

CLASSIFICAÇÃO DE SINAIS ACÚSTICOS SUBMARINOS UTILIZANDO TONS CARACTERÍSTICOS

Cleide Vital da Silva Rodrigues

Instituto de Pesquisas da Marinha
Rua Ipirú, nº 2 – Ilha do Governador - RJ
clevital@hotmail.com.br

William Soares Filho

Instituto de Pesquisas da Marinha
Rua Ipirú, nº 2 – Ilha do Governador - RJ
wsoaresf@hotmail.com.br

Resumo

Este trabalho apresenta a classificação dos ruídos acústicos submarinos irradiados por diversas plataformas utilizando as frequências de tons característicos e a rotação por minuto (RPM) dos eixos propulsores para cada corrida da plataforma. O conjunto de dados consistiu de amostras provenientes de navios de sete classes diferentes. Foram obtidos resultados para a classificação com diferente número de classes e de tons.

Palavras-Chaves: Classificação; tons característicos; ruídos acústicos submarinos;

Abstract

This work presents the classification of underwater acoustic noise radiated for several vessels using frequencies of characteristic tonals and revolutions per minute (RPM) of the propellers shafts from each vessel run. The data set consisted of samples of seven different classes. Results were obtained for classification of different number of classes and tonals.

Keywords: Classification; characteristic tonals; underwater acoustic noise;

1. INTRODUÇÃO

Uma das funções de um sistema sonar (sound navigation and ranging) é a classificação de sinais acústicos submarinos. Esta classificação consiste em identificar a classe à qual pertence o navio que produz o sinal acústico que chega nos receptores do sonar. Este sinal acústico é constituído de uma variedade de fontes sonoras associadas, entre outras, com a maquinaria do navio.

A identificação destes alvos é frequentemente obtida através de seus espectros de frequências ou assinatura. Análises como LOFAR (LOW Frequency Analysis and Recording) e DEMON (DEModulation On Noise), além da análise Áudio, são ferramentas utilizadas, na prática, nesta identificação [1-3]. A associação das informações obtidas em cada uma destas análises possibilita estabelecer relações entre elas e assim obter padrões característicos que identifiquem a plataforma ou a classe à qual estes padrões pertencem.

Este trabalho apresenta a classificação de sinais de sonar passivo a partir de tons característicos obtidos com a análise LOFAR e da RPM obtida na análise DEMON. Foram analisadas as classificações obtidas com diferentes quantidades de tons e de classes. Os sinais acústicos submarinos utilizados pertencem a 7 classes de navios. Estes dados foram obtidos em uma região de Arraial do Cabo cuja profundidade é de aproximadamente 40 m.

O trabalho está dividido da seguinte maneira: a seção 2 descreve o conjunto de dados utilizados, a seção 3 apresenta a metodologia utilizada, a seção 4 apresenta os resultados preliminares da aplicação do método aos sinais acústicos submarinos e, a seção 5 apresenta as conclusões.

2. CONJUNTO DE DADOS

O sinal acústico submarino freqüentemente é processado no domínio da freqüência obtendo como resultado o lofargrama (Energia X Freqüência X Tempo) onde características espectrais são visualizadas com detalhes. Através desta análise é possível identificar fontes sonoras individuais como por exemplo, turbinas, geradores, etc. As máquinas dos navios produzem tons característicos que no lofargrama são visualizados como linhas espectrais. Estas linhas espectrais podem apresentar variações na freqüência e na largura das linhas e nas condições de estabilidade e persistência no tempo. O objetivo deste trabalho é identificar os tons característicos de cada classe de navio. A Figura 1 apresenta dois exemplos de lofargramas onde em uma determinada corrida é possível observar a presença de apenas uma freqüência predominante enquanto na outra duas freqüências predominantes são visíveis.

