

6 Resultados

O capítulo anterior descreve implementação da ferramenta de simulação, levando em consideração os detalhes de cada bloco e mostrando a importância de cada um deles. Neste capítulo são apresentados os resultados produzidos pela ferramenta de simulação, segundo as mais variadas configurações que o padrão de TV Digital japonês disponibiliza. Ainda, são consideradas as características favoráveis e desfavoráveis do padrão e da ferramenta, bem como sugeridas possíveis melhorias.

6.1 Avaliações e resultados da ferramenta de simulação

Conforme dito anteriormente, a ferramenta de simulação é capaz de avaliar o desempenho da transmissão do sinal do padrão de TV Digital ISDB-T, mediante as distorções provocadas pelo canal de comunicações AWGN. O multipercurso também é considerado uma vez que é um agente muito perturbador para televisão. Para simulação deste fenômeno foi considerado o modelo de 2 raios, com valores de atenuação igual a 9 dB e atraso de 110 nS [9], que representam um raio refletido em um ambiente externo.

Os resultados gerados são valores de taxa de erros de bit, aqui chamados de BER em relação aos distúrbios provocados pelo canal de comunicações. Eles são apresentados sob forma de gráficos nas figuras que seguem. A análise de desempenho é feita comparando os dados em diferentes pontos do sistema, como mostrado no esquema do ISDB-T apresentado na figura 6.1. Os pontos de referência A, B e C, foram escolhidos levando-se em conta os codificadores, que tem a função de corrigir os erros introduzidos pelo canal de comunicações, pois possibilita uma análise do tratamento dos dados ao longo do sistema. O primeiro deles, identificado pela letra A mostra a taxa de erro de bit do canal de comunicações. O ponto identificado pela letra B apresenta a comparação dos dados após o codificador convolucional e finalmente o ponto C apresenta a comparação de erros final do sistema.

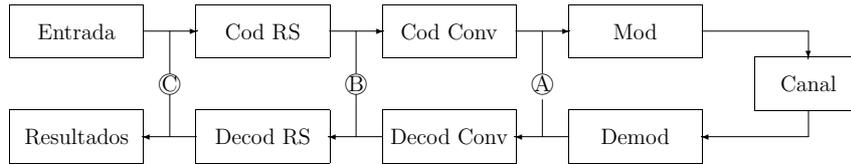


Figura 6.1: Diagrama em blocos apontando os pontos de coleta de informações

Todas as configurações possíveis do sistema foram testadas, sendo possível fazer a comparação de desempenho para cada um dos casos, para as diferentes relações de E_B/N_0 , partindo do valor 0 até o valor 20. Os resultados são apresentados com a configuração modo 3 de transmissão (8192 portadoras) e agrupados por tipo de modulação empregada.

Os gráficos com as curvas de BER X E_B/N_0 para os pontos A, B e C do modelo de referência em blocos do ISDB-T (figura 6.1) são apresentados na figura 6.2. Também é considerado o caso em que o codificador convolucional é propositadamente suprimido e ainda o sistema operando num canal sob o efeito do AWGN e multipercurso. Conforme descrito nos capítulos anteriores, o modelo 2 raios foi empregado na simulação do multipercurso. Os cinco primeiros gráficos desta figura mostram o desempenho do sistema trabalhando com a modulação QPSK e com as 5 possíveis taxas de codificador convolucional, sendo apresentadas na ordem 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 e 7/8. O sexto gráfico compara o desempenho do sistema para as 5 diferentes taxas de codificação convolucional para um canal AWGN. As figuras 6.3 e 6.4 contém as mesmas curvas para os esquemas de modulação QAM16 e QAM64 respectivamente.

Em uma primeira análise, é possível comprovar que o uso de uma taxa de codificação convolucional que insere mais bits de redundância garante um menor nível de erros, como era esperado, ao passo que transmitirá uma taxa efetiva de dados menor. Da mesma forma, as taxas de codificação convolucional com menores níveis de redundância provocam taxas de erros de bit maiores, mas trabalham com taxas efetivas de dados mais elevadas. A figura 6.6 apresenta as taxas efetivas para cada possível configuração do sistema, por segmento e para o sistema total quando operando com a mesma configuração nos 13 segmentos.

