

2 WCDMA

Neste capítulo, falaremos sobre o sistema WCDMA. Primeiramente, explicaremos sua arquitetura. Em seguida, apresentaremos suas principais características. Depois, faremos uma explicação detalhada sobre a camada física do WCDMA, explicando a estrutura dos canais físicos e os esquemas de modulação e espalhamento nos dois enlaces (subida e descida), além de explicar a estrutura dos quadros de transmissão para os dois enlaces. Por fim, falaremos brevemente sobre a codificação do canal no sistema WCDMA.

2.1. Principais Características

O sistema WCDMA tem as características básicas de um sistema CDMA, isto é, transmissão de um conjunto de mensagens digitais multiplicadas por diferentes sinais de altas taxas, que funcionam como códigos destinados a espalhar e posteriormente recuperar as mensagens transmitidas.

No WCDMA o sinal espalhado tem uma taxa de 3,84 Mcps (chips/s) e modula portadoras que ocupam uma banda de 5 MHz.

Existem dois modos diferentes propostos para o WCDMA: o FDD e o TDD. No modo FDD, os enlaces de subida e de descida empregam duas faixas de frequências separadas. Um par de faixas de frequências com uma determinada separação é alocada para uma conexão. Por sua vez, no modo TDD, as transmissões nos enlaces de subida e de descida são feitas na mesma banda, usando intervalos de tempo sincronizado. Com isso, as janelas de tempo de um canal físico são divididas em uma parte para transmissão e outra para recepção. Como diferentes regiões do mundo possuem diferentes alocações de frequências, a capacidade de operar em quaisquer dos modos, FDD ou TDD, permite um uso eficiente do espectro disponível.

Enquanto o modo FDD é destinado especialmente a grandes coberturas, aplicações de banda larga e aplicações de rádio simétricas, como vídeo e telefonia

móvel, o modo TDD providencia altas taxas de dados para aplicações assimétricas e de reduzida mobilidade, incluindo serviços baseados na Internet.

O WCDMA suporta taxas de transmissão altamente variáveis. A cada usuário são alocados quadros de 10 ms para transmissão e, em cada quadro, a taxa é mantida constante. No entanto, as taxas de transmissão dos usuários podem variar de quadro para quadro, com a alteração do seu fator de espalhamento. Cada quadro possui 15 janelas de tempo e os fatores de espalhamento do enlace de subida variam 4 a 256, enquanto que no enlace de descida vão de 4 a 512.

Em relação ao padrão IS-95, as seguintes diferenças podem ser destacadas:

- Melhor desempenho em presença de multipercurso
- Operação assíncrona das ERBs
- É um sistema de faixa larga
- Controle de potência rápido
- Suporta serviços com diferentes QoS, etc.

O melhor desempenho em presença de multipercurso pode ser explicado da seguinte maneira: a duração de um chip a 3,84 Mcps é de 0,26 μ s. Se a diferença de tempo entre as componentes de multipercursos for de pelo menos 0,26 μ s, o receptor do WCDMA consegue separá-las e combiná-las coerentemente, obtendo assim diversidade de multipercurso. Essa diferença de tempo (0,26 μ s) pode ser obtida com diferença de percurso de pelo menos 78 m ($3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1} / 3,84 \text{ Mcps}$). Com uma taxa de chip de 1 Mcps, encontrada nos sistemas IS-95 (de faixa estreita), a diferença de percurso tem que ser aproximadamente 300 m, que não pode ser obtida em células pequenas.

No WCDMA a operação das ERBs é assíncrona. Com isso, ao contrário do sistema IS-95, não há necessidade de uma referência de tempo global, como um GPS. Sendo assim, a existência de microcélulas e células *indoor* são facilitadas, uma vez que não é necessário fazer a recepção do sinal GPS.