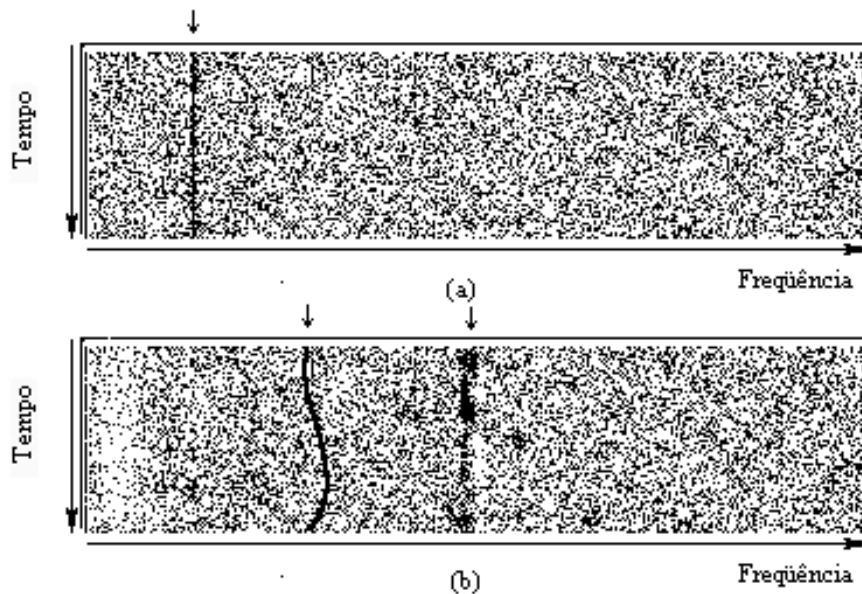


Figura 1 – Exemplos de lofargramas apresentando: (a) 1 tom característico e (b) 2 tons característicos (marcados pelas setas).

O conjunto de dados consiste de corridas com diferentes configurações de máquinas de navios pertencentes a 7 classes diferentes. As classes dos navios foram identificadas por uma letra maiúscula de A a G, enquanto que os navios de uma mesma classe foram identificados por um número adicionado ao lado da letra correspondente a sua classe. Assim, A1 e A2 são dois diferentes navios da classe A. Para cada corrida realizada por um navio com uma determinada configuração de máquinas foram obtidos seus lofargrama e demongrama. De cada lofargrama foram obtidas, quando existentes, as freqüências predominantes e do demongrama correspondente foi obtida a rotação do eixo (RPM). Os dados utilizados são compostos então pelas freqüências dos tons característicos e pela RPM obtidas em cada corrida. Devido à limitação do sensor do submarino, que usará estes dados, considerou-se apenas as freqüências acima de 200Hz.

Os dados foram separados em conjuntos de treinamento e de teste. A Figura 2 apresenta a freqüência dos tons característicos versus a RPM para todas as classes do conjunto de treinamento. Observa-se que algumas freqüências aumentam com o aumento da RPM enquanto outras não variam com a RPM. A região de 200-2800 Hz e 60-160 RPM concentra a maioria das amostras. A Figura 3 apresenta os gráficos da freqüência dos tons versus RPM para todas as classes separadamente. Nas classes A, B, D, E e G a rotação dos eixos variou apenas até cerca de 200 RPM enquanto que para as classes C e F, ficou entre 200 e 550 RPM.