Outro resultado interessante diz respeito à operação do bloco que efetua a codificação interna. Este bloco usa a técnica de codificação/decodificação convolucional e tem a função de corrigir os bits errados, com o auxílio dos bits de redundância inseridos no codificador. Porém

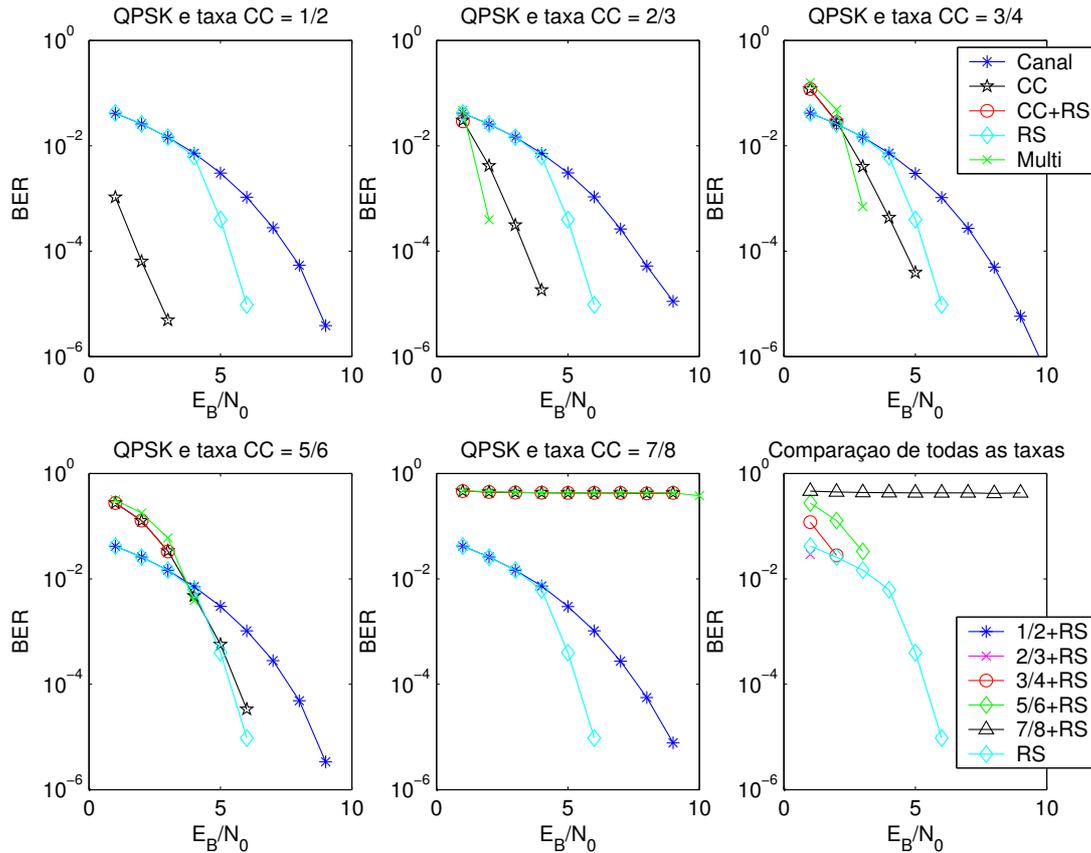


Figura 6.2: Comparação das curvas de BER $\times E_B/N_0$ para modulação QPSK com diferentes taxas de codificação convolucional.

foi verificado que para determinadas relações de E_B/N_0 , o decodificador convolucional inseria mais erros ao invés de corrigi-los. Assim, para cada configuração pode ser determinado um valor de E_B/N_0 de referência que determina se o codificador interno está melhorando ou piorando o desempenho do sistema.

