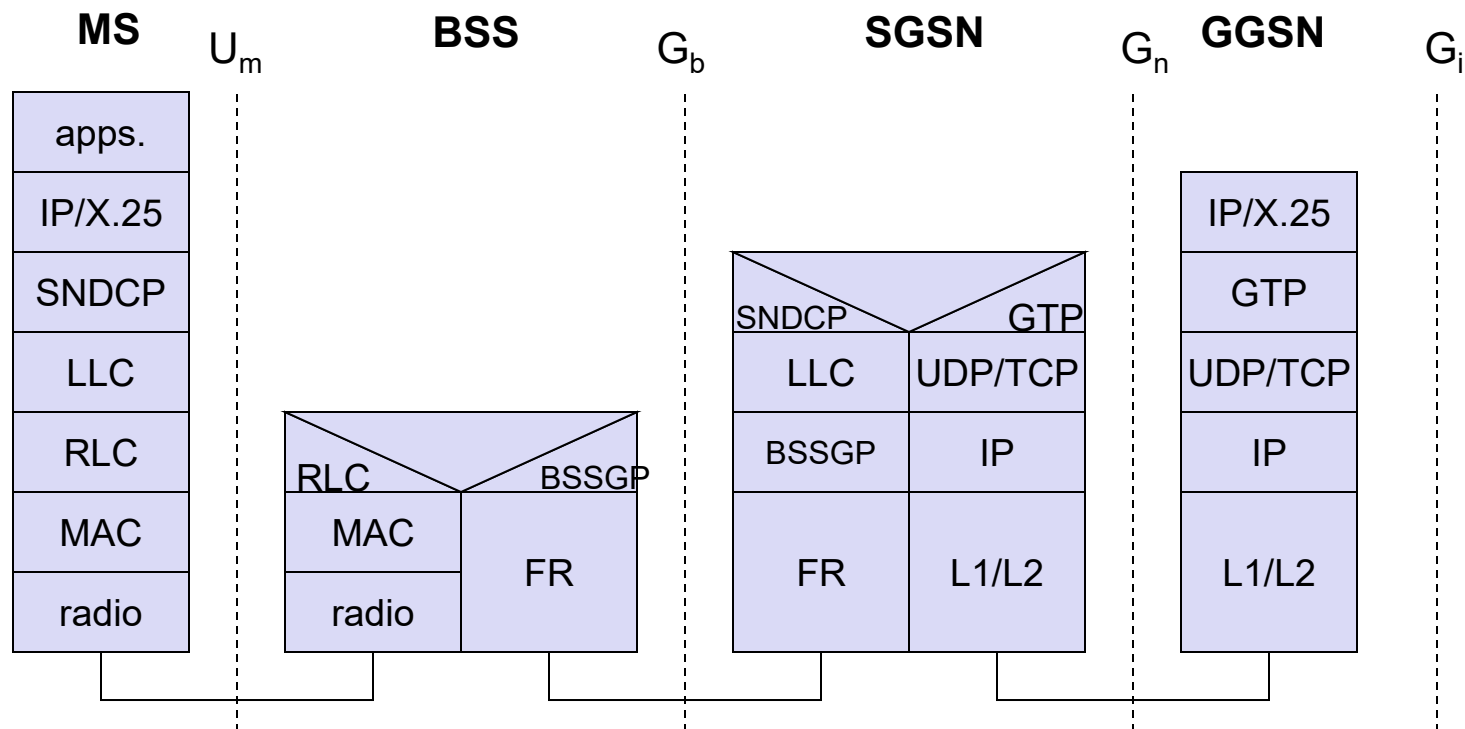
Classe de Confiabilidade	Probabilidade de perda de SDU	Probabilidade de duplicação de SDU	Probabilidade de SDU fora de sequência	Probabilidade de SDU corrompido
1	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}
2	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-6}
3	10^{-2}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-2}

Classe de atraso	Tamanho do SDU: 128 byte		Tamanho do SDU: 1024 byte	
	em média	95 por cento	em média	95 por cento
1	< 0.5 s	< 1.5 s	< 2 s	< 7 s
2	< 5 s	< 25 s	< 15 s	< 75 s
3	< 50 s	< 250 s	< 75 s	< 375 s
4	Não especificado			