2.2. Arquitetura do WCDMA

A arquitetura do sistema UMTS/WCDMA está ilustrada na figura 1 abaixo:

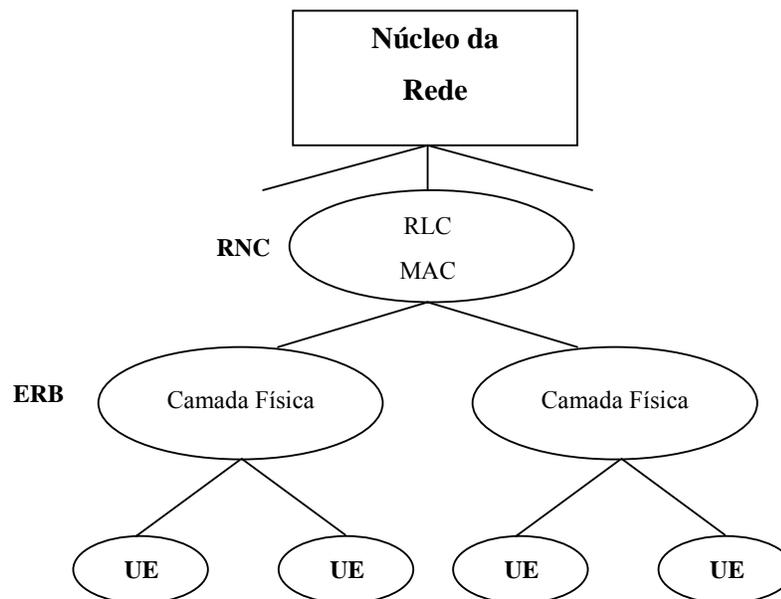


Figura 1: Arquitetura do UMTS/WCDMA.

Como podemos observar na figura acima, o sistema UMTS se divide em três partes:

- Equipamento do usuário (*UE*)
- UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*)
- Núcleo da rede (*Core Network*)

O UE é composto pelo equipamento do usuário (ME) e pelo USIM (*UMTS Subscriber Identity Module*). O USIM é um cartão inteligente que contém todas as informações relevantes do usuário.

A UTRAN, por sua vez, também é formada por dois elementos distintos: a ERB (é chamada de *Node B* na recomendação) e pelo RNC (*Radio Network Controller*). O RNC gerencia e controla todos os recursos rádio no seu domínio. Ele realiza funções de RLC (*Radio Link Control*) e MAC (*Medium Access*

Control). Várias ERBs estão ligadas a um único RNC. O RNC é o ponto de acesso a todos os serviços providos pela UTRAN à rede fixa. As ERBs, por sua vez, realizam os procedimentos da camada física.

O núcleo da rede é o restante da rede fixa do sistema. Ela contém o HLR (*Home Location Register*), o MSC (*Mobile Services Switching Centre*), o VLR (*Visitor Location Register*), o GMSC (*Gateway MSC*), o SGSN (*Serving GPRS Support Node*) e o GGSN (*Gateway GPRS Support Node*). É o núcleo da rede que faz a conexão do UMTS com redes externas.

2.3. Camada Física do WCDMA

Esta seção fornecerá uma descrição da camada 1 (também chamada de camada física) do WCDMA, operando no modo FDD (UTRA FDD). Mostraremos primeiramente a estrutura dos canais físicos dos enlaces de subida e de descida. Em seguida, as operações de espalhamento e modulação do canal físico dedicado nos dois enlaces serão ilustradas em detalhe. Depois, vamos mostrar as estruturas dos quadros dos enlaces de subida e de descida, e explicar brevemente como se dá a codificação do canal.

2.3.1. Estrutura dos Canais Físicos

O WCDMA define dois tipos de canal: canal comum e canal dedicado. A principal diferença entre eles é que o canal comum é um recurso dividido entre um grupo ou todos de usuários de uma célula, enquanto que o canal dedicado, identificado por um certo código em uma certa frequência, é alocado para um usuário apenas.

O WCDMA tem dois tipos de canal dedicado, definido nos dois enlaces:

- Canal Físico Dedicado de Dados (DPDCH): para transportar dados gerados nas camadas superiores.
- Canal Físico Dedicado de Controle (DPCCH): para transportar informação de controle da camada física.

A cada conexão é alocada um DPCCH e zero, um ou vários DPDCHs. Além disso, existem canais comuns definidos como:

- Canais Físicos de Controle Primário e Secundário (PCCPCH e SCCPCH): transportam dados referentes a procedimento de *paging*, fazem *broadcasting*, etc.
- Canal de Sincronização (SCH): usado para busca de célula.
- Canal Físico de Acesso Aleatório (PRACH): usado para transportar informação de controle do terminal, como pedido para iniciar uma chamada, registrar o terminal ao ser ligado e fazer atualização de localização.

