



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0214310-0 B1**



**(22) Data do Depósito: 20/11/2002**

**(45) Data de Concessão: 02/07/2019**

**(54) Título:** SELEÇÃO DE TAXA PARA UM SISTEMA OFDM

**(51) Int.Cl.:** H04L 27/26; H04L 1/00; H04L 1/18.

**(30) Prioridade Unionista:** 21/11/2001 US 09/991,039.

**(73) Titular(es):** QUALCOMM INCORPORATED.

**(72) Inventor(es):** AHMAD JALALI; IVAN FERNANDEZ-CORBATON.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2002037335 de 20/11/2002

**(87) Publicação PCT:** WO 2003/047197 de 05/06/2003

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 20/05/2004

**(57) Resumo:** "SELEÇÃO DE TAXA PARA UM SISTEMA OFDM". Na presente invenção são apresentadas técnicas para determinar a taxa para uma transmissão de dados em um sistema OFDM. A taxa de dados máxima que pode ser transmitida com confiança através de um determinado canal de multipercorso (não monótono) pelo sistema OFDM é determinado com base em uma medida para um canal (monótono) equivalente. Para um determinado canal de multipercorso e uma taxa específica (que pode ser indicativa de uma taxa de dados específica, de um esquema de modulação e uma taxa de codificação), a medida é inicialmente obtida a partir de uma taxa de dados equivalente e de um esquema de modulação específico. É determinada a seguir, uma SNR limite necessária para transmitir com confiança a taxa de dados específica usando o esquema de modulação específico e taxa de codificação. A taxa específica é julgada como suportada pelo canal de multipercorso caso a medida seja maior ou igual à SNR limite. A transmissão incremental é usada para considerar erros na taxa de dados determinada.

# SELEÇÃO DE TAXA PARA UM SISTEMA OFDM

## **FUNDAMENTOS**

### **Campo**

A presente invenção está relacionada de modo geral a comunicação de dados, e mais especificamente a técnicas para selecionar a taxa para um sistema de comunicação sem fio (por exemplo, OFDM).

### **Fundamentos**

Os sistemas de comunicação sem fio são distribuídos amplamente para prover diversos tipos de comunicação tais como voz, dados e assim por diante. Estes sistemas podem implementar modulação por multiplexação por divisão de freqüência ortogonal (OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplex), que pode ser capaz de prover elevado desempenho para alguns ambientes de canal. Em um sistema OFDM, a largura de banda do sistema é dividida efetivamente em diversos subcanais de freqüência ( $N_F$ ) (que podem ser chamados sub-bandas ou faixas de freqüência (frequency bins)). Cada subcanal de freqüência é associado a uma subportadora respectiva (ou tom de freqüência) sob o qual dados podem ser modulados. Tipicamente, os dados a serem transmitidos (isto é, os bits de informação) são codificados com um esquema de codificação específico para gerar bits codificados, e os bits codificados podem adicionalmente ser agrupados em símbolos multi-bit que são a seguir mapeados em símbolos de modulação com base em um esquema de modulação específico (por exemplo, M-PSK ou M-QAM). A cada intervalo de tempo que pode ser dependente da largura de banda de cada subcanal de freqüência, um símbolo de modulação pode ser transmitido em cada um dos  $N_F$  subcanais de freqüência.

Os subcanais de freqüência de um sistema OFDM podem experimentar diferentes condições de canal (por exemplo, desvanecimento e efeitos multipercurso diferentes) e pode atingir diferentes relações sinal / ruído mais 5 interferência (SNRs - Signal to Noise and Interference Ratios). Cada símbolo de modulação transmitido é afetado pela resposta em freqüência do canal de comunicação no subcanal de freqüência específico pelo qual o símbolo foi transmitido. Dependendo do perfil de multipercurso do canal 10 de comunicação, a resposta em freqüência pode variar amplamente ao longo da largura de banda do sistema. Assim, os símbolos de modulação que formam coletivamente um pacote de dados específico podem ser recebidos individualmente com uma ampla faixa de SNRs através dos subcanais de freqüência 15  $N_F$ , e o SNR variará de modo correspondente por todo o pacote.

Para um canal multipercurso que possui uma resposta em freqüência que não é uniforme (flat) ou constante, o número de bits de informação por símbolo de 20 modulação (isto é, a taxa de dados ou taxa de informação) que pode ser transmitido com confiança em cada subcanal de freqüência pode ser diferente de subcanal para subcanal. Além disso, as condições de canal variam tipicamente com o tempo. Assim, as taxas de dados suportadas pelos subcanais 25 de freqüência também variam com o tempo.

Uma vez que as condições de canal experimentadas por um determinado receptor são tipicamente conhecidas a priori, não é prático transmitir dados à mesma potência de transmissão e/ou taxa de dados para todos os receptores. O 30 ajuste destes parâmetros de transmissão resultaria provavelmente em um desperdício de potência de transmissão, o uso de taxas de dados sub-ótimas para alguns receptores, e comunicação não confiável para alguns outros receptores, todos os quais conduzem a uma redução indesejável na 35 capacidade do sistema. As capacidades de transmissão

5 diferentes dos canais de comunicação para receptores diferentes mais a natureza variante no tempo e de multipercorso destes canais tornam um desafio codificar e modular dados eficazmente para transmissão em um sistema OFDM.

Há, portanto, uma demanda na área por técnicas para selecionar a taxa apropriada para transmissão de dados em um sistema de comunicação sem fio (por exemplo, OFDM) que possua as características de canal acima descritas.

10

## RESUMO

15 Aspectos da invenção provêm técnicas para determinar e selecionar a taxa para uma transmissão de dados em um sistema de comunicação sem fio (por exemplo, OFDM). Estas técnicas podem ser utilizadas para prover o desempenho de sistema aperfeiçoadado para um sistema OFDM que opera com um canal multipercorso (não uniforme) ou um canal uniforme.

20 Em um aspecto, a taxa de dados máxima que pode ser transmitida com confiança por um determinado canal multipercorso pelo sistema OFDM é determinado com base em uma medida para um canal uniforme de freqüência equivalente (por exemplo, um canal que possui uma resposta em freqüência uniforme). Para o dado canal multipercorso, que é definido por uma resposta em freqüência específica e uma variância de ruído específica, o sistema OFDM pode ser capaz de atingir uma taxa de dados equivalente específica  $D_{equiv}$  utilizando um esquema de modulação específico  $M(r)$ . A taxa de dados equivalente,  $D_{equiv}$ , pode ser estimada com base em uma função de capacidade de canal específica (por exemplo, uma função de capacidade de canal restrita ou alguma outra função). A medida, que é uma estimativa da SNR requerida pelo canal uniforme de freqüência equivalente para transmitir com confiança à taxa de dados equivalente  $D_{equiv}$  utilizando o esquema de modulação  $M(r)$ , é a seguir

determinada para  $D_{equiv}$  utilizando  $M(r)$  e adicionalmente com base em uma função específica  $g(D_{equiv}, M(r))$ . Uma SNR limite necessária para o canal equivalente é a seguir determinada para transmitir com confiança uma taxa de dados 5 específica  $D(r)$  utilizando o esquema de modulação  $M(r)$  e taxa de codificação  $C(r)$ . A taxa de dados  $D(r)$  é a seguir julgada como sendo suportada pelo canal multipercorso se a medida for maior ou igual à SNR limite.

Em outro aspecto, um esquema de transmissão 10 incremental (IT - Incremental Transmission) é provido e pode ser utilizado vantajosamente em conjunto com a seleção de taxa do primeiro aspecto para reduzir a quantidade de back-offs e melhorar a vazão do sistema. O esquema IT transmite um determinado pacote de dados utilizando uma ou 15 mais transmissões discretas, uma transmissão de cada vez e até um limite específico. A primeira transmissão para o pacote inclui quantidade suficiente de dados tal que o pacote possa ser recuperado livre de erros no receptor com base nas condições de canal esperadas. Porém, caso a 20 primeira transmissão seja excessivamente degradada pelo canal de comunicação tal que a recuperação livre de erros do pacote não seja alcançada, é executada uma transmissão incremental de uma quantidade adicional de dados para o pacote. O receptor tenta recuperar o pacote com base nos 25 dados adicionais na transmissão incremental então e todos os dados recebidos previamente para o pacote. A transmissão incremental pelo transmissor e a decodificação pelo receptor pode ser tentada uma ou mais vezes, até que o pacote seja recuperado livre de erros ou o número máximo de 30 transmissões incrementais seja alcançado.

São descritos diversos aspectos e modalidades da invenção em detalhes adicionais abaixo. A invenção provê adicionalmente métodos, unidades receptoras, unidades transmissoras, sistemas receptores, sistemas transmissores, 35 sistemas e outros equipamentos e elementos que implementam

diversos aspectos, modalidades e características da invenção, como descrito em maiores detalhes abaixo.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

As características, natureza e vantagens da presente invenção ficarão mais aparentes a partir da descrição detalhada abaixo, quando tomada em conjunto com os desenhos nos quais caracteres com referência semelhante são identificados correspondentemente e em que:

10 A Figura 1A é um diagrama de um modelo simplificado de um sistema de comunicação OFDM;

A Figura 1B é um diagrama que ilustra graficamente a seleção de taxa para um canal multipercorso utilizando um canal equivalente;

15 A Figura 2 é um fluxograma de uma modalidade de um processo para selecionar a taxa de dados para uso no sistema OFDM com base em uma medida  $\Psi$ ;

20 A Figura 3 é um diagrama de blocos de uma modalidade de um sistema transmissor e um sistema receptor, que é capaz de implementar diversos aspectos e modalidades da invenção;

A Figura 4 é um diagrama de blocos de uma modalidade de uma unidade transmissora; e

A Figura 5 é um diagrama de blocos de uma modalidade de uma unidade receptora.

25

#### **DESCRIÇÃO DETALHADA**

As técnicas descritas neste relatório para determinar e selecionar a taxa para uma transmissão de dados podem ser utilizadas para diversos sistemas de comunicação sem fio que compreendem um ou mais canais de transmissão independentes, por exemplo, sistemas de múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO - Multiple-Input Multiple-Output). Para maior clareza, diversos aspectos e modalidades da invenção são descritos

especificamente para um sistema de multiplexação por divisão de freqüência ortogonal (OFDM), em que os canais de transmissão independentes são os subcanais de freqüência ou faixas de freqüência formados pela divisão da largura de 5 banda total do sistema.

A Figura 1A é um diagrama de um modelo simplificado do sistema OFDM. Em um transmissor 110, os dados de tráfego são providos em uma taxa de dados específica a partir de uma fonte de dados 112 para um 10 codificador/modulador 114, que codifica os dados de acordo com um ou mais esquemas de codificação e modula adicionalmente os dados codificados de acordo com um ou mais esquemas de modulação. A modulação pode ser alcançada mediante agrupamento de conjuntos de bits codificados para 15 formar símbolos multi-bit e mapear cada símbolo multi-bit para um ponto em uma constelação de sinais que corresponde ao esquema de modulação específico (por exemplo, QPSK, M-PSK ou M-QAM) selecionado para cada subcanal de freqüência utilizado para transmitir o símbolo. Cada ponto 20 de sinal mapeado corresponde a um símbolo de modulação.

Em uma modalidade, a taxa de dados é determinada por um controle de taxa de dados, os esquemas de codificação são determinados por um controle de codificação e os esquemas de modulação são determinados por um controle 25 de modulação, todos os quais são providos por um controlador 130 com base em informações de realimentação recebidas a partir de um receptor 150.

Um piloto também pode ser transmitido ao receptor para auxiliá-lo a executar diversas funções, tais como 30 estimação de canal, aquisição, sincronização de freqüência e de temporização, demodulação de dados coerente e assim por diante. Neste caso, os dados piloto são providos ao codificador/modulador 114, o qual a seguir multiplexa e processa os dados piloto com os dados de tráfego.

