

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DIOGO ALEXANDRE AZEREDO DIAS COSTA

**ANÁLISE DE RUÍDO DOS COMPONENTES DA UNIDADE EXTERNA
DE UM APARELHO CONDICIONADOR DE AR**

Florianópolis

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DIOGO ALEXANDRE AZEREDO DIAS COSTA

**ANÁLISE DE RUÍDO DOS COMPONENTES DA UNIDADE EXTERNA
DE UM APARELHO CONDICIONADOR DE AR**

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Área de Vibrações e Acústica

Orientador: Eng. Olavo Mecias da Silva Júnior

Co-orientador: Prof. Arcanjo Lenzi, Ph.D.

FLORIANÓPOLIS
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DIOGO ALEXANDRE AZEREDO DIAS COSTA

**ANÁLISE DE RUÍDO DOS COMPONENTES DA UNIDADE EXTERNA
DE UM APARELHO CONDICIONADOR DE AR**

Este Trabalho de Graduação foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro de Mecânico e aprovado em sua forma final pela Comissão examinadora e pelo Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Professor Lauro Cesar Nicolazzi
Coordenador do Curso

Dylton do Vale Pereira filho
Professor disciplina

COMISSÃO EXAMINADORA

Eng. Olavo Mecias da Silva Júnior
Orientador

Prof. Arcanjo Lenzi, Ph.D

Professor Dylton do Vale Pereira
Filho

Florianópolis 20/09/2012

Resumo

O controle de ruído em máquinas é muito importante, pois dependendo da intensidade e do tempo de atuação, o ruído pode causar perda temporária ou permanente da audição. Quando se trata de máquinas presentes no cotidiano, o ruído pode influenciar na qualidade de vida das pessoas causando incômodo, estresse e até dores de cabeça. Para controlar o ruído de um sistema com várias fontes, deve-se identificar a que emite com maior intensidade e trabalhar em cima dela. Este trabalho visa analisar e separar as contribuições de ruído de cada componente da unidade externa de um aparelho condicionador de ar e suas influências no ruído total do sistema.

Abstract

The machine noise control is very important because, depending on the intensity and exposure time, the noise may cause temporary or permanent audition loss. Speaking of everyday machines, its noise may influence in people's quality of life, causing nuisance, stress and even headache. To control the noise of a various source's system, it's correct to identify the one which emits with highest intensity and work upon it. This study aims to analyze and separate the noise contribution of each component from the outdoor unit of an air conditioner machine and their influences on the system's total noise.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Ciclo de refrigeração por compressão de vapor.....	1
Figura 2 – Regiões de alta e baixa pressão.....	3
Figura 3 – Modelo de fonte pontual e frentes de onda esféricas.....	4
Figura 4 – Câmara semi-aneecóica.....	5
Figura 5 – Comparação entre larguras de filtros de 1/1 e 1/3 de oitava.....	6
Figura 6 – Contornos padrão de audibilidade para tons puros.....	8
Figura 7 – Posições dos microfones.....	10
Figura 8 – Marcação das posições dos microfones na câmara semi-aneecóica.....	13
Figura 9 – Microfones posicionados para medição.....	14
Figura 10 – Unidade interna do aparelho.....	15
Figura 11 – Unidade externa do aparelho.....	16
Figura 12 – Componentes internos da unidade externa.....	16
Figura 13 – Placa eletrônica de comando.....	17
Figura 14 – Separador de liquido.....	18
Figura 15 – Manta.....	18
Figura 16 – Sucção do compressor.....	20
Figura 17 – Entrada do condensador.....	21
Figura 18 – Influência da temperatura no ruído do sistema.....	22
Figura 19 – Sistema com carcaça – configurações 1, 2, 3 e 4.....	27
Figura 20 – Interior da carcaça das configurações 1 e 3.....	27
Figura 21 – Interior da carcaça das configurações 2 e 4.....	28
Figura 22 – Conjunto compressor/condensador.....	28
Figura 23 – Compressor com acelerômetros.....	29
Figura 24 – Separador de liquido com acelerômetros.....	30
Figura 25 – Montagem da barreira.....	31
Figura 26 – Compressor e separador de líquido com barreira.....	32
Figura 27 – Condensador com barreira.....	32
Figura 28 – Eficiências de radiação.....	35
Figura 29 – Influência da carcaça 2000 rpm (33,3 Hz).....	36
Figura 30 – Influência da carcaça 3000 rpm (50 Hz).....	37
Figura 31 – Influência da carcaça 4000 rpm (66,6 Hz).....	38
Figura 32 – Influência da carcaça 5000 rpm (83,3 Hz).....	39
Figura 33 – Influência da manta 2000 rpm (33,3 Hz).....	40
Figura 34 – Influência da manta 3000 rpm (50 Hz).....	41
Figura 35 – Influência da manta 4000 rpm (66,6 Hz).....	42
Figura 36 – Influência da manta 5000 rpm (83,3 Hz).....	43
Figura 37 – Conjunto Compressor/Condensador e seus componentes.....	44
Figura 38 – NWS Compressor/Condensador 2000 rpm (33,3 Hz).....	45
Figura 39 – NWS Compressor/Condensador 3000 rpm (50 Hz).....	46
Figura 40 – NWS Compressor/Condensador 4000 rpm (66,6 Hz).....	47
Figura 41 – NWS Compressor/Condensador 5000 rpm (83,3 Hz).....	48
Figura 42 – Conjunto Compressor/Condensador/Carcaça e seus componentes.....	49

Figura 43 – NWS Compressor/Condensador/Carcaça 2000 rpm (33,3 Hz)	50
Figura 44 – NWS Compressor/Condensador/Carcaça 3000 rpm (50 Hz)	51
Figura 45 – NWS Compressor/Condensador/Carcaça 4000 rpm (66,6 Hz)	52
Figura 46 – NWS Compressor/Condensador/Carcaça 5000 rpm (83,3 Hz)	53
Figura 47 – Conjunto Compressor/Condensador/Carcaça/Manta e seus componentes	54
Figura 48 – NWS Compressor/Condensador/Carcaça/Manta 2000 rpm (33,3 Hz)	55
Figura 49 – NWS Compressor/Condensador/Carcaça/Manta 3000 rpm (50 Hz)	56
Figura 50 – NWS Compressor/Condensador/Carcaça/Manta 4000 rpm (66,6 Hz)	57
Figura 51 – NWS Compressor/Condensador/Carcaça/Manta 5000 rpm (83,3 Hz)	58
Figura 52 – Sistema Completo e seus componentes	59
Figura 53 – Sistema completo 2000/192 rpm (33,3/3,2 Hz)	60
Figura 54 – Sistema completo 4000/342 rpm (66,6/5,7 Hz)	61
Figura 55 – Sistema completo 5000/475 rpm (83,3/7,9 Hz)	62
Figura 56 – Contribuição de ruído dos componentes 2000/192 rpm (33,3/3,2 Hz)	63
Figura 57 – Contribuição de ruído dos componentes 4000/342 rpm (66,6/5,7 Hz)	64
Figura 58 – Contribuição de ruído dos componentes 5000/475 rpm (83,3/7,9 Hz)	65

Lista de símbolos

Q_L - calor retirado do ambiente (J)

Q_H - calor rejeitado no condensador (J)

p - pressão sonora (Pa)

P_0 - pressão sonora de referência (Pa)

f_c - frequência central da banda (Hz)

f_2 - frequência de corte superior da banda (Hz)

f_1 - frequência de corte inferior da banda (Hz)

r - raio da meia esfera (m)

S_0 - área de referência para o cálculo do nível de potência sonora (m^2)

$\langle v^2 \rangle$ - velocidade média quadrática em espaço e tempo (m^2/s^2)

ρ - densidade do meio (kg/m^3)

c - velocidade do som (m/s)

S - área de superfície da fonte vibrante (m^2)

σ_{rad} - eficiência de radiação

W_{ref} - potência sonora de referência (W)

T_{comp} - temperatura de sucção do compressor (K)

T_{cond} - temperatura de entrada do condensador (K)

Lista de abreviaturas e siglas

dB – Decibel

LVA – Laboratório de vibrações e acústica

NPS – Nível de pressão sonora

NWS – Nível de potência sonora

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Propagação do som	3
2.2. Fonte Sonora	4
2.3. Câmara Semi-Anecóica	4
2.4. Filtros de 1/1 e 1/3 de oitava.....	5
2.5. A escala dB(A).....	7
2.6. Cálculo do Nível de potência sonora	9
2.6.1. Por microfones de pressão	9
2.6.2. Por acelerômetros	11
2.7. Soma em dB.....	12
3. EXPERIMENTO	13
3.1. O aparelho.....	14
3.2. Equipamento utilizado	19
3.3. Influência da temperatura	19
3.4. Medições do sistema.....	23
4. RESULTADOS	34
4.1. Considerações iniciais.....	34
4.1.1. NWS do compressor e separador de líquido	34
4.1.1.1. Determinação da eficiência de radiação (σ_{rad})	34
4.1.2. Influência da carcaça	35
4.1.3. Influência da manta	39
4.2. Análise dos resultados	44
4.2.1. Conjunto Compressor/Condensador.....	44
4.2.2. Conjunto Compressor/Condensador/Carcaça.....	49
4.2.3. Conjunto Compressor/Condensador/Carcaça/Manta	54
4.2.4. Sistema Completo.....	59
5. CONCLUSÕES.....	66
5.1. Considerações finais	66
5.2. Sugestões para trabalhos futuros.....	67
REFERÊNCIAS	68

1. Introdução

O ser humano, ao longo de vários milênios, desenvolveu novas tecnologias, sempre buscando formas de superar as dificuldades impostas pela natureza. Tais tecnologias têm como objetivo: diminuir o esforço feito pelo homem, fazer seu trabalho de uma maneira mais eficiente, ou em alguns casos simplesmente proporcionar conforto, sendo um exemplo o conforto térmico.

O controle da temperatura ambiente torna-se possível através do condicionamento de ar, um conceito antigo, já aplicado em datas anteriores a Cristo. Porém a primeira unidade moderna de condicionador de ar foi inventada em 1902 por Willis Carrier, nos EUA.¹

O condicionamento de ar baseia-se no ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor, que opera com fluidos de trabalho que apresentam mudança de fase no ciclo. Neste ciclo, o fluido de trabalho, ainda bifásico e com baixo título, é vaporizado a pressão constante retirando calor do ambiente a ser resfriado (Q_L), até se transformar em vapor saturado. Esse vapor a baixa pressão entra no compressor e sofre uma compressão adiabática reversível. Calor (Q_H) é então rejeitado no condensador, a pressão constante, de onde o fluido sai como líquido saturado. Em seguida, sofre um processo de estrangulamento adiabático na válvula de expansão e retorna ao evaporador, completando o ciclo (Wylen, Sonntag, Borgnakke, 1995). Na Figura 1 é possível observar um ciclo de refrigeração por compressão de vapor e seu respectivo diagrama T – s (temperatura – entropia), no qual são apresentados dois ciclos, um irreversível, ideal para a refrigeração por compressão de vapor (1-2-3-4-1) e um reversível, ciclo de Carnot (1'-2'-3-4'-1').