- Canal Físico Compartilhado no Enlace de Descida (PDSCH): usado para transportar dados dedicados do usuário ou informação de controle. Pode ser compartilhado por vários usuários.
- Canal Físico Comum de Pacotes (PCPCH): usado para transmitir dados dos usuários, baseado em pacotes no enlace de subida.
- Canal Piloto Comum (CPICH): utilizado para auxiliar o canal dedicado na estimação do canal no terminal e fornecer a referência da estimação do canal para os canais comuns quando eles não estão associados ao canal dedicado. Uma área de atuação importante do CPICH são as medidas para *handoff* e seleção/reseleção de células. Ajustando o nível de potência do CPICH, a carga da célula pode ser balanceada entre células diferentes.
- Canal de Indicação de Aquisição (AICH): usado em conjunto com o PRACH para indicar o recebimento da seqüência de acesso randômico pela ERB.
- Canal de Indicação de *Paging* (PICH): auxilia no eficiente uso do *sleep mode*.
- Canais Físicos para Procedimento de Acesso ao PCPCH:
 - Canal de Indicação de Status do PCPCH (CSICH)
 - Canal de Indicação de Detecção de Colisão do PCPCH (CD-ICH)
 - Canal de Indicação de Designação do Canal PCPCH (CA-ICH)
 - Canal de Aquisição de Preâmbulo de Acesso do PCPCH (AP-AICH)

Os esquemas de espalhamento e modulação dos DPDCH e do DPCCH para os enlaces de subida e de descida serão explicados nas próximas subseções.

2.3.2. Modulação e Espalhamento no Enlace de Subida

No enlace de subida, transmissões descontínuas podem causar interferência audível a equipamentos de áudio que estão nas proximidades do terminal. Nos períodos de silêncio, apenas informações para manutenção do enlace (como

controle de potência, por exemplo) são transmitidas, a 1,5 KHz. Se o DPDCH e o DPCCH fossem multiplexados no tempo, causaria interferência no meio da faixa de frequências de telefonia. Sendo assim, no WCDMA, eles são multiplexados por códigos/I-Q (componentes fase e quadratura), conseguindo transmissão contínua, como mostra a figura 2.

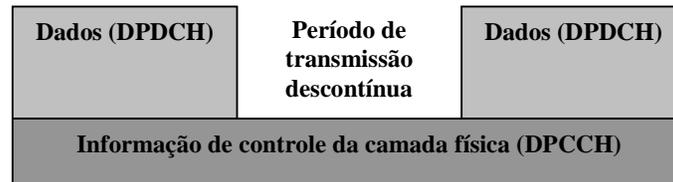


Figura 2: Transmissão paralela dos DPDCH/DPCCH com a presença/ausência de dados.

Observando a figura 2, vemos que o único momento que temos transmissão de pulsos é quando o DPDCH é desligado, mas isso não ocorre com uma alta frequência, evitando assim a interferência audível.

No enlace de subida, a modulação de dados nos dois canais dedicados é BPSK (*Binary Phase Shift Keying*). O DPCCH modulado é mapeado no canal Q, enquanto o primeiro DPDCH é mapeado no canal I. Os DPDCHs adicionais na seqüência são mapeados alternativamente nos canais I ou Q.

A modulação do espalhamento é aplicada depois da modulação de dados e antes da aplicação do formato do pulso. A modulação do espalhamento usada no enlace de subida é a QPSK canal-dual. Tal modulação consiste em duas operações diferentes. A primeira é o espalhamento propriamente dito, onde cada símbolo de dados é espalhado em um número de chips, dado pelo fator de espalhamento. Isso aumenta a largura de banda do sinal. A segunda operação é o *scrambling*, onde um código de *scrambling* complexo é aplicado ao sinal já espalhado. Essa operação não altera a largura de banda do sinal, como ilustra a figura 3.

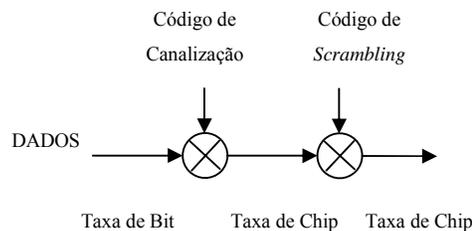


Figura 3: Relação entre espalhamento e *scrambling*.

O espalhamento e a modulação para um usuário do enlace de subida estão ilustrados na figura 4 abaixo. Esse usuário tem apenas um DPDCH e um DPCCH.