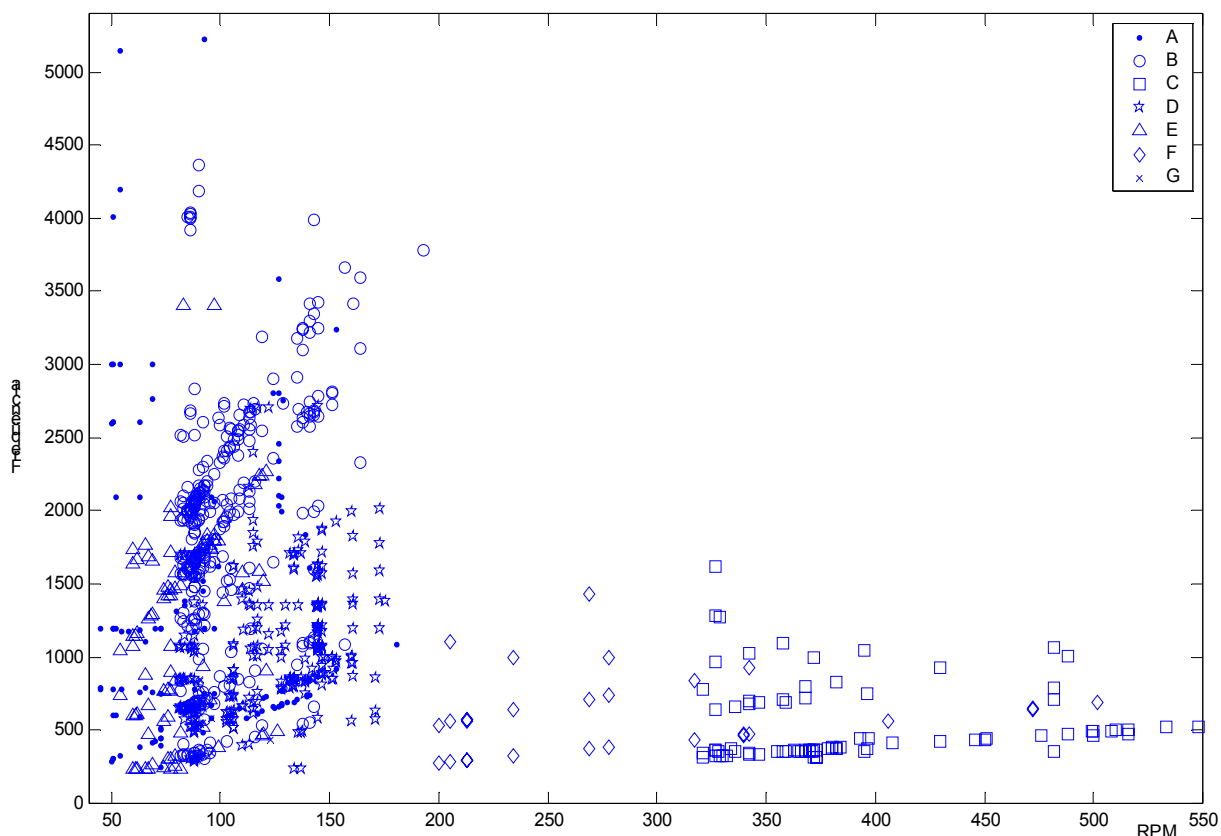


Figura 2 – Gráfico dos tons característicos para todas as classes.

3. METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho consistiu em agrupar, para cada uma das classes, os pontos dos gráficos frequência X RPM, formando segmentos de reta, caracterizando os padrões existentes para aquela classe. Estes segmentos correspondem a tons com frequências fixas para as diversas corridas com diferentes RPM, ou então correspondem a tons cujas frequências têm relação linear com a rotação estando, provavelmente, associados às máquinas de propulsão dos navios. No primeiro caso, o segmento será horizontal (frequência constante) e no segundo será um segmento com uma inclinação que indica a relação entre a rotação e a frequência.

Os pontos do conjunto de treinamento foram usados para a obtenção, como descrito acima, dos segmentos de reta que servirão como padrões para a classificação. A Figura 4 apresenta os segmentos obtidos para as diversas classes estudadas.

Estes segmentos serão, a seguir, usados para a classificação de forma que, para um dado ponto, a classe selecionada é aquela correspondente ao segmento de reta mais próximo a este ponto. No caso da classificação usando-se dois tons, seleciona-se os segmentos mais próximos a cada um deles e, destes dois segmentos, o que tiver a menor distância indica a classe escolhida.