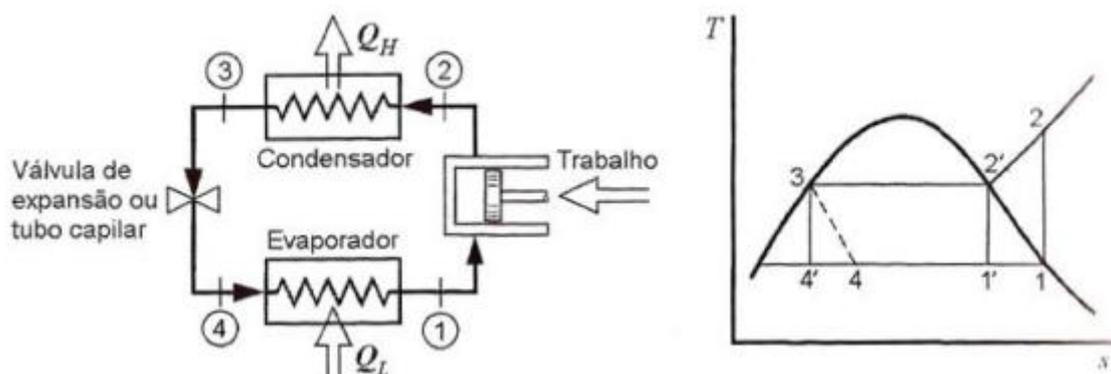


Figura 1 – Ciclo de refrigeração por compressão de vapor

Fonte: Borgnakke, Van Wylen, Sonntag, 2003.

¹ Disponível em: <<http://www.williscarrier.com/1876-1902.php>>

Com o uso de máquinas que utilizam o ciclo descrito anteriormente, é possível para o ser humano ter conforto térmico. Porém, existe outro exemplo de conforto com que se preocupar, o chamado conforto acústico. Cada componente de uma máquina (chapas, tubos, eixos, válvulas, etc), excitado por forças geradas durante seu funcionamento (forças eletromagnéticas, compressão de gases, escoamento de fluidos em tubulações, etc), está sujeito a vibrações, podendo gerar ruídos indesejáveis. Tais ruídos podem causar incômodo, estresse e até dores de cabeça. Dependendo da intensidade e do tempo de atuação o ruído pode causar perda temporária e permanente da audição (BEZ, 1983). Por influenciar na qualidade de vida das pessoas, o estudo do ruído proveniente de máquinas presentes no cotidiano torna-se importante.

1.1.Objetivos

O objetivo do presente trabalho será analisar a unidade externa de um aparelho condicionador de ar. Tal aparelho possui uma capacidade de 2640W (9000Btu/h). Será feita uma análise de ruído na sua unidade externa na qual serão quantificadas as contribuições de ruído (nível de potência sonora) dos seus componentes, sendo estes o compressor, o separador de líquido, o condensador, o ventilador, a carcaça e a manta, que envolve o compressor.

2. Revisão Bibliográfica

Para melhor compreensão do assunto tratado no trabalho, alguns conceitos e fundamentos básicos devem ser revisados nesta seção.

2.1. Propagação do som

É de fundamental importância conhecer o mecanismo de propagação do som para posterior compreensão e acompanhamento dos cálculos de Nível de Pressão Sonora (NPS) e Nível de Potência Sonora (NWS).

O som inicia-se a partir de uma vibração em um meio material. Tal vibração causa uma perturbação nas moléculas de ar adjacentes à superfície do material, que colidem com as moléculas vizinhas, e assim sucessivamente, propagando o som no ambiente. Essa colisão entre moléculas cria regiões de alta e baixa pressão. Para melhor compreensão, pode-se modelar a superfície do material como se fosse um pistão, esquematizado na Figura 2. Conforme a superfície vibra, o pistão se move para frente, comprimindo as moléculas de ar adjacentes a ele; e para trás, criando uma região de baixa pressão. Essa diferença de pressão faz com que o som possa ser modelado como uma onda, tendo amplitude e frequência (Gerges, 2000).

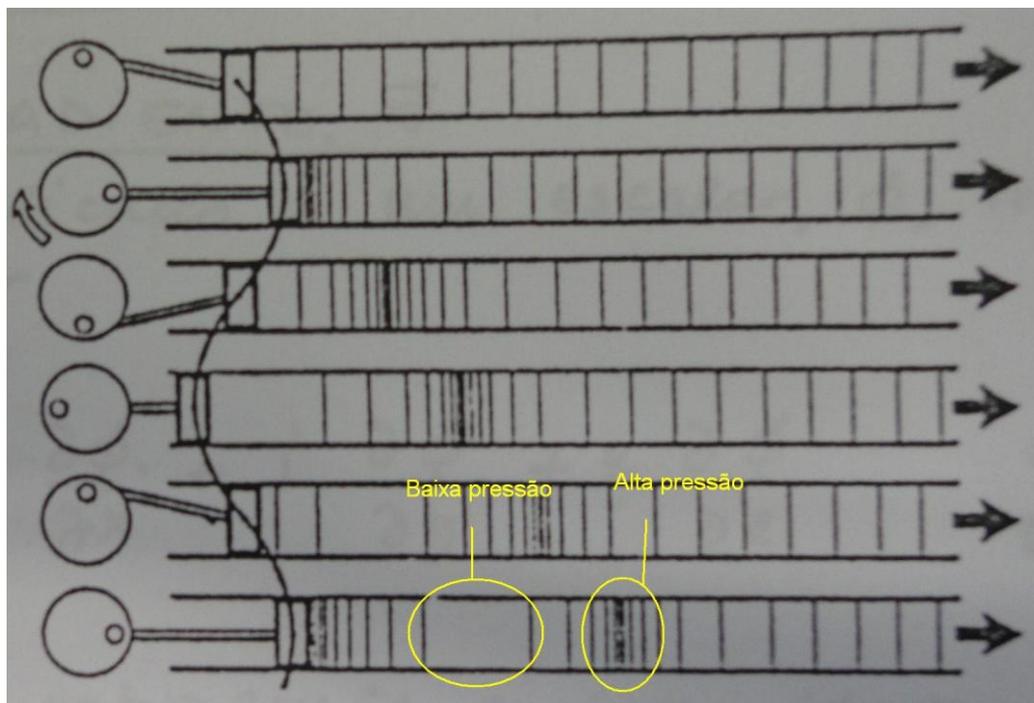


Figura 2 – Regiões de alta e baixa pressão

Fonte: Apostila Acústica Avançada, Arcanjo Lenzi

Para medir essa onda sonora, são utilizados microfones, que captam o valor da pressão sonora p , em Pascal (Pa). Essa pressão é utilizada no cálculo do Nível de Pressão Sonora, em decibéis (dB), mostrada a seguir, sendo $P_0 = 2 * 10^{-5} Pa$ o valor da pressão sonora no limiar da audição em 1000 Hz (Gerges, 2000).

$$NPS(dB) = 10 \log\left(\frac{p^2}{P_0^2}\right) \quad 1$$

A escala logarítmica da Equação 1 torna-se necessária para a avaliação de ruído, pois o ouvido humano é sensível a uma ampla faixa de intensidade acústica. Do limiar da audição ao limiar da dor, o valor de intensidade acústica aumenta 10^{12} vezes, um valor difícil de ser trabalhado em uma escala linear (Gerges, 2000).

2.2. Fonte Sonora

Qualquer corpo que emita som pode ser chamado de fonte sonora. Quando a fonte sonora possui dimensões desprezíveis em relação ao ambiente em que está localizada, esta recebe o nome de fonte pontual. Fontes pontuais emitem frentes de onda de forma esférica (Figura 3) e, quando apoiadas sobre uma superfície, emitem de forma semi-esférica.

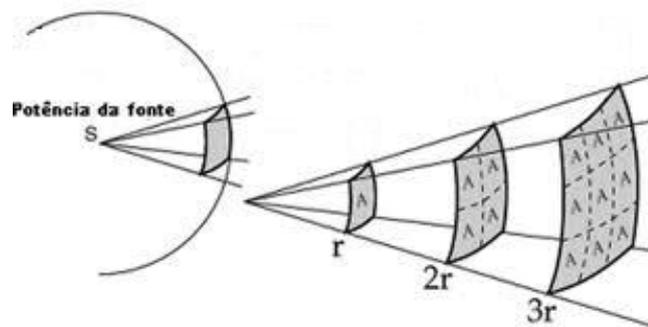


Figura 3 – Modelo de fonte pontual e frentes de onda esféricas

Fonte: <http://taniapinto23.wordpress.com/2011/04/04/audio-visual/>

2.3. Câmara Semi-Anecóica

Uma câmara anecóica acústica é uma sala, isolada de fontes externas de ruído, projetada para conter reflexões de ondas sonoras. Possui material isolante acústico, em formato de cunha, em todas as superfícies da sala. Esse material absorve praticamente todo o som incidente, fazendo com que a sala simule um espaço aberto de dimensão infinita, onde

todas as ondas sonoras viajam para longe da fonte, com praticamente nenhuma reflexão de volta. Uma câmara semi-aneecóica possui o princípio de funcionamento semelhante ao de uma câmara anecóica. A diferença é que a semi-aneecóica possui uma das superfícies, em geral o piso, como uma superfície refletora, ou seja, uma superfície não revestida com cunhas isolantes. O Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA) é equipado com uma câmara semi-aneecóica, mostrada na Figura 4.