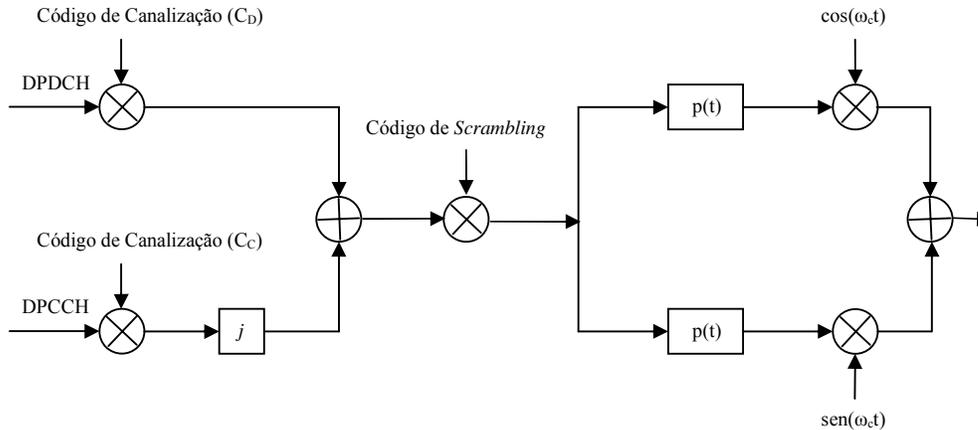


Figura 4: Modulação e espalhamento no enlace de subida.

Os símbolos de dados transmitidos nas componentes I e Q são multiplicados por códigos de canalização diferentes. Os códigos de canalização são conhecidos como códigos OVSF (Fator de Espalhamento Variável Ortogonal). Os códigos OVSF preservam a ortogonalidade mútua de transmissão entre canais físicos diferentes, mesmo que eles usem fatores de espalhamento diferentes. O uso de códigos OVSF é um fator chave no alto grau de flexibilidade de serviços da interface aérea do WCDMA. Mais detalhes sobre a geração dos códigos OVSF podem ser encontrados em [2], [3], [4], [20] e [21].

Ainda na figura 4, percebemos que o sinal resultante do espalhamento é multiplicado por um código de *scrambling* complexo. Esse processo é necessário para separar o terminal (enlace de subida) ou as ERBs (enlace de descida) uns dos outros. Como já mencionado, o processo de *scrambling* é usado em cima do espalhamento, sem mudar a largura de banda do sinal. Ele, no entanto, faz com que sinais de fontes diferentes sejam separáveis entre si.

Os códigos de *scrambling* do enlace de subida podem ser do tipo longo ou curto. Os códigos curtos são recomendados para ERBs que possuam receptores avançados, fazendo a detecção de múltiplos usuários ou cancelamento de interferência. Nas nossas simulações, utilizamos os códigos longos, uma vez que o nosso receptor é um receptor *Rake* simples. No enlace de subida, não há

necessidade de fazer um planejamento de códigos, uma vez que existem milhares de códigos das duas famílias (curtos e longos). Os curtos foram escolhidos da família de códigos estendida $S(2)$, enquanto que os longos são códigos *Gold*. Mais detalhes sobre a geração dos códigos de *scrambling* podem ser encontrados em [2], [3], [4], [20] e [21].

Em seguida, o sinal é formatado por um pulso. Os filtros empregados são raiz-quadrada cosseno levantado com fator de *roll-off* de 0,22. Na seqüência, o sinal formatado pelo pulso é transladado para altas freqüências. Todo este processo está ilustrado na figura 4.

A aplicação de um código de *scrambling* complexo com modulação de espalhamento como descrito na figura 4 é usualmente conhecida como HPSK (*Hybrid Phase Shift Keying*). HPSK reduz o fator de pico (relação potência de pico / potência média) das estações móveis ao fazer a geração da seqüência de *scrambling* complexa de um modo especial, mostrado em [3].

Para se ter uma melhor eficiência de potência do amplificador, a transmissão do terminal deve ter o menor fator de pico possível. Dessa maneira, permitiria ao terminal operar com um requisito mínimo de *back-off* do amplificador. As potências do DPDCH e do DPCCH são normalmente diferentes, principalmente quando a taxa de transmissão aumenta. Com isso, a transmissão paralela dos dois canais dedicados aumenta o fator de pico. Usando o método descrito na figura 4, a eficiência de potência do amplificador permanece igual a do QPSK balanceado. Os códigos de *scrambling* complexos são formados de uma maneira tal que as rotações entre chips consecutivos, dentro de um mesmo período de símbolo, são limitadas a $\pm 90^\circ$. A rotação completa de 180° poderá acontecer apenas entre símbolos consecutivos. Dessa maneira, esse método reduz o fator de pico, que é o objetivo desejado.