Para OFDM, os dados modulados (isto é, os símbolos de modulação) são a seguir transformados para o domínio do tempo por uma transformadora inversa de Fourier rápida (IFFT - Inverse Fast Fourier Transformer) 116 para prover símbolos OFDM, com cada símbolo OFDM correspondendo a uma representação temporal de um vetor de  $N_F$  símbolos de modulação a serem transmitidos em  $N_F$  subcanais de freqüência em um período de símbolo de transmissão. Ao contrário de um sistema "codificado no tempo" de portadora única, o sistema OFDM transmite eficazmente os símbolos de modulação no "domínio da freqüência", mediante envio no domínio do tempo da IFFT dos símbolos de modulação que representam os dados de tráfego. Os símbolos OFDM são processados adicionalmente (não mostrados na Figura 1A por simplicidade) para gerar um sinal modulado, que é a seguir transmitido através de um canal de comunicação sem fio ao receptor. Como mostrado na Figura 1A, o canal de comunicação possui uma resposta em freqüência de  $H(f)$  e adicionalmente degrada o sinal modulado com ruído Gaussiano branco aditivo (AWGN - Additive White Gaussian Noise) de  $n(t)$ .

No receptor 150, o sinal modulado transmitido é recebido, condicionado e digitalizado para prover amostras de dados. Um transformador de Fourier rápido (FFT - Fast Fourier Transformer) 160 recebe e transforma a seguir as amostras de dados ao domínio da freqüência e os símbolos OFDM recuperados são providos a um demodulator/decodificador 162 e um estimador de canal 164. O demodulator/decodificador 162 processa (por exemplo, demodula e decodifica) os símbolos OFDM recuperados para prover dados decodificados e pode prover adicionalmente um estado de cada pacote recebido. O estimador de canal 164 processa os símbolos OFDM recuperados para prover estimativas de uma ou mais características do canal de comunicação, tal como a resposta em freqüência do canal, a

variância de ruído do canal, a relação sinal / ruído mais interferência (SNR) dos símbolos recebidos, e assim por diante.

Um seletor de taxa 166 recebe as estimativas a 5 partir do estimador de canal 164 e determina uma "taxa" adequada que pode ser utilizada para todos ou um subconjunto dos subcanais de freqüência disponíveis para uso para transmissão de dados. A taxa é indicativa de um conjunto de valores específicos para um conjunto de 10 parâmetros. Como exemplo, a taxa pode indicar (ou pode ser associada a) uma taxa de dados específica a ser utilizada para a transmissão de dados, um esquema de codificação ou taxa de codificação específicos, um esquema de modulação específico, e assim por diante.

Um controlador 170 recebe a taxa a partir do seletor de taxa 166 e o estado de pacote a partir do demodulador/decodificador 162 e provê as informações de realimentação apropriadas a serem enviadas de volta ao transmissor 110. Estas informações de realimentação podem 15 incluir a taxa, as estimativas de canal providas pelo estimador de canal 164, e uma confirmação (ACK - acknowledgment) ou confirmação negativa (NACK - negative acknowledgment) para cada pacote recebido, alguma outra 20 informação, ou qualquer combinação de tais. As informações de realimentação são utilizadas para aumentar a eficiência 25 do sistema mediante ajuste do processamento de dados no transmissor tal que a transmissão de dados seja executada nas melhores configurações conhecidas de potência e taxa que podem ser suportadas pelo canal de comunicação. As 30 informações de realimentação são a seguir enviadas de volta ao transmissor 110 e utilizadas para ajustar o processamento (por exemplo, a taxa de dados, codificação e modulação) da transmissão de dados para receptor 150.

Na modalidade mostrada na Figura 1A, a seleção de 35 taxa é executada pelo receptor 150 e a taxa selecionada é

provida ao transmissor 110. Em outras modalidades, a seleção de taxa pode ser executada pelo transmissor com base em informações de realimentação providas pelo receptor, ou pode ser executada em conjunto por ambos o 5 transmissor e o receptor.

Sob condições adequadas, os símbolos OFDM recuperados na saída do FFT 160 podem ser expressos como:

$$\hat{Y}(k) = Y(k)H(k) + N(k) \quad \text{Eq. (1)}$$

onde:

10  $k$  é um índice para os subcanais de freqüência do sistema OFDM, isto é,  $k = 0, 1, \dots, N_F - 1$ , em que  $N_F$  é o número de subcanais de freqüência;

15  $Y(k)$  são os símbolos de modulação transmitidos no  $k$ -ésimo subcanal de freqüência, que é obtido com base em um esquema de modulação específico utilizado para o  $k$ -ésimo subcanal de freqüência;

$H(k)$  é a resposta em freqüência do canal de comunicação, representado na forma "quantizada" para cada subcanal de freqüência;

20  $N(k)$  representa o FFT de uma seqüência de  $N_F$  amostras de ruído no domínio do tempo, isto é,  $\text{FFT}\{n(kT)\}$  para  $k = 0, 1, \dots, N_F - 1$ ; e

$T$  é o período de amostragem.

25 Em um sistema de portadora única, todos os símbolos transmitidos podem ser recebidos no receptor à, aproximadamente, mesma SNR. A relação entre a SNR de um pacote de "SNR constante" e a probabilidade de erro para o pacote são bem conhecidas na técnica. Como uma aproximação, a taxa de dados máxima suportada pelo sistema de única 30 portadora com uma SNR específica alcançada pode ser estimada como a taxa de dados máxima suportada por um canal AWGN com a mesma SNR. A característica principal do canal AWGN é que sua resposta em freqüência é uniforme ou constante ao longo de toda a largura de banda do sistema.

Porém, em um sistema OFDM, os símbolos de modulação que compõem um pacote são transmitidos por múltiplos subcanais de freqüência. Dependendo da resposta em freqüência dos subcanais de freqüência utilizados para transmitir o pacote, a SNR pode variar por todo o pacote. Este problema de pacote com "SNR variante" é exacerbado quando a largura de banda do sistema aumenta e para um ambiente de multipercurso.

O maior desafio para um sistema OFDM é então determinar a taxa de dados máxima que pode ser utilizada para transmissão de dados enquanto atingindo um nível específico de desempenho, que pode ser quantificado por uma taxa de erros de pacote específica (PER - Packet Error Rate), taxa de erros de quadro (FER - Frame Error Rate), taxa de erros de bits (BER - Bit Error Rate), ou algum outro critério. Como exemplo, o nível desejado de desempenho pode ser atingido ao manter a PER dentro de uma janela pequena ao redor de um valor nominal específico (por exemplo,  $P_e = 1\%$ ).

Em um sistema de comunicação típico, um conjunto de taxas de dados específicas e discretas pode ser definido, e apenas estas taxas de dados podem estar disponíveis para uso. Cada taxa de dados,  $D(r)$ , pode ser associada a um esquema de modulação específico ou constelação,  $M(r)$ , e uma taxa de codificação específica,  $C(r)$ . Cada taxa de dados requer adicionalmente uma  $SNR(r)$  específica, que é a SNR mínima na qual a PER resultante para a transmissão de dados àquela taxa de dados é menor ou igual a PER desejada,  $P_e$ . Esta  $SNR(r)$  assume que o canal de comunicação é AWGN (isto é, com uma resposta em freqüência uniforme ao longo de toda a largura de banda do sistema, ou  $H(k)=H$  para todo  $k$ ). Tipicamente, o canal de comunicação entre o transmissor e o receptor não é AWGN, mas ao invés é dispersivo ou seletivo em freqüência (isto é, quantidades

5 diferentes de atenuação em diferentes sub-faixas da largura de banda do sistema). Para um tal canal multipercorso, a taxa de dados específica a ser utilizada para transmissão de dados pode ser selecionada para levar em conta o multipercorso ou natureza seletiva de freqüência do canal.

10 Cada taxa de dados,  $D(r)$ , pode desta forma, ser associado a um conjunto de parâmetros que a caracteriza. Estes parâmetros podem incluir o esquema de modulação  $M(r)$ , a taxa de codificação  $C(r)$  e a  $SNR(r)$  requerida, como a seguir:

$$D(r) \leftrightarrow [M(r), C(r), SNR(r)], \quad \text{Eq. (2)}$$

15 em que  $r$  é um índice para as taxas de dados, isto é,  $r = 0, 1, \dots, N_R - 1$ , em que  $N_R$  é o número total de taxas de dados disponíveis para uso. A expressão (2) enuncia que a taxa de dados  $D(r)$  pode ser transmitida utilizando esquema de modulação  $M(r)$  e taxa de codificação  $C(r)$  e requer adicionalmente  $SNR(r)$  em um canal AWGN para atingir a PER nominal desejada  $P_e$ . As taxas de dados  $N_R$  podem ser ordenadas tal como  $D(0) < D(1) < D(2) \dots < D(N_R - 1)$ .

20 De acordo com um aspecto da invenção, a taxa de dados máxima que pode ser transmitida com confiança através de um determinado canal multipercorso em um sistema OFDM é determinada com base em uma medida para um canal AWGN equivalente. A transmissão confiável é alcançada se a PER desejada de  $P_e$  for mantida para a transmissão de dados. Os detalhes deste aspecto são descritos abaixo.

25 A Figura 1B é um diagrama que ilustra graficamente a seleção de taxa para um canal multipercorso que utiliza um canal equivalente. Para um determinado canal multipercorso definido por uma resposta de canal de  $H(k)$  e uma variância de ruído de  $N_0$ , o sistema OFDM pode ser capaz de atingir uma taxa de dados equivalente de  $D_{\text{equiv}}$  utilizando o esquema de modulação  $M(k)$ , em que  $M(k)$  pode

ser diferente para subcanais de freqüência diferentes. Esta  $D_{\text{equiv}}$  pode ser estimada como descrito abaixo com base em uma função de capacidade de canal específica  $f[H(k), N_0, M(k)]$ . Uma vez que a largura de banda de cada 5 subcanal de freqüência individual é normalizado a 1, não se aparece como um argumento da função  $f[\bullet]$ . O medida, que é uma estimativa da SNR,  $\text{SNR}_{\text{equiv}}$ , requerida por um canal AWGN equivalente para transmitir à taxa de dados equivalente de  $D_{\text{equiv}}$  utilizando o esquema de modulação  $M(k)$  na PER 10 desejada de  $P_e$ , pode ser obtida para  $D_{\text{equiv}}$  utilizando  $M(k)$  e adicionalmente com base em uma função  $g(D_{\text{equiv}}, M(k))$  que também é descrito abaixo.

Para uma taxa de dados  $D(k)$ , um esquema de modulação  $M(k)$  e uma taxa de codificação  $C(k)$ , o canal AWGN 15 precisaria de uma SNR da  $\text{SNR}_{\text{lim}}$  ou melhor, para alcançar a PER desejada de  $P_e$ . Esta  $\text{SNR}_{\text{lim}}$  limite pode ser determinada por simulação em computador ou por algum outro meio. A taxa de dados  $D(k)$  pode então ser julgado como sendo suportado pelo sistema OFDM para o canal multipercorso se o medida 20 (ou  $\text{SNR}_{\text{equiv}}$ ) for igual ou maior que  $\text{SNR}_{\text{lim}}$ . Conforme a taxa de dados  $D(k)$  aumenta, a  $\text{SNR}_{\text{lim}}$  limite aumenta para as determinadas condições de canal definidas por  $H(k)$  e  $N_0$ . A taxa de dados máxima que pode ser suportada pelo sistema OFDM é assim limitada pelas condições de canal. São 25 providos diversos esquemas neste relatório para determinar a taxa de dados máxima que pode ser suportada pelo sistema OFDM para o determinado canal multipercorso. Alguns destes esquemas são descritos abaixo.

Em um primeiro esquema de seleção de taxa, a 30 medida  $\Psi$  recebe um conjunto de parâmetros para uma transmissão de dados em um determinado canal multipercorso em um sistema OFDM e, com base nos parâmetros recebidos, provê uma estimativa da SNR para um canal AWGN equivalente para o canal multipercorso. Estes parâmetros de entrada à

medida  $\Psi$  podem incluir um ou mais parâmetros relacionados ao processamento da transmissão de dados (por exemplo, o esquema de modulação  $M(k)$ ) e um ou mais parâmetros relacionados ao canal de comunicação (por exemplo, a resposta de canal  $H(k)$  e a variância de ruído  $N_0$ ). Como observado acima, o esquema de modulação  $M(k)$  pode ser associado à uma taxa de dados específica  $D(k)$ . A medida  $\Psi$  é a estimativa da SNR do canal AWGN equivalente (isto é,  $\Psi \approx \text{SNR}_{\text{equiv}}$ ). A taxa de dados máxima suportada pelo canal multipercorso pode a seguir ser determinada como a maior taxa de dados associada a uma SNR equivalente que é maior ou igual à SNR limite,  $\text{SNR}_{\text{lim}}$ , requerida no canal AWGN para atingir a PER desejada de  $P_e$  utilizando os esquemas de codificação e modulação associados à taxa de dados.