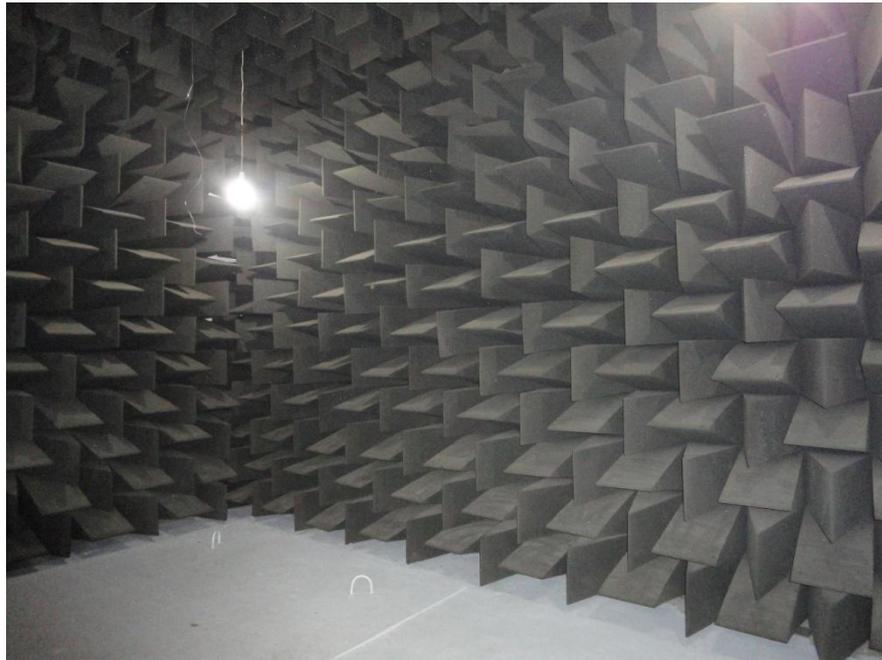


Figura 4 – Câmara semi-aneecóica

Fonte: Do Autor

2.4. Filtros de 1/1 e 1/3 de oitava

O filtro é um sistema analógico ou digital que permite a passagem apenas dos componentes do sinal de ruído ou vibração que estejam dentro da sua banda de frequência. Os filtros podem ter largura de banda independente da frequência central (f_c) ou largura de banda sempre igual a uma porcentagem fixa da frequência central (Gerges, 2000). Um exemplo desse segundo caso são os filtros de 1/1 e 1/3 de oitava. Os filtros de 1/1 de oitava obedecem a Equação 2.

$$f_2 = 2f_1 \quad 2$$

Os filtros de 1/3 de oitava, a Equação 3,

$$f_2 = 2^{\frac{1}{3}} f_1 \quad 3$$

sendo f_2 a frequência de corte superior e f_1 a frequência de corte inferior da banda. Larguras de banda de porcentagem constante devem ser plotados em uma escala de frequências logarítmica para melhor visualização dos resultados. A Figura 5 ilustra a diferença das larguras das bandas de 1/1 e 1/3 de oitava e a Tabela 1 mostra as frequências de corte para cada banda.

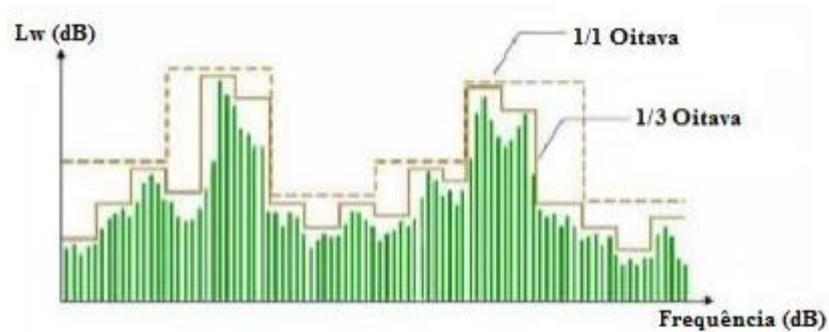


Figura 5 – Comparação entre larguras de filtros de 1/1 e 1/3 de oitava

Fonte: Brüel & Kjaer

Tabela 1 – Filtros de 1/1 e 1/3 de oitava

Fonte: Gerges (2000, p.108)

Banda de 1/1 oitava [Hz]			Banda de 1/3 oitava [Hz]		
f_1	f_c	f_2	f_1	f_c	f_2
11	16	22	14,1	16	17,8
			17,8	20	22,4
			22,4	25	28,2
22	31.5	44	28,2	31.5	35,5
			35,5	40	44,7
			44,7	50	56,2
44	63	88	56,2	63	70,8
			70,8	80	89,1
			89,1	100	112
88	125	177	112	125	141
			141	160	178
			178	200	224
177	250	355	224	250	282
			282	315	355
			355	400	447
355	500	710	447	500	562
			562	630	708
			708	800	891
710	1000	1420	891	1000	1122
			1122	1250	1413
			1413	1600	1778
1420	2000	2840	1778	2000	2239
			2239	2500	2818
			2818	3150	3548
2840	4000	5680	3548	4000	4467
			4467	5000	5623
			5623	6300	7079
5680	8000	11360	7079	8000	8913
			8913	10000	11220
			11220	12500	14130
11360	16000	22720	14130	16000	17780
			17780	20000	22390

2.5.A escala dB(A)

O ouvido humano não é igualmente sensível a todas as frequências. Ele é mais sensível à faixa entre 2kHz e 5kHz e menos sensível para frequências muito altas ou muito baixas (Gerges, 2000). A Figura 6 ilustra de maneira clara esse fenômeno, pois mostra várias curvas que indicam o nível de pressão sonora (NPS) necessário para que se tenha a mesma

audibilidade aparente que um tom de 1000 Hz. Por conta disso, circuitos eletrônicos que modelam o ouvido humano são necessários para análise de ruído, sendo o circuito A o mais utilizado, por isso a escala dB(A). Com essa escala, é possível calcular o valor do NWS ou NPS proveniente de uma fonte sonora que será realmente percebido pelo ouvido humano. Para fazer esse cálculo, basta somar os valores da Tabela 2 com os valores de NWS ou NPS, em suas respectivas frequências, por exemplo, em 100 Hz, para um NPS de 90 dB, seu valor em dB(A) é: $90 - 19,1 = 70,9$ dB(A).

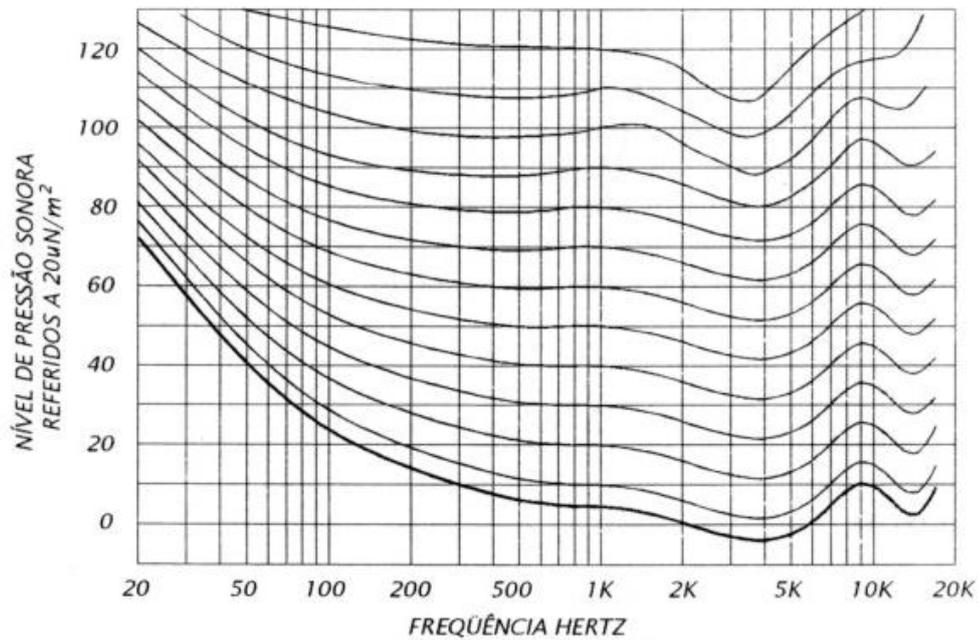


Figura 6 – Contornos padrão de audibilidade para tons puros

Fonte: http://www.larguesa.kit.net/MPS/projeto_mps.htm

Tabela 2 – Atenuação da percepção auditiva A (continua)

Fonte: Gerges (2000, p.54)

Frequência [Hz]	dB(A)
25	-44,7
31.5	-39,4
40	-34,6
50	-30,2
63	-26,2
80	-22,5
100	-19,1
125	-16,1
160	-13,4

Tabela 2 – Atenuação da percepção auditiva A (continuação)

200	-10,9
250	-8,6
315	-6,6
400	-4,8
500	-3,2
630	-1,9
800	-0,8
1000	0
1250	0,6
1600	1
2000	1,2
2500	1,3
3150	1,2
4000	1
5000	0,5
6300	-0,1
8000	-1,1
10000	-2,5
12500	-4,3

2.6. Cálculo do Nível de potência sonora

2.6.1. Por microfones de pressão

As pressões sonoras medidas através dos microfones são convertidas em Nível de Pressão Sonora (NPS) através da Equação 1. Segundo a norma ISO 3745 (2003), em uma câmara semi-anecóica deve-se medir o NPS de 20 posições diferentes sobre uma superfície semi-esférica ao redor da fonte sonora. É feita uma média desses 20 NPS utilizando a Equação 4.

$$NPS_f(dB) = 10 \log \left(\frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N 10^{0,1NPS_i} \right] \right) \quad 4$$

Nesta equação, NPS_i é o Nível de Pressão Sonora em dB do i -ésimo microfone e $N = 20$ microfones. A Figura 7 mostra a disposição dos microfones sobre a superfície semi-esférica ao redor da fonte sonora, cujo centro geométrico deve coincidir com o centro acústico da fonte, considerando o aparelho emitindo como fonte pontual. A Tabela 3 mostra as coordenadas de cada microfone. A norma também recomenda que todos os microfones estejam apontados para o centro acústico da fonte durante a medição.

