

# Biblioteca de Sinais Digitais em HF para Aplicações em MAGE

Tiago de Faria<sup>1</sup>, Evandro César Vilas Boas<sup>1</sup> e Marcelo Carneiro de Paiva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), Santa Rita do Sapucaí/ MG – Brasil

**Resumo** – A interceptação, identificação e análise de sinais digitais provenientes da comunicação de entidades hostis em ambientes de Guerra Eletrônica são de suma importância em operações táticas. Esta atividade necessita de uma biblioteca de sinais ampla, que relacione diversos parâmetros. Este trabalho propõe uma biblioteca de sinais digitais em HF (*High Frequency*) que relaciona parâmetros técnicos como número de tons, deslocamento entre portadoras, largura de banda, modulação, taxa de baud, rajada e pico ACF. Além disso, parâmetros não técnicos como a finalidade, localização e desenvolvedor do protocolo e sua ocorrência de uso ou atividade são incorporados a esta biblioteca como um diferencial.

**Palavras-Chave** – Biblioteca de sinais digitais, Guerra Eletrônica, *High Frequency*, MAGE.

## I. INTRODUÇÃO

Em um cenário de Guerra Eletrônica (GE), Medidas de Apoio de GE (MAGE) permitem, entre outras ações, interceptar, identificar e analisar sinais digitais provenientes da comunicação de entidades hostis para aplicações em operações táticas. Todavia, existe uma grande variedade de sinais digitais que podem ser utilizados por forças hostis para comunicação. Além disso, técnicas sofisticadas podem ser empregadas para preservar a integridade do sinal, dificultando as ações de MAGE [1].

A decodificação de um sinal desconhecido e interceptado requer a identificação de seu protocolo de transmissão. Portanto, este sinal tem seus parâmetros técnicos (número de tons, largura de banda, taxa de *baud*, modulação, etc.) comparados aos de sinais conhecidos e provenientes de um banco de dados de referência [2]. Deste modo, definem-se duas atividades fundamentais no processo de identificação de protocolos de transmissão: a busca por parâmetros técnicos e a consulta a um banco de dados de sinais de referência.

Três podem ser os resultados das atividades supracitadas: a definição de um único protocolo de transmissão, implicando na aplicação direta do decodificador correspondente; definição de mais de um protocolo de transmissão, levando à aplicação de sucessivos decodificadores até encontrar a opção correta; e indefinição do protocolo de transmissão, implicando no emprego de um demodulador universal, com intuito de realizar uma análise de símbolos e de fluxo de bits. Para o segundo caso, pode-se reduzir o número de protocolos definidos complementando a correlação do banco de dados com informações oriundas de pesquisas em obras literárias, sítios eletrônicos e dados de inteligência obtidos de sistemas de comunicações de forças oponentes, como equipamentos capturados ou adquiridos.

Na prática, a atividade de consulta ao banco de dados limita-se a uma correlação de nomes e números que alguns *softwares* de análise de parâmetros técnicos de sinais digitais podem oferecer. Por conseguinte, características particulares de sinais digitais não são consideradas no processo de identificação. Deste modo, é fundamental que, em ações de MAGE, tenha-se um banco de dados amplo, que contemple para os diferentes tipos de sinais nomes, nomes alternativos, parâmetros técnicos além de parâmetros não técnicos como quem utiliza os diversos tipos de sinais, a abrangência de suas localizações, qual equipamento gera o sinal, qual empresa o desenvolve, se é um sinal obsoleto, se está ativo ou não, etc.

Neste trabalho é apresentada uma biblioteca de sinais digitais em HF para aplicações em MAGE baseado na análise de parâmetros técnicos e com o diferencial de extrapolação da análise para parâmetros não técnicos. A Seção II aborda os meios de pesquisa utilizados para a concepção da biblioteca de sinais digitais e uma breve discussão a respeito das dificuldades encontradas durante a atividade. A Seção III apresenta a análise da biblioteca de sinais digitais em relação aos parâmetros técnicos. Na Seção IV são apresentados os parâmetros não técnicos e sua aplicabilidade na construção da biblioteca. A Seção V demonstra a prática da atividade do analista de sinais digitais. Com base em um suposto sinal desconhecido, apresenta-se a busca por seus parâmetros técnicos, a consequente comparação destes com os registrados na biblioteca, o emprego de parâmetros não técnicos e a identificação do protocolo com a posterior decodificação. As conclusões são apresentadas na Seção VI, assim como propostas de trabalhos futuros.