Várias funções podem ser utilizadas para a medida  $\Psi$ , algumas das quais estão providas abaixo. Em uma modalidade, a medida  $\Psi$  está definida como:

$$\Psi = g \left\{ \left( \sum_{k=0}^{N_F-1} f[H(k), N_0, M] \right), M \right\} \quad \text{Eq. (3)}$$

Na equação (3), a função  $f[H(k), N_0, M]$  determina a taxa de dados máxima que o esquema de modulação  $M$  pode transportar no  $k$ -ésimo subcanal de freqüência com a resposta em freqüência  $H(k)$  e a variância de ruído  $N_0$ . A função  $f[H(k), N_0, M]$  pode ser definida com base em várias funções de capacidade de canal, como descrito abaixo.

Os parâmetros  $H(k)$  e  $N_0$  podem ser mapeados em uma  $\text{SNR}(k)$ . Caso a potência total de transmissão,  $P_{\text{total}}$ , para o sistema seja fixo e a alocação da potência de transmissão para os subcanais de freqüência  $N_F$  seja uniforme e fixo, a SNR para cada subcanal de freqüência pode ser expressa como:

$$\text{SNR}(k) = \frac{P_{\text{total}}}{N_F} \frac{|H(k)|^2}{N_0} \quad \text{Eq. (4)}$$

Como mostrado na equação (4), a  $\text{SNR}(k)$  é uma função da resposta de canal  $H(k)$  e da variância de ruído  $N_0$ , que são dois dos parâmetros da função  $f[H(k), N_0, M]$ .

5 A adição na equação (3) é efetuada para  $f[\bullet]$  através de todos os subcanais de freqüência  $N_F$  para prover a taxa de dados equivalente  $D_{\text{equiv}}$  que pode ser transmitida no canal AWGN. A função  $g(D_{\text{equiv}}, M)$  determina a seguir a SNR necessária no canal AWGN para transmitir com confiança 10 à taxa de dados equivalente  $D_{\text{equiv}}$  utilizando o esquema de modulação  $M$ .

15 A equação (3) assume que o mesmo esquema de modulação  $M$  é utilizado para todos os subcanais de freqüência  $N_F$  no sistema OFDM. Esta restrição resulta em processamento simplificado no transmissor e receptor no sistema OFDM mas pode sacrificar o desempenho.

Caso sejam utilizados esquemas de modulação diferentes para subcanais de freqüência diferentes, a medida  $\Psi$  pode ser definida como:

$$20 \quad \Psi = \sum_{k=0}^{N_F-1} g(f[H(k), N_0, M(k)], M(k)) \quad \text{Eq. (5)}$$

Como mostrado na equação (5), o esquema de modulação,  $M(k)$ , é uma função do índice  $k$  dos subcanais de freqüência. O uso de diferentes esquemas de modulação e/ou taxas de codificação para diferentes subcanais de freqüência também é designado como "carga de bit".

25 A função  $f[x]$  determina a taxa de dados que pode ser transmitida com confiança através do canal AWGN para um conjunto de parâmetros representados coletivamente como  $x$ , em que  $x$  pode ser uma função da freqüência (isto é,  $x(k)$ ).  
30 Na equação (5), a função  $f[H(k), N_0, M(k)]$ , em que

$x(k) = \{H(k), N_0, M(k)\}$ , determina a taxa de dados que o esquema de modulação  $M(k)$  pode transportar no  $k$ -ésimo subcanal de freqüência com a resposta de canal  $H(k)$  e a variância de ruído  $N_0$ . A função  $g(f[x(k)], M(k))$  a seguir determina a SNR necessária no canal AWGN equivalente para transportar a taxa de dados determinada por  $f[x(k)]$ . A adição na equação (5) é a seguir efetuada para  $g(f[x(k)], M(k))$  por todos os subcanais de freqüência  $N_F$  para prover a estimativa da SNR para o canal AWGN equivalente,  $\text{SNR}_{\text{equiv}}$ .

A função  $f[x]$  pode ser definida com base em diversas funções de capacidade de canal ou algumas outras funções ou técnicas. A capacidade absoluta de um sistema é tipicamente determinada como a taxa de dados máxima teórica que pode ser transmitida com confiança para a resposta de canal  $H(k)$  e a variância de ruído  $N_0$ . A capacidade "restringida" de um sistema depende do esquema de modulação específico ou constelação,  $M(k)$ , utilizado para transmissão de dados e é mais baixo que a capacidade absoluta.

Em uma modalidade, a função  $f[H(k), N_0, M(k)]$  é definida com base na função de capacidade de canal restrita e pode ser expressa como:

$$f(k) = M_k - \frac{1}{2^{M_k}} \sum_{i=1}^{2^{M_k}} E \left[ \log_2 \sum_{j=1}^{2^{M_k}} \exp \left( -\text{SNR}(k) (|a_i - a_j|^2 + 2 \text{Re}\{x * (a_i - a_j)\}) \right) \right],$$

Eq. (6)

em que:

$M_k$  é relacionado ao esquema de modulação  $M(k)$ , isto é, o esquema de modulação  $M(k)$  corresponde a uma constelação de  $2^{M_k}$ -ários (por exemplo, QAM de  $2^{M_k}$ -ários), em que cada um dos  $2^{M_k}$  pontos na constelação pode ser identificada por  $M_k$  bits;

$a_i$  e  $a_j$  são os pontos na constelação de  $2^{M_k}$  -ários;

$x$  é uma variável aleatória Gaussiana complexa com média zero e variância de  $1/\text{SNR}(k)$ ; e

5  $E[\bullet]$  é a operação de expectativa, que é tomada com relação à variável  $x$  na equação (6).

A função de capacidade de canal restrita mostrada na equação (6) não possui uma solução de forma fechada. Assim, esta função pode ser obtida numericamente para 10 diversos esquemas de modulação e valores de SNR, e os resultados podem ser armazenados em uma ou mais tabelas. Depois disso, a função  $f[x]$  pode ser avaliada mediante acesso da tabela apropriada com um esquema de modulação específico e SNR.

15 Em outra modalidade, a função  $f[x]$  é definida com base na função de capacidade de canal Shannon (ou teórica) e pode ser expressa como:

$$f(k) = \log_2[1 + \text{SNR}(k)], \quad \text{Eq. (7)}$$

20 em que  $W$  é a largura de banda do sistema. Como mostrado na equação (7), a capacidade de canal de Shannon não é restrita por nenhum dado esquema de modulação (isto é,  $M(k)$  não é um parâmetro na equação (7)).

A escolha específica da função para utilizar para  $f[x]$  pode ser dependente em diversos fatores, tal como o 25 projeto de sistema OFDM. Para um sistema típico que emprega um ou mais esquemas de modulação específicos, foi encontrado que a matriz  $\Psi$  definida como mostrado na equação (3), quando utilizada em conjunto com a capacidade de canal restrita para a função  $f[x]$  como mostrado na 30 equação (6), é um estimador acurado da taxa de dados máxima suportada para o sistema OFDM para o canal AWGN bem como para o canal multipercorso.

A função  $g(f[x], M(k))$  determina a SNR necessária no canal AWGN para suportar a taxa de dados equivalente, que é determinada pela função  $f[x]$ , utilizando o esquema de modulação  $M(k)$ . Em uma modalidade, a função  $g(f[x], M(k))$  é 5 definida como:

$$g(f[x], M(k)) = f[x]^{-1} \quad \text{Eq. (8)}$$

Uma vez que a função  $f[x]$  é dependente do esquema de modulação  $M(k)$ , a função  $g(f[x], M(k))$  também é dependente do esquema de modulação. Em uma implementação, a 10 função  $f[x]^{-1}$  pode ser obtida para cada esquema de modulação que possa ser selecionado para uso e possa ser armazenado a uma tabela respectiva. A função  $g(f[x], M(k))$  pode a seguir ser avaliada para um determinado valor de  $f[x]$  mediante acesso à tabela específica para o esquema de 15 modulação  $M(k)$ . A função  $g(f[x], M(k))$  também pode ser definida utilizando outras funções ou obtido através de outros meios, estando dentro do escopo da invenção.

A Figura 2 é um fluxograma de uma modalidade de um processo 200 para selecionar a taxa de dados para uso no 20 sistema OFDM com base na medida  $\Psi$ . Inicialmente, as taxas de dados disponíveis (isto é, aquelas suportadas pelo sistema OFDM) são ordenadas de tal modo que  $D(0) < D(1) < \dots < D(N_R - 1)$ . A maior taxa de dados disponível é a seguir selecionada (por exemplo, mediante ajuste de uma 25 taxa variável ao índice para a maior taxa de dados, ou taxa =  $N_R - 1$ ), na etapa 212. Diversos parâmetros associados à taxa de dados selecionada  $D(\text{taxa})$ , tal como o esquema de modulação  $M(\text{taxa})$ , são a seguir determinados, na etapa 214. Dependendo do projeto do sistema OFDM, cada taxa 30 de dados pode ser associada a um ou múltiplos esquemas de modulação. Cada esquema de modulação da taxa de dados selecionada pode a seguir ser avaliado com base na etapa seguinte. Para maior simplicidade, a seguir assume-se que

apenas um esquema de modulação é associado a cada taxa de dados.

A medida  $\Psi$  é a seguir avaliada para o esquema de modulação específico  $M(\text{taxa})$  associado à taxa de dados selecionada  $D(\text{taxa})$ , na etapa 216. Isto pode ser atingido mediante avaliação da função para a medida  $\Psi$ , como mostrado na equação (3), que é:

$$\Psi = g \left\{ \left( \sum_{k=0}^{N_F-1} f[H(k), N_O, M(\text{taxa})] \right), M(\text{taxa}) \right\}$$

A medida  $\Psi$  representa uma estimativa da SNR necessária no canal AWGN equivalente para transmitir com confiança a taxa de dados equivalente utilizando o esquema de modulação  $M(\text{taxa})$ .

A SNR limite,  $\text{SNR}_{\text{lim}}(\text{taxa})$ , necessária para transmitir a taxa de dados selecionada  $D(\text{taxa})$  com a PER desejada de  $P_e$  no canal AWGN é a seguir determinada, na etapa 218. A  $\text{SNR}_{\text{lim}}(\text{taxa})$  limite é uma função do esquema de modulação  $M(\text{taxa})$  e da taxa de codificação  $C(\text{taxa})$  associada à taxa de dados selecionada. A SNR limite pode ser determinada para cada uma das possíveis taxas de dados através de simulação em computador ou por algum outro meio, e pode ser armazenado para uso posterior.

Uma determinação é a seguir realizada sobre se a medida  $\Psi$  é maior ou igual à  $\text{SNR}_{\text{lim}}(\text{taxa})$  limite associada à taxa de dados selecionada, na etapa 220. Caso a medida  $\Psi$  seja maior ou igual à  $\text{SNR}_{\text{lim}}(\text{taxa})$ , que indica que a SNR alcançada pelo sistema OFDM para a taxa de dados  $D(\text{taxa})$  no canal multipercorso suficiente para atingir a PER desejada de  $P_e$ , a seguir aquela taxa de dados é selecionada para uso, na etapa 224. Caso contrário, a próxima taxa de dados disponível mais baixa é selecionada para avaliação (por exemplo, mediante decréscimo da taxa variável em um, ou

taxa = taxa - 1), na etapa 222. A próxima taxa de dados mais baixa é a seguir avaliada mediante retorno à etapa 214. As etapas 214 a 222 podem ser repetidas tão freqüentemente quanto necessário até que a taxa de dados 5 máxima suportada seja identificada e provida na etapa 222.

O medida  $\Psi$  é uma função monotônica da taxa de dados e aumenta com o aumento da taxa de dados. A SNR limite também é uma função monotônica que aumenta com o aumento da taxa de dados. A modalidade mostrada na Figura 2 10 avalia as taxas de dados disponíveis, um de cada vez, a partir da taxa de dados máxima disponível à taxa de dados mínima disponível. A taxa de dados mais alta associada a uma SNR limite,  $SNR_{lim}(taxa)$ , que é menor ou igual à medida  $\Psi$  é selecionado para uso.