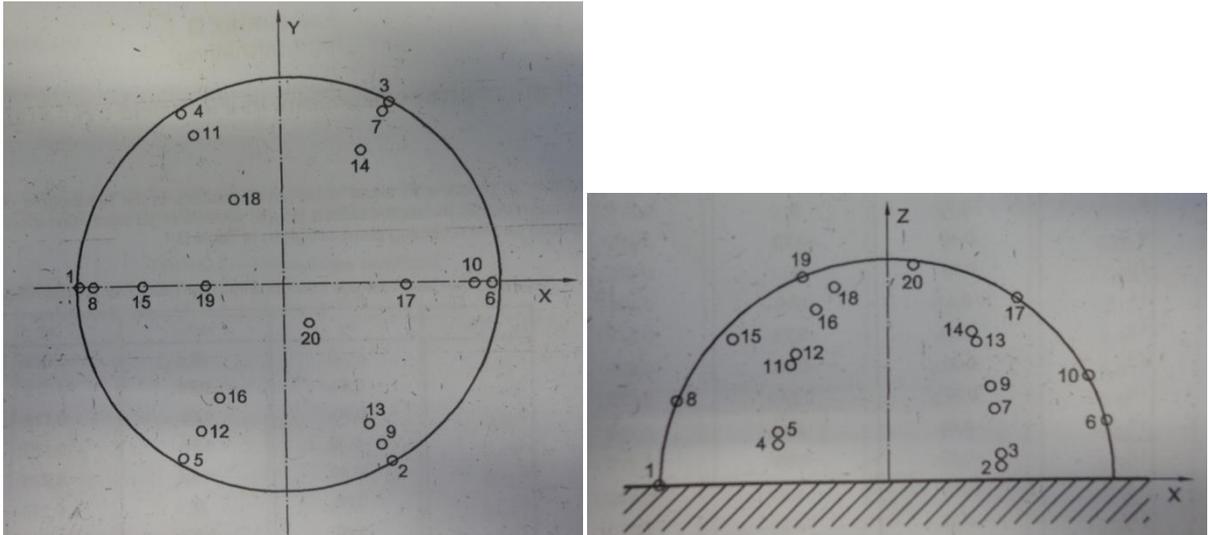


Figura 7 – Posições dos microfones

Fonte: ISO 3745, 2003

Tabela 3 – Coordenadas dos microfones

Fonte: ISO 3745 (2003, p. 29)

No.	x/r	y/r	z/r
1	-1,00	0	0,025
2	0,50	-0,86	0,075
3	0,50	0,86	0,125
4	-0,49	0,85	0,175
5	-0,49	-0,84	0,225
6	0,96	0	0,275
7	0,47	0,82	0,325
8	-0,93	0	0,375
9	0,45	-0,78	0,425
10	0,88	0	0,475
11	-0,43	0,74	0,525
12	-0,41	-0,71	0,575
13	0,39	-0,68	0,625
14	0,37	0,64	0,675
15	-0,69	0	0,725
16	-0,32	-0,55	0,775
17	0,57	0	0,825
18	-0,24	0,42	0,875
19	-0,38	0	0,925
20	0,11	-0,19	0,975

O Nível de Potência Sonora (NWS) é então calculado utilizando esse valor de NPS_f , de acordo com a Equação 5 (ISO 3745, 2003),

$$NWS (dB) = NPS_f + 10 \log \left(\frac{2\pi r^2}{S_0} \right) \quad 5$$

sendo r o raio da meia esfera admitindo fonte pontual e $S_0 = 1 \text{ m}^2$.

2.6.2. Por acelerômetros

É possível calcular o NWS (em Watts) de uma fonte sonora através da Equação 6 (Gerges, 2000).

$$NWS (W) = \rho c S \sigma_{rad} \langle \overline{v^2} \rangle \quad 6$$

Sendo:

- $\langle \overline{v^2} \rangle$ é a velocidade média quadrática em espaço e tempo (m^2/s^2)
- ρ é a densidade do meio (kg/m^3)
- c é a velocidade do som (m/s)
- S é a área de superfície da fonte vibrante (m^2)
- σ_{rad} é a eficiência de radiação

O termo $\langle \overline{v^2} \rangle$ é calculado integrando-se os valores de aceleração obtidos com acelerômetros e elevando o resultado ao quadrado. A média temporal é feita automaticamente na hora da medição e a média espacial é feita entre os n acelerômetros fixados à superfície da fonte sonora.

O cálculo do termo σ_{rad} será detalhado na seção 4.1.1.1.

O resultado da Equação 6 pode ser transformado para dB utilizando a Equação 7.

$$NWS (dB) = 10 * \log \left(\frac{NWS(W)}{W_{ref}} \right) \quad 7$$

Nesta equação, $W_{ref} = 10^{-12} \text{ W}$.

2.7.Soma em dB

Valores em dB não podem ser somados diretamente. Para somar valores de NPS ou NWS em dB, deve-se utilizar a equação a seguir.

$$NPS_{res}(dB) = 10 * \log\left(10^{\frac{NPS_1(dB)}{10}} + 10^{\frac{NPS_2(dB)}{10}} + \dots + 10^{\frac{NPS_n(dB)}{10}}\right) \quad 8$$

Através da Equação 8, os valores de NPS ou NWS são transformados em valores lineares, os quais podem ser somados diretamente, e em seguida o resultado é transformado em dB novamente. A Equação 8 só é válida se os valores de NPS ou NWS possuírem a mesma referência.

3. Experimento

As medições da unidade externa do aparelho condicionador de ar foram todas feitas na câmara semi-aneecóica do LVA, utilizando os métodos previstos na norma ISO 3745 e descritos na seção 2.6.1, exceto quando mencionado que feito de outra maneira. Para não sofrer influência do ruído da unidade interna, esta foi instalada no exterior da câmara semi-aneecóica.

As posições dos microfones foram marcadas no chão para, posteriormente, posicioná-los nas suas alturas correspondentes, de acordo com a Tabela 3. A Figura 8 ilustra as posições previstas na norma marcadas no chão da câmara semi-aneecóica. Já na Figura 9, pode ser observada uma das configurações do sistema durante a medição. A semi-esfera utilizada possuía raio de 1,5 m.



Figura 8 – Marcação das posições dos microfones na câmara semi-aneecóica

Fonte: Do Autor



Figura 9 – Microfones posicionados para medição

Fonte: Do Autor

3.1.O aparelho

Para facilitar o acompanhamento do trabalho e familiarizar o leitor com as nomenclaturas dadas, serão listadas a seguir as unidades que compõem o aparelho e seus respectivos componentes internos.

➤ Unidade interna:

É a unidade que fica no interior do ambiente a ser climatizado e pode ser observada na Figura 10.



Figura 10 – Unidade interna do aparelho

Fonte: Do Autor

➤ Unidade externa:

É a unidade que fica no exterior do ambiente a ser climatizado. É composta por uma carcaça, que possui em seu interior o compressor, o separador de líquido, o condensador, o ventilador, uma placa eletrônica de comando, e uma manta, que envolve o compressor.

Neste trabalho, a placa eletrônica de comando tem função apenas estrutural, visto que o compressor e ventilador são controlados separadamente por um inversor de frequências e uma fonte de tensão variável respectivamente. Pode-se considerar também que a placa eletrônica de comando faz parte da carcaça, ou seja, sempre que a carcaça for adicionada ou retirada do sistema, a placa eletrônica também o será.

O aparelho analisado pode tanto resfriar quanto aquecer ambientes, logo a unidade externa pode funcionar tanto como evaporador quanto como condensador. Porém nesse trabalho, as medições foram todas feitas com o aparelho resfriando o ambiente, ou seja, com a unidade externa funcionando como condensador.

A figura 11 mostra a unidade externa do aparelho. Já nas Figuras 12, 13, 14 e 15 é possível observar seus componentes internos.



Figura 11 – Unidade externa do aparelho

Fonte: Do Autor

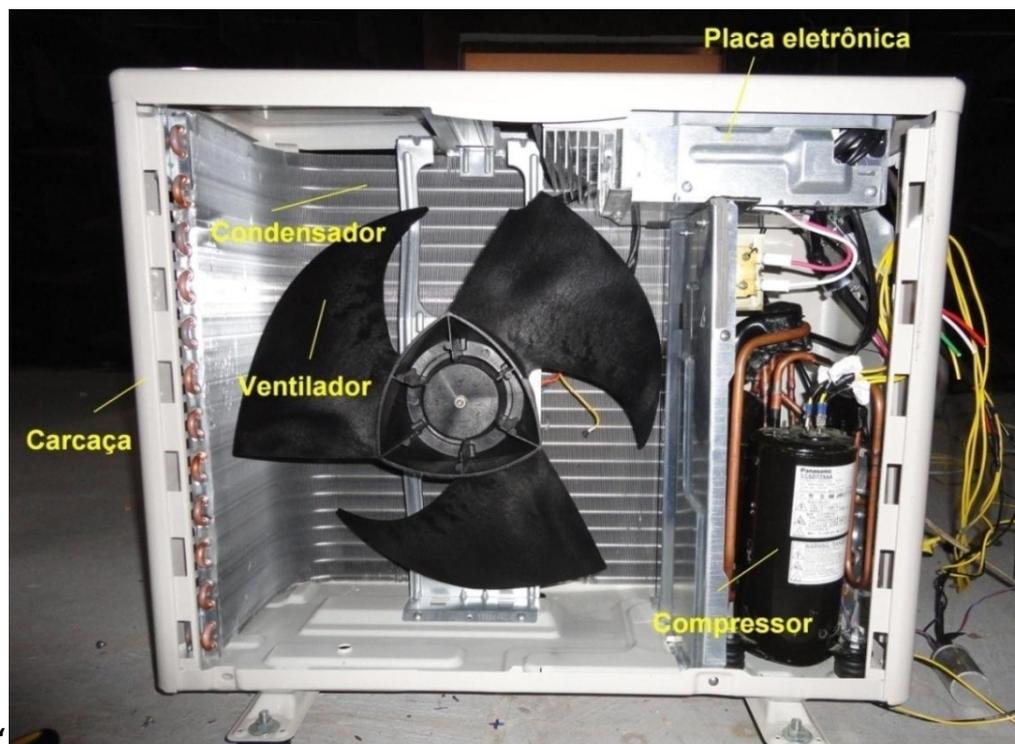


Figura 12 – Componentes internos da unidade externa

Fonte: Do Autor



Figura 13 – Placa eletrônica de comando

Fonte: Do Autor



Figura 14 – Separador de liquido

Fonte: Do Autor



Figura 15 – Manta

Fonte: Do Autor

3.2. Equipamento utilizado

Para as medições no aparelho foram utilizados os seguintes equipamentos:

- 5 microfones *Brüel & Kjaer Tipo 4189*. Microfones são aparelhos que captam a pressão sonora por meio de uma membrana sensível e convertem essa pressão em um sinal elétrico.

- 6 acelerômetros *Brüel & Kjaer Tipo 4517*, 4 acelerômetros *Brüel & Kjaer Tipo 4525-B*, 2 acelerômetros *Brüel & Kjaer Tipo 4519*, 1 acelerômetro *Brüel & Kjaer Tipo 4520* e 1 acelerômetro *Brüel & Kjaer Tipo 4393V*. Acelerômetros possuem um cristal piezoelétrico que gera uma carga elétrica proporcional à aceleração a qual são submetidos.

- 1 calibrador de microfones *PCB Larson Davis Modelo CAL200*, que gera um NPS conhecido em uma determinada frequência, fazendo com que as sensibilidades dos microfones sejam corrigidas, dando maior confiabilidade aos resultados.

- 1 calibrador de acelerômetros *PCB Modelo 394C06*, que gera uma vibração conhecida proporcionando as devidas correções nas sensibilidades dos acelerômetros utilizados.

- 1 analisador digital de sinais *LMS Scadas* de 24 canais, que recebe o sinal dos microfones, analisa-os, faz cálculos e envia os resultados para um computador.

