

3 Evolução Rumo à Terceira Geração

A demanda por taxas de transmissão maiores que 9.6 kbps se tornou realidade ainda durante os trabalhos de padronização do GSM. Deste modo, o trabalho continuou com a denominação de fase 2+ na qual foram agrupadas uma série de versões evolutivas do padrão (os chamados *releases*).

Deste modo, durante a fase 2+, em 1996 e em 1997, respectivamente, foram concluídos os trabalhos de padronização do HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*) e do GPRS (*General Packet Radio Service*). Logo em seguida, em 1998, o uso do codificador AMR (*Adaptative Multi-rate*) foi aprovado para as redes GSM e, em 1999, o padrão EDGE (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*) também foi disponibilizado.

3.1. HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*)

O HSCSD permitia transmissões a taxas máximas de **14.4 kbps** por *slot* através de um novo tipo de codificação de canal. Aliado a isso, este padrão introduziu no GSM o conceito de alocação de múltiplos *slots* para um mesmo assinante. Assim, sem nenhuma modificação na estrutura de frames da camada física GSM, os usuários poderiam estabelecer conexões de dados a taxas de transmissão, teóricas, de até **115.2 kbps** (08 *slots* de 14.4 kbps).

Este padrão também permitia a alocação assimétrica de recursos para uma estação através do estabelecimento de canais unidirecionais. Como a maior parte das aplicações exigia mais banda no enlace de descida (BTS para o terminal), tais canais unidirecionais só eram permitidos no sentido do *downlink*.

Na prática, devido a questões de interferência, superaquecimento, consumo de bateria e custos de fabricação dos terminais, uma única estação geralmente utilizava no máximo 06 *slots* (normalmente 04 para o *downlink* e 02 para o *uplink*). Além disso, o HSCSD possuía limitações relacionadas à própria rede terrestre (as conexões de um mesmo usuário precisavam se concentrar em uma única linha de transmissão entre a BTS e a BSC (interface A-bis). Ou seja, normalmente havia um limite superior de **64 kbps**

por conexão, que era o padrão de velocidade das linhas ISDN utilizadas para interconectar BTSs e BSCs na época em que o padrão surgiu.

Assim, considerando os terminais mais caros, sob as melhores condições de operação possíveis, as velocidades máximas atingidas no HSCSD estavam entre **20 e 30 kbps**, em média.

3.2. GPRS (General Packet Radio Service)

O HSCSD foi uma evolução com relação às taxas de transmissão do GSM, mas ainda era totalmente baseado na transmissão por circuito e, por isso, possuía um grande inconveniente: a tarifação de acordo com o tempo de conexão. Portanto, com exceção de algumas aplicações específicas como a transmissão de FAX, esta tecnologia estava aquém daquilo que atenderia às aspirações dos usuários (devido às velocidades bem maiores atingidas por outros padrões de transmissão de dados existentes) e que, ao mesmo tempo, custava bem mais do que a maioria poderia (ou aceitaria) pagar. Este fator já seria o suficiente para que as operadoras vissem com bastante interesse o novo paradigma introduzido pelo GPRS: a transmissão de dados baseada em pacotes.