## II. PESQUISA E CONCEPÇÃO DA BIBLIOTECA DE SINAIS DIGITAIS EM HF

Para a formação biblioteca de sinais digitais em HF foram realizadas pesquisas em diversas fontes. Considerando sua confiabilidade definiram-se três níveis. Em primeiro plano destacam-se livros [4 - 6], manuais de *hardware* [3] e *datasheets* [7]. Em segundo, o sítio eletrônico *Signal Identification Guide* [8], que apesar de ser classificado como uma página “*wiki*” possui aplicação prática satisfatória para GE. Em terceira instância, considerou-se os sítios eletrônicos ligados a radio amadores, os quais, em alguns casos, são os próprios desenvolvedores de alguns modos de transmissão digital. A pesquisa permitiu a formação de um banco de dados com 183 modos de transmissão relacionados a sinais utilizados para transmissões em HF (*High Frequency*), faixa de grande interesse militar e que possui maior número de protocolos de transmissão. Além disso, limitou-se a registrar sinais do campo das comunicações, área de maior aplicação para a Força Terrestre. Os critérios para exclusão ou inclusão dos sinais no banco de dados foram flexíveis devido à carência de referências relacionadas ao tema e, portanto, excluindo-se apenas dados que desviam significativamente de

um padrão. Em razão das dificuldades citadas, não foi possível reunir apenas dados consistentes no objeto de estudo. Isto implica na necessidade de um trabalho complementar, envolvendo análises práticas de diversos sinais digitais. Por fim, alguns sinais digitais em HF deixaram de ingressar no banco de dados por falta de informações suficientes para atender ao menos aos parâmetros técnicos mais básicos.

Entre os parâmetros técnicos considerados, verificou-se que a taxa de *baud* apresentou variações entre fontes diferentes, considerando-se um mesmo modo de transmissão. A largura de banda é pouco abordada e parâmetros como continuidade/rajada (com seus respectivos intervalos de tempo), pico ACF (*Autocorrelation Function*), alfabeto, codificação, sincronização apresentam quase nenhuma informação. O presente trabalho está baseado em um instrumento de análise, classificação e decodificação de sinais digitais, cuja identidade, por questão de sigilo, foi omitida. Todavia, os mesmos princípios podem ser aplicados a quaisquer outras soluções. Ressalta-se, ainda, que o foco do trabalho está na aplicação de um banco de dados na atividade de MAGE e não nas características do *hardware* e/ou *software* a ser empregado.

### III. ANÁLISE DE PARÂMETROS TÉCNICOS

Nesta seção são apresentados os parâmetros técnicos considerados na construção da biblioteca de sinais digitais e sua aplicação através de uma sequência utilizada nos cursos de formação de analistas de sinais digitais. É um método genérico, o qual funciona em diversos tipos de modos de transmissão. Os parâmetros técnicos considerados são número de tons, deslocamento entre portadoras, largura de banda, modulação, taxa de *baud*, rajada e pico ACF.

#### A. Número de tons

O número de tons ou número de frequências portadoras (ou subportadoras) é um parâmetro que pode ser identificado por meio da representação do sinal através de um gráfico de FFT (*Fast Fourier Transform*) ou espectrograma. Na análise da biblioteca de sinais proposta, verifica-se a existência de 39 diferentes valores de números de tons, como visto na Tabela I, e também protocolos de transmissão que podem apresentar variações neste parâmetro, de acordo com as condições do canal de transmissão. Um exemplo é o modo de transmissão Pactor III que pode utilizar 2, 6, 14, 16 ou até 18 subportadoras em uma transmissão [3] [6] [8].

Os modos de transmissão que utilizam 1 ou 2 tons são predominantes e, portanto, a identificação destes modos requer a análise de outros parâmetros. Em contrapartida, alguns protocolos são facilmente identificados por utilizarem um número específico de tons, como é o caso do CIS MFSK 17 [6] [8]. Em situações de distorção pelo canal, a identificação destes modos pode não ser imediata. Protocolos que utilizam modulações MSK (*Minimum Shift Keying*) ou GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), com duas frequências portadoras podem ser facilmente confundidas com sinais de um tom. Neste caso, devem-se empregar

gráficos de frequência instantânea ou um diagrama de constelação entre outras ferramentas para identificação do número de tons [4]. Protocolos como o BR-6028 que utilizam modulação 2-FSK (*Frequency Shift Keying*) simultaneamente em mais de um canal podem ser interpretados como mais de um sinal digital no espectro.