O multipercurso, que é o efeito causado pela soma do sinal principal com suas cópias refletidas, contribui com a degradação do sinal no canal de comunicações. No ISDB-T é previsto um esquema de equalização de uma derivação (*tap*) na saída da DFT do receptor, como método de combate aos efeitos do multipercurso. A implementação do multipercurso possibilitou mensurar a sua influência no desempenho do sistema ISDB-T. Permitiu também medir como a inserção de equalizador ideal melhoraria o desempenho do sistema. Neste caso, a taxa de erro de bits seria a mesma para um canal sob efeito apenas do AWGN. Contrariamente, sem o equalizador ideal o resultado seria o apresentado pelas curvas AWGN + multipercurso. Desta forma foi determinada a região de atuação dos equalizadores ideais, caso pudessem ser implementados nos receptores ISDB-T.

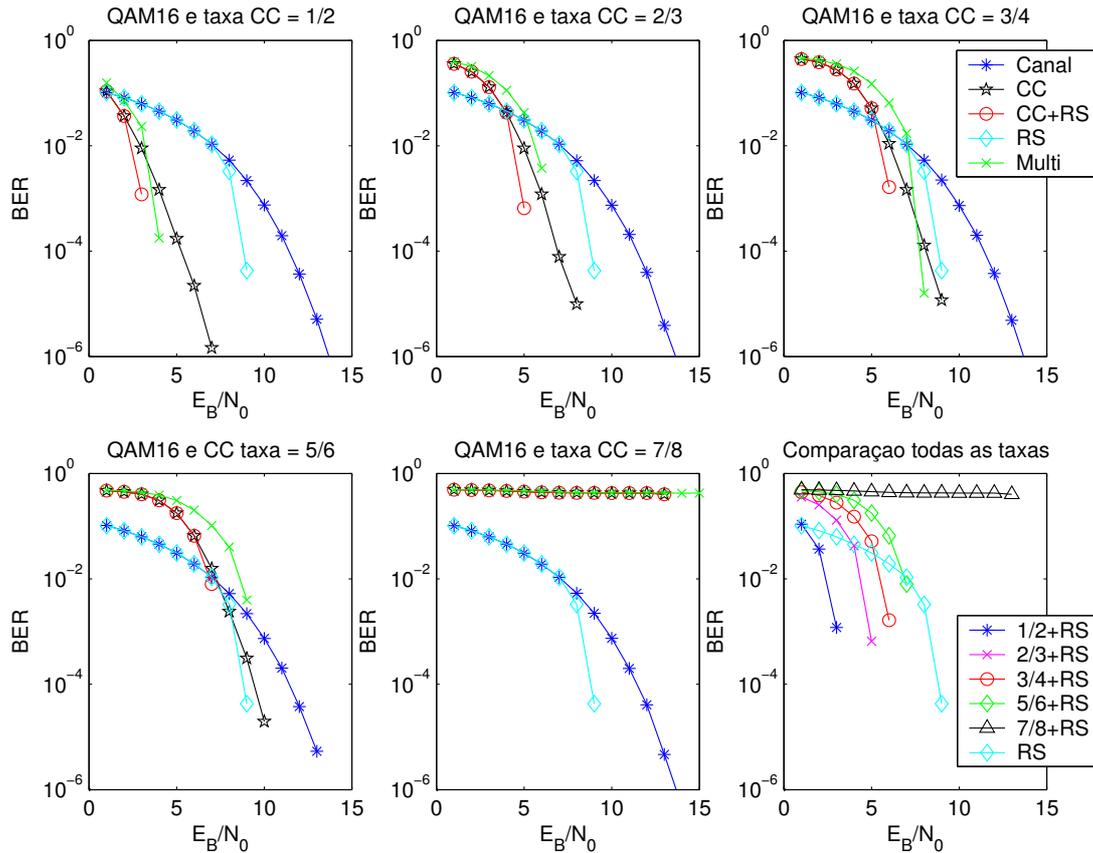


Figura 6.3: Comparação das curvas de BER x E_B/N_0 para modulação QAM16 com diferentes taxas de codificação convolucional.