- 1 pirômetro *EUROCONTROL Modelo PC-850L*, que utiliza um termopar como parte principal do sistema para monitoramento de temperatura.

- 1 termômetro de vareta portátil *Minipa Modelo MV-363*, para monitoramento de temperatura.

- 1 inversor de frequências *Embraco*, para controle da rotação do compressor.

- 1 fonte de potencial elétrico variável *California instruments Modelo 1251RP*, para controle da rotação do ventilador.

O inversor de frequências e a fonte de potencial elétrico variável foram alocados no exterior da câmara semi-anecóica, pois, quando em funcionamento, geram ruídos consideráveis, que poderiam interferir nas medições do condicionador de ar.

3.3. Influência da temperatura

Antes de descrever os procedimentos de medição, será detalhado um teste feito para verificar a influência da temperatura do sistema no ruído gerado. Foram utilizados dois transdutores de temperatura (seção 3.2), um para controlar a temperatura de sucção do

compressor, T_{comp} (Figura 16), e outro para controlar a temperatura de entrada do condensador, T_{cond} (Figura 17). O teste foi realizado com 14 acelerômetros fixados ao compressor.

Primeiramente, a potência sonora do sistema foi medida logo após esse ter sido ligado, ainda refrigerado, com o compressor a 2000 rpm (33,3 Hz) e $T_{comp} = 288K$ (15 °C) e $T_{cond} = 299K$ (26 °C). Em seguida, elevou-se a rotação do compressor para 5000 rpm (83,3 Hz) na qual permaneceu por 30 segundos e logo após mediu-se a potência sonora do sistema com o compressor a 2000 rpm (33,3 Hz), $T_{comp} = 19$ °C e $T_{cond} = 41$ °C. Feito isso, alterou-se novamente a rotação do compressor para 5000 rpm (83,3 Hz), mantida por 90 segundos. Logo após, a rotação foi alterada para 2000 rpm (33,3 Hz) e a potência sonora do sistema foi novamente medida com $T_{comp} = 20$ °C e $T_{cond} = 43$ °C. Mais uma vez o sistema foi colocado a 5000 rpm (83,3 Hz), mantido dessa vez por 5 minutos e medido a 2000 rpm (33,3 Hz) com $T_{comp} = 23$ °C e $T_{cond} = 56$ °C. Essa metodologia foi adotada pois 5000 rpm (83,3 Hz) é a velocidade na qual o sistema mais eleva sua temperatura. Os resultados desse teste podem ser vistos na figura 18.

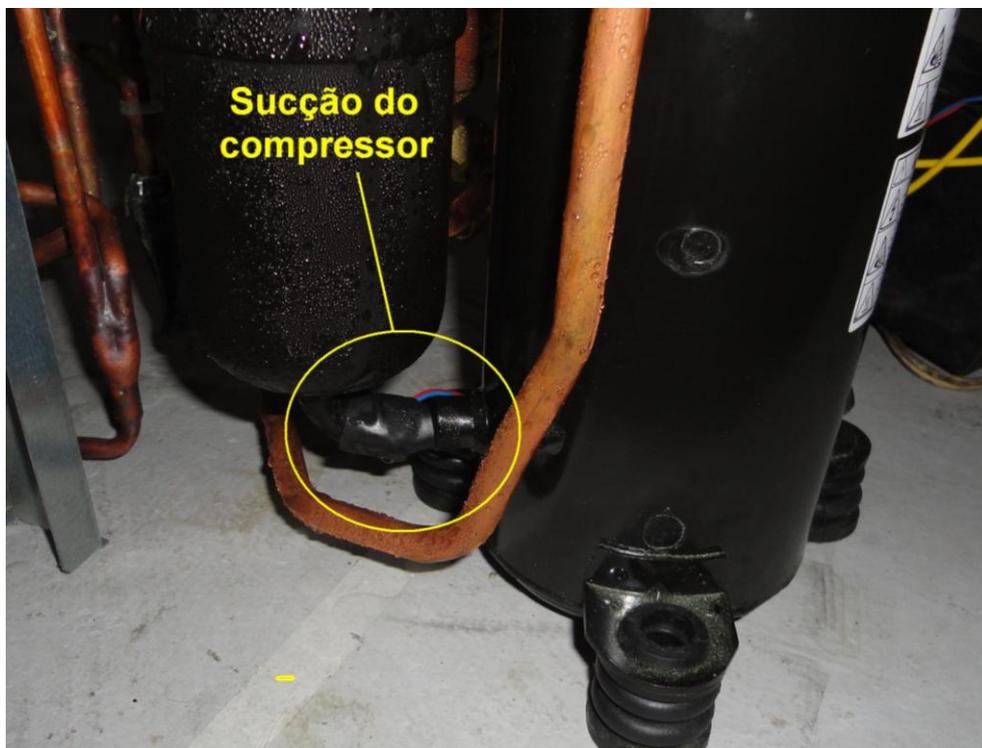


Figura 16 – Sucção do compressor

Fonte: Do Autor

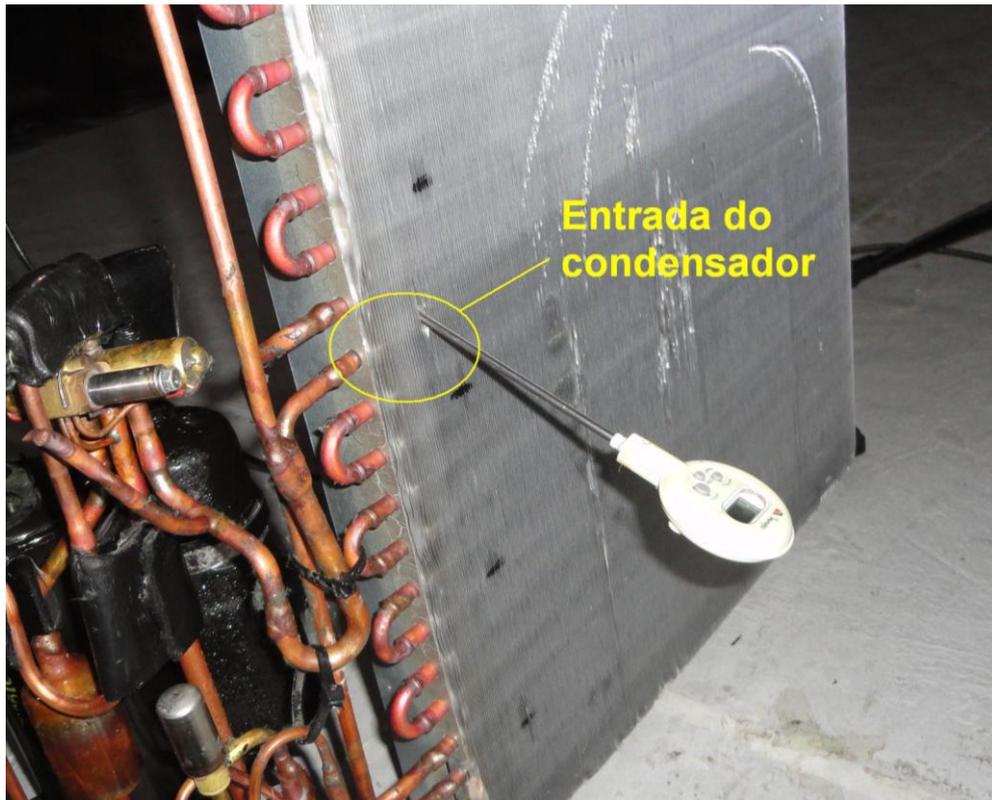


Figura 17 – Entrada do condensador

Fonte: Do Autor

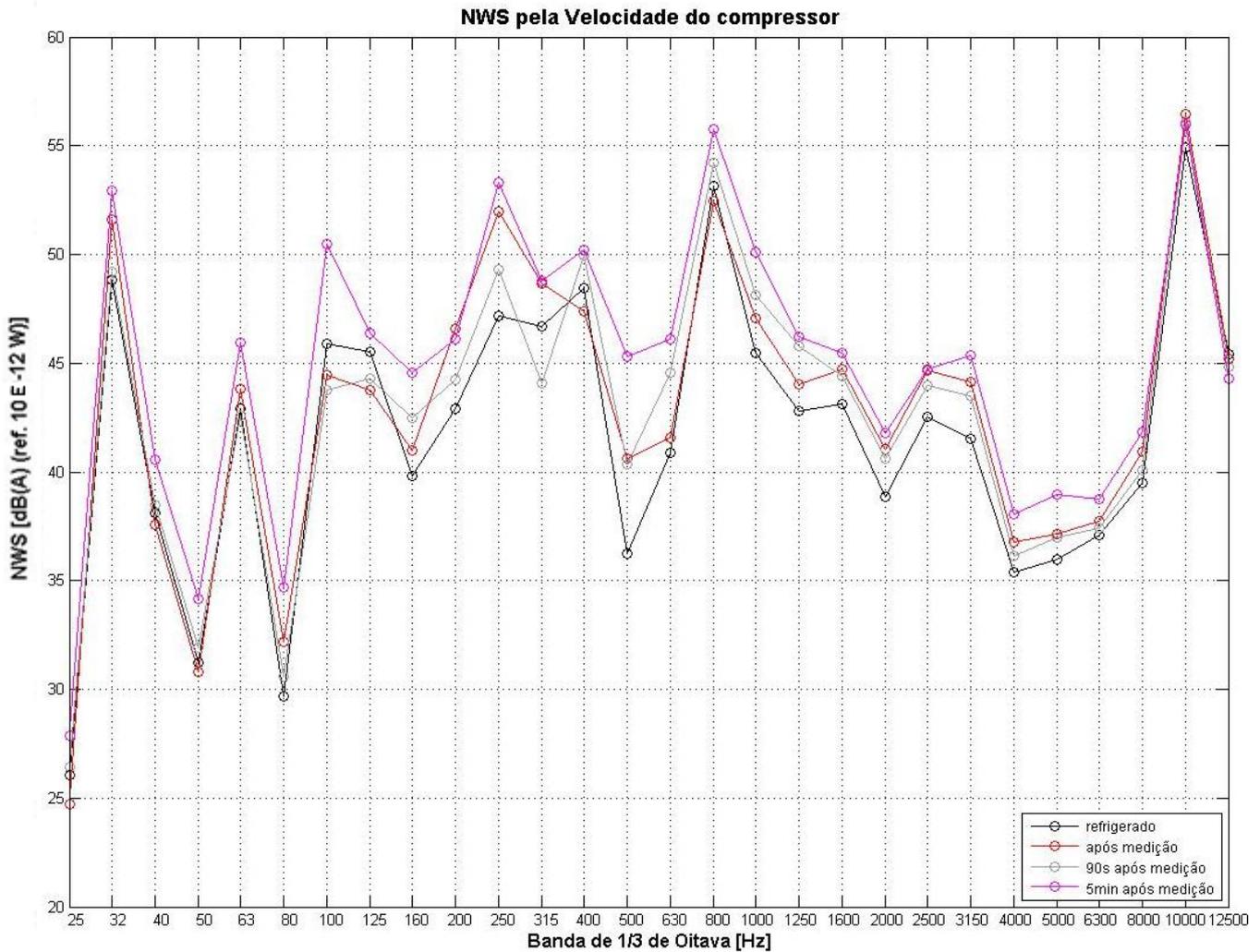


Figura 18 – Influência da temperatura no ruído do sistema

Pode-se perceber que em praticamente toda a faixa de frequências, quanto mais quente o sistema, maior o ruído gerado por ele. Por conta disso, as medições foram todas feitas utilizando os mesmos transdutores de temperatura nos mesmos pontos mencionados anteriormente para controle da temperatura. Dessa forma, as medições só tinham início, quando T_{comp} estava na faixa de 15 a 17 °C e T_{cond} estava na faixa de 23 a 26 °C, ou seja, quando o sistema estava na mesma condição padrão de operação.