Arquitetura e Interfaces do GPRS



Arquitetura de Protocolos do GPRS



O SISTEMA

TETRA

TETRA - Terrestrial Trunked Radio

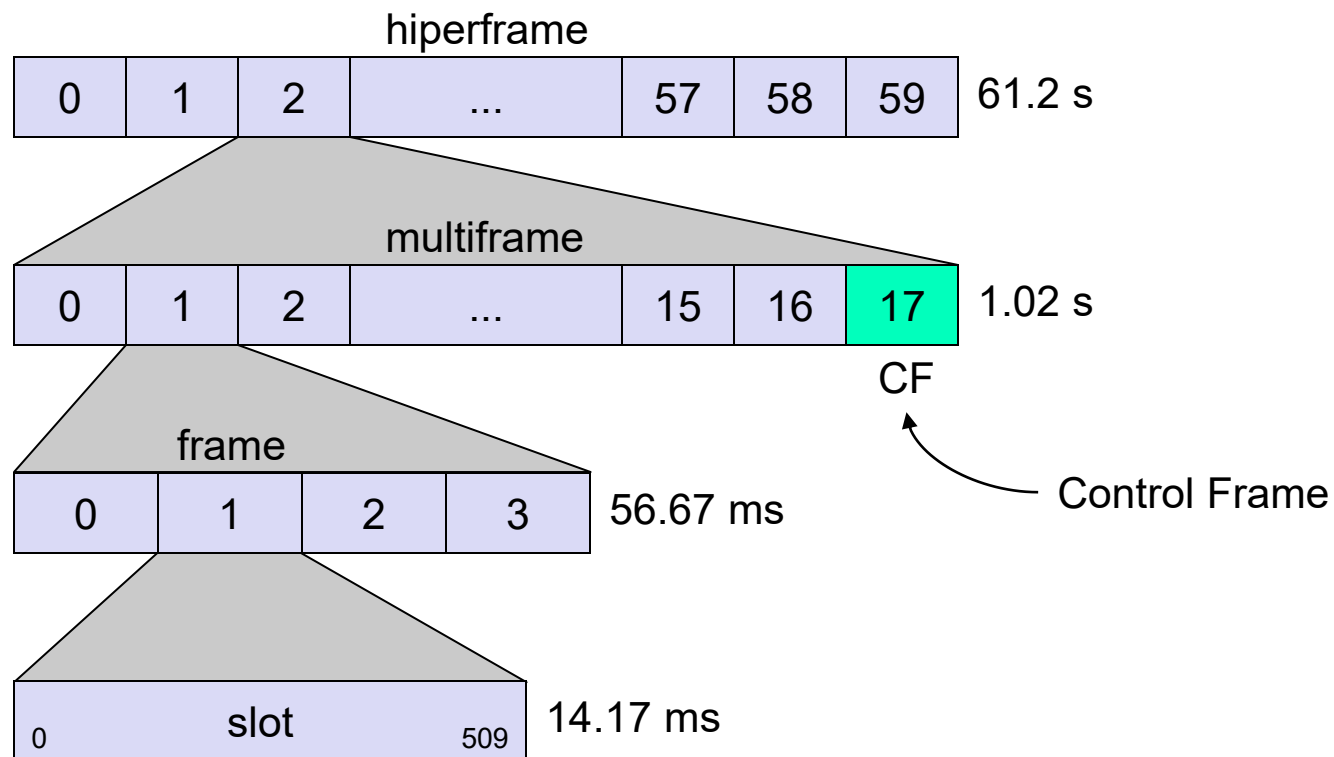
Sistema de rádio troncalizado

- ❑ Designação de uma portadora para usuário/grupo de usuários
- ❑ Equipes de resgate (bombeiros,...), táxis, gerenciamento de frotas
- ❑ interfaces com redes públicas, voz e serviços de dados
- ❑ reusabilidade, configuração de chamada rápida, priorização