15 Em outra modalidade, a medida  $\Psi$  pode ser avaliada para um esquema de modulação específico  $M(r)$  para obter uma estimativa da SNR para o canal AWGN equivalente,  $SNR_{equiv}(r)$ . A taxa de dados máxima,  $D_{máx}(r)$ , suportada pelo canal AWGN para a PER desejada nesta SNR equivalente 20 utilizando o esquema de modulação  $M(r)$ , é a seguir determinada (por exemplo, através de uma tabela de consulta). A taxa de dados atual a ser utilizada no sistema OFDM para o canal multipercorso pode a seguir ser 25 selecionado para menos que ou igual à taxa de dados máxima,  $D_{máx}(r)$ , suportada pelo canal AWGN.

Em um segundo esquema de seleção de taxa, a medida  $\Psi$  é julgada como uma SNR com detecção posterior alcançada para o canal multipercorso por um sistema de portadora única depois da equalização. A SNR de detecção 30 posterior é representativa da relação da potência de sinal total para o ruído mais interferência depois da equalização no receptor. Os valores teóricos da SNR de detecção posterior alcançados no sistema de portadora única com equalização podem ser indicativos do desempenho de um

sistema OFDM, e consequentemente podem ser utilizados para determinar a taxa de dados máxima suportada no sistema OFDM. Diversos tipos de equalizador podem ser utilizados para processar o sinal recebido no sistema de portadora única para compensar distorções no sinal recebido introduzidas pelo canal multipercorso. Como exemplo, tais equalizadores podem incluir um equalizador linear de erro médio quadrático mínimo (MMSE-LE - Minimum Mean Square Error Linear Equalizer), um equalizador de realimentação de decisão (DFE - Decision Realimentação Equalizer), e outros.

A SNR de detecção posterior para um MMSE-LE (comprimento infinito) pode ser expressa como:

$$\text{SNR}_{mmse-le} = \frac{1 - J_{\min}}{J_{\min}}, \quad \text{Eq. (9a)}$$

em que  $J_{\min}$  é dado por:

$$15 \quad J_{\min} = \frac{T}{2\pi} \int_{-\pi/T}^{\pi/T} \frac{N_0}{X(e^{j\omega T}) + N_0} d\omega, \quad \text{Eq. (9b)}$$

em que  $X(e^{j\omega T})$  é o espectro coberto da função de transferência de canal  $H(f)$ .

A SNR de detecção posterior para um DFE (comprimento infinito) pode ser expressa como:

$$20 \quad \text{SNR}_{dfc} = \exp \left[ \frac{T}{2\pi} \int_{-\pi/T}^{\pi/T} \ln \left( \frac{X(e^{j\omega T}) + N_0}{N_0} \right) d\omega \right] - 1. \quad \text{Eq. (10)}$$

As SNRs de detecção posterior para o MMSE-LE e DFE mostradas nas equações (9) e (10), respectivamente, representam valores teóricos. As SNRs de detecção posterior para o MMSE-LE e DFE também são descritas em detalhes adicionais por J. G. Proakis, em um livro intitulado "Digital Communications", 3<sup>a</sup> Edição, 1995, McGraw Hill, seções 10-2-2 e 10-3-2, respectivamente, aqui incorporadas por referência.

As SNRs de detecção posterior para o MMSE-LE e DFE também podem ser estimadas no receptor com base no sinal recebido, como descrito no pedidos de Patente americanos de Nos. de série 09/826.481 e 09/956.449, ambos 5 intitulados "Method and Apparatus for Utilizing Channel State Information in a Wireless Communication System", depositados respectivamente em 23 de março de 2001 e 18 de setembro de 2001, e no pedido de Patente americano No. 09/854.235, intitulado "Method and Apparatus for 10 Processing Data in a Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System Utilizing Channel State Information", depositado em 11 de maio de 2001, todos de propriedade da requerente da presente invenção a aqui incorporados por referência.

15 As SNRs de detecção posterior, tais como aquelas descritas pelas expressões analíticas mostradas nas equações (9) e (10), podem ser determinadas para o canal multipercorso e utilizadas como uma estimativa da medida  $\Psi$  (isto é,  $\Psi \approx \text{SNR}_{\text{mmse-1e}}$  ou  $\Psi \approx \text{SNR}_{\text{def}}$ ). A SNR de detecção 20 posterior (por exemplo,  $\text{SNR}_{\text{mmse-1e}}$  ou  $\text{SNR}_{\text{def}}$ ) para o canal AWGN equivalente pode ser comparado com a SNR limite,  $\text{SNR}_{\text{lim}}$ , obtida para um conjunto específico de parâmetros,  $D(r)$ ,  $M(r)$ ,  $C(r)$  e  $P_e$ , para determinar a taxa de dados que 25 pode ser utilizada no sistema OFDM para o canal multipercorso.

A medida  $\Psi$  também pode ser definida com base em algumas outras funções, e a taxa de dados equivalente também pode ser estimada com base em algumas outras técnicas, estando dentro da escopo da invenção.

30 A taxa de dados selecionada para uso no sistema OFDM com base na medida  $\Psi$  representa uma predição da taxa de dados que pode ser suportada pelo canal multipercorso para a PER desejada de  $P_e$ . Como em qualquer esquema de predição de taxa, haverá inevitavelmente erros de predição.

De modo a assegurar que as PER desejadas possam ser atingidas, os erros de predição podem ser estimados e um fator de back-off pode ser utilizado na determinação da taxa de dados que pode ser suportada pelo canal 5 multipercurso. Este back-off reduz a vazão do sistema OFDM. Assim, é desejável manter este back-off tão pequeno quanto possível enquanto ainda atinge a PER desejada.

De acordo com outro aspecto da invenção, um esquema de transmissão incremental (IT) é provido e pode 10 ser utilizado vantajosamente em conjunto com a seleção de taxa do primeiro aspecto para reduzir a quantidade de back-offs e melhorar a vazão do sistema. O esquema IT transmite um determinado pacote utilizando uma ou mais transmissões 15 discretas, uma transmissão de cada vez e até um limite específico. A primeira transmissão para o pacote inclui quantidade suficiente de dados tal que o pacote pode ser recuperado livre de erros no receptor com base nas condições de canal esperadas. Porém, se a primeira transmissão é degradada excessivamente pelo canal de 20 comunicação tal que a recuperação livre de erros do pacote não seja alcançada, é realizada uma transmissão incremental de uma quantidade adicional de dados para o pacote. O receptor tenta a seguir recuperar o pacote com base nos dados adicionais na transmissão incremental e todos os 25 dados previamente recebidos para o pacote. A transmissão incremental pelo transmissor e a decodificação pelo receptor pode ser tentada uma ou mais vezes, até que o pacote seja recuperado livre de erros ou o número máximo de transmissões incrementais seja alcançado.

30 Uma modalidade do esquema IT pode ser implementada como a seguir. Primeiro, os dados para um pacote são codificados utilizando uma taxa de codificação mais baixa (para um código de correção de erros direto) que a taxa de codificação que pode ser utilizada para o pacote 35 sem qualquer transmissão incremental. A seguir, alguns dos

bits codificados para o pacote são punctionados e apenas um subconjunto de todos os bits codificados é transmitido para a primeira transmissão do pacote. Se o pacote for recebido corretamente, o receptor pode remeter de volta uma 5 confirmação (ACK) indicando que o pacote foi recebido livre de erros. Alternativamente, o receptor pode remeter de volta uma confirmação negativa (NACK) caso receba o pacote com erros.

Em qualquer caso, se a confirmação não for 10 recebida pelo transmissor para o pacote ou uma confirmação negativa for recebida, o transmissor envia um pacote incremental para o receptor. Este pacote incremental pode incluir alguns dos bits codificados punctionados originais que não foram enviados na primeira transmissão. O receptor 15 a seguir tenta decodificar o pacote utilizando os bits codificados enviados em ambas a primeira transmissão, bem como a segunda transmissão. Os bits codificados adicionais a partir da segunda transmissão provêem mais energia e melhoram a capacidade de correção de erros. Podem ser 20 executadas uma ou mais transmissões incrementais, tipicamente uma de cada vez até que a confirmação seja recebida ou a confirmação negativa não seja recebida.

Caso a transmissão incremental seja empregada pelo sistema, um back-off menor pode ser utilizado para 25 levar em conta erros de predição de taxa e seleções de taxa mais agressivas podem ser realizadas. Isto pode resultar em vazão de sistema aperfeiçoado.

A transmissão incremental em combinação com a seleção de taxa também descrita acima provê um mecanismo 30 eficiente para determinar a taxa de dados máxima suportada por canais de comunicação fixos ou com variação lenta. Considere uma aplicação de acesso fixo em que o perfil de multipercorso do canal muda lentamente. Neste caso, uma taxa de dados inicial pode ser selecionada com base nas 35 técnicas descritas acima e utilizadas para transmissão de

dados. Se a taxa de dados inicial for mais alta que o canal possa suportar, o esquema IT pode transmitir bits codificados adicionais até que o pacote possa ser decodificado corretamente no receptor. A taxa de dados 5 máxima que o canal pode suportar pode ser determinada com base no número total de bits codificados enviado na primeira transmissão e quaisquer transmissões incrementais subseqüentes. Se o canal mudar lentamente, a taxa de dados determinada pode ser utilizada até as mudanças de canal, no 10 momento em que uma nova taxa de dados possa ser determinada.

A transmissão incremental provê assim numerosas vantagens. Em primeiro lugar, o uso de transmissão incremental permite uma seleção de taxa de dados agressiva 15 para aumentar a vazão do sistema. Em segundo lugar, a transmissão incremental provê meios para remediar erros de predição que inevitavelmente surgem para qualquer esquema de predição de taxa (com a freqüência e magnitude dos erros de predição sendo dependentes da quantidade de back-off empregada). Em terceiro lugar, a transmissão incremental provê um mecanismo para determinar com maior acurácia a taxa de dados máxima suportada para canais fixos ou com variação lenta.

A Figura 3 é um diagrama de blocos de uma 25 modalidade de um sistema transmissor 110a e um sistema receptor 150a, que são capazes de implementar diversos aspectos e modalidades da invenção.

No sistema transmissor 110a, os dados de tráfego são providos em uma taxa de dados específica a partir de 30 uma fonte de dados 308 para um processador de dados de transmissão (TX) 310, que formata, intercala e codifica os dados de tráfego com base em um esquema de codificação específico para prover dados codificados. A taxa de dados e a codificação pode ser determinada por um controle de taxa

de dados e um controle de codificação, respectivamente, providas por um controlador 330.

Os dados codificados são providos a seguir a um modulador 320, que também pode receber dados piloto (por exemplo, dados de um padrão conhecido e processado de uma maneira conhecida, se existir algum). Os dados piloto podem ser multiplexados com os dados de tráfego codificados, por exemplo, utilizando multiplexação por divisão de tempo (TDM - Time Division Multiplex) ou multiplexação por divisão de código (CDM - Code Division Multiplex), em todo ou um subconjunto dos subcanais de freqüência utilizados para transmitir os dados de tráfego. Em uma modalidade específica, para OFDM, o processamento pelo modulador 320 inclui (1) modular os dados recebidos com um ou mais esquemas de modulação, (2) transformar os dados modulados para formar símbolos OFDM, e (3) anexar um prefixo cílico a cada símbolo OFDM para formar um símbolo de transmissão correspondente. A modulação é executada com base em um controle de modulação provido pelo controlador 330. Os dados modulados (isto é, os símbolos de transmissão) são a seguir providos a um transmissor (TMTR) 322.

O transmissor 322 converte os dados modulados em um ou mais sinais analógicos e condiciona adicionalmente (por exemplo, amplifica, filtra e modula em quadratura) os sinais analógicos para gerar um sinal modulado adequado para transmissão através do canal de comunicação. O sinal modulado é a seguir transmitido por uma antena 324 ao sistema receptor.

No sistema receptor 150a, o sinal modulado transmitido é recebido por uma antena 352 e provido para um receptor (RCVR) 354. O receptor 354 condiciona (por exemplo, filtra, amplifica e converte para recepção - downconverts) o sinal recebido e digitaliza o sinal condicionado para prover amostras de dados. Um demodulador (Demod) 360 processa a seguir as amostras de dados para

prover dados demodulados. Para OFDM, o processamento pelo demodulador 360 pode incluir (1) remover o prefixo cíclico anexado previamente a cada símbolo OFDM, (2) transformar cada símbolo OFDM recuperado e (3) demodular os símbolos de modulação recuperados de acordo com um ou mais esquemas de demodulação complementares ao um ou mais esquemas de modulação utilizados no sistema transmissor.