3.4. Medições do sistema

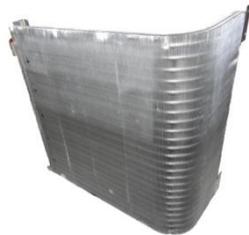
Relembrando, os componentes da unidade externa que serão analisados são:



Compressor



Separador de líquido



Condensador



Carcaça



Ventilador



Manta

Para facilitar o entendimento e acompanhamento das medições feitas, serão listadas e numeradas a seguir as configurações medidas do sistema e seus respectivos componentes:

- 1) Sistema completo: compressor, condensador, separador de líquido, carcaça, manta e ventilador;



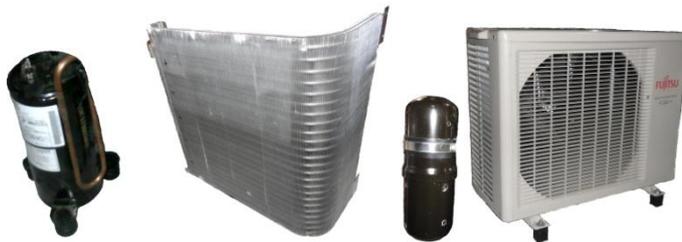
- 2) Sistema completo sem manta: compressor, condensador, separador de líquido, carcaça e ventilador;



- 3) Conjunto Compressor/Condensador/Carcaça/Manta (CompCondCarcManta): compressor, condensador, separador de líquido, carcaça e manta;



- 4) Conjunto Compressor/Condensador/Carcaça (CompCondCarc): compressor, condensador, separador de líquido e carcaça;



- 5) Conjunto Compressor/Condensador (CompCond): compressor, condensador e separador de líquido;



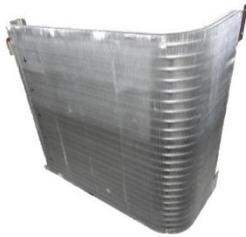
- 6) Compressor



- 7) Separador de líquido



8) Condensador



9) Ventilador: ventilador e carcaça



1) Sistema completo

Nessa configuração foi medido o NWS a partir das pressões sonoras para o sistema operando de maneira normal (Figuras 19 e 20). As medições foram feitas com o sistema operando em três velocidades diferentes: mínima (compressor a 2000 rpm (33,3 Hz) e ventilador a 192 rpm (3,2 Hz)), média (compressor a 4000 rpm (66,6 Hz) e ventilador a 342 rpm (5,7 Hz)) e máxima (compressor a 5000 rpm (83,3 Hz) e ventilador a 475 rpm (7,9 Hz)).

2) Sistema completo sem manta

Nessa configuração foi retirada a manta que envolve o compressor (Figuras 19 e 21) e medido o NWS do sistema. As velocidades de operação foram as mesmas citadas na configuração 1.

3) CompCondCarcManta

Nessa configuração foi medido o NWS do sistema completo com ventilador desligado (Figuras 19 e Figura 19 20). As medições foram feitas com o compressor a 2000 (33,3 Hz), 3000 (50 Hz), 4000 (66,6 Hz) e 5000 rpm (83,3 Hz).

4) CompCondCarc

Nessa configuração foi medida a potência sonora do sistema completo com ventilador desligado e sem a manta (figuras 19 e 21). As velocidades de operação foram as mesmas citadas na configuração 3.



Figura 19 – Sistema com carcaça – configurações 1, 2, 3 e 4

Fonte: Do Autor



Figura 20 – Interior da carcaça das configurações 1 e 3

Fonte: Do Autor

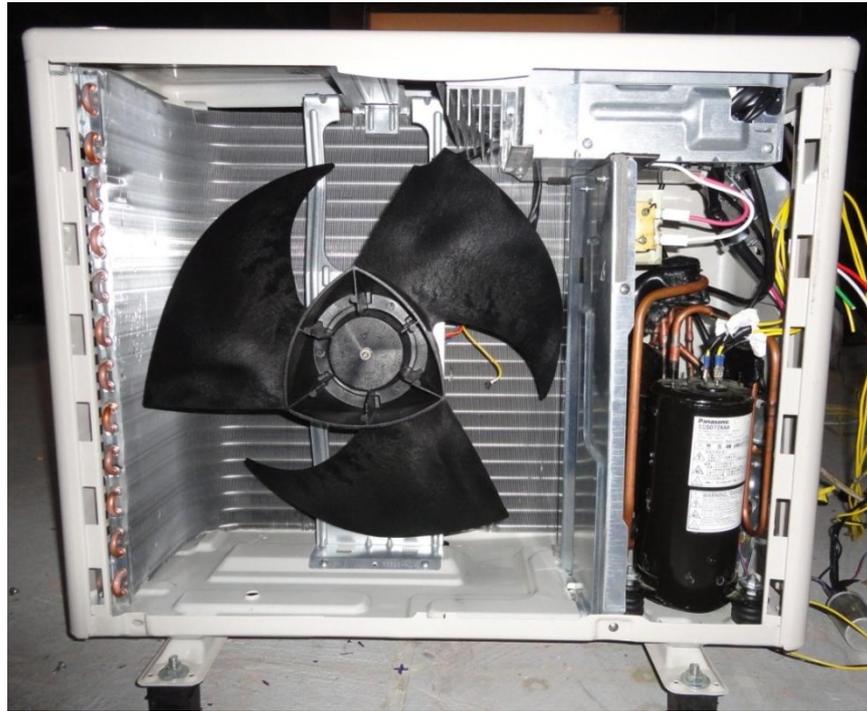


Figura 21 – Interior da carcaça das configurações 2 e 4

Fonte: Do Autor

5) CompCond

Nessa configuração foram retirados a carcaça, o ventilador e a manta do sistema completo (figura 22). As velocidades de operação foram as mesmas citadas na configuração 3.

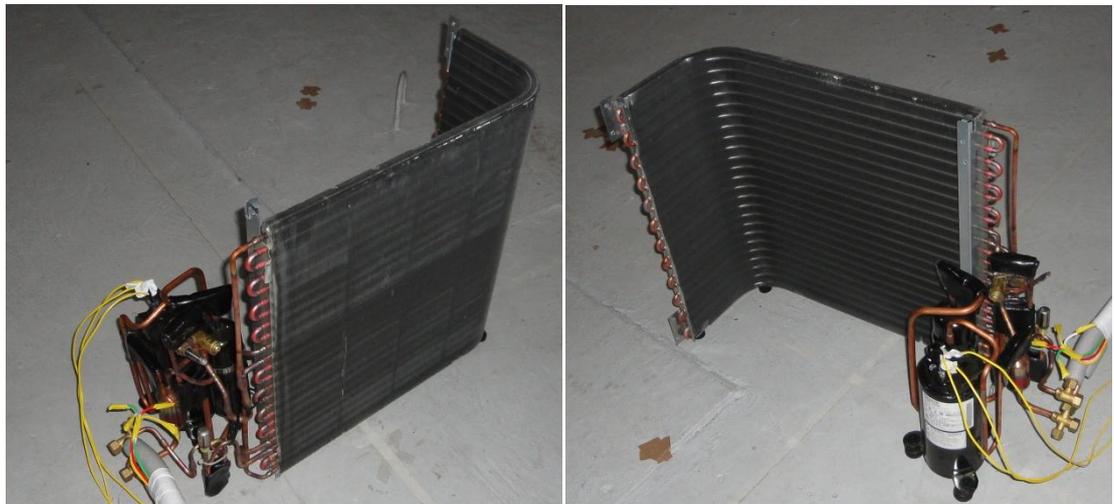


Figura 22 – Conjunto compressor/condensador

Fonte: Do Autor

6) Compressor

Nessa configuração foram utilizados 26 acelerômetros (figura 23) distribuídos homogeneamente sobre a superfície externa do compressor, para avaliar seu nível de potência sonora de acordo com a seção 2.6.2. As velocidades de operação foram as mesmas citadas na configuração 3.

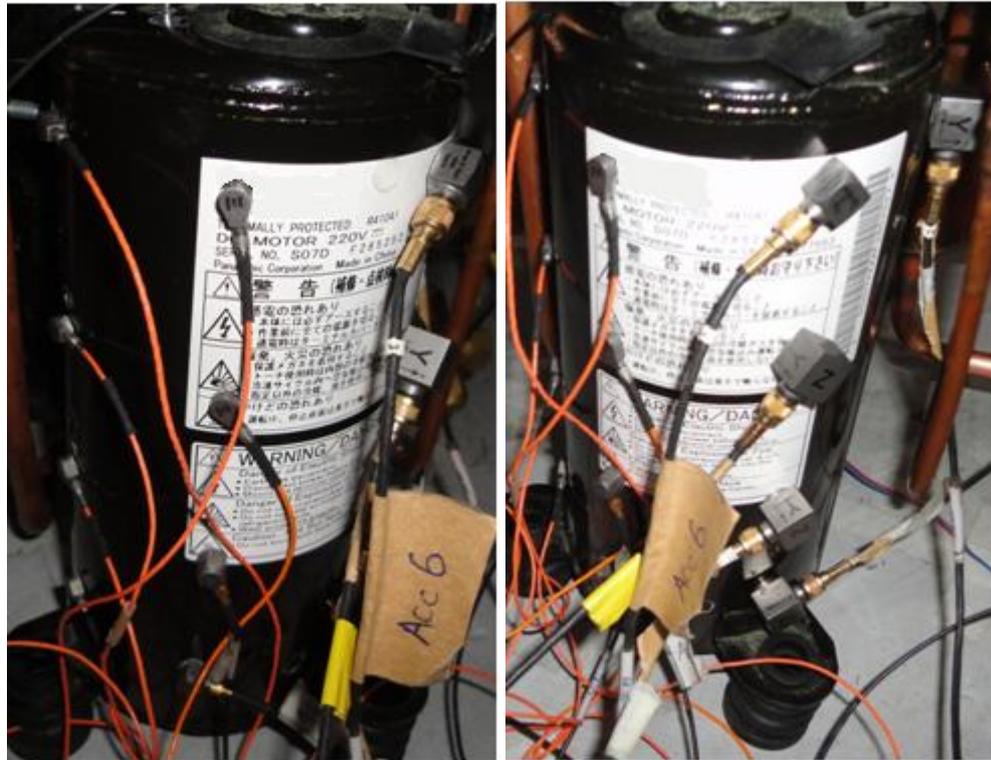


Figura 23 – Compressor com acelerômetros

Fonte: Do Autor

7) Separador de líquido

Nessa configuração o separador de líquido foi medido utilizando-se 12 acelerômetros (figura 24). As velocidades de operação foram as mesmas citadas na configuração 3.