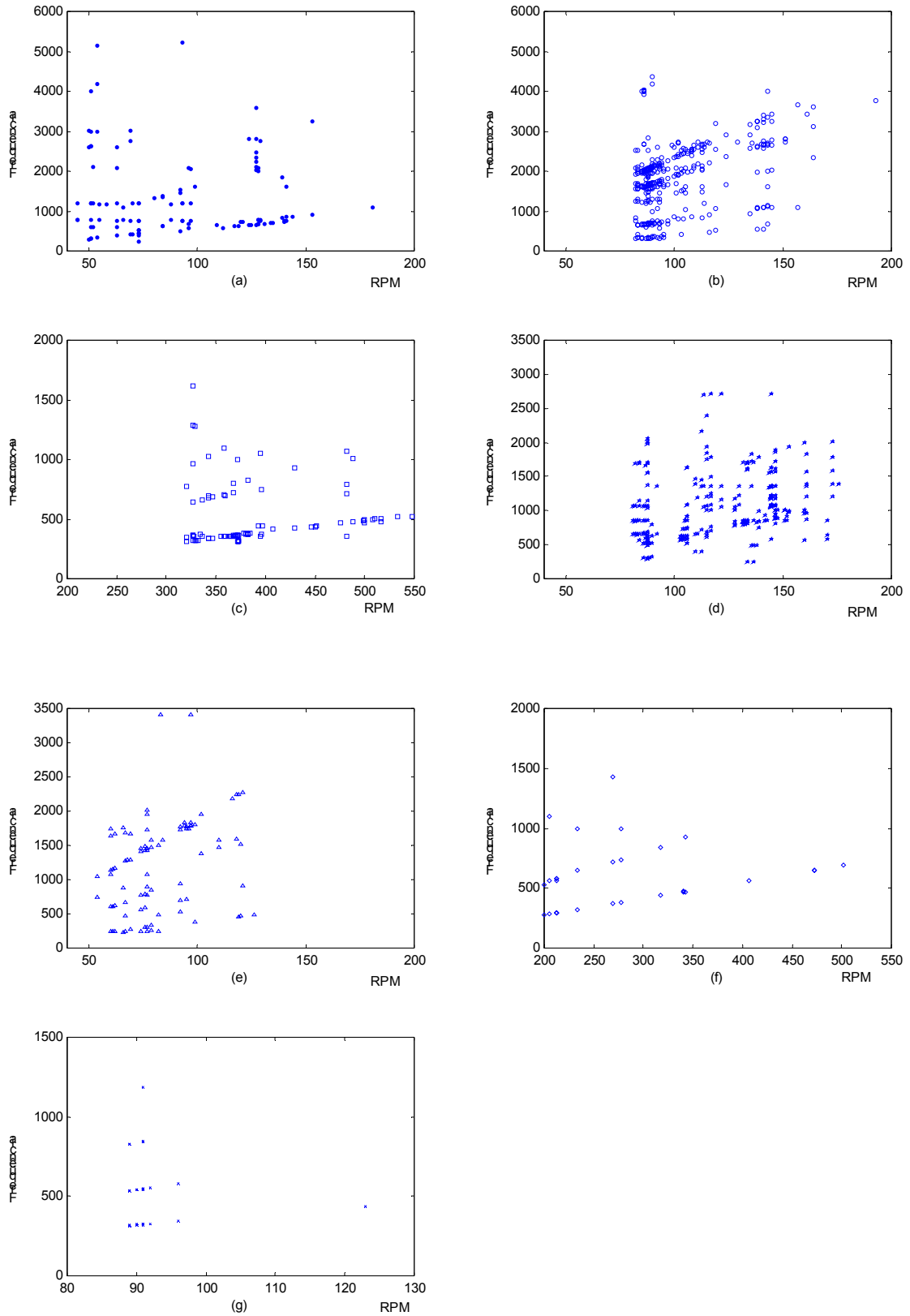


Figura 3 – Gráficos de tons característicos do conjunto de treinamento para cada classe (a) -A , (b) -B , (c)- C, (d) – D, (e) -E, (f) -F e (g) -G.