TETRA - ETSI padronização

- ❑ Trans European Trunked Radio
- ❑ oferece Voz+Dados e Serviço de Otimização de pacotes de dados
- ❑ Ponto-a-ponto e ponto-a-multiponto
- ❑ ***Modos ad-hoc e infra-estruturado***
- ❑ Variedade de frequências: 380-400 MHz, 410-430 MHz
- ❑ FDD, modulação DQPSK
- ❑ Chamada de grupo e em broadcast

TETRA – TDMA estrutura do sistema de voz+dados



O SISTEMA

UMTS

UMTS e IMT-2000

Propostas do IMT-2000 (International Mobile Telecommunications)

- ❑ UWC-136, cdma2000, W-CDMA
- ❑ UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) do ETSI

UMTS

- ❑ UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access)
- ❑ Evoluções do GSM
 - EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution): GSM acima de 384 kbit/s
 - CAMEL (Customized Application for Mobile Enhanced Logic)
 - VHE (virtual Home Environment)
- ❑ exigências
 - min. 144 kbit/s rural (objetivo: 384 kbit/s)
 - min. 384 kbit/s suburbano (objetivo: 512 kbit/s)
 - até 2 Mbit/s cidade

Arquitetura UMTS

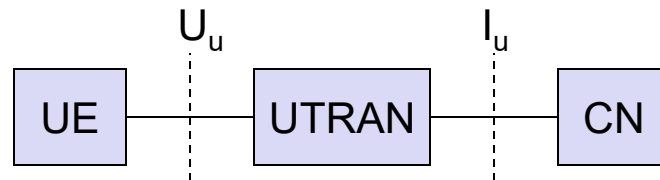
UTRAN (UTRA Network)

- ❑ Nível de mobilidade na célula
- ❑ Radio Network Subsystem (RNS)

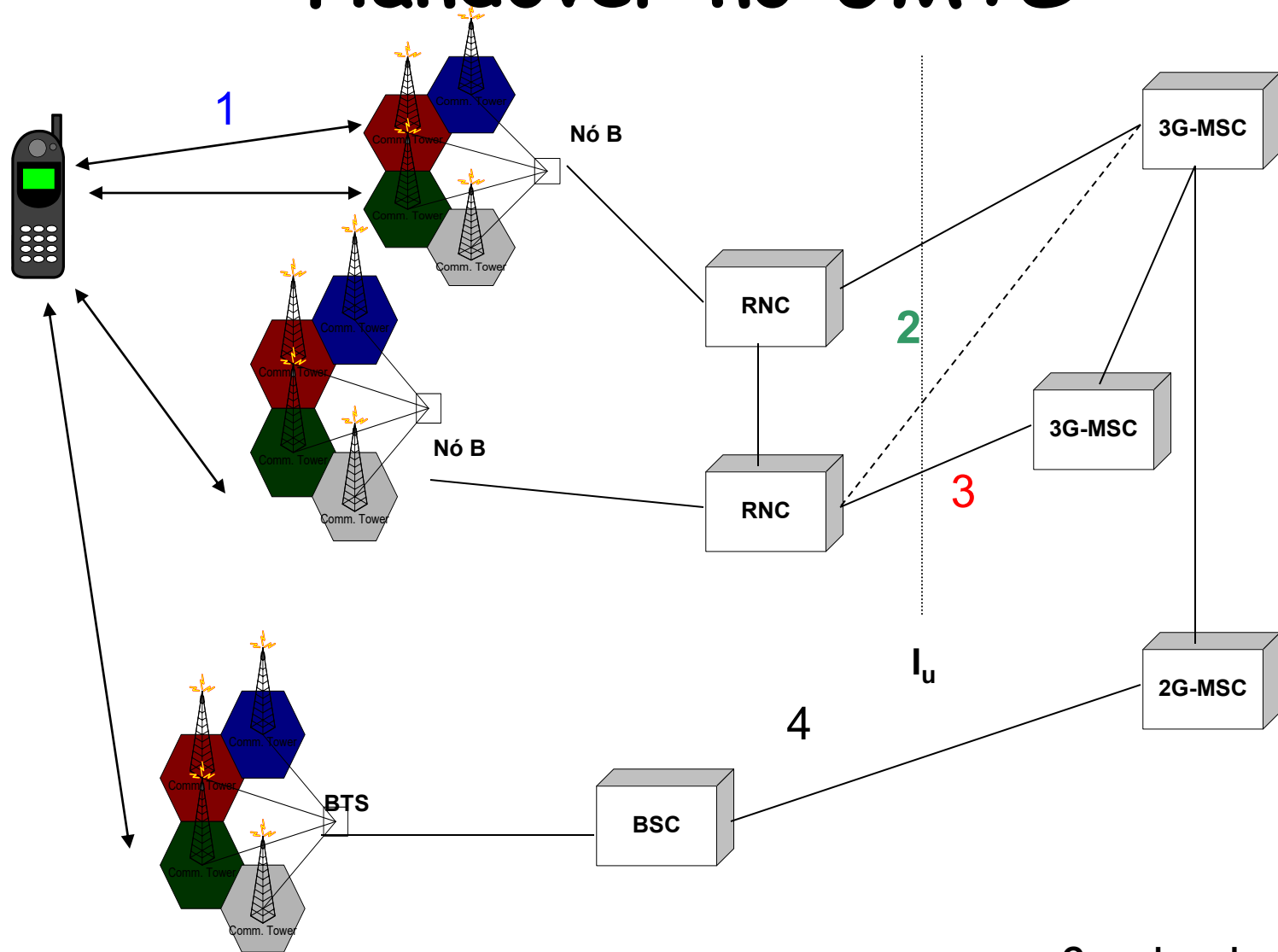
UE (User Equipment)