Figura 24 – Separador de líquido com acelerômetros

Fonte: Do Autor

8) Condensador

Nessa configuração, com o objetivo de separar a parcela de ruído proveniente do condensador, foi construída uma barreira de 1,80x1,80m² e 3cm de espessura entre o compressor/separador de líquido e o condensador, no interior da câmara semi-aneecóica. Por ser uma sala onde praticamente não há reflexões sonoras, o ruído medido do lado do compressor não interferiria no medido do lado do condensador e vice-versa. Como pode ser visto na figura 7, 10 pontos se localizam à direita do eixo y e 10 pontos à esquerda. A barreira que separa o compressor do condensador foi então posicionada exatamente sobre o eixo y e pode ser vista nas figuras 25, 26 e 27. Desse modo, o condensador foi medido utilizando-se 10 microfones. Seu NPS_f foi calculado de acordo com a equação (4), com $N = 10$, e o NWS utilizando-se a equação a seguir.

$$NWS (dB) = NPS_f + 10 \log \left(\frac{2\pi r^2}{2S_0} \right) \quad 9$$

Note que o termo dentro do logaritmo está dividido por 2. Isso ocorre pois a barreira divide a superfície semi-esférica de medição em dois quartos de esfera. As velocidades de operação foram as mesmas citadas na configuração 3.

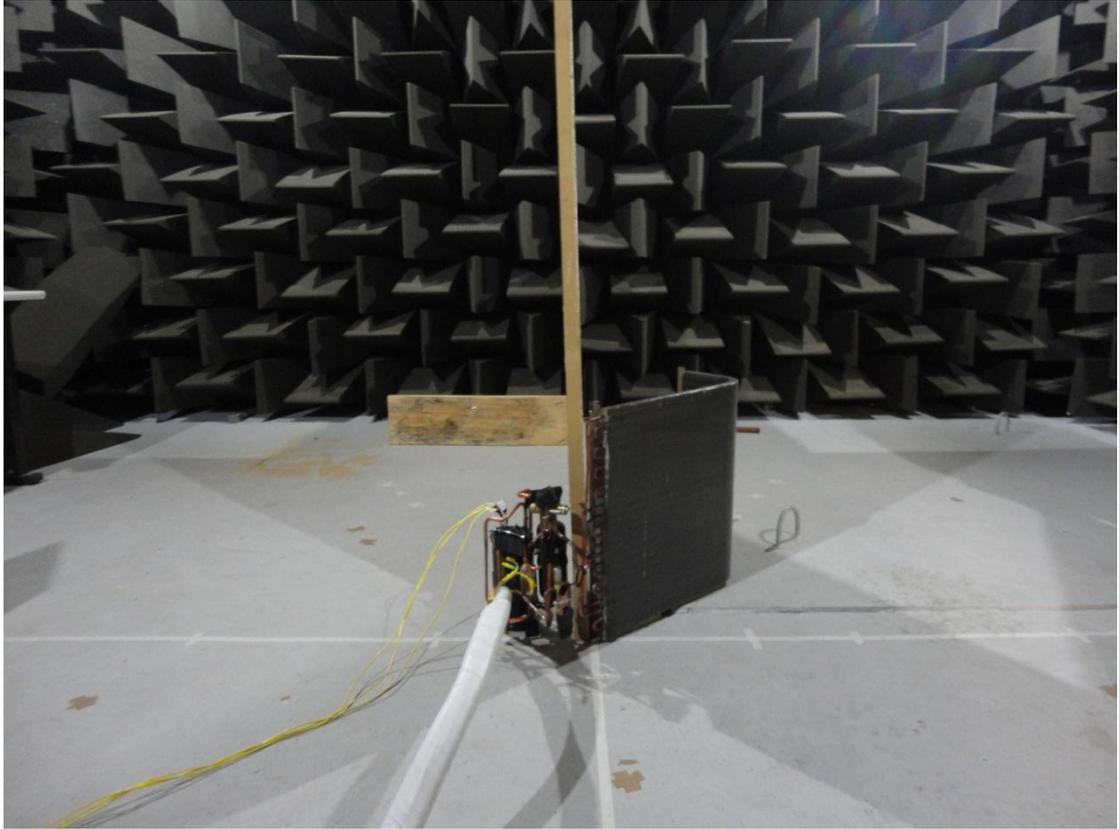


Figura 25 – Montagem da barreira

Fonte: Do Autor

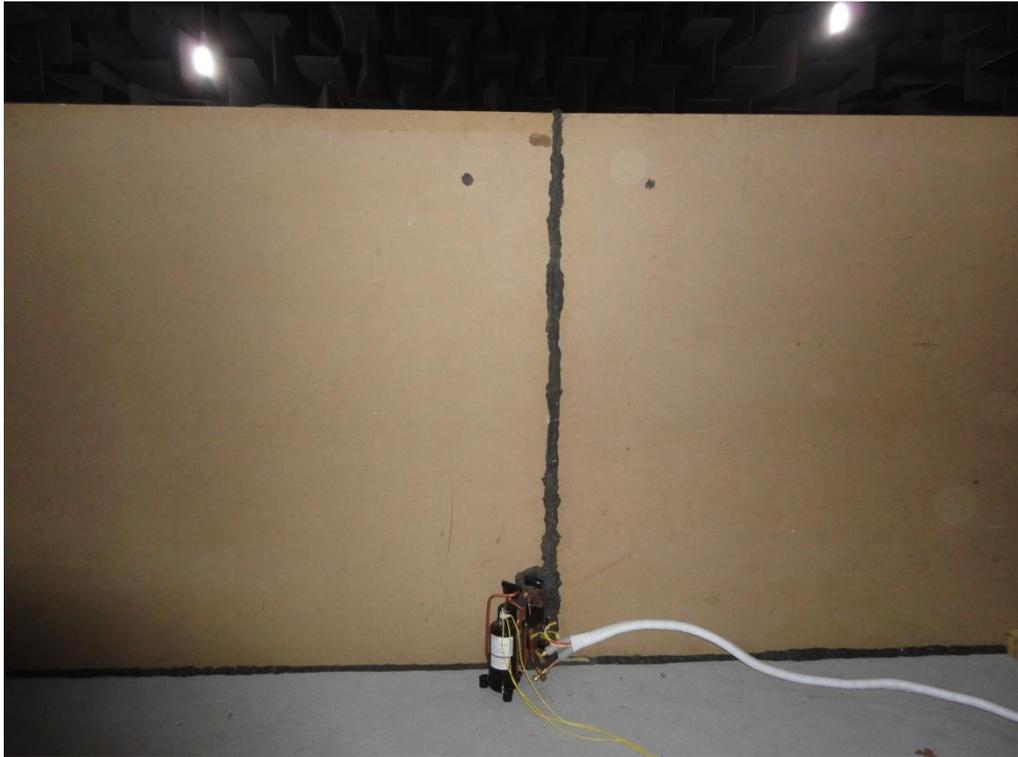


Figura 26 – Compressor e separador de líquido com barreira

Fonte: Do Autor



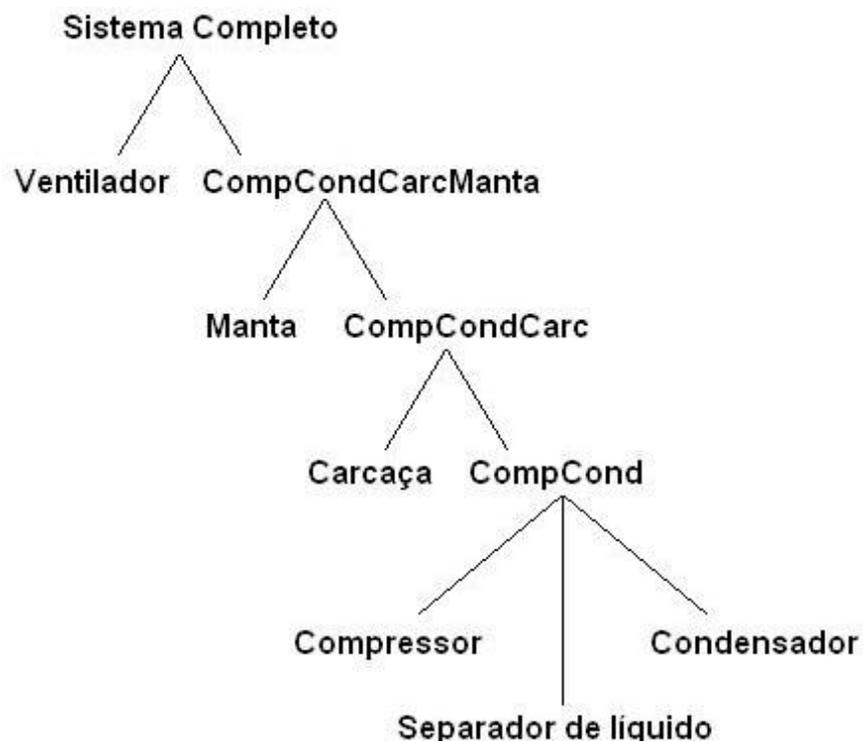
Figura 27 – Condensador com barreira

Fonte: Do Autor

9) Ventilador

Nessa configuração, foi medido o sistema completo com apenas o ventilador ligado. As medições foram feitas com o ventilador operando em três velocidades diferentes: mínima (192 rpm (3,2 Hz)), média (342 rpm (5,7 Hz)) e máxima (475 rpm (7,9 Hz)).