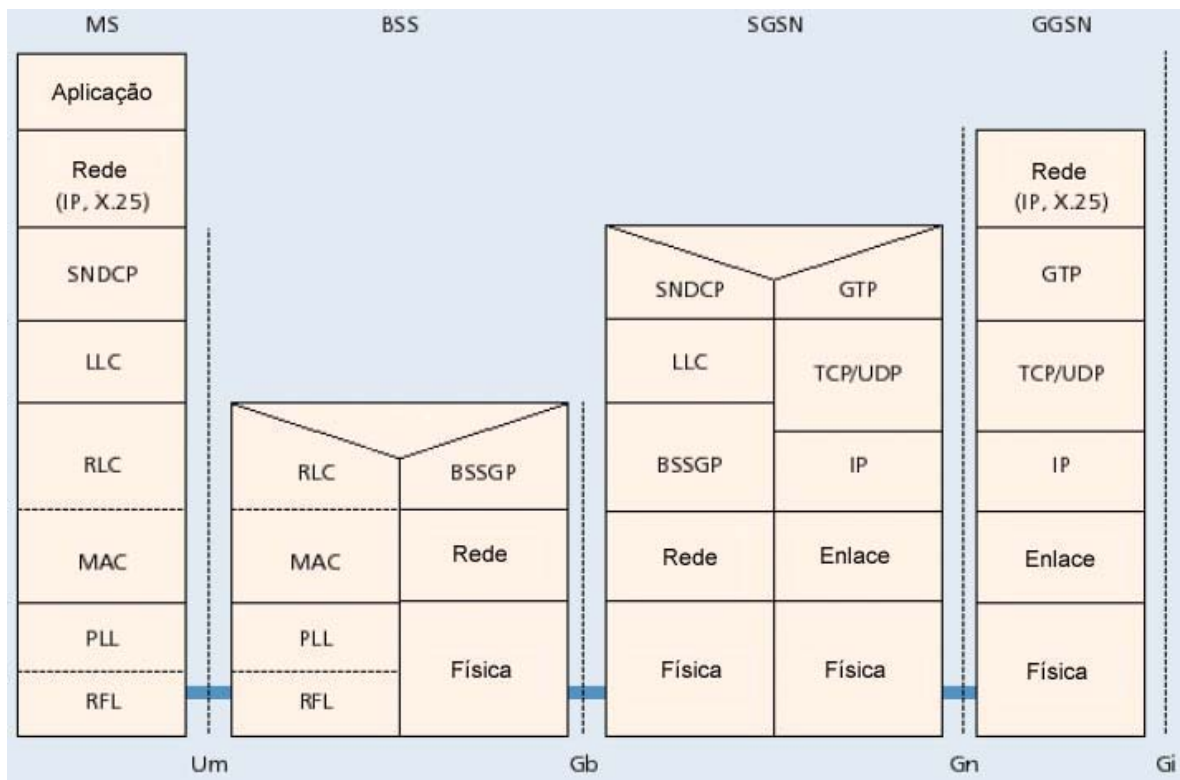


Figura 4: Protocolos do GPRS.

A principal mudança na arquitetura GSM trazida pelo GPRS foi a introdução de dois novos nós: o SGSN e o GGSN. Estes novos servidores permitiram, pela primeira vez, a integração de uma rede celular com as redes de dados tradicionais como as redes IP e as redes X-25. Eles gerenciavam todo o transporte de pacotes entre os terminais móveis ou entre estes e as redes externas. Toda a comunicação entre estes novos nós é baseada em pacotes TCP/IP ou UDP/IP roteados através de um protocolo de tunelamento específico, o GTP, que é responsável por transportar unidades de dados entre os elementos da rede terrestre GPRS.

3.2.1. A Transmissão de Dados no GPRS

O GPRS utiliza uma estrutura de canais semelhante à do GSM. Porém, ele introduziu um esquema de alocação bem mais flexível que tende a economizar recursos na transmissão de dados. Além da alocação de múltiplos canais por usuário (como no HSCSD), a multiplexação de um canal para vários usuários simultâneos permitiu que o GPRS atendesse de maneira mais eficiente tanto a tráfegos intermitentes quanto a tráfegos contínuos em taxas mais elevadas.

O compartilhamento de canais é implementado logicamente através dos chamados TBFs (*Temporary Block Flow*). Um TBF representa uma conexão virtual entre a estação e a BSS para o transporte de unidades de dados da camada LLC. Cada TBF é representado por um número que o identifica univocamente denominado TFI (*Temporary Flow Identifier*). O TFI é único em cada direção e é definido pela BSS.

O GPRS foi o primeiro sistema a inserir nas redes celulares o paradigma da transferência de dados baseada em pacotes. No que diz respeito à prestação do serviço ainda foram definidos quatro parâmetros de qualidade: precedência (prioridade relativa), confiabilidade (probabilidade de perda, duplicação ou corrupção de pacotes), atraso (atraso médio e máximo dos pacotes) e banda.

Este padrão possui quatro esquemas de codificação de canal: CS-1, CS-2, CS-3 e CS-4. Em condições de tráfego ótimas, o CS-4 fornece a maior taxa de transferência possível por *slot* (21.4 kbps), com nenhuma redundância, o que resultaria numa taxa máxima teórica de 171.2 kbps por estação caso fosse possível a utilização de 08 canais simultâneos. Por outro lado, um canal de tráfego também pode ser compartilhado por até 08 usuários conciliando os períodos de atividade e inatividade de cada aplicação. Na prática, a maioria das operadoras limita este número a 06 usuários a fim de oferecer um

nível mínimo de qualidade mesmo no pior caso.