TABELA I. NÚMERO DE TONS E NÚMERO DE MODOS DE TRANSMISSÃO

Tons	Modos	Tons	Modos	Tons	Modos	Tons	Modos
01	39	15	2	30	1	60	2
02	80	16	15	31	1	64	4
04	7	17	1	32	5	65	1
06	5	18	4	33	1	68	1
08	17	20	5	34	1	73	1
09	1	22	1	35	1	93	1
11	1	24	1	36	1	112	1
12	3	25	1	39	2	128	4
13	2	26	1	45	4	256	3
14	6	28	2	55	1	-----	

#### B. Deslocamento entre portadoras

Este parâmetro refere-se à avaliação do valor do deslocamento em frequências entre as portadoras, portanto os modos de transmissão que utilizam um único tom não são sujeitos a tal análise. Este trabalho deve ser criterioso, pois valores próximos de deslocamento podem corresponder a modos de transmissão diferentes. Para os 183 protocolos que compõem biblioteca de sinais foram identificados 81 valores de deslocamentos, sendo que 35 não apresentam deslocamento, 30 apresentam deslocamento variável, 11 apresentam deslocamentos desconhecidos e 3 apresentam deslocamentos especiais. A Tabela II apresenta na coluna “*Shift*” os deslocamentos e a coluna “Modos” o número de protocolos que os empregam.

TABELA II. DESLOCAMENTO ENTRE PORTADORAS EM HZ E NÚMERO DE MODOS DE TRANSMISSÃO

<i>Shift</i>	Modo	<i>Shift</i>	Modo	<i>Shift</i>	Modo	<i>Shift</i>	Modo
2,70	1	37,50	1	180,0	1	425,0	1
5,40	1	40,00	3	193,0	1	430,0	1
7,80	2	43,66	1	200,0	20	450,0	4
7,81	3	44,44	1	220,0	1	492,0	1
8,00	2	46,88	1	230,0	1	495,0	1
9,00	1	50,00	4	237,0	1	500,0	12
10,00	2	54,10	1	240,0	4	600,0	5
10,77	4	56,25	1	250,0	10	625,0	1
10,80	1	60,00	2	258,0	1	700,0	1
15,00	1	62,50	7	270,0	2	760,0	1
15,60	1	64,00	1	300,0	8	800,0	3
15,63	6	75,00	1	312,5	1	840,0	2
16,00	2	85,00	9	330,0	2	850,0	14
20,00	2	100,0	5	340,0	3	10000	4
21,00	1	110,0	4	350,0	1	1200	1
21,53	3	112,5	1	390,0	1	1400	1
25,00	1	120,0	5	396,0	1	1440	1
25,60	1	125,0	7	400,0	21	1575	1
26,70	2	150,0	3	410,0	3	7000	1
30,00	2	170,0	22	412,0	1	9000	1
31,25	3					-----	

Por meio da Tabela II observa-se que para alguns deslocamentos existe um único modo associado, permitindo sua identificação imediata. Entretanto, esta presunção é factível de erro devido á existência de modos de transmissão

com deslocamento entre portadoras variáveis. Logo, ao analisar um sinal desconhecido de 2 tons e deslocamento de 495 Hz, não se pode concluir que o mesmo seja o protocolo IRA-ARQ, o único que apresenta este valor [3] [6-7] [9]. Pois existem 29 protocolos de 2 tons com deslocamento variável e que, tecnicamente, poderiam assumir este mesmo valor, mesmo que com uma probabilidade menor. Os modos de transmissão com deslocamentos especiais constituem casos específicos que permitem a identificação dos mesmos apenas por essa peculiaridade. Como exemplo cita-se o modo de transmissão Twinplex, protocolo de 4 tons, que pode apresentar portadoras não equidistantes, com 200 – 400 – 200 hertz de deslocamento [3] [6-7].

### C. Largura de banda

A largura de banda de um sinal é um parâmetro que possui margem de aferição e de difícil precisão. Alguns sistemas decodificadores sequer consideram este parâmetro. Durante a formação da biblioteca de sinais, verificou-se que poucas referências abordam esta propriedade para a grande maioria dos sinais digitais. Isto se deve ao fato de que a largura de banda sofre influência da modulação empregada, como ocorre para os protocolos PSK-63 e Pactor III [3] [7] [9]. Além disso, protocolos como Contestia, Olivia e o RTTYM podem apresentar variações no número de tons e deslocamento entre portadoras, afetando sua largura de banda. Contudo, tais valores devem constar numa biblioteca de sinais para participarem do processo de exclusão dos protocolos que não se enquadram na largura de banda de um determinado sinal em análise. Acrescenta-se, ainda, a possibilidade da biblioteca de sinais trabalhar com os protocolos em nível de seus “submodos”, quando for o caso.