Através das figuras 6.2, 6.3 e 6.4 foi possível comprovar que o efeito do multipercurso é mais forte na modulação QAM64 e mais ameno no QPSK. Este resultado já era esperado, pois um teste semelhante foi executado e apresentado na figura 5.4. Isto acontece também para a transmissão num canal sob efeito apenas do AWGN, e a figura 6.5 comprova este fato. Os gráficos apresentados fazem uma comparação de desempenho para os três tipos de modulação, nas diferentes configurações previstas.

O último gráfico das figuras 6.2, 6.3 e 6.4 faz ainda uma comparação das curvas de taxa erro de bit do sistema operando em um canal sob efeito do AWGN, para as cinco taxas de codificador convolucional possíveis e ainda para o caso onde o este codificador foi suprimido do sistema, em função das diversas relações de E_B/N_0 . A identificação das curvas se dá pela taxa do codificador interno usado mais o codificador externo. O caso em que o codificador convolucional não foi usado é identificado apenas por RS. Nestes gráficos é possível comparar como cada uma das possíveis taxa do codificador interno influenciam no desempenho do sistema.

A figura 6.5 representa os gráficos com curvas comparativas das modulações QPSK, QAM16 e QAM64 para o canal de comunicações sob

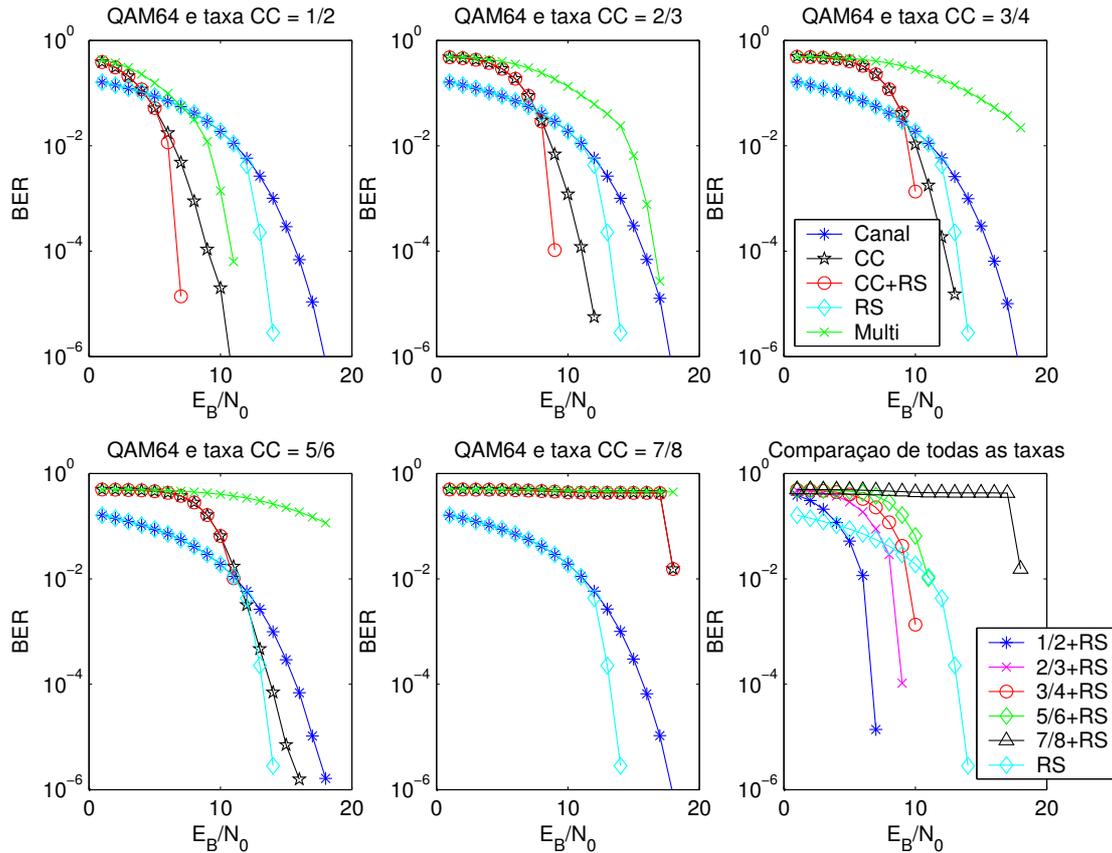