Um processador de dados de recepção (RX) 362 decodifica a seguir os dados demodulados para recuperar os dados de tráfego transmitidos. O processamento pelo demodulador 360 e processador de dados RX 362 é complementar ao executado pelo modulador 320 e processador de dados TX 310, respectivamente, no sistema transmissor 110a.

Como mostrado na Figura 3, o demodulador 360 pode obter estimativas da resposta de canal,  $\hat{H}(k)$ , e prover estas estimativas a um controlador 370. O processador de dados RX 362 também pode obter e prover o estado de cada pacote recebido e pode prover adicionalmente uma ou mais outras medidas de desempenho indicativas dos resultados decodificados. Com base nos diversos tipos de informações recebidas pelo demodulador 360 e processador de dados RX 362, o controlador 370 pode determinar ou selecionar uma taxa específica para a transmissão de dados com base nas técnicas descritas acima. As informações de realimentação na forma de uma taxa selecionada, a estimativa de resposta de canal, ACK/NACK para pacote receptor e assim por diante, pode ser provido pelo controlador 370, processado por um processador de dados TX 378, modulado por um modulador 380 e condicionado e transmitido por um transmissor 354 de volta ao sistema transmissor 110a.

No sistema transmissor 110a, o sinal modulado proveniente do sistema receptor 150a é recebido pela antena 324, condicionado por um receptor 322 e demodulado por um

demodulador 340 para recuperar as informações de realimentação transmitidas pelo sistema receptor. As informações de realimentação são a seguir providas ao controlador 330 e utilizadas para controlar o processamento da transmissão de dados para o sistema receptor. Como exemplo, a taxa de dados da transmissão de dados pode ser determinada com base na taxa selecionada provida pelo sistema receptor, ou pode ser determinada com base nas estimativas de resposta de canal a partir do sistema receptor. Os esquemas de codificação e modulação específicos associados à taxa selecionada são determinados e refletem no controle da codificação e modulação provida ao processador de dados TX 310 e modulador 320. O ACK/NACK recebido pode ser utilizado para iniciar uma transmissão incremental (não mostrada na Figura 3 por simplicidade).

Os controladores 330 e 370 comandam a operação nos sistemas transmissor e receptor, respectivamente. As memórias 332 e 372 provêem armazenamento para códigos de programa e dados utilizados pelos controladores 330 e 370, respectivamente.

A Figura 4 é um diagrama de blocos de uma unidade transmissora 400, que é uma modalidade da porção transmissora do sistema transmissor 110a. A unidade transmissora 400 inclui (1) um processador de dados TX 310a que recebe e processa dados de tráfego para prover dados codificados e (2) um modulador 320a que modula os dados codificados para os dados modulados providos. O processador de dados TX 310a e o modulador 320a são uma modalidade do processador de dados TX 310 e modulador 320, respectivamente, na Figura 3.

Na modalidade específica mostrada na Figura 4, o processador de dados TX 310a inclui um codificador 412, um intercalador de canal 414 e um punctionador 416. O codificador 412 recebe e codifica os dados de tráfego de acordo com um ou mais esquemas de codificação para prover

bits codificados. A codificação aumenta a confiança da transmissão de dados. Cada esquema de codificação pode incluir qualquer combinação de codificação CRC, codificação convolucional, codificação Turbo, codificação em bloco e 5 outras codificações, ou nenhuma codificação. Os dados de tráfego podem ser divididos em pacotes (ou quadros), e cada pacote pode ser processado individualmente e transmitido. Em uma modalidade, para cada pacote, os dados no pacote são utilizados para gerar um conjunto de bits CRC, que são 10 anexados aos dados, e os dados e bits CRC são a seguir codificados com um código convolucional ou um código Turbo para gerar os dados codificados para o pacote.

O intercalador de canal 414 intercala a seguir os bits codificados com base em um esquema de intercalação 15 específico para prover diversidade. A intercalação provê diversidade de tempo para os bits codificados, permite que os dados sejam transmitidos com base em uma SNR média para os subcanais de freqüência utilizados para a transmissão de dados, combate o desvanecimento e remove adicionalmente a 20 correlação entre bits codificados utilizados para formar cada símbolo de modulação. A intercalação pode prover adicionalmente diversidade de freqüência se os bits codificados forem transmitidos através de múltiplos subcanais de freqüência.

25 O punctionador 416 a seguir punctiona (isto é, apaga) zero ou mais dos bits codificados intercalados e provê o número requerido de bits codificados não punctionados ao modulador 320a. O punctionador 416 pode prover adicionalmente os bits codificados punctionados para 30 um armazenador (buffer) 418, que armazena estes bits codificados no caso deles serem necessários para uma transmissão incremental em um momento posterior, como descrito acima.

35 Na modalidade específica mostrada na Figura 4, o modulador 320a inclui um elemento mapeador de símbolos 422,

um IFFT 424 e um gerador de prefixo cílico 426. O elemento mapeador de símbolos 422 mapeia os dados piloto multiplexados e dados de tráfego codificados para os símbolos de modulação para um ou mais subcanais de 5 freqüência utilizados para transmissão de dados. Podem ser utilizados um ou mais esquemas de modulação para os subcanais de freqüência, como indicado pelo controle de modulação. Para cada esquema de modulação selecionado para uso, a modulação pode ser alcançada mediante agrupamento de 10 conjuntos de bits recebidos para formar símbolos multi-bit e mapeamento de cada símbolo multi-bit a um ponto em uma constelação de sinal que corresponda ao esquema de modulação selecionado (por exemplo, QPSK, M-PSK, M-QAM, ou algum outro esquema). Cada ponto de sinal mapeado 15 corresponde a um símbolo de modulação. O elemento de mapeamento de símbolos 422 provê a seguir um vetor de (até  $N_F$ ) símbolos de modulação para cada período de símbolo de transmissão, com o número de símbolos de modulação em cada vetor correspondendo ao número de (até  $N_F$ ) subcanais de 20 freqüência selecionados para uso para aquele período de símbolo de transmissão.

O IFFT 424 converte cada vetor de símbolo de modulação em sua representação no domínio do tempo (que é designada como um símbolo OFDM) utilizando a transformada 25 inversa de Fourier rápida. A IFFT 424 pode ser projetada para executar a transformada inversa em qualquer número de subcanais de freqüência (por exemplo, 8, 16, 32, ...,  $N_F$ , ...). Em uma modalidade, para cada símbolo OFDM, o gerador 30 de prefixos cílicos 426 repete uma porção do símbolo OFDM para formar um símbolo de transmissão correspondente. O prefixo cílico assegura que o símbolo de transmissão retém suas propriedades ortogonais na presença de espalhamento de retardo multipercorso, melhorando assim o desempenho contra 35 efeitos de percursos danosos. Os símbolos de transmissão de gerador de prefixos cílicos 426 são a seguir providos ao

transmissor 322 (ver a Figura 3) e processados para gerar um sinal modulado, que é a seguir transmitido a partir da antena 324.

Outros projetos para a unidade transmissora 5 também podem ser implementados e estão dentro do escopo da invenção. A implementação do codificador 412, intercalador de canal 414, punctionador 416, elemento de mapeamento de símbolos 422, IFFT 424 e gerador de prefixos cílicos 426 é conhecido na técnica e não são descritos em detalhes neste 10 relatório.

A codificação e modulação para OFDM e outros sistemas são descritos em maiores detalhes nos pedidos de Patente americanos de Nos. de série 09/826.481, 09/956.449 e 09/854.235, pedido de Patente americano de No. de série 15 09/776.075, intitulado "Coding Scheme for a Wireless Communication System", depositado em 1º de fevereiro de 2001, e o pedido de Patente norte-americano de No. de série [Documento de Procurador No. 010254], intitulado "Multiple-Access Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication 20 System", depositado em 6 de novembro de 2001, todos de propriedade da requerente a presente invenção e aqui incorporados por referência.

Um exemplo de sistema OFDM é descrito no pedido de Patente de No. de série 09/532.492, intitulado "High 25 Efficiency, High Performance Communication System Employing Multi-Carrier Modulation", depositado em 30 de março de 2000, de propriedade da requerente a presente invenção e aqui incorporado por referência. A OFDM também é descrita em um artigo intitulado "Multicarrier Modulation for Data 30 Transmission: Na Idea Whose Time Has Come", por John A. C. Bingham, IEEE Communications Magazine, Maio de 1990, que é incorporado aqui por referência.

A Figura 5 é um diagrama de blocos de uma modalidade de uma unidade receptora 500, que é uma 35 modalidade da porção receptora do sistema receptor 150a na

Figura 3. O sinal transmitido a partir do sistema transmissor é recebido pela antena 352 (Figura 3) e provido ao receptor 354 (que também pode ser designado como um processador front-end). O receptor 354 condiciona (por exemplo, filtra e amplifica) o sinal recebido, converte para recepção (downconverts) o sinal condicionado para uma freqüência intermediária ou de banda base e digitaliza o sinal convertido para prover amostras de dados, que são a seguir providos a um demodulador 360a.

Dentro do demodulador 360a (Figura 5), as amostras de dados são providas a um elemento de remoção de prefixo cílico 510, que remove o prefixo cílico incluído em cada símbolo de transmissão para prover um símbolo OFDM recuperado correspondente. Um FFT 512 transforma a seguir cada símbolo OFDM recuperado utilizando transformada de Fourier rápida e provê um vetor de (até  $N_F$ ) símbolos de modulação recuperados para os (até  $N_F$ ) subcanais de freqüência utilizados para transmissão de dados para cada período de símbolo de transmissão. Os símbolos de modulação recuperados a partir do FFT 512 são providos a um elemento demodulador 514 e demodulados de acordo com um ou mais esquemas de demodulação que são complementares a um ou mais esquemas de modulação utilizados no sistema transmissor. Os dados demodulados a partir do elemento de demodulação 514 são a seguir providos um processador de dados RX 362a.

Dentro do processador de dados RX 362a, os dados demodulados são deintercalados por um de-intercalador 522 de uma forma complementar àquela executada no sistema transmissor, e os dados deintercalados são decodificados adicionalmente por um decodificador 524 de uma forma complementar àquela executada no sistema transmissor. Como exemplo, um decodificador Turbo ou um decodificador Viterbi pode ser utilizado para o decodificador 524 se a codificação Turbo ou convolucional, respectivamente, forem executados na unidade transmissora. Os dados decodificados

provenientes do decodificador 524 representam uma estimativa dos dados transmitidos. O decodificador 524 pode prover o estado de cada pacote recebido (por exemplo, recebido corretamente ou em erro). O decodificador 524 pode 5 armazenar adicionalmente dados demodulados para pacotes não decodificados corretamente, de forma que estes dados possam ser combinados com os dados a partir de uma transmissão incremental subsequente e decodificados.

Como mostrado na Figura 5, um estimador de canal 10 516 pode ser projetado para estimar a resposta de freqüência de canal,  $\hat{H}(k)$ , e a variância de ruído,  $\hat{N}_0$ , e prover estas estimativas ao controlador 370. A resposta de canal e a variância de ruído podem ser estimadas com base nas amostras de dados recebidas para os símbolos piloto 15 (por exemplo, com base nos coeficientes FFT a partir do FFT 512 para os símbolos piloto).

O controlador 370 pode ser projetado para implementar diversos aspectos e modalidades da seleção de taxa e a sinalização para a transmissão incremental. Para a 20 seleção de taxa, o controlador 370 pode determinar a taxa de dados máxima que pode ser utilizada para as determinadas condições de canal com base na medida  $\Psi$ , como descrito acima. Para transmissão incremental, o controlador 370 pode prover um ACK ou um NACK para cada transmissão recebida 25 para um determinado pacote, que pode ser utilizado no sistema transmissor para transmitir uma porção adicional do pacote se o pacote não possa ser recuperado corretamente no sistema receptor.

As Figuras 1A e 3 mostram um projeto simples por 30 meio do qual o receptor remete de volta a taxa para a transmissão de dados. Outros projetos também podem ser implementados e estão dentro do escopo da invenção. Como exemplo, as estimativas de canal podem ser enviadas ao transmissor (em vez da taxa), que pode determinar a taxa

para a transmissão de dados com base nas estimativas de canal recebidas.

As técnicas de seleção de taxa e transmissão incremental aqui descritas podem ser implementadas 5 utilizando diversos projetos. Como exemplo, o estimador de canal 516 na Figura 5 utilizado para obter e prover as estimativas de canal pode ser implementado por diversos elementos no sistema receptor. Alguns ou todos do processamento para determinar a taxa podem ser executados 10 pelo controlador 370 (por exemplo, com uma ou mais tabelas de consulta armazenadas na memória 372). Outros projetos para executar a seleção de taxa e transmissão incremental também podem ser contemplados e estão dentro do escopo da invenção.