A taxa máxima atingida depende de vários fatores como número de usuários na célula, número de *slots* máximo em que o terminal pode transmitir e, principalmente, das condições de interferência do meio. Em condições normais, raramente é possível utilizar a codificação CS-4 por causa do número excessivo de retransmissões necessárias quando há perdas por interferência na parte aérea da rede. Na prática as estações GPRS atingem taxas de pico de 40 kbps (sob as melhores condições de operação) sendo que as velocidades médias típicas estão entre **30 e 40 kbps**. Assim como na figura 1, o significado de cada sigla se encontra no item *Abreviaturas e Siglas* no início desta dissertação.

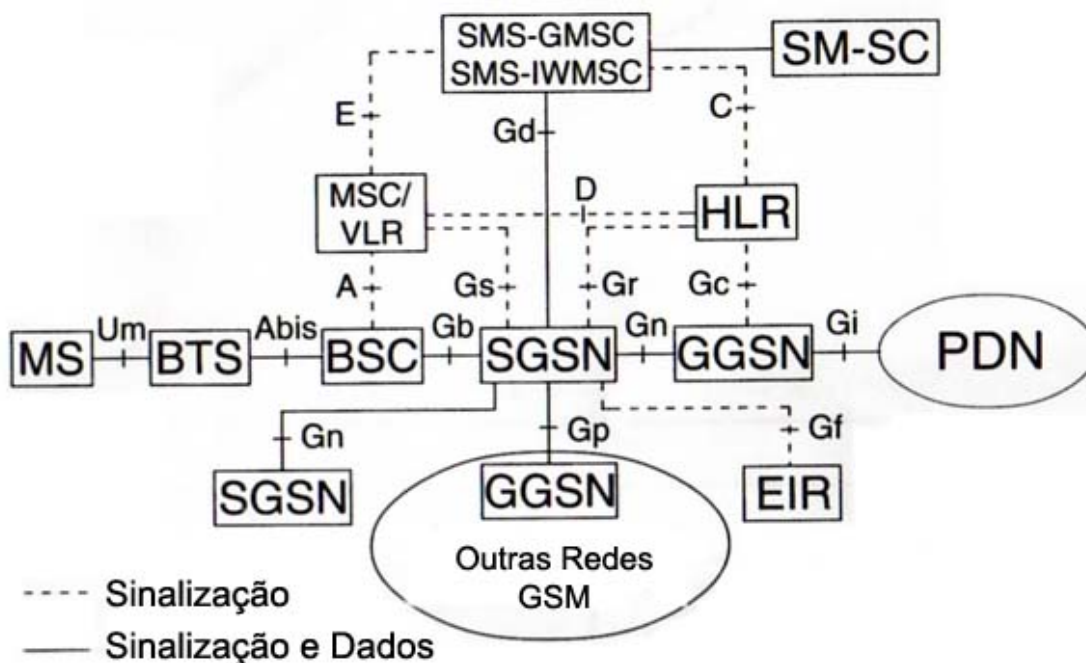


Figura 5: Arquitetura GPRS.

Por último, vale ressaltar que as chamadas de voz estabelecidas na rede GPRS são baseadas em comutação por circuito e que apenas as transmissões de dados de certas aplicações utilizam a estrutura de transmissão baseada em pacotes. Maiores detalhes sobre a arquitetura GPRS podem ser obtidos em [25] e sobre o desempenho da transmissão nestas redes em [8].

3.3. EDGE (*Enhanced Data Rate for Global Evolution*)

O EDGE foi proposto em 1999 pelo ETSI como um novo padrão capaz de oferecer taxas de transferência até três vezes maiores que as do GPRS e do HSCSD, implementando métodos otimizados de codificação do canal e modulação na camada física. Com ele foi possível, pela primeira vez, atingir taxas razoáveis de transmissão de dados em redes celulares. Este padrão foi considerado por muitos como o caminho mais seguro rumo à terceira geração possibilitando aumento das receitas oriundas dos serviços de dados a partir de investimentos relativamente baixos.

Porém, para sustentar serviços baseados em pacotes, o EDGE precisa de uma infra-estrutura pré-existente como, por exemplo, uma rede GPRS, onde a arquitetura da parte terrestre é totalmente mantida como na figura 5. Apenas a interface rádio é alterada com a introdução dos novos esquemas de modulação e codificação dentro da mesma estrutura de organização de canais.