### D. Modulação

A identificação do tipo de modulação utilizada pelo sinal é realizada por meio de ferramentas como o diagrama de constelação e o espectrograma (sonograma). No caso do espectrograma, é fundamental que o *software* permita alterar os parâmetros de intervalo de tempo, de intervalo de frequência, de ganho e até mesmo de exponenciação, possibilitando uma análise mais profunda, em intervalos de tempo de maior interesse. A biblioteca de sinais construída apresenta 39 diferentes tipos de modulação. A Tabela III apresenta uma relação entre as modulações e número de protocolos que o utilizam. Assim como verificado para outros parâmetros, um mesmo protocolo pode utilizar diferentes modulações, como o Clover 2000, ou um único tipo de modulação, porém com ordens diferentes, como os protocolos da família PSK-31, Contestia e RTTYM.

Na análise dos tipos de modulação, tem-se que os protocolos que empregam a modulação IFK (*Incremental Frequency Keying*), fisicamente, são iguais aos MFSK (*Multiple Frequency Shift Keying*) com número de tons correspondentes. Portanto, os modos de transmissão DominoF, DominoEx, THOR e FSQ com 16, 18, 18 e 33 tons, respectivamente, foram distribuídos como sinais MFSK [7] [9]. Em uma segunda análise, verifica-se que é possível

substituir todas as modulações chaveadas em frequência por um único tipo: FSK. Deste modo, por meio da análise de números de tons é possível excluir os demais sinais X-FSK não correspondentes ao sinal analisado. Contudo, uma leitura errada do número de tons no primeiro passo entraria em conflito com a modulação FSK, excluindo todas as opções de protocolos.

TABELA III. TIPOS DE MODULAÇÃO E NÚMERO DE MODOS DE TRANSMISSÃO

Modulação	Modo	Modulação	Modo	Modulação	Modo
ASK (OOK)	5	D16-PSK	1	20-FSK	1
ASK2-PSK8	4	OQPSK	1	28-FSK	1
ASK4/PSK16	4	2-FSK	76	32-FSK	4
16-QAM	5	4-FSK	4	34-FSK	1
32-QAM	3	6-FSK	2	36-FSK	1
64-QAM	3	8-FSK	13	64-FSK	3
2-PSK	25	9-FSK	1	65-FSK	1
4-PSK	27	11-FSK	1	68-FSK	1
8-PSK	18	12-FSK	1	128-FSK	3
16-PSK	2	13-FSK	2	256-FSK	3
D2-PSK	23	14-FSK	2	MSK	2
D4-PSK	28	16-FSK	7 <sup>1</sup>	Dif MSK	2
D8-PSK	2	17-FSK	1	-----	

### E. Taxa de Baud

A taxa de *baud*, em princípio, é identificada após definir a modulação do sinal e permite reduzir significativamente o conjunto de protocolos possíveis na identificação do sinal em análise. A melhor ferramenta para aferição da taxa de *baud* é a que expõe o parâmetro da modulação em função do tempo, frequência, fase ou amplitude. Para isso pode-se utilizar ferramentas como o espectrograma, gráficos de fase ou amplitude instantânea.

Na análise de taxa de *baud* para os protocolos que compõem a biblioteca de sinais foram verificados 144 valores de taxa de *baud*. Sendo que alguns protocolos apresentam diferentes taxas de *baud* ou taxa de *baud* variável. Algumas referências apresentam valores de taxa de *baud* com até três casas decimais. Na prática, quando se intercepta um sinal transmitido e sobre efeito de ruído do canal de transmissão é difícil aferir com precisão a primeira casa decimal. Portanto, existe a possibilidade de exclusão de todos os protocolos da lista de opções para decodificação ou seleção errônea de um determinado protocolo. Entretanto, aliando este parâmetro aos demais é possível minimizar a ocorrência de tais eventos.