15 A seleção de taxa e técnicas de transmissão incrementais aqui descritas podem ser implementadas por diversos meios. Como exemplo, estas técnicas podem ser implementadas em hardware, software, ou uma combinação de tais. Para uma implementação em hardware, alguns dos 20 elementos utilizados para implementar a seleção de taxa e/ou transmissão incremental podem ser implementados dentro de um ou mais circuitos integrados de aplicação específica (ASICs - Application Specific Integrated Circuits), processadores de sinais digitais (DSPs - Digital Signal 25 Processors), dispositivos de processamento de sinais digitais (DSPDs), dispositivos lógicos programáveis (PLDs), arranjo de portas programável em campo (FPGAs - Field Programmable Gate Arrays), processadores, controladores, microcontroladores, microprocessadores, outras unidades 30 eletrônicas projetadas para executar as funções aqui descritas, ou uma combinação de tais.

Para uma implementação em software, algumas porções da seleção de taxa e/ou transmissão incremental podem ser implementadas com módulos (por exemplo, 35 procedimentos, funções, e assim por diante) que executam as

funções aqui descritas. Os códigos de software podem ser armazenados em uma unidade de memória (por exemplo, memória 332 ou 372 na Figura 3) e executados por um processador (por exemplo, o controlador 330 ou 370). A unidade de memória pode ser implementada dentro do processador ou externamente ao processador, caso em que pode ser acoplada comunicativamente ao processador através de diversos meios como é conhecido na técnica.

A descrição prévia das modalidades reveladas é provida para permitir que qualquer versado na técnica crie ou faça uso da presente invenção. As várias modificações a estas modalidades serão prontamente aparentes aos técnicos na área, e os princípios genéricos aqui definidos podem ser aplicados a outras modalidades sem partir do espírito ou escopo da invenção. Assim, não é pretendido que a presente invenção seja limitada às modalidades mostradas neste relatório, mas deverá ser acordado o escopo mais amplo consistente com os princípios e características de novidade aqui descritas.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para determinar uma taxa de dados para uma transmissão de dados através de um canal de comunicação multipercurso em um sistema de comunicação sem fio,  
 5 **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende as etapas de:  
     identificar um conjunto de parâmetros para a transmissão de dados;  
     estimar uma ou mais características do canal de comunicação multipercurso, no qual o canal de comunicação  
 10 multipercurso inclui múltiplos subcanais de frequência;  
     derivar uma medida para um canal de ruído Gaussiano branco aditivo (AWGN) equivalente do canal de comunicação multipercurso com base no conjunto de parâmetros e em uma ou mais características de canal  
 15 estimadas;  
     determinar uma qualidade de sinal limite requerida para o canal AWGN equivalente para suportar uma taxa de dados específica de um número de taxas de dados disponíveis para uso;  
 20      indicar, se ou não, a taxa de dados específica é suportada pelo canal de comunicação multipercurso com base em uma comparação da medida e da qualidade de sinal limite;  
     e  
     determinar se uma taxa de dados mais baixa que a  
 25 taxa de dados específica e parte do número de taxas de dados disponíveis para uso são suportadas pelo canal de comunicação multipercurso quando a comparação indica que a taxa de dados específica não é suportada pelo canal de comunicação multipercurso.  
 30      2. Método, de acordo com a reivindicação 1,  
     **CARACTERIZADO** pelo fato de que o conjunto de parâmetros inclui um esquema de codificação específico e um esquema de

modulação específico a ser utilizado para a transmissão de dados.

3. Método, de acordo com a reivindicação 2,  
CARACTERIZADO pelo fato de que uma ou mais características  
5 de canal estimadas incluem uma resposta em frequência estimada do canal de comunicação multipercorso e uma variância de ruído estimada do canal de comunicação.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1,  
CARACTERIZADO pelo fato de que o canal AWGN equivalente  
10 possui uma resposta em frequência uniforme através de uma largura de banda do sistema.

5. Método, de acordo com a reivindicação 2,  
CARACTERIZADO pelo fato de que derivar a medida compreende:

determinar uma taxa de dados equivalente para o  
15 canal AWGN equivalente com base em uma primeira função, no conjunto de parâmetros, e em uma ou mais características de canal estimadas, e

em que a medida é derivada com base em uma segunda função, na taxa de dados equivalente, e no esquema  
20 de modulação específico.

6. Método, de acordo com a reivindicação 5,  
CARACTERIZADO pelo fato de que a primeira função é uma função de capacidade de canal restrita.

7. Método, de acordo com a reivindicação 5,  
25 CARACTERIZADO pelo fato de que a segunda função é um inverso da primeira função.

8. Método, de acordo com a reivindicação 1,  
CARACTERIZADO pelo fato de que a qualidade de sinal é quantificada por uma relação sinal/ruído mais interferência  
30 (SNR).

9. Método, de acordo com a reivindicação 8,  
CARACTERIZADO pelo fato de que derivar a medida compreende:

estimar uma SNR de detecção posterior para o canal de comunicação multipercuso com base em um equalizador específico, e em que a qualidade de sinal estimada para o canal AWGN equivalente é a SNR de detecção posterior estimada.

10. Método, de acordo com a reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de que um único esquema de modulação é utilizado para todos dentre os subcanais de frequência utilizados para a transmissão de dados.

11. Método, de acordo com a reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de que uma pluralidade de esquemas de modulação é utilizada para uma pluralidade dos subcanais de frequência utilizados para a transmissão de dados.

12. Método, de acordo com a reivindicação 1, 15 **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sistema de comunicação sem fio é um sistema de multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM).

13. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente:

20 processar dados para transmissão através do canal de comunicação multipercuso com base na taxa de dados específica quando a comparação indica que a taxa de dados específica é suportada pelo canal de comunicação multipercuso, no qual o processar compreende:

25 codificar os dados de acordo com um esquema de codificação específico;

punctionar os dados codificados de acordo com um esquema de punctionamento específico; e

30 modular dados codificados não punctionados de acordo com um esquema de modulação específico.

14. Método para determinar uma taxa para uma transmissão de dados através de um canal de comunicação multipercuso em um sistema de multiplexação por divisão de

frequência ortogonal (OFDM), CARACTERIZADO pelo fato de que compreende as etapas de:

5 identificar um conjunto de parâmetros para uma taxa específica indicativo de uma taxa de dados específica, de um esquema de modulação específico, e de um esquema de codificação específico;

estimar uma ou mais características do canal de comunicação multipercurso, no qual o canal de comunicação multipercurso inclui múltiplos subcanais de frequência;

10 derivar uma taxa de dados equivalente com base em uma primeira função, no conjunto de parâmetros, e em uma ou mais características de canal estimadas;

15 derivar uma medida para um canal de ruído Gaussiano branco aditivo (AWGN) equivalente do canal de comunicação multipercurso com base em uma segunda função, na taxa de dados equivalente, e no esquema de modulação específico;

20 determinar uma relação sinal/ruído mais interferência (SNR) limite requerida para o canal AWGN equivalente para suportar a taxa de dados específica com os esquemas de modulação e codificação específicos; e

indicar a taxa específica como sendo suportada pelo canal de comunicação caso a medida seja maior ou igual à SNR limite.

25 15. Método, de acordo com a reivindicação 14, CARACTERIZADO pelo fato de que a primeira função é uma função de capacidade de canal restrita.

30 16. Método, de acordo com a reivindicação 14, CARACTERIZADO pelo fato de que a primeira função é a função de capacidade de canal Shannon.

17. Método, de acordo com a reivindicação 14, CARACTERIZADO pelo fato de que a taxa específica é selecionada dentre um conjunto de taxas disponíveis, e em

que cada uma das uma ou mais taxas disponíveis é avaliada para determinar uma taxa de dados mais alta suportada pelo canal de comunicação multipercurso.

18. Método, de acordo com a reivindicação 14,  
 5 CARACTERIZADO pelo fato de que derivar a taxa de dados equivalente e derivar a medida são ambas alcançadas pela estimativa de uma SNR de detecção posterior para o canal de comunicação multipercurso após a equalização por um equalizador específico.

10 19. Método, de acordo com a reivindicação 18,  
CARACTERIZADO pelo fato de que o equalizador específico é um equalizador linear de erro médio quadrático mínimo (MMSE-LE) ou um equalizador de realimentação de decisão (DFE).

15 20. Método, de acordo com a reivindicação 14,  
CARACTERIZADO pelo fato de que compreende adicionalmente:  
 processar dados para transmissão através do canal de comunicação multipercurso com base na taxa de dados específica caso a medida seja maior ou igual à SNR limite,  
 20 no qual o processar compreende:

codificar os dados de acordo com um esquema de codificação específico;

puncionar os dados codificados de acordo com um esquema de punctionamento específico; e

25 modular dados codificados não punctionados de acordo com um esquema de modulação.

21. Método para transmitir dados através de um canal de comunicação multipercurso em um sistema de multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM),  
 30 CARACTERIZADO pelo fato de que compreende as etapas de:

identificar uma taxa inicial a ser utilizada para uma transmissão de dados através do canal de comunicação multipercurso;

processar dados para transmissão através do canal de comunicação multipercurso com base na taxa inicial, no qual o processar compreende:

codificar os dados de acordo com um esquema de codificação específico;

puncionar os dados codificados de acordo com um esquema de punctionamento específico; e

modular dados codificados não punctionados de acordo com um esquema de modulação específico;

10 transmitir uma primeira parte dos dados processados;

receber uma indicação de recepção incorreta da transmissão de dados; e

15 transmitir uma parte adicional dos dados processados.

22. Método, de acordo com a reivindicação 21, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a taxa inicial é determinada com base em uma relação sinal/ruído mais interferência (SNR) estimada para um canal de ruído Gaussiano branco aditivo (AWGN) equivalente.

23. Método, de acordo com a reivindicação 21, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a taxa inicial é indicativa de uma taxa de dados específica, do esquema de modulação específico, e do esquema de codificação específico a ser utilizada para a transmissão de dados.

24. Método, de acordo com a reivindicação 21, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a primeira parte compreende os dados codificados não punctionados e a parte adicional compreende os dados codificados previamente punctionados e 30 ainda não transmitidos.

25. Método, de acordo com a reivindicação 21, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende adicionalmente:

repetir a transmissão de uma parte adicional, uma ou mais vezes, até que uma indicação de recepção correta da transmissão de dados seja recebida.

26. Método, de acordo com a reivindicação 21,  
 5 **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada parte adicional a ser transmitida em resposta à recepção da indicação de recepção incorreta comprehende dados processados que não foram transmitidos previamente.

27. Unidade receptora em um sistema de  
 10 comunicação sem fio, **CARACTERIZADA** pelo fato de que comprehende:

um estimador de canal (164) operativo para derivar estimativas de uma ou mais características de um canal de comunicação multipercurso utilizadas para uma  
 15 transmissão de dados, no qual o canal de comunicação multipercurso inclui múltiplos subcanais de frequência; e

um seletor de taxa (166) operativo para receber estimativas de canal a partir do estimador de canal e um conjunto de parâmetros indicativos de uma taxa específica  
 20 de um número de taxas disponíveis para a transmissão de dados, derivar uma medida para um canal de ruído Gaussiano branco aditivo (AWGN) equivalente do canal de comunicação multipercurso, determinar uma qualidade de sinal limite requerida para o canal AWGN equivalente para suportar a  
 25 taxa específica, indicar se ou não a taxa específica é suportada pelo canal de comunicação multipercurso com base em uma comparação da medida e da qualidade de sinal limite, e determinar se uma taxa mais baixa que a taxa específica é parte do número de taxas disponíveis são suportadas pelo  
 30 canal de comunicação multipercurso quando a comparação indica que a taxa específica não é suportada pelo canal de comunicação multipercurso.

28. Unidade receptora, de acordo com a reivindicação 27, CARACTERIZADA pelo fato de que comprehende adicionalmente:

um decodificador (162) operativo para prover um status de cada transmissão recebida para um pacote específico de dados; e

um controlador (170) operativo para prover informações de realimentação que comprehendem a taxa específica e uma indicação do status de pacote.