O fator de espalhamento do canal de controle é sempre o maior valor possível, que para o enlace de subida é 256. Isso faz com que o canal de controle seja mais imune a ruído, uma vez que seu ganho de processamento é o mais alto possível.

2.3.3. Modulação e Espalhamento no Enlace de Descida

A técnica de modulação empregada nos dados no enlace de descida é a QPSK. Cada dois bits de entrada são convertidos de série para paralelo e mapeados nas componentes I e Q (fase e quadratura) respectivamente, ou seja, são multiplexados no tempo, ao invés de multiplexação por códigos como no enlace de subida. Os códigos de canalização são os mesmos códigos OVSF mencionados na seção anterior para o enlace de subida. O sinal espalhado é, em seguida, multiplicado pelo código de *scrambling* específico de uma célula.

A interferência audível na ausência de transmissão do DPDCH não é relevante no enlace de descida, uma vez que os canais comuns têm transmissão contínua sempre. Além disso, existem muitas transmissões paralelas no enlace de descida. Sendo assim, otimizações para o fator de pico, como ocorre no enlace de subida, não são necessárias. Mais ainda, reservar um código de canalização apenas para servir ao canal de controle (DPCCH) resultaria num mau aproveitamento dos códigos, principalmente quando transmitindo vários sinais diferentes de uma única fonte. Como as componentes I e Q têm a mesma potência, a operação de *scrambling* não trará as variações no envelope da portadora como no enlace de subida.

O espalhamento e a modulação para um usuário do enlace de descida estão ilustrados na figura 5. Este usuário tem apenas um DPDCH e um DPCCH. Canais de dados (DPDCH) adicionais são modulados com a técnica QPSK e espalhados com diferentes códigos de canalização.

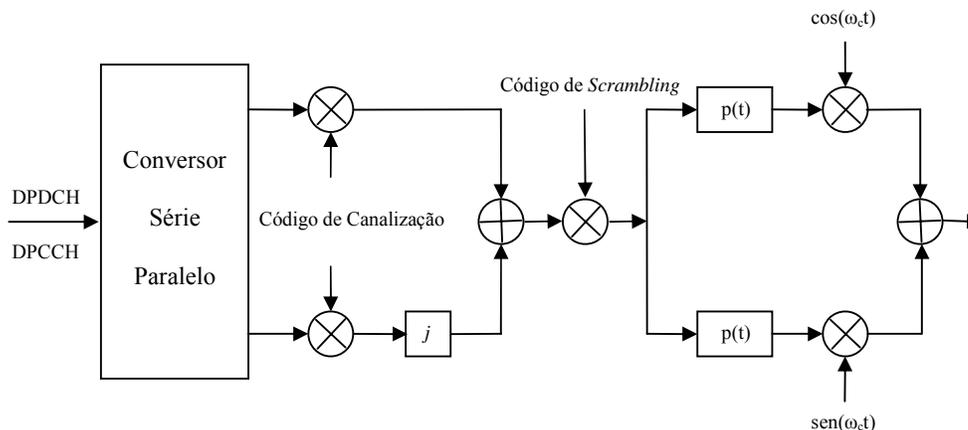


Figura 5: Modulação e espalhamento no enlace de descida.

Assim como no enlace de subida, o sinal multiplicado pelo código de *scrambling* é formatado por um pulso. Os filtros empregados também são raiz-quadrada cosseno levantado com fator de *roll-off* de 0,22. Em seguida, o sinal formatado pelo pulso é transladado para altas frequências, como vemos na figura 5.