CN (Core Network)

- ❑ Handover através do sistema



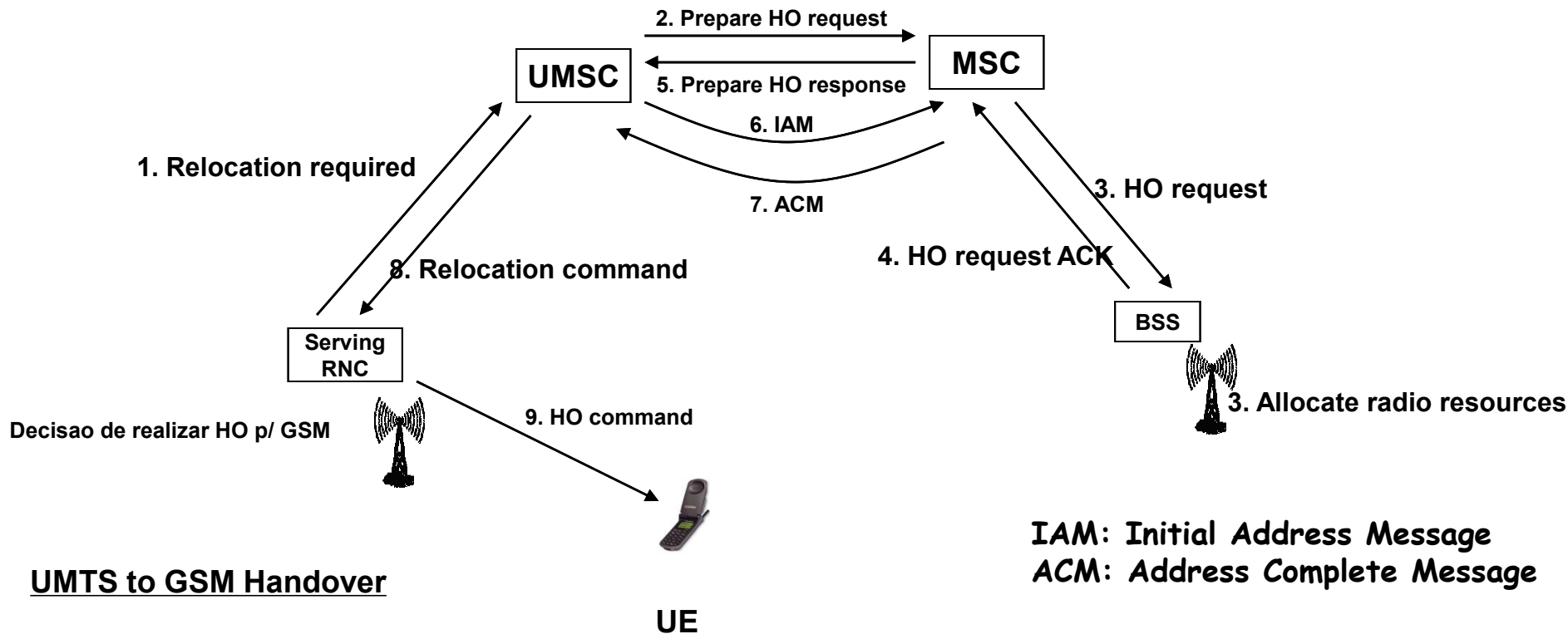