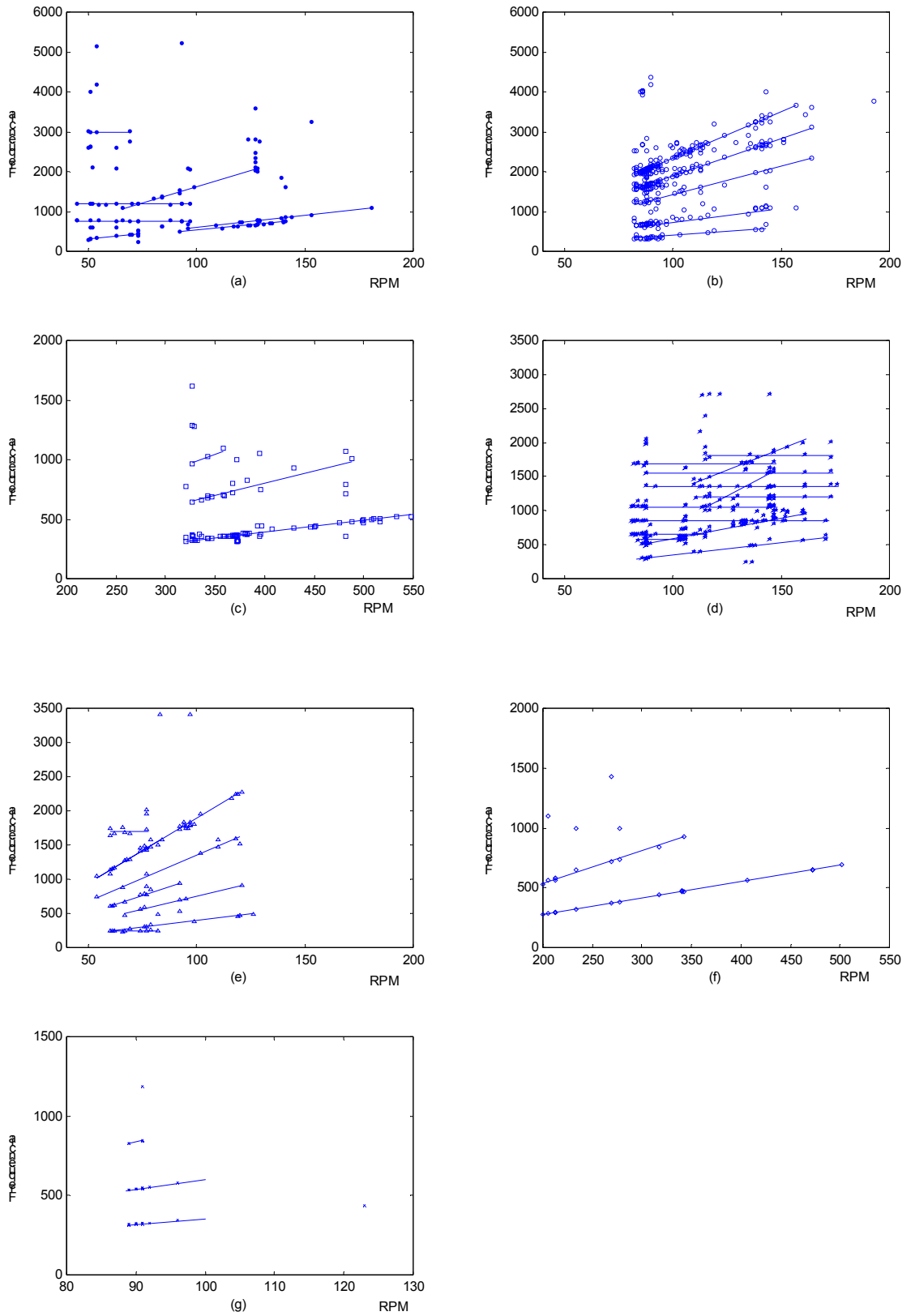


Figura 4 – Segmentos de retas características das classes: (a) – A; (b) – B; (c) – C, (d) – D, (e) – E; (f) – F e (g) – G.

4. RESULTADOS

Os conjuntos de treinamento e de teste foram usados para avaliar o desempenho do sistema de classificação proposto. Foram realizados testes considerando apenas um ponto para a classificação e também utilizando-se dois pontos. A Tabela 1 apresenta a quantidade de amostras com um tom, para cada uma das classes, enquanto que a Tabela 2 apresenta o mesmo para amostras com dois tons.

A partir destes dados, construiu-se as matrizes de confusão para a situação em que todas as classes participassem da classificação, considerando-se separadamente o conjunto de treinamento e o conjunto de teste e utilizando-se 1 ou 2 tons para a classificação. As Tabelas 3 a 6 mostram os resultados obtidos. As classes C, E e F foram as classes com maiores probabilidades de acerto, ficando sempre acima de 0,7. A classe D, por outro lado, foi a que obteve menor probabilidade de acerto, ficando um pouco acima de 0,5.

O uso de 2 tons provocou um aumento de mais de 20 pontos percentuais na probabilidade de acerto das classes A e F. Em compensação, o acerto para a classe G caiu em cerca de 10 pontos percentuais, enquanto que para as outras classes houve variação de um máximo de 5 pontos percentuais. A classe D, novamente, foi a que obteve a menor probabilidade de acerto, ficando próximo de 0,5.