Figura 6.4: Comparação das curvas de BER x E_B/N_0 para modulação QAM64 com diferentes taxas de codificação convolucional.

efeito do AWGN. Como era de se esperar, as modulações mais robustas a ruídos tiveram um melhor desempenho.

A ferramenta de simulação também nos habilita medir como os erros influenciam na transmissão de imagens. Para este teste foi transmitida a conhecida foto da Lena e uma imagem em branco num canal AWGN com relação $E_B/N_0 = 4$ dB, para que comparações possam ser feitas. Foram escolhidas três configurações dentre as possíveis para mostrar como os erros interferem na imagem. A figura 6.7 apresenta os resultados desta transmissão, que utilizam o modo 3 de transmissão. Na primeira coluna temos a imagem Lena acima e a imagem branco abaixo, ambas transmitidas no sistema com modulação QAM16 e taxa do codificador convolucional 1/2. A BER medida neste cenário é igual a 0,0025 e é possível perceber que apesar dos erros, a imagem Lena é bem definida e a imagem em branco contém alguns pontos em cinza e preto, que são os erros introduzidos pelo canal.

A segunda coluna apresenta o resultado para a modulação QAM16 e taxa do codificador convolucional 2/3. Nestas condições a BER medida é igual a 0.1465 e é possível perceber que a mudança na taxa do codificador convolucional influenciou muito na qualidade das imagens. A terceira coluna