3.3.1. A Transmissão de Dados no EDGE

Este padrão adotou a técnica de codificação denominada 8-PSK que permite a transmissão de até três bits por símbolo. Assim, comparando com a modulação GMSK utilizada até então nas redes GSM, para a mesma taxa de transmissão de símbolos por portadora de 200 KHz (271.000 símbolos por segundo), o EDGE consegue transmitir até três vezes mais bits.

Ele ainda oferece 04 tipos de codificação baseados na modulação GMSK (MCS-1 ao MCS-4) e 05 tipos baseados na modulação 8-PSK (MCS-5 ao MCS-9). Vale ressaltar que os esquemas que utilizam modulação GMSK no EDGE não são exatamente iguais aos utilizados pelo GPRS, pois há diferenças no que diz respeito às taxas de bits por segundo, FEC, etc (tabela 1).

O desempenho do EDGE ainda pode ser melhorado através do mecanismo de **adaptação de canal** (LA). Com a adaptação de canal, as taxas de transmissão podem ser otimizadas através da variação dinâmica do esquema de codificação e modulação entre as opções disponíveis aumentando a eficiência espectral do sistema. O melhor desempenho é obtido quando o mecanismo de adaptação permite utilizar o MCS que oferece a maior taxa possível, a cada instante, em pontos de chaveamento perfeitos (adaptação de canal ideal) dependendo das condições do meio.

A adaptação de canal também era possível no GPRS, mas, obviamente, apenas

entre os 04 esquemas de codificação possíveis naquele padrão. O fato de o EDGE poder alternar entre 09 taxas distintas representa, por si só, um fator de melhoria do padrão por torná-lo mais adaptável às variações do meio.

Tabela 1: MCSs do EDGE e CSs do GPRS [8].

	CS ou MCS	Modulação	Blocos RLC	Taxa FEC	Carga Útil	Taxa (bps)
GPRS	CS-1	GMSK	1	0.45	160	8000
	CS-2	-//-	1	0.65	240	12000
	CS-3	-//-	1	0.75	288	14400
	CS-4	-//-	1	n/a	400	20000
EGPRS	MCS-1	GMSK	1	0.53	176	8800
	MCS-2	-//-	1	0.66	224	11200
	MCS-3	-//-	1	0.85	296	14800
	MCS-4	-//-	1	1.00	352	17600
	MCS-5	8-PSK	1	0.38	448	22400
	MCS-6	-//-	1	0.49	592	29600
	MCS-7	-//-	2	0.76	448+448	44800
	MCS-8	-//-	2	0.92	544+544	54400
	MCS-9	-//-	2	1.00	592+592	59200

Outro mecanismo denominado **redundância incremental** permite a um terminal combinar sucessivas recepções de bits de paridade associados a um mesmo bloco recebido com erro, aumentando as chances de decodificação a cada recepção. No GPRS, um bloco recebido com erro era descartado pelo receptor. Além disso, sua retransmissão deveria ser feita utilizando a mesma codificação anterior, ou seja, caso as condições do meio fossem as mesmas (ou piores) a probabilidade de o bloco ser novamente recebido com erro eram praticamente as mesmas (ou maiores).

A redundância incremental permite que o EDGE seja menos conservador na escolha da quantidade de redundância a ser utilizada na primeira transmissão de um bloco contribuindo assim para a melhor utilização do espectro. Este mecanismo ainda é aperfeiçoado pela divisão dos MCSs em “famílias”. Caso seja necessária a retransmissão de um bloco, isso pode ser feito ou utilizando o mesmo MCS ou utilizando um MCS com mais proteção pertencente à mesma família. Como em uma mesma família os bits de

carga útil são múltiplos entre si, a retransmissão é feita sem que seja necessário um novo processo de segmentação do bloco, o que acarretaria atrasos indesejáveis na comunicação.

3.4. Os sistemas ECSD e EGPRS

Após a divulgação do padrão EDGE os trabalhos de desenvolvimento continuaram no sentido de integrar esta nova interface aérea às redes GSM existentes. O resultado deste trabalho foram os padrões ECSD e EGPRS que são baseados no HSCSD e no GPRS, respectivamente, aperfeiçoados pela interface aérea EDGE.

O EDGE foi inicialmente implementado com pouco impacto, pois não foram introduzidas modificações na parte terrestre das redes. As duas infra-estruturas podiam co-existir a fim de oferecer serviços baseados em pacotes sem requisitos de tempo real (tráfego de dados) e serviços baseados em circuito com requisitos de tempo real (chamadas de voz).