Deve-se notar que a multiplicação por j na figura 5 é uma forma sintética de definir o processo de codificação através da representação complexa. Na realidade, o código de *scrambling* é um código bidimensional, ou seja, constituído por duas seqüências binárias, c_I e c_Q , e o processo de codificação corresponde à multiplicação destas duas seqüências pelas duas seqüências de dados já espalhados, d_I e d_Q , de forma a obter duas novas seqüências, x_I e x_Q . Estas, que serão as correspondentes em fase e quadratura do sinal modulado (antes da filtragem) são dadas por:

$$x_I = d_I c_I - d_Q c_Q = \operatorname{Re}[(d_I + j d_Q)(c_I + j c_Q)] \quad (2.1)$$

$$x_Q = d_I c_Q - d_Q c_I = \operatorname{Im}[(d_I + j d_Q)(c_I + j c_Q)]. \quad (2.2)$$

No enlace de descida, os códigos de *scrambling* são os códigos longos, isto é, os mesmos códigos *Gold* usados no enlace de subida. Os códigos curtos não são usados. Neste caso, o conjunto de códigos de *scrambling* é limitado a 512 códigos, uma vez que, se o número de códigos fosse muito grande, o procedimento de busca de célula ficaria comprometido.

Como já mencionado, os códigos de canalização do enlace de descida são os mesmos códigos OVFSF usados no enlace de subida. A árvore de códigos sob um único código de *scrambling* é compartilhada com vários usuários. Tipicamente, apenas uma árvore de códigos (um código de *scrambling*) é utilizada em um setor de uma ERB. Os canais comuns e os dedicados compartilham a mesma árvore, sendo a única exceção o SCH, que não é multiplicado pelo código de *scrambling*.

No enlace de descida, o fator de espalhamento do canal dedicado não varia de quadro em quadro. A variação de taxa de dados é obtida através do ajuste de taxas e através da descontinuidade da transmissão. No entanto, quando temos

transmissões de múltiplos códigos, cada código paralelo tem um código de canalização diferente e estão todos sob um mesmo código de *scrambling*, mas o fator de espalhamento de todos eles é igual.

A exceção é o PDSCH, ou canal físico compartilhado no enlace de descida. Ele pode usar fatores de espalhamento variáveis de quadro em quadro. Dessa maneira, os códigos de canalização utilizados no espalhamento são alocados do mesmo ramo da árvore de códigos, para facilitar a implementação do terminal. Isto é, se em um quadro o usuário possui um fator de espalhamento igual a 8 e no quadro seguinte deseja mudar para 16, ele terá que utilizar o código de canalização do mesmo ramo que vinha utilizando, tendo assim duas opções de códigos com fator de espalhamento igual a 16. A árvore de códigos do PDSCH está ilustrada na figura 6.

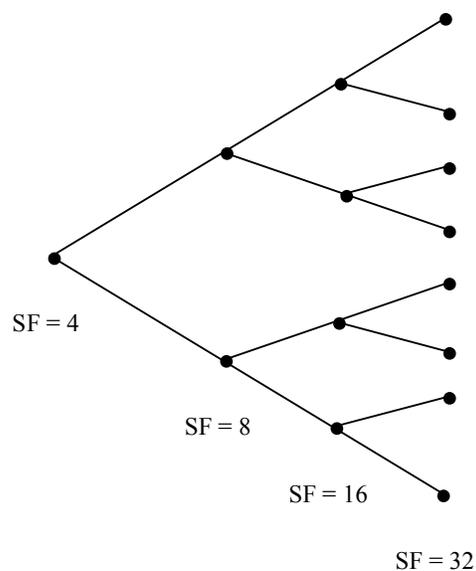


Figura 6: Exemplo de árvore de códigos de um PDSCH.

2.3.4. Estrutura do Quadro no Enlace de Subida

A figura 7 mostra a estrutura principal do quadro dos canais físicos dedicados do enlace de subida. Cada quadro tem 10 ms e é dividido em 15 janelas de tempo (*time slot*). Cada janela de tempo tem um comprimento de 2560 chips (ou 577 μ s), correspondendo a um período de controle de potência. Um super-quadro tem um comprimento de 720 ms, isto é, equivale a 72 quadros.

Percebemos, ainda na figura 7, que o DPDCH e o DPCCH são multiplexados por códigos. O fator de espalhamento do DPCCH é fixo e igual a 256. Por outro lado, o fator de espalhamento do DPDCH é variável, de 4 a 256. Conforme vimos em seções anteriores, uma transmissão no enlace de subida consiste em um ou mais DPDCH e um único DPCCH. Além disso, a taxa de transmissão do DPDCH pode variar de quadro em quadro no enlace de subida.