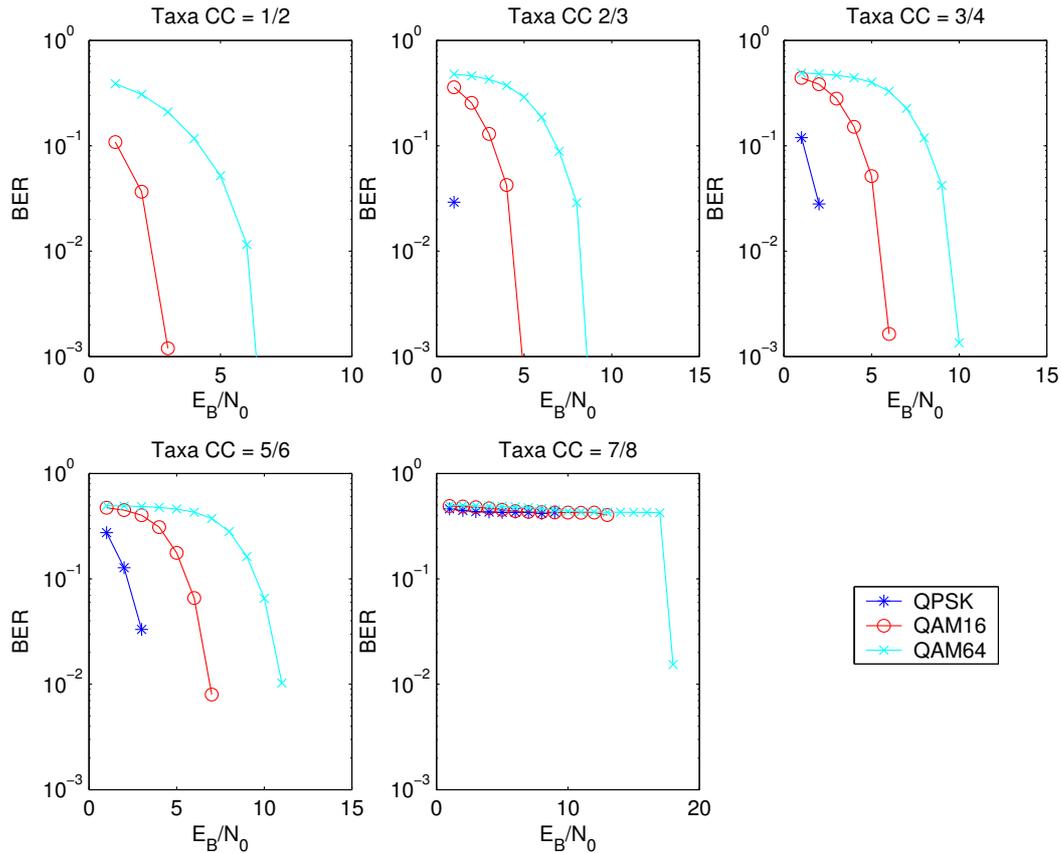


Figura 6.5: Comparação das curvas de BER x E_B/N_0 para modulação todas as diferentes modulações.

apresenta o resultado para o sistema utilizando a modulação QAM16 com uma taxa do codificador convolucional igual a 7/8. Neste caso a BER é igual a 0,4798 e a transmissão foi tão afetada que a imagem Lena é completamente perdida, e a imagem em branco fica totalmente deteriorada. Se não fossem devidamente identificadas, não seria possível saber qual das duas era a figura Lena e qual é a imagem branca.

Este exemplo é meramente ilustrativo e tem a finalidade de mostrar visualmente como os erros atuam nos dados. No caso da transmissão de TV Digital, que é um fluxo de pacotes MPEG2, quando temos perda de informação, a consequência para o telespectador é uma tela completamente negra, que indica falta de informação útil. Isto por que os erros inseridos pelo canal inviabilizam que o decodificador MPEG2 apresente o conteúdo das informações transmitidas.

A simulação mostra também, que a configuração do sistema deve ser executada respeitando o compromisso entre a taxa de dados transmitidas e a robustez ao ruído. Este compromisso deve ser sempre levado em consideração sob pena de não satisfazer o telespectador. Com a ferramenta é possível saber como o sistema se comporta nas mais diferentes configurações,