Handover no UMTS



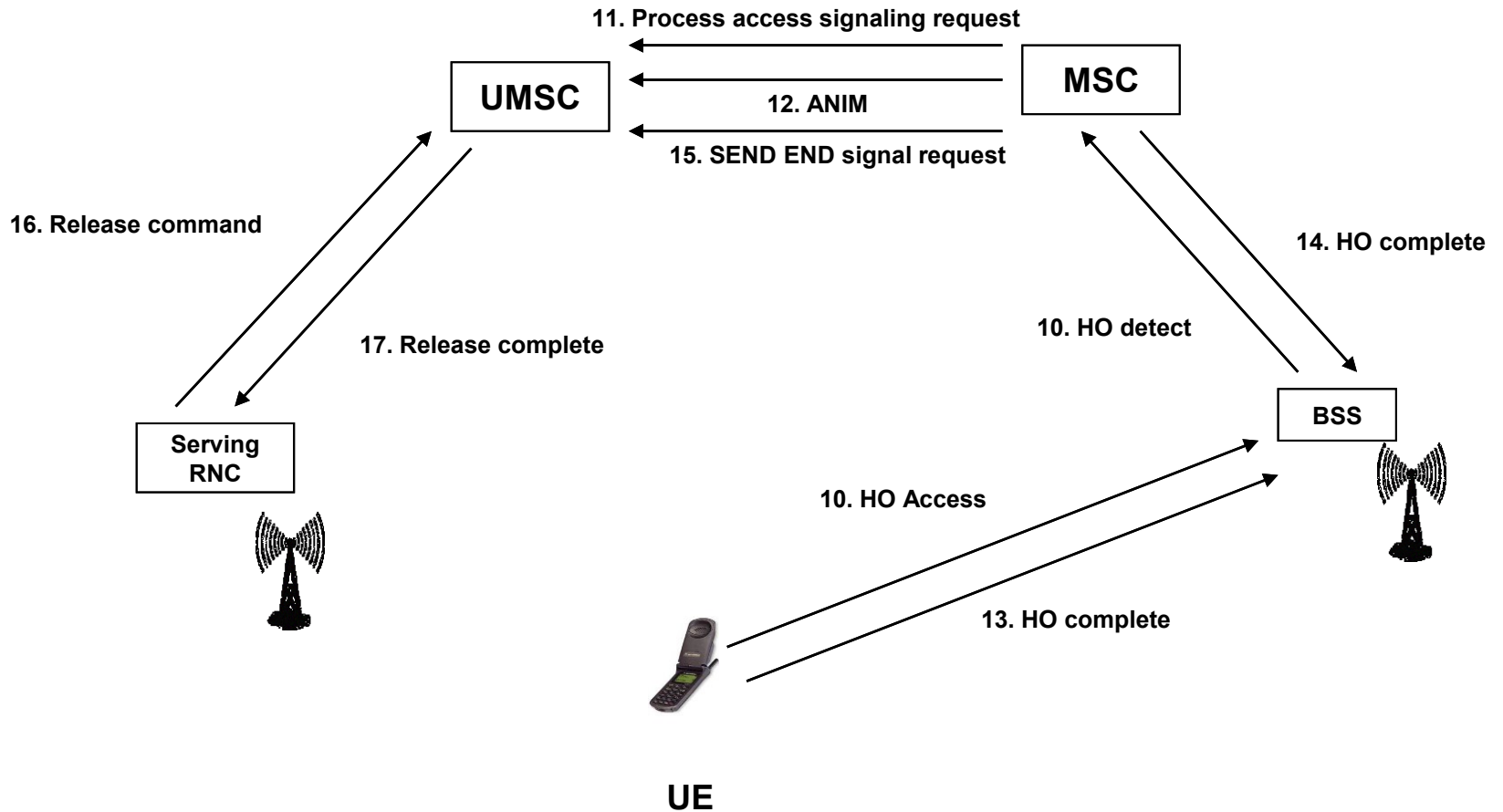
UMTS Handoff Intersistemas (p.ex. para GSM)