### F. Rajada

A transmissão de dados pode ser realizada de maneira contínua ou descontínua (rajadas). Este parâmetro pode ser fundamental na definição de um modo de transmissão em meio a uma lista com muitas opções, principalmente no caso de sinais 2-FSK com deslocamento e taxa de *baud* variáveis. Neste caso, definir se o sinal analisado é contínuo ou descontínuo pode reduzir significativamente esta lista, principalmente se o modo de transmissão for descontínuo e a biblioteca de sinais contemplar exatamente os valores do período de tempo da rajada e do intervalo. Em geral, emprega-se a ferramenta que expõe a amplitude em função do tempo para se aferir a duração de uma rajada e de seu

intervalo. Devido à predominância na transmissão de sinais contínuos este parâmetro não é amplamente abordado. Entretanto, a distinção entre um sinal contínuo e outro descontínuo permite resultados significativos para a sua identificação, mesmo que o banco de dados não contemple os valores exatos de uma rajada de dados e de seu intervalo. Protocolos Alis, Alis 2, Clover 2, Clover 2000, Duplex-ARQ, Duplex-ARQ 2, Farcos, GW FSK, GW OFDM, GW PSK, GTOR, Pactor 1, Pactor 2, RS-ARQ, Sitor-ARQ, SWED-ARQ são exemplos de protocolos descontínuos [3] [7] [9].

#### G. Pico ACF

A última etapa da análise de parâmetros técnicos constitui-se da identificação do pico ACF do sinal. A função de autocorrelação (ACF) é utilizada para detectar padrões repetidos do sinal. O processo se dá com a correlação cruzada do sinal com ele mesmo, aplicando-se uma defasagem no tempo de um para outro. A resposta deste processo gera picos cuja distância entre eles representa o intervalo de repetição desses padrões. Isto pode ajudar a identificar frames de sinais desconhecidos [5]. Por consequência da definição, somente os modos de transmissão que possuem estruturas repetidas ao longo do seu sinal apresentarão valores de pico ACF.

### IV. ANÁLISE DE PARÂMETROS NÃO TÉCNICOS

Os parâmetros técnicos correspondem a números e dados precisos que são correlacionados através biblioteca de sinais resultando na exclusão progressiva de protocolos dissonantes, visando obter um único modo de transmissão correspondente. Porém, em função da grande variedade de protocolos existentes, os parâmetros são capazes de definir uma lista de modos de transmissão ao invés de um único. Neste caso, extrapolar a análise da biblioteca de sinais para parâmetros não técnicos permite definir ou reduzir ao máximo a lista de protocolos correspondentes. Devido à subjetividade dos parâmetros não técnicos, sua confiabilidade pode ser alta ou baixa e, portanto, seu uso deve se limitar a uma análise pós-parâmetros técnicos. Dentre os parâmetros não técnicos considerados estão à finalidade e localização do protocolo de transmissão, desenvolvedor do protocolo de transmissão e a ocorrência de uso ou atividade do protocolo.

#### A. Finalidade dos Protocolos de Transmissão

Os modos de transmissão são concebidos para uma determinada finalidade, sendo a mais comum comunicação entre rádio amador, serviços de segurança, de defesa, aéreos, marítimos, de inteligência, comerciais e de órgãos ou agências governamentais. Dentre as finalidades específicas, pode-se citar o emprego para complementação de sinais de geolocalização, serviços meteorológicos, preâmbulo ou chamada seletiva para outros modos de transmissão [3] [7]. Este parâmetro pode ser utilizado para classificar os possíveis modos de transmissão em uma prioridade.

#### B. Localização dos Protocolos de Transmissão

A finalidade de um protocolo de transmissão pode ou não restringi-lo a uma região geográfica específica. Os modos de transmissão da família CIS, por exemplo, empregado por militares e agências governamentais da Rússia [3] [7], tendem a ficar restritos no entorno deste país ou, em casos específicos, em áreas de presença de órgãos russos. De maneira análoga, pode-se presumir o mesmo para os modos de transmissão da família STANAG, utilizado para as comunicações de forças militares de países membros da OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte) [3] [7]. Existem ainda modos de transmissão empregados exclusivamente para a segurança pública de determinados países. Todavia, outros modos de transmissão encontram-se espalhados pelo mundo, como por exemplo os protocolos utilizados por rádio amadores ou os modos de transmissão comerciais da empresa Global Wireless (GW-FSK, GW-PSK e GW-OFDM) que possuem a finalidade de prestar serviços de transmissão de dados em ambientes marítimos [3].

#### C. Desenvolvedor dos Protocolos de Transmissão

Modos de transmissão empregados por rádio amadores, como Baudot, Olivia, Contestia, RTTYM, PSK-31, ALE-400, em geral, são desenvolvidos pela própria comunidade e são difundidos gratuitamente pela rede mundial de computadores [3] [7]. Os modos de transmissão empregados para fins comerciais como Pactor, Codan, Clover e GW são desenvolvidos por empresas que cobram pela aquisição dos modens geradores do sinal, porém isto não restringe a sua aquisição [3]. Entretanto, empresas como a Rhode & Schwarz, Harris, Thales e Tadiran fornecem equipamentos militares a nível mundial e possui protocolos próprios [5] [7]. Logo, é importante, em um cenário de GE, que a biblioteca de sinais possua informações à cerca do relacionamento de compra e venda entre as forças armadas dos diversos países e estas empresas. Outro fato importante é a extração de informação proveniente de equipamentos rádios capturados das forças oponentes no campo de batalha, buscando relacionar o equipamento, a empresa e o tipo de sinal que esse gera.