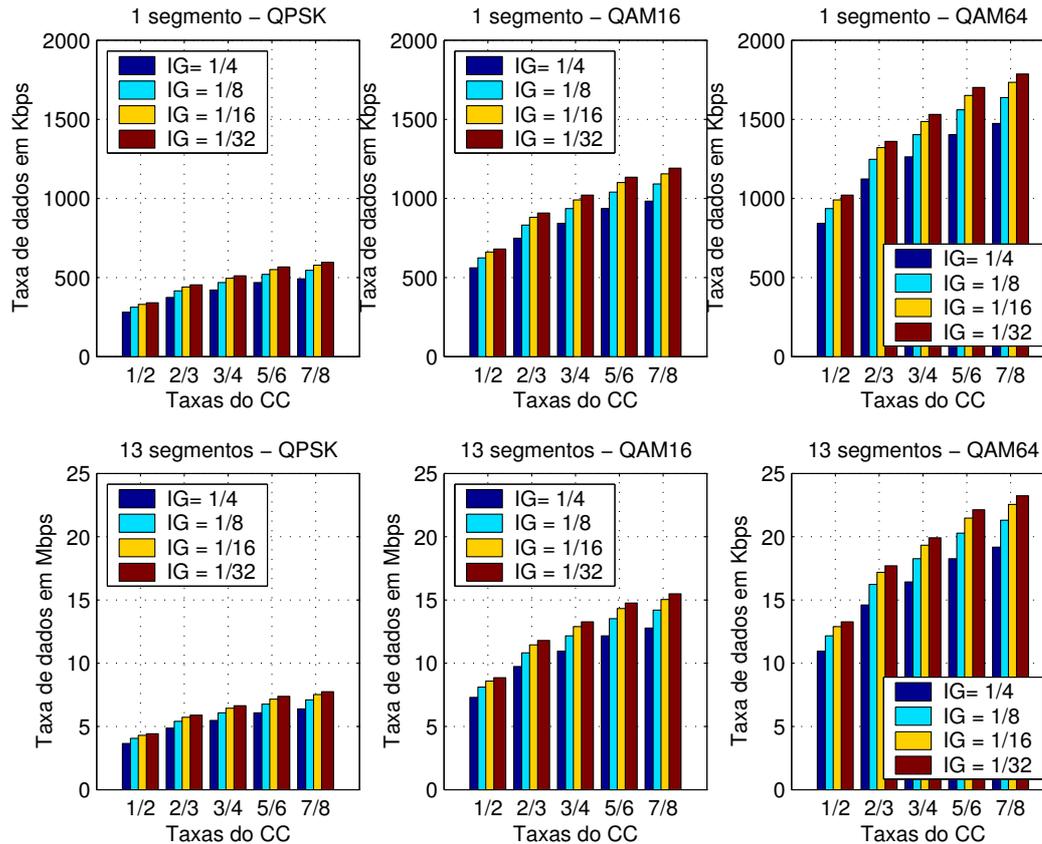


Figura 6.6: Taxa de dados para 1 e 13 segmentos, com as diferentes taxas do codificador convolucional

possibilitando então saber a melhor configuração para cada necessidade.

O desenvolvimento da ferramenta de simulação permitiu identificar os pontos fracos do sistema. Um deles é o canal responsável por transmitir as informações de configuração do transmissor, e que será utilizado pelo receptor para decodificação do sinal. Apesar deste sinal ser protegido por um esquema de codificação cíclico, ele pode ser corrompido e se este efeito for suficiente para degradá-lo, o receptor pode não conseguir decodificar os dados de programa, resultando na perda momentânea dos dados, ou a utilização da última configuração utilizada. No caso do não reconhecimento de parâmetros de configuração, uma transmissão ao vivo poderia ser interrompida pelo aparecimento de uma tela preta, que significa falta de dados. No caso de utilização do último parâmetro decodificado, o programa seria interpretado perfeitamente.

Outro ponto fraco do sistema é a ausência de proteção das informações nos canais auxiliares prevista no ISDB-T. A proteção deve ser executada por um sistema externo.