Em uma situação que se conheça de antemão as classes que irão participar de um exercício, pode-se usar apenas estas classes na classificação. As Tabelas 7 a 10 apresentam as matrizes de confusão para os conjuntos de treinamento e de teste e para 1 e 2 tons, considerando-se a participação apenas das classes A, B, E e G. Todas as probabilidades de acertos neste caso, ficaram acima de 0,65, para o conjunto de teste, com a maior probabilidade sendo obtida para a classe G, com 0,94. O aumento para a classe G pode ter sido devido à ausência da classe D, que foi a classe que mais contribuiu para erros da classe G quando todas as classes foram confrontadas.

A classificação com 2 tons aumentou a probabilidade de acerto destas 4 classes, sendo que a classe A conseguiu mais do que 15 pontos percentuais para o conjunto de teste enquanto para as outras classes houve variação de no máximo 5 pontos percentuais.

De uma maneira geral, os dados de tons e RPM podem ser combinados facilmente para a classificação de um subconjunto das classes disponíveis. Pode-se, também, combinar outros critérios que permitam subdividir o sistema em mais de um classificador. No caso presente, por exemplo, observa-se que as classes C e F têm RPM sempre superiores as das demais classes. Pode-se, assim, testar inicialmente a RPM e então direcionar os dados dos tons e RPM para um classificador contendo as classes C e F ou para outro contendo as classes A, B, D, E e G, dependendo da RPM.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a identificação de sete classes de navios utilizando as frequências de tons característicos e as RPM de cada corrida. Os resultados obtidos para as classes C, E e F apresentaram uma porcentagem de acertos acima de 70% enquanto os das classes A, B e D ficaram acima de 50%. A classe G apresentou acertos acima de 85% quando comparada com as classes A, B e E e 65% quando comparada com as classes A, B, C, D, E e F. Esta redução se deveu, provavelmente, a ambigüidade com a classe D. Quanto à classificação com 2 tons, os resultados mostraram que houve uma melhora na porcentagem de acertos para determinadas classes.

A vantagem da metodologia empregada neste trabalho está na sua simplicidade, robustez e familiaridade do operador com os parâmetros considerados, além de contribuir para a otimização de um sistema de classificação. O método pode ser combinado com outros critérios que considerem, por exemplo, a probabilidade de uma dada classe ter uma certa RPM, de forma a reduzir os erros. Sugere-se que sejam feitos estudos detalhados visando verificar se os tons característicos e a RPM poderiam ser usados para identificar uma unidade

dentro da classe escolhida. As relações considerando a largura, estabilidade e persistência da linha espectral devem, também, ser investigadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Urick, R. J., Principles of Underwater Sound. McGraw-Hill, 1983.
- [2] Nielsen, R.O., Sound Signal Processing. Artech House, 1991.
- [3] Burdic, W., Underwater Acoustic System Analysis. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1984.

Tabela 1 – Descrição dos conjuntos de treinamento e de teste para 1 tom.

Classe	Conjunto de treinamento						Conjunto de teste					
	A1	A2	A3	A4		Total	A1	A2	A3	A4		Total
A	18	20	22	53		113	15	10	12	18		55
	B1	B2	B3	B4	B5		B1	B2	B3	B4	B5	
B	119	51	125	39	10	344	60	35	65	31	4	195
	C1	C2	C3	C4	C5		C1	C2	C3	C4	C5	
C	18	33	9	9	14	83	9	22	4	6	8	49
	D1	D2	D3	D4			D1	D2	D3	D4		
D	43	62	84	86		275	23	47	35	45		150
	E1	E2	E3	E4			E1	E2	E3	E4		
E	18	40	13	17		88	12	19	2	12		45
	F1	F2	F3	F4			F1	F2	F3	F4		
F	15	0	0	15		30	10		8			18
	G1						G1					
G	31					31	18					18

Tabela 2 – Descrição dos conjuntos de treinamento e de teste para 2 tons.