#### D. Protocolos de Transmissão em Atividade

Apesar de não haver um critério oficial, tampouco uma agência que controle os registros de interceptação de sinais, alguns modos são considerados como “ativos” ou “inativos” [9]. Deste modo, tal informação pode ser utilizada para classificar a probabilidade de um dos modos de transmissão corresponder com o sinal analisado. Neste trabalho, foram observados que 84 modos de transmissão são considerados ativos, ou seja, há registros recentes de seu uso. Outros 59 modos de transmissão são considerados inativos, já não são registrados há anos. E outros 40 sinais digitais foram considerados desconhecidos quanto a esta situação [7].

## V. APLICAÇÃO PRÁTICA DA BIBLIOTECA DE SINAIS HF

Nesta seção a biblioteca de sinais é utilizado para definir o protocolo de transmissão de um dado sinal utilizando os parâmetros técnicos e não técnicos. Portanto, a análise é realizada segundo a sequência apresentada nas Seção III e Seção IV. Inicialmente utilizou-se um espectrograma, Fig. 1, para identificar o número de tons, o deslocamento em frequência entre portadoras e a largura de banda do sinal sobre análise. Obteve-se 2 tons, deslocamento de 500 Hz e largura de banda de 700Hz. Em uma primeira consulta a biblioteca de sinais, dos 183 sinais apenas 80 apresentam dois tons, conforme visto na Tabela I. Entre estes 80 protocolos apenas 12 protocolos de 2 tons possuem deslocamento em frequência de 500 Hz. Entretanto, deve-se considerar que 28 protocolos de 2 tons apresentam deslocamento variável e, portanto, não podem ser descartados. Deste modo, tem-se 40 possíveis modos de transmissão. Considerando a largura de banda obtida com margem arbitrária de erro de  $\pm 100$  Hz e protocolos com largura de banda variável e desconhecida, dos 40 modos apenas 23 se enquadram.

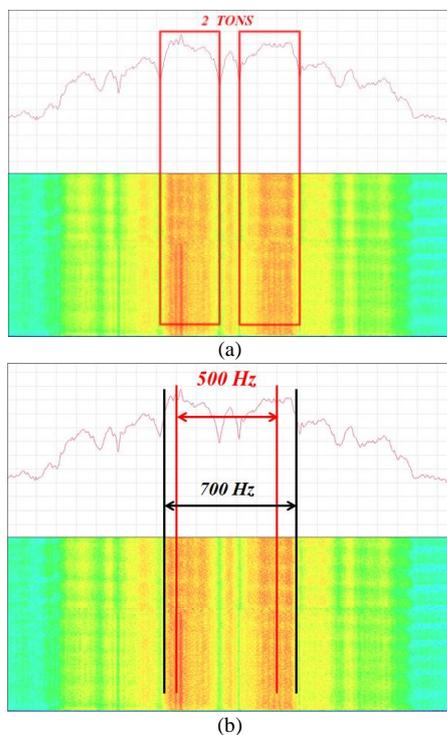


Fig. 1. Espectrograma (a) análise do número de tons e (b) análise do deslocamento entre portadoras e largura de banda.

Para a identificação da modulação, foi necessário trabalhar o espectrograma, como visto na Fig. 2. Para o sinal sobre análise é possível verificar o chaveamento entre duas frequências, marcadas por círculos vermelhos. Logo, pode-se concluir que o modo de transmissão digital apresenta modulação 2-FSK. Como os 23 possíveis protocolos utilizam este tipo de modulação, para este caso, esta etapa não provocou nenhuma exclusão.

Por meio do espectrograma da Fig. 2 é possível estimar o tempo de duração de símbolo de 3,33 ms e taxa de *baud* de

299,67 *baud*. Para, conferir o valor de taxa de *baud* determinado foram utilizados os gráficos de frequência, fase e amplitude instantânea, como apresentado na Fig. 3. Estas ferramentas permitiram obter taxas de *baud* de 299,80, 299,41 e 300,31 *baud*, respectivamente. Diante dos valores obtidos, a taxa de *baud* foi considerada 299,80 *bauds*. A consulta ao banco de dados retorna três possíveis valores: 288,00; 300,00 e 300,30 *bauds*. Neste caso, parte-se do princípio que o valor de 300,00 *bauds* é o que mais se adequa ao sinal desconhecido. Por conseguinte, dos 23 possíveis modos de transmissão, apenas 13 modos de transmissão (incluindo os de velocidades variáveis) podem apresentar 300 *bauds*.