Hard Handover

- ❑ Se o UE é obrigado a fazer o handover para uma frequência diferente (em outro sistema como GSM ou GPRS, ou não)



UMTS Handoff Intersistemas



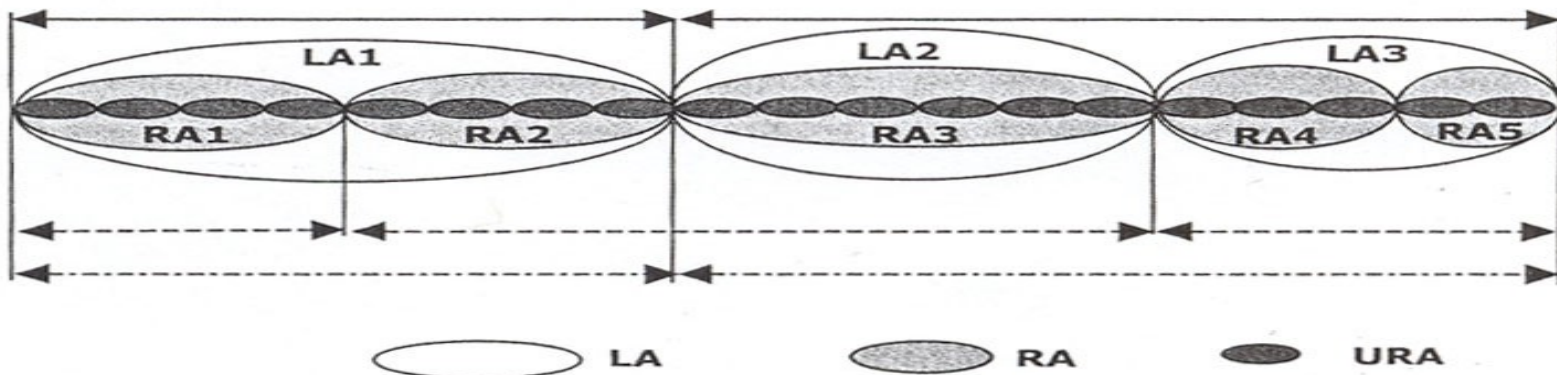
Gerencia de Localização

Três formas para atualização de localização

- **Location Area (LA)** - zona de registro como no GSM, mas pode requerer um registro periodico dos usuários
- **Routing Areas (RA)** - zona de registro para serviços baseados em pacotes como no GPRS
- **UTRAN Registration Areas (URA)** - zona de registro para alguns tipos de serviços

Location Management (III)

Area Concepts



Serviços UMTS e sua relação com a Internet

Categoria de Serviço	Tipo de Sessão	Protocolos	Elementos da Internet
Informação baseada em localização e entretenimento	WWW	HTTP, WML, HTML, xHTML	ISP, portal, servers
Intranet (VPN movel), escritórios moveis, comercio móvel	Todos os tipos	IP, Transparente para camadas altas	ISP, firewall server, portais corporativos
Acesso a Internet	Todos os tipos	IP, Transparente para camadas altas	ISP, portal
Mensagens Multimedia	SMS, e-mail, downloading	SMTP, SMS, IP	ISP, email, SMS-server
Áudio, vídeo, download	Transferência de arquivos, streaming	MP3, MPEG-4, FTP, IP-based SIP	ISP, portal, database server
Voz, real-time áudio, vídeo	Interactive/dialog streaming/one-way	SIP	Media gateway

Classes de Qualidade de Serviço

O UMTS permite que os UEs negociem parâmetros de QoS.