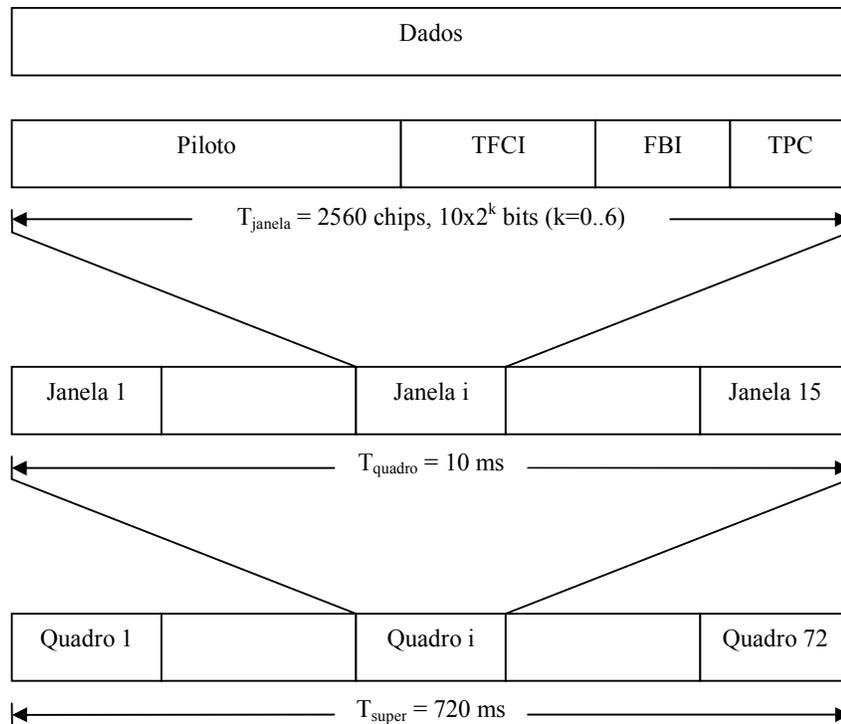


Figura 7: Estrutura de quadro do DPDCH/DPCCH no enlace de subida.

Os bits piloto são usados para estimação do canal no receptor e para demodulação coerente. Os bits TPC (*Transmit Power Control*) carregam os comandos de controle de potência para o enlace de descida. Os bits FBI (*Feedback Information*) são usados quando há diversidade de transmissão no enlace de descida. Os bits TFCI (*Transport Format Combination Indicator*) trazem a informação da taxa de transmissão e servem para indicar e identificar vários serviços simultâneos. O parâmetro k da figura 7 determina o número de bits em cada janela de tempo. Ele está relacionado com o fator de espalhamento (SF) do canal físico da seguinte maneira:

$$SF = \frac{256}{2^k}. \quad (2.3)$$

O número exato de bits em cada campo do DPCCH é dado em [3] e [4]. Além disso, dados também podem ser enviados no PRACH e no PCPCH.

A taxa máxima de dados conseguida no enlace de subida com um único código é derivada da taxa máxima de transmissão do canal, que é 960 Kbps sem codificação do canal e com fator de espalhamento igual a 4. Com codificação do canal (taxa $R=1/2$), a taxa máxima é de 480 Kbps, para um único código. Se quisermos taxas maiores, utilizamos códigos paralelos. É permitido o uso de até 6 códigos paralelos, alcançando transmissões de 5,74 Mbps sem codificação e 2,3 Mbps com codificação de taxa $R=1/2$.

As taxas de dados do DPDCH no enlace de subida, para fatores de espalhamento variáveis, estão ilustradas na tabela 1 abaixo.

Fator de Espalhamento do DPDCH	Taxa de transmissão do DPDCH (kbps)	Taxa Máxima de Dados do Usuário com taxa de codificação 1/2 (kbps)
256	15	7,5
128	30	15
64	60	30
32	120	60
16	240	120
8	480	240
4	960	480
4, com 6 códigos paralelos	5740	2,3 Mbps

Tabela 1: Taxas de dados do DPDCH no enlace de subida.

2.3.5. Estrutura do Quadro no Enlace de Descida

A figura 8 mostra a estrutura principal do quadro dos canais físicos dedicados do enlace de descida. Cada quadro tem 10 ms e é dividido em 15 janelas de tempo. Cada janela de tempo tem um comprimento de 2560 chips (ou 577 μ s), correspondendo a um período de controle de potência. Um super-quadro

tem um comprimento de 720 ms, isto é, equivale a 72 quadros, assim como no enlace de subida.