10 29. Unidade receptora, de acordo com a reivindicação 27, CARACTERIZADA pelo fato de que o seletor de taxa (166) é adicionalmente operativo para determinar uma taxa de dados equivalente para o canal AWGN equivalente com base em uma primeira função, no conjunto de parâmetros, 15 e nas estimativas de canal, e para derivar a medida para o canal AWGN equivalente com base em uma segunda função, na taxa de dados equivalente, e em um esquema de modulação específico associado à taxa específica.

20 30. Unidade receptora, de acordo com a reivindicação 29, CARACTERIZADA pelo fato de que a primeira função é uma função de capacidade de canal restrita.

31. Unidade receptora, de acordo com a reivindicação 29, CARACTERIZADA pelo fato de que comprehende adicionalmente:

25 uma memória (372) configurada para armazenar uma ou mais tabelas para a primeira função.

32. Equipamento receptor, em um sistema de comunicação sem fio, CARACTERIZADO pelo fato de que comprehende:

30 meios para derivar estimativas de uma ou mais características de um canal de comunicação multipercorso utilizadas para uma transmissão de dados, no qual o canal

de comunicação multipercurso inclui múltiplos subcanais de frequência;

meios para derivar uma medida para um canal de ruído Gaussiano branco aditivo (AWGN) equivalente do canal de comunicação multipercurso com base nas estimativas de canal e em um conjunto de parâmetros indicativo de uma taxa específica de um número de taxas disponíveis para a transmissão de dados;

meios para determinar uma qualidade de sinal limite requerida para o canal AWGN equivalente suportar a taxa específica;

meios para indicar se ou não a taxa específica é suportada pelo canal de comunicação multipercurso com base em uma comparação da medida e da qualidade de sinal limite;

15 e

meios para determinar se uma taxa mais baixa que a taxa específica e parte do número de taxas disponíveis é suportada pelo canal de comunicação multipercurso quando a comparação indica que a taxa específica não é suportada pelo canal de comunicação multipercurso.

33. Equipamento receptor, de acordo com a reivindicação 32, CARACTERIZADO pelo fato de que compreende adicionalmente:

meios para determinar uma taxa de dados equivalente para o canal AWGN equivalente com base em uma primeira função, no conjunto de parâmetros, e nas estimativas de canal, e

em que a medida é derivada com base em uma segunda função, na taxa de dados equivalente, e em um esquema de modulação específico associado à taxa específica.

34. Equipamento de receptor, de acordo com a reivindicação 33, CARACTERIZADO pelo fato de que comprehende adicionalmente:

meios para armazenar uma ou mais tabelas para a  
5 primeira função.

35. Unidade transmissora em um sistema de multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM), CARACTERIZADA pelo fato de que comprehende:

um controlador (330) operativo para identificar  
10 uma taxa inicial a ser utilizada para uma transmissão de dados através de um canal de comunicação e receber uma indicação de recepção correta ou incorreta da transmissão de dados, em que a taxa inicial é indicativa de uma taxa de dados específica, de um esquema de modulação específico, e  
15 de um esquema de codificação específico a ser utilizado para a transmissão de dados;

um processador de dados de transmissão (310) operativo para codificar dados de acordo com o esquema de codificação específico, o processador de dados de transmissão sendo operativo para codificar os dados de acordo com o esquema de codificação específico e punctionar os dados codificados de acordo com um esquema de punctionamento específico;

um modulador (320) operativo para modular uma  
25 primeira parte dos dados codificados de acordo com o esquema de modulação específico, e para modular adicionalmente uma parte adicional dos dados codificados caso a indicação de recepção incorreta da transmissão de dados seja recebida; e

30 um transmissor (322) operativo para transmitir os dados modulados.

36. Unidade transmissora, de acordo com a reivindicação 35, CARACTERIZADA pelo fato de que a primeira

parte compreende os dados codificados não punctionados e a parte adicional compreende os dados codificados previamente punctionados e ainda não transmitidos.

37. Equipamento transmissor em um sistema de  
5 comunicação sem fio, CARACTERIZADO pelo fato de que  
compreende:

meios para identificar uma taxa inicial a ser  
utilizada para uma transmissão de dados através de um canal  
de comunicação multipercurso, em que a taxa inicial é  
10 indicativa de uma taxa de dados específica, de um esquema  
de modulação específico, e de um esquema de codificação  
específico a ser utilizado para a transmissão de dados;

meios para codificar dados de acordo com o  
esquema de codificação específico;

15 meios para punctionar os dados codificados de  
acordo com um esquema de punctionamento específico;

meios para modular uma primeira parte dos dados  
codificados de acordo com o esquema de modulação  
específico, no qual a primeira parte compreende dados  
20 codificados não punctionados;

meios para receber uma indicação de recepção  
correta ou incorreta da transmissão de dados em um  
receptor;

25 meios para modular uma parte adicional dos dados  
codificados caso a indicação de recepção incorreta da  
transmissão de dados seja recebida, no qual a parte  
adicional compreende os dados codificados previamente  
punctionados e ainda não transmitidos; e

meios para transmitir os dados modulados.

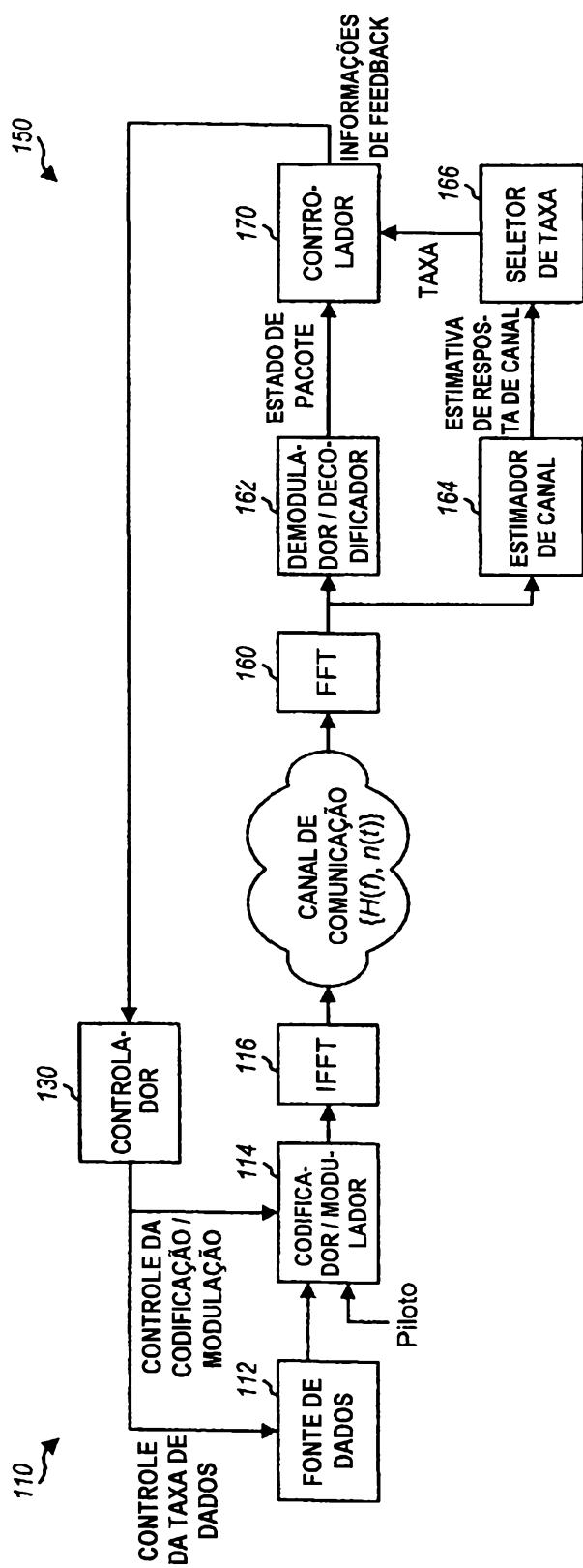
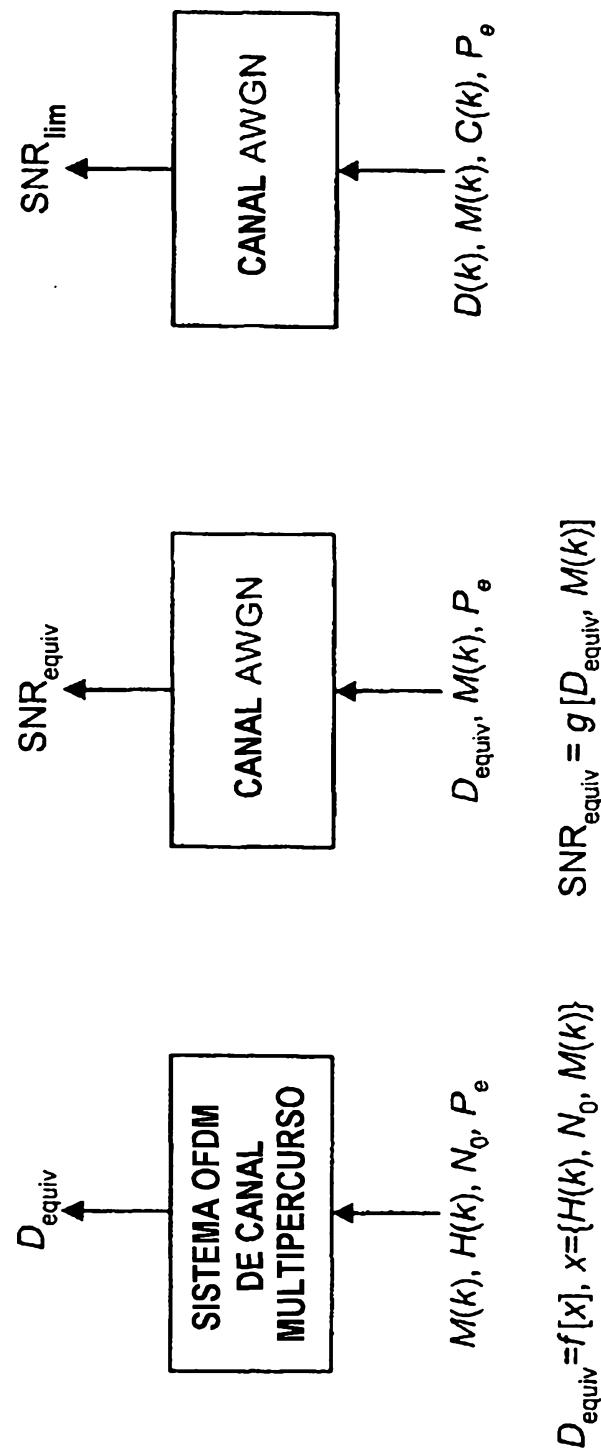