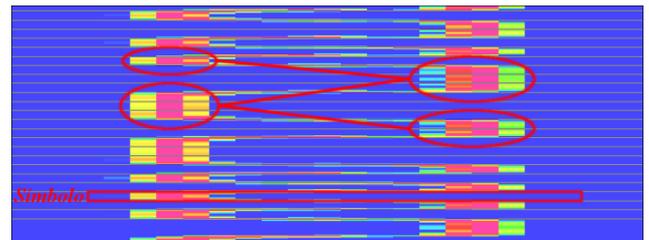


Fig. 2. Espectrograma para análise do tipo de modulação empregado pelo sinal.

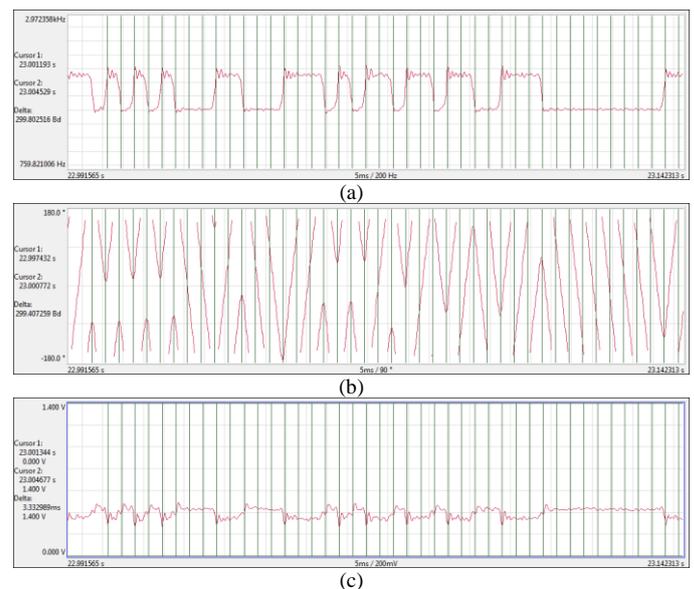


Fig. 3. Gráfico de (a) frequência instantânea, (b) fase instantânea e (c) amplitude instantânea.

Por meio dos gráficos e espectrogramas apresentados nas Fig. 1, Fig. 2 e Fig. 3, é possível verificar que o sinal é contínuo. Todavia, os 13 protocolos candidatos são contínuos e, portanto, nenhuma exclusão é realizada. Por fim, a Fig. 4 mostra a aplicação da função de autocorrelação. Nela, pode-se verificar que o intervalo de pico ACF do sinal digital desconhecido é igual a 11. Dentre os 13 modos de transmissão restantes, apenas três protocolos se correlacionam com este valor: ASCII, CIS-11 e IRA-ARQ.

A análise de parâmetros técnicos permitiu reduzir significativamente o número de protocolos de transmissão

que podem ser utilizados na demodulação do sinal sobre análise. Entretanto, em outros casos este número pode ser alto. Portanto, o uso de parâmetros não técnicos pode contribuir para a redução desta lista de protocolos. Sendo assim, extrapola-se a análise para os parâmetros não técnicos que envolvem estes três possíveis protocolos.

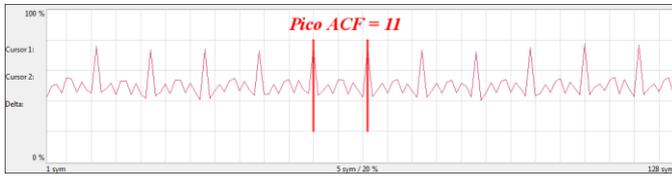


Fig. 4. Função de autocorrelação para análise de pico ACF.

Quanto à finalidade, verifica-se que o ASCII é empregado por rádio amador; CIS-11 é empregado em serviços meteorológicos; IRA-ARQ é empregado por serviços diplomáticos. Quanto à localização, ASCII pode ser encontrado em qualquer lugar do mundo; CIS-11 é encontrado na Rússia; IRA-ARQ é encontrado na Bulgária, Eslováquia e República Tcheca. Quanto ao desenvolvedor, para o ASCII é desconhecido, mas pode ser emulado por softwares de computador; CIS-11 também desconhecido, provavelmente modems de empresas russas; IRA-ARQ, desconhecido. Quanto à atividade, ASCII é considerado ativo; CIS-11 e IRA-ARQ considerados inativo. Com base na análise de parâmetros não técnicos, o modo de transmissão mais provável dentre os três é o ASCII. Aplicando a este sinal um decodificador ASCII, obtém-se a informações sobre este sinal, como apresentado na Fig. 5.