Como vemos na figura 8, o DPDCH e o DPCCH são multiplexados por tempo no enlace de descida. No caminho contrário, vimos que esta multiplexação é por códigos. O fator de espalhamento do DPCCH é fixo e igual a 256. Por outro lado, o fator de espalhamento do DPDCH é variável, de 4 a 512. A taxa de transmissão do DPDCH pode variar de quadro em quadro.

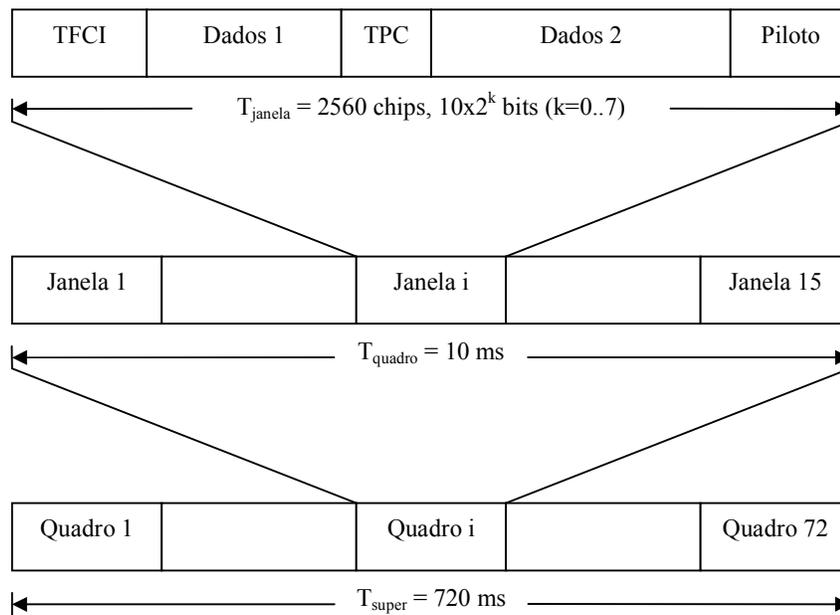


Figura 8: Estrutura de quadro do DPDCH/DPCCH no enlace de descida.

Os diferentes bits de controle possuem o mesmo significado explicado na seção anterior para o enlace de subida. O parâmetro k da figura 8 determina o número de bits em cada janela de tempo. Ele está relacionado com o fator de espalhamento (SF) do canal físico da seguinte maneira:

$$SF = \frac{512}{2^k}. \quad (2.4)$$

Além disso, dados também podem ser enviados no PDSCH e no SCCPCH.

Técnicas de modulação distintas causam diferenças entre taxas de dados dos enlaces de subida e descida. No enlace de subida, o DPDCH consiste em símbolos BPSK, e no de descida, o DPDCH consiste em QPSK.

Apesar de parte do tempo ser reservada para o canal de controle (figura 8), as taxas de bit para um único código são geralmente o dobro das do enlace de subida, para o mesmo fator de espalhamento. Essas taxas estão ilustradas na tabela 2 abaixo.

Fator de Espalhamento do DPDCH	Taxa de Símbolo do Canal (kbps)	Taxa de Bit do Canal (kbps)	Taxa de Bit do DPDCH (kbps)	Taxa Máxima de Dados do Usuário com taxa de codificação 1/2 (kbps)
512	7,5	15	3-6	1-3
256	15	30	12-24	6-12
128	30	60	42-51	20-24
64	60	120	90	45
32	120	240	210	105
16	240	480	432	215
8	480	960	912	456
4	960	1920	1872	936
4, com 3 códigos paralelos	2880	5760	5616	2,3 Mbps

Tabela 2: Taxas de dados do DPDCH no enlace de descida.

2.3.6. Codificação do Canal

O principal motivo de se ter uma codificação no canal é introduzir redundância seletivamente no sinal de dados transmitido e melhorar com isso a performance do enlace rádio [8].

Na UTRA dois métodos de codificação do canal foram definidos. Para serviços convencionais que requerem BER até 10^{-3} , que é o caso para aplicações de voz, são usados códigos convolucionais com taxas $1/2$ e $1/3$. Para serviços de alta qualidade (BER de 10^{-2} a 10^{-6}), a codificação turbo com taxa $1/3$ será usada e tipicamente traz melhorias na performance quando tamanhos de blocos suficientemente grandes são alcançados.