Classe	Conjunto de treinamento						Conjunto de teste					
	A1	A2	A3	A4		Total	A1	A2	A3	A4		Total
A	10	20	10	46		86	18	13	3	8		42
	B1	B2	B3	B4	B5		B1	B2	B3	B4	B5	
B	285	87	205	50	13	640	142	55	110	70	3	380
	C1	C2	C3	C4	C5		C1	C2	C3	C4	C5	
C	15	10	8	5	5	43	5	14	2	4	3	28
	D1	D2	D3	D4			D1	D2	D3	D4		
D	48	59	100	176		383	26	75	37	103		241
	E1	E2	E3	E4			E1	E2	E3	E4		
E	9	73	15	4		101	8	34	0	6		48
	F1	F2	F3	F4			F1	F2	F3	F4		
F	10	0	0	8		18	8		5			13
	G1						G1					
G	21					21	16					16

Tabela 3 – Matriz de confusão do conjunto de treinamento considerando 1 tom para todas as classes

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.5487	0.1858	0	0.0442	0.2212	0	0
B	0.0581	0.6657	0	0.0727	0.2006	0	0.0029
C	0	0	0.9398	0.0361	0	0.0241	0
D	0.1745	0.1055	0	0.5709	0.1345	0	0.0145
E	0.0227	0.1932	0	0.0227	0.7614	0	0
F	0.0667	0	0.0333	0.0333	0	0.8667	0
G	0.0323	0.0323	0	0.1290	0.0323	0	0.7742

Tabela 4 – Matriz de confusão do conjunto de teste considerando 1 tom para todas as classes

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.6000	0.0545	0	0.0909	0.2545	0	0
B	0.0711	0.6345	0	0.0558	0.2335	0	0.0051
C	0	0	0.9400	0	0	0.0600	0
D	0.1467	0.1133	0	0.5467	0.1867	0	0.0067
E	0	0.2444	0	0.0222	0.7333	0	0
F	0.0556	0	0.1111	0.0556	0	0.7778	0
G	0	0.0556	0	0.2778	0	0	0.6667

Tabela 5 – Matriz de confusão do conjunto de treinamento considerando 2 tons para todas as classes

	A	B	C	D	E	F	G
A	0,6163	0,1163	0	0,0116	0,2558	0	0
B	0.0563	0,7250	0	0,0344	0,1797	0	0,0047
C	0	0	0,9070	0,0233	0	0.0698	0
D	0,1828	0.1018	0	0.5822	0.0966	0	0.0366
E	0	0,0891	0	0	0,9109	0	0
F	0	0	0	0	0	1	0
G	0.0476	0,0476	0	0,1905	0	0	0.7143

Tabela 6 – Matriz de confusão do conjunto de teste considerando 2 tons para todas as classes

	A	B	C	D	E	F	G
A	0.8095	0,0476	0	0,0238	0,1190	0	0
B	0,0632	0.6526	0	0.0579	0.2237	0	0.0026
C	0	0	0.9286	0	0	0.0714	0
D	0,2199	0,0996	0	0.5021	0.1743	0	0.0041
E	0	0.1875	0	0.0417	0.7708	0	0
F	0	0	0	0	0	1	0
G	0	0.0625	0	0.3750	0	0	0.5625

Tabela 7 – Matriz de confusão do conjunto de treinamento considerando 1 tom para as classes A,B, E e G

	A	B	E	G
A	0,5752	0,1947	0,2301	0
B	0,0785	0,6860	0,2326	0,0029
E	0,0227	0,1932	0,7727	0,0114
G	0,0323	0,0323	0,0645	0,8710

Tabela 8 – Matriz de confusão do conjunto de teste considerando 1 tom para as classes A,B, E e G

	A	B	E	G
A	0.6545	0.0727	0.2545	0.0182
B	0.0812	0.6548	0.2487	0.0152
E	0	0.2444	0.7333	0.0222
G	0	0.0556	0.0556	0.8889

Tabela 9 – Matriz de confusão do conjunto de treinamento considerando 2 tons para as classes A,B, E e G

	A	B	E	G
A	0.6279	0,1163	0,2558	0
B	0,0594	0,7406	0,1938	0,0063
E	0	0,0891	0,9109	0
G	0,0476	0,0476	0	0,9048

Tabela 10 – Matriz de confusão do conjunto de teste considerando 2 tons para as classes A,B, E e G

	A	B	E	G
A	0,8333	0,0476	0,1190	0
B	0,0868	0,6658	0,2318	0,0158
E	0	0,1875	0,7708	0,0417
G	0	0.0625	0	0.9375