Negociação

- ❑ O procedimento é sempre inicializado pela aplicação no UE.
- ❑ É encaminhado um pedido definindo as necessidades do mesmo
- ❑ A rede checa o ambiente para verificar se pode responder ao pedido.
- ❑ É possível garantir os recursos pedidos, um pouco dos mesmo ou negar o pedido.
- ❑ O UE pode aceitar ou rejeitar a mudança na solicitação.
- ❑ É possível também renegociar esses parâmetros caso as necessidades da aplicação mude ou o estado do recurso se modifique.

Classes de QoS

Existem quatro classes de QoS

- ❑ Conversational: como trafego de voz
- ❑ Interactive: best-effort como um web browsing
- ❑ Streaming real-time: como vídeo streaming (vídeo conf)
- ❑ Background: best-effort como e-mail.

Classes de QoS, Suas Características e Aplicações

Classe de QoS →→→	Conversational	Streaming	Interactive	Background
Características	<p>Preserva a relação de tempo (variação) entre as informações do stream</p> <p>Paradigma de conversação</p>	<p>Aplicações Assimétricas</p> <p>Mais tolerante a jitter que a classe conversational.</p> <p>Utiliza buffer para tratar o jitter</p>	<p>Paradigma de pedido e resposta</p> <p>Mantém a integridade dos dados</p>	<p>Destino não está esperando os dados com um tempo determinado</p> <p>Mantém a integridade dos dados</p>
Exemplos Aplicações	Voz, vídeo telefone, vídeo games	Streaming multimídia	Web browsing, jogos em rede	Download of e-mail, electronic postcard

Serviços Conversacionais

Bidirecional e razoavelmente simétrica

Tecnicamente a classe mais complicada

- ❑ Um delay muito pequeno é aceitável
- ❑ Protocolos de retransmissão tradicionais (ARQ) não podem ser utilizados; por isso, utiliza-se o FEC.
- ❑ A necessidade de um delay pequeno significa que buffers não podem ser utilizados no receptor para tratar variações de delay (jitter).

Alguns erros são aceitáveis pois as pessoas podem não perceber pequenos erros de voz e vídeo.

Serviços Interativos

Uma requisição de dados para um servidor remoto, e a resposta contendo os dados requisitados.

- ❑ Web browsing, e-shopping e requisições a base de dados.

Diferença entre os serviços conversacional e interativo

- ❑ O tráfego de dados na classe conversacional é simétrico, enquanto na classe interativa é altamente assimétrico.
- ❑ Requerimentos de Timing não são tão rigorosos (por volta de 4 segundos) nos serviços interativos como nos serviços conversacionais (algumas centenas de ms).
- ❑ Serviços Interativos não toleram mais erros que transmissões do serviço conversacional.

Com os requerimentos de delay, o princípio de menos erros é facilmente alcançável nos serviços interativos.

Serviços Streaming

Tipicamente incluem aplicações de áudio e vídeo.

Diferença dos serviços interativos :

- ❑ A Transferência de dados é praticamente em uma direção e continua: altamente assimétrica.
- ❑ Existe a necessidade de uma pequena variação no atraso dos dados.
- ❑ O atraso máximo pode ser de até 10 segundos.
- ❑ O tráfego na direção oposta (geralmente uplink) consiste somente de poucos sinais de controle.
- ❑ Os pacotes de dados que recebidos são colocados em buffers para tratar a diferença de atraso existente (jitter).

Esse classe é provida através de redes comutadas por pacotes.

Serviços em Background

Esses serviços não fazem nenhuma exigência quanto ao atraso (fax e SMS).

Os dados podem sofrer erros livremente, mas neste caso é especialmente simples recuperá-los, porque não existe relação de tempo entre os dados.

Um Protocolo de retransmissão de dados é usado, mas não é tão eficiente.

A variação do atraso não é levada em consideração em Serviços de background.

Os dados só são disponibilizados para o usuário quando o arquivo tiver completamente sido recebido corretamente.

Não há necessidade de ampla largura de banda em ambas direções.