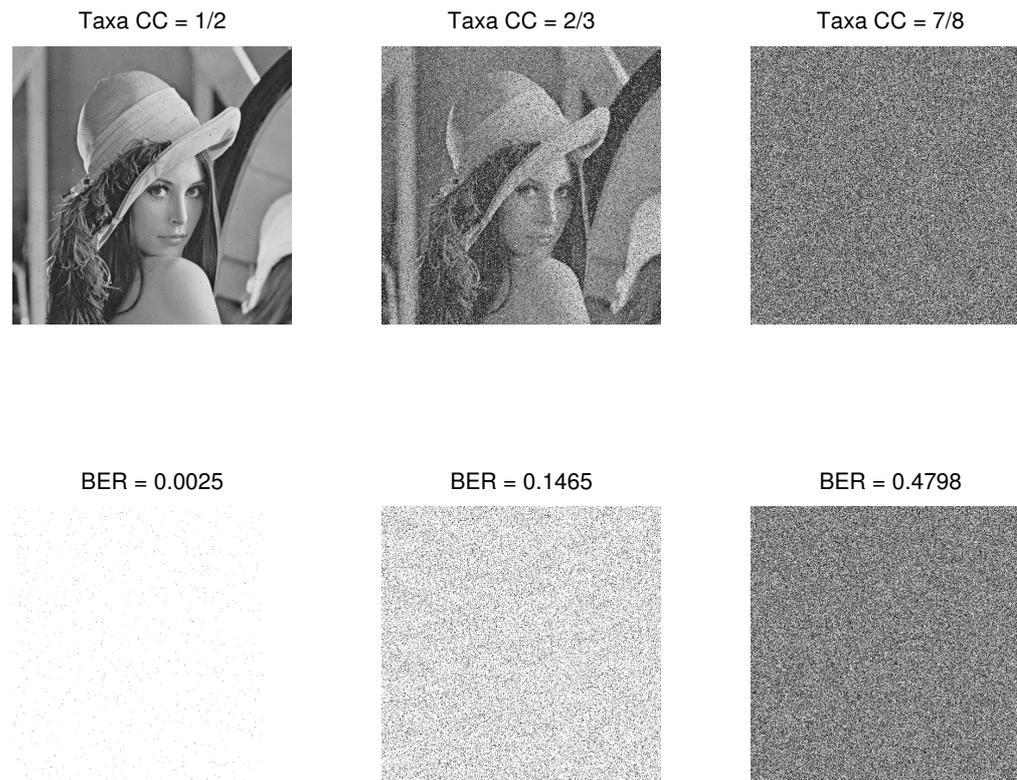


Figura 6.7: Figura em branco e imagem Lena corrompidas pelo canal de comunicações.

6.2 Sugestão para trabalhos futuros

Após várias simulações e análises de resultados, foi possível identificar quais pontos do padrão poderiam ser melhorados. Uma sugestão de trabalho futuro seria a implementação de melhoras no sistema. A primeira delas seria modificar a codificação de canal, utilizando um codificador interno mais robusto, como por exemplo um turbo code. Certamente o desempenho do sistema melhoraria. Outra melhoria no sistema seria a implementação de um esquema de proteção para os canais auxiliares, que hoje não é proposto no padrão.

Outra sugestão para trabalhos futuros é promover melhorias na ferramenta de simulação desenvolvida, habilitando características como a transmissão de vídeos MPEG2. Isto viabilizaria o estudo do desempenho do sistema para simulação de uma transmissão ao vivo de um conteúdo de TV Digital, por exemplo.

Talvez o mais importante trabalho futuro, e que na verdade já está sendo desenvolvido por outras pessoas/entidades, é o desenvolvimento do padrão de TV nacional, baseado nos pontos fortes do ISDB-T e dos outros padrões, e melhorando ou mesmo modificando os pontos fracos.

6.3 Conclusão

TV Digital terrestre é um assunto que vem sendo muito estudado nos últimos anos e responsável por uma grande transformação no modo de assistir TV. Isto por que a de TV convencional, conhecida como TV analógica, está sendo substituída pelos padrões de TV Digital, que trazem uma série de novidades, além de expressivos avanços na qualidade de som e imagem e promover a interatividade.

Uma corrida pelo desenvolvimento e divulgação de um padrão de TV digital vem sendo travada pela Europa, Japão e América. Cada padrão contém suas características, e por isso dá margem para análises e conclusões.

O estudo do padrão de TV Digital japonês ISDB-T é importante pois é hoje o padrão mais completo disponível. A identificação de todos os pontos fracos e fortes e a análise de sua tecnologia impulsiona o desenvolvimento de um padrão nacional, que pode ser melhor que todos os outros padrões disponíveis no mercado.

O trabalho desenvolvido teve como objetivo apresentar as características do padrão de TV Digital japonês ISDB-T e o desenvolvimento de uma ferramenta de simulação que permite fazer a avaliação de desempenho das várias configurações possíveis no padrão. As simulações contemplam a transmissão de dados sob efeito de um canal AWGN e AWGN com multipercurso utilizando o método de dois raios.

Os resultados produzidos pela ferramenta são apresentados neste capítulo e permitem a avaliação da melhor configuração para cada condição de canal possível, seja ele menos ou mais ruidoso. Os resultados mostram também que os efeitos do multipercurso degradam severamente o desempenho da comunicação.