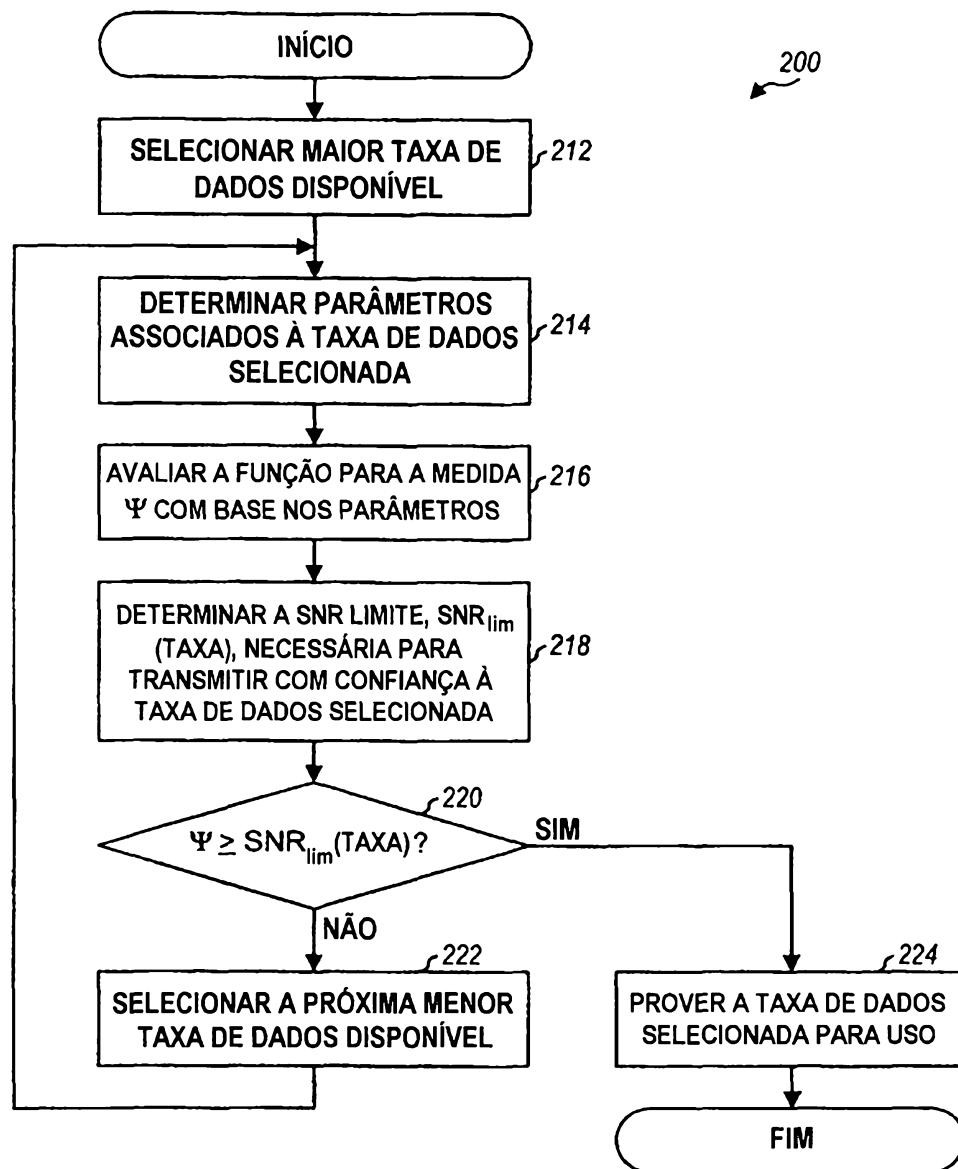
FIG. 1A



$$D_{\text{equiv}} = f[x], x = \{H(k), N_0, M(k)\}$$

$$\text{SNR}_{\text{equiv}} = g[D_{\text{equiv}}, M(k)]$$

**FIG. 1B**



**FIG. 2**

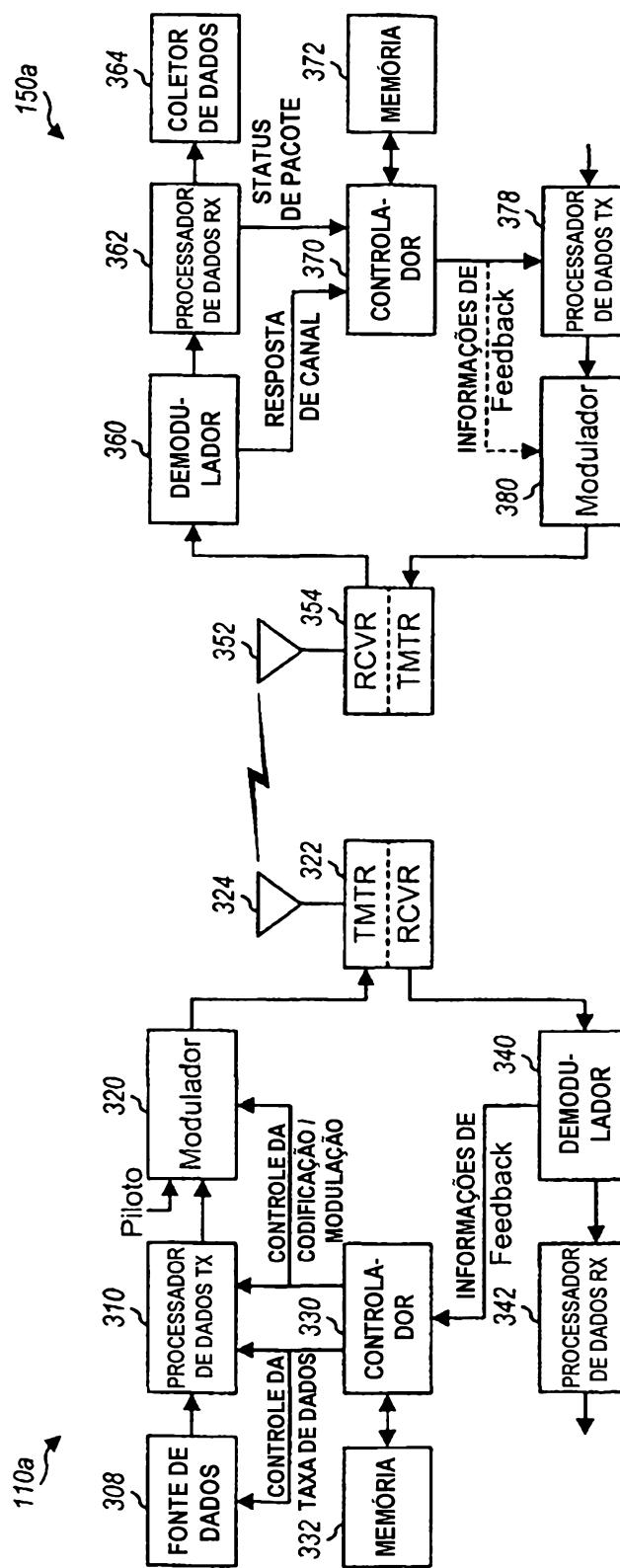


FIG. 3

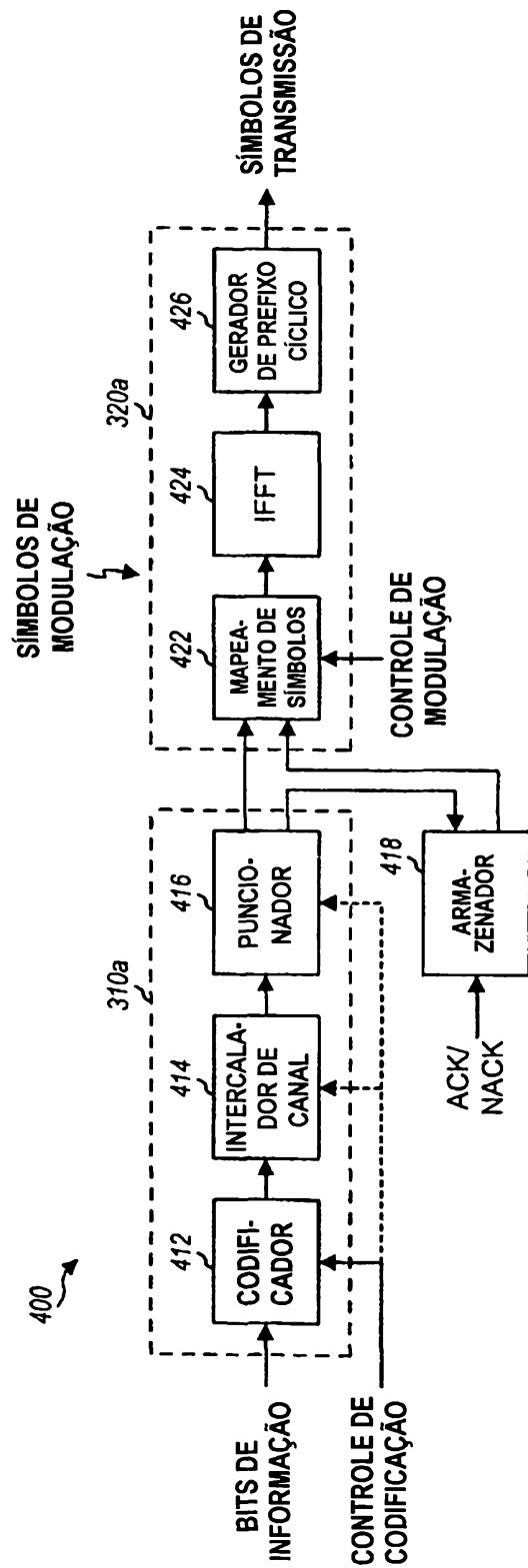


FIG. 4

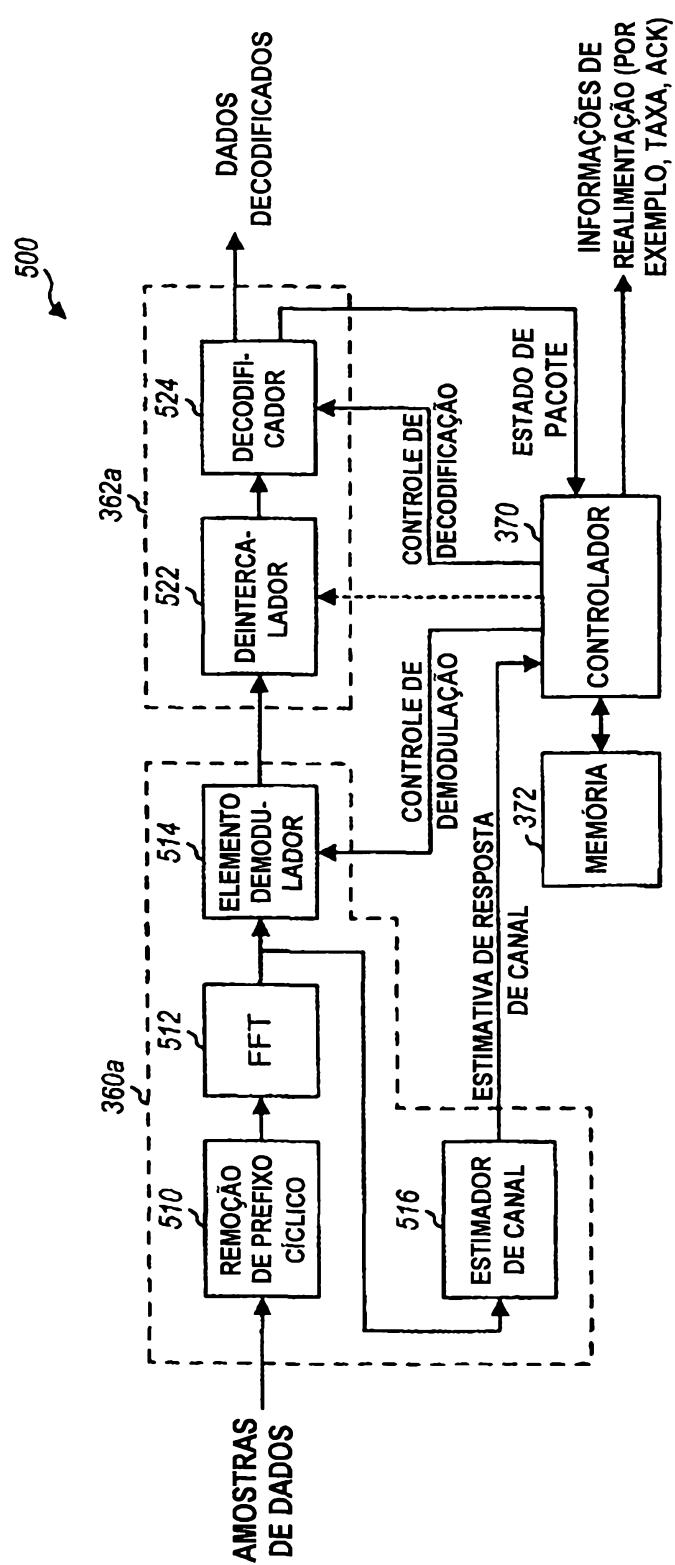


FIG. 5

## RESUMO

### SELEÇÃO DE TAXA PARA UM SISTEMA OFDM

Na presente invenção são apresentadas técnicas para determinar a taxa para uma transmissão de dados em um sistema OFDM. A taxa de dados máxima que pode ser transmitida com confiança através de um determinado canal de multipercorso (não uniforme) pelo sistema OFDM é determinado com base em uma medida para um canal (uniforme) equivalente. Para um determinado canal de multipercorso e uma taxa específica (que pode ser indicativa de uma taxa de dados específica, de um esquema de modulação e uma taxa de codificação), a medida é inicialmente obtida a partir de uma taxa de dados equivalente e de um esquema de modulação específico. É determinada a seguir, uma SNR limite necessária para transmitir com confiança a taxa de dados específica utilizando o esquema de modulação específico e taxa de codificação. A taxa específica é julgada como suportada pelo canal de multipercorso caso a medida seja maior ou igual à SNR limite. A transmissão incremental é utilizada para considerar erros na taxa de dados determinada.