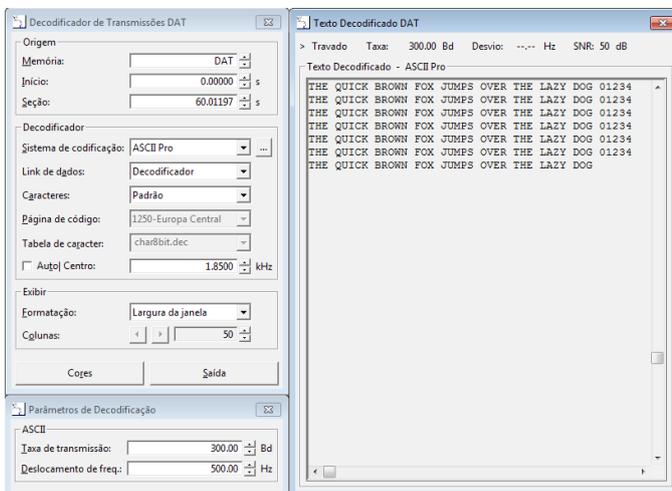


Fig. 5. Decodificação do sinal sobre análise utilizando um decodificador ASCII.

## VI. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a necessidade de se criar um banco de dados de sinais digitais para o emprego militar, principalmente em cenários de GE. Portanto, uma biblioteca de sinais digitais em HF composta por 183 protocolos de transmissão foi proposta e analisada em relação a parâmetros técnicos como número de tons, deslocamento entre portadoras, largura de banda, modulação, taxa de baud, rajada e pico ACF. Como diferencial, parâmetros não técnicos como a finalidade e localização do protocolo de transmissão, desenvolvedor do protocolo de transmissão e a ocorrência de uso ou atividade do protocolo foram incluídos na análise. Posteriormente, a aplicação prática da biblioteca de sinais foi feita para um sinal supostamente desconhecido utilizando ambos os parâmetros técnicos e não técnicos.

Durante as pesquisas realizadas para a consolidação da biblioteca de sinais verificou-se a inconsistência de algumas informações obtidas, sendo elas excluídas do banco de dados. Portanto, trabalhos futuros compreendem a análise prática de alguns sinais digitais em HF, cuja finalidade seria permitir apurar estas informações, permitindo a inclusão de outros parâmetros técnicos e a expansão da biblioteca de sinais. Além disso, a biblioteca será utilizada para a alimentação de um banco de dados, cuja implementação será feita por meio de um banco de dados em MySQL.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores também gostariam de agradecer o apoio financeiro fornecido pelo CNPq, MCTI, e FAPEMIG.

## REFERÊNCIAS

- [1] D. L. Adamy, EW 103 – Tactical Battlefield Communications Electronic Warfare. Norwood, MA: Artech House Radar Library, 2009.
- [2] M. Loos, Signal Analysis Step by Step. Contributions to Intelligence, Surveillance and Reconnaissance from the Sensor to the Back-Office. 2ª. ed. Alemanha: MEDAV GmbH, 2013.
- [3] Wavecom Elektronik AG. W61PC/LAN Manual V7.5. Suíça: Wavecom Elektronik AG, 2014.
- [4] D. A. Guimarães, Digital Transmission: A Simulation-Aided Introduction with VisSim/Comm. Springer, 2009.
- [5] R. Proesch, Signal Analysis for Radio Monitoring. Alemanha: Books on Demand GmbH, 2013.
- [6] R. Proesch, Frequency Handbook for Radio Monitoring HF. Alemanha: Books on Demand GmbH, 2013.
- [7] R. Proesch, Technical Handbook for Radio Monitoring HF. Alemanha: Books on Demand GmbH, 2015.
- [8] Hoka Electronic. CODE300-32 v 4.0x Technical Specifications [On-line]. Disponível em: <[http://ww.hoka.com/pdf/code300-32\\_spec.pdf](http://ww.hoka.com/pdf/code300-32_spec.pdf)>. Acesso em: 18/06/2018.
- [9] Signal Identification Guide [On-line]. Disponível em: <<http://www.sigidwiki.com>>. Acesso em: 18/06/2018.