A separação dos componentes do sistema baseada nas medições feitas pode ser esquematizada da seguinte maneira:



4. Resultados

4.1. Considerações iniciais

Algumas considerações devem ser feitas antes de os resultados serem apresentados, tais como o cálculo do NWS do compressor e separador de líquido, e os cálculos das influências da carcaça e da manta no ruído gerado pelo sistema.

4.1.1. NWS do compressor e separador de líquido

Para o cálculo dos NWS do compressor e separador de líquido, utiliza-se a Equação 6, mostrada a seguir.

$$NWS(W) = \rho c S \sigma_{rad} \langle \overline{v^2} \rangle$$

Adota-se $\rho = 1,18 \text{ kg/m}^3$, $c = 340 \text{ m/s}$, sendo $\langle \overline{v^2} \rangle$ a velocidade média quadrática em espaço e tempo, obtida a partir dos resultados dos acelerômetros e S a área da superfície de radiação sonora. O compressor foi modelado como um cilindro de 9,5 cm de diâmetro, 20 cm de altura e área $S = 0,0739 \text{ m}^2$ e o separador de líquido também como um cilindro, de 6,5 cm de diâmetro, 17 cm de altura e área $S = 0,0489 \text{ m}^2$. O único fator ainda desconhecido para o cálculo dos NWS é a eficiência de radiação, que será determinada a seguir.

4.1.1.1. Determinação da eficiência de radiação (σ_{rad})

Primeiramente, considerou-se que todo o ruído gerado pelo conjunto Compressor/Condensador (Configuração 5) era proveniente do compressor e do separador de líquido, visto que o ruído do condensador era praticamente inaudível. Feito isso, partindo da Equação 7, transformou-se os valores de NWS de dB para watts (Equação 10).

$$NWS(W) = 10^{\frac{NWS(dB)}{10}} * 10^{-12} \quad 10$$

Esses valores foram igualados aos da Equação 6 e o σ_{rad} foi isolado.

$$\sigma_{rad} = \frac{10^{\frac{NWS(dB)}{10}} * 10^{-12}}{\rho c S \langle \overline{v^2} \rangle} \quad 11$$

Esse cálculo foi feito para as 4 rotações medidas do conjunto Compressor/Condensador e seus resultados podem ser observados na Figura 28.

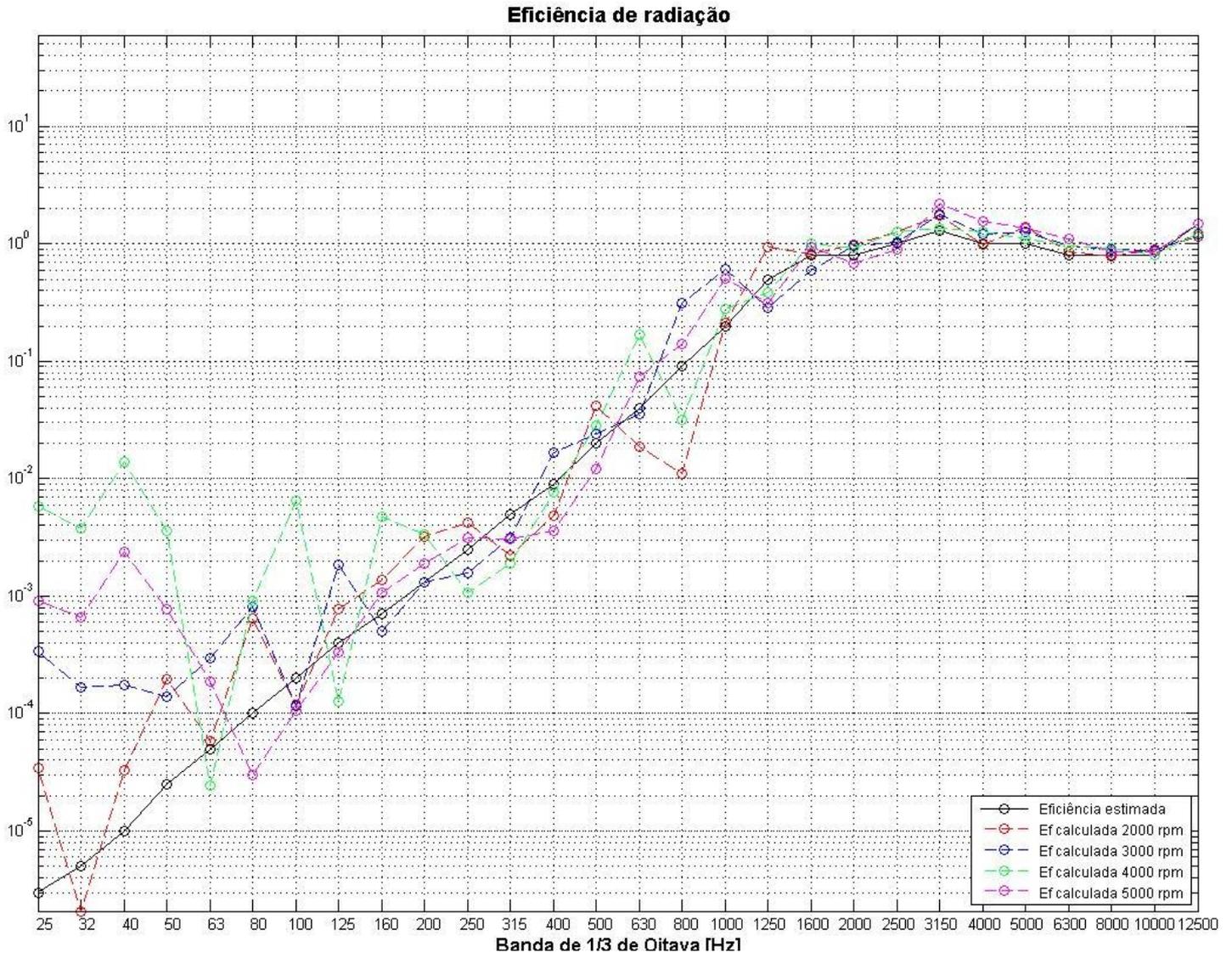


Figura 28 – Eficiências de radiação

É possível observar também na figura 28 valores para a eficiência estimada, que serão utilizados para os cálculos dos NWS do compressor e separador de líquido através da Equação 6.

4.1.2. Influência da carcaça

Para determinar a influência da carcaça no ruído do sistema, foi feita uma comparação entre o conjunto Compressor/Condensador (configuração 5) e o mesmo conjunto dentro da carcaça (configuração 4). A influência da carcaça foi obtida através da subtração entre os valores de NWS das configurações 4 e 5. Nesse caso não é necessário o uso da Equação 8, pois a carcaça não é uma fonte de ruído, e sim, funciona como uma clausura, atenuando ou amplificando o ruído de acordo com a banda de frequência. Os resultados para a influência da

carcaça podem ser observados nas figuras 29, 30, 31 e 32 para as rotações de 2000, 3000, 4000 e 5000 rpm (33,3; 50,0; 66,6 e 83,3 Hz), respectivamente

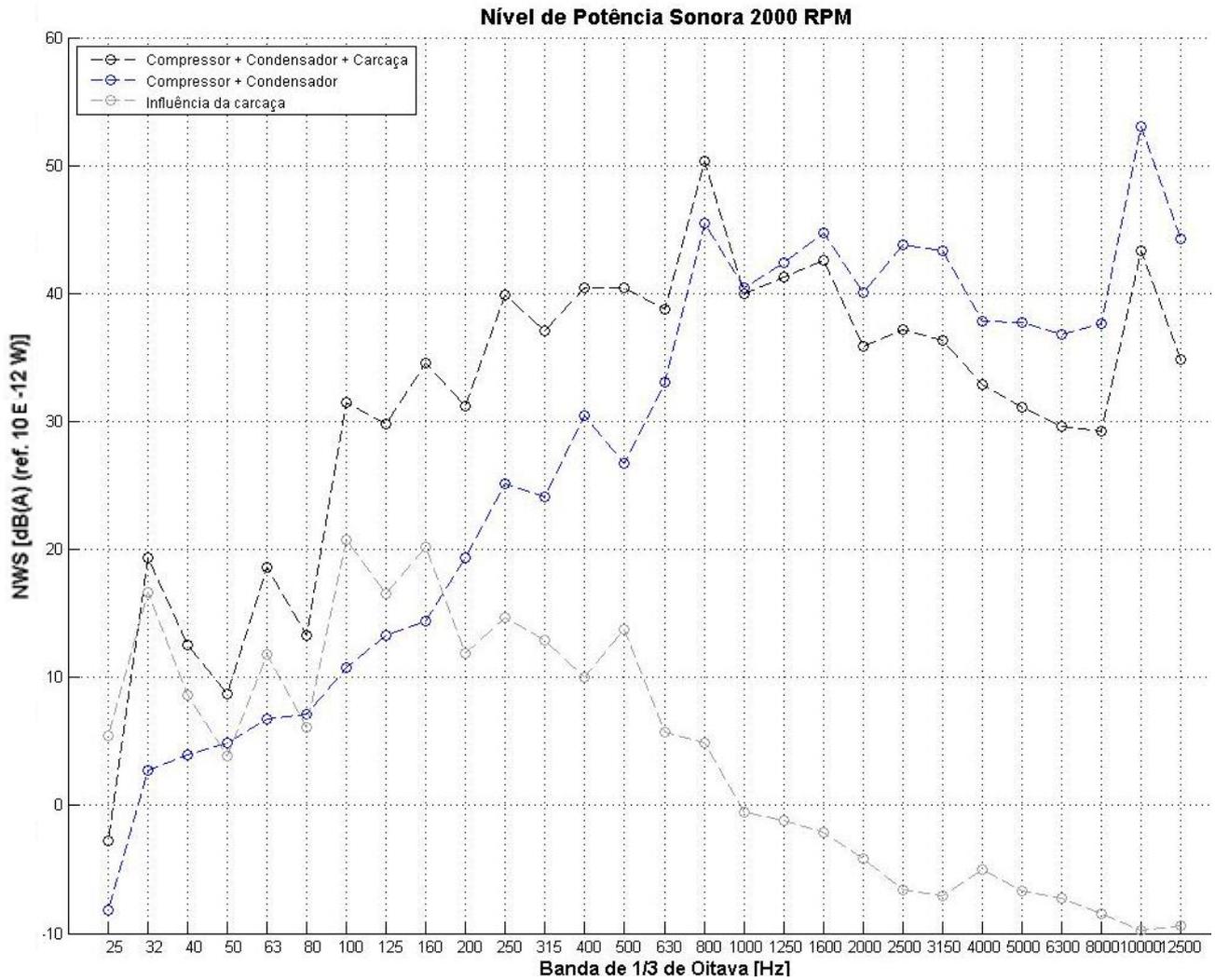


Figura 29 – Influência da carcaça 2000 rpm (33,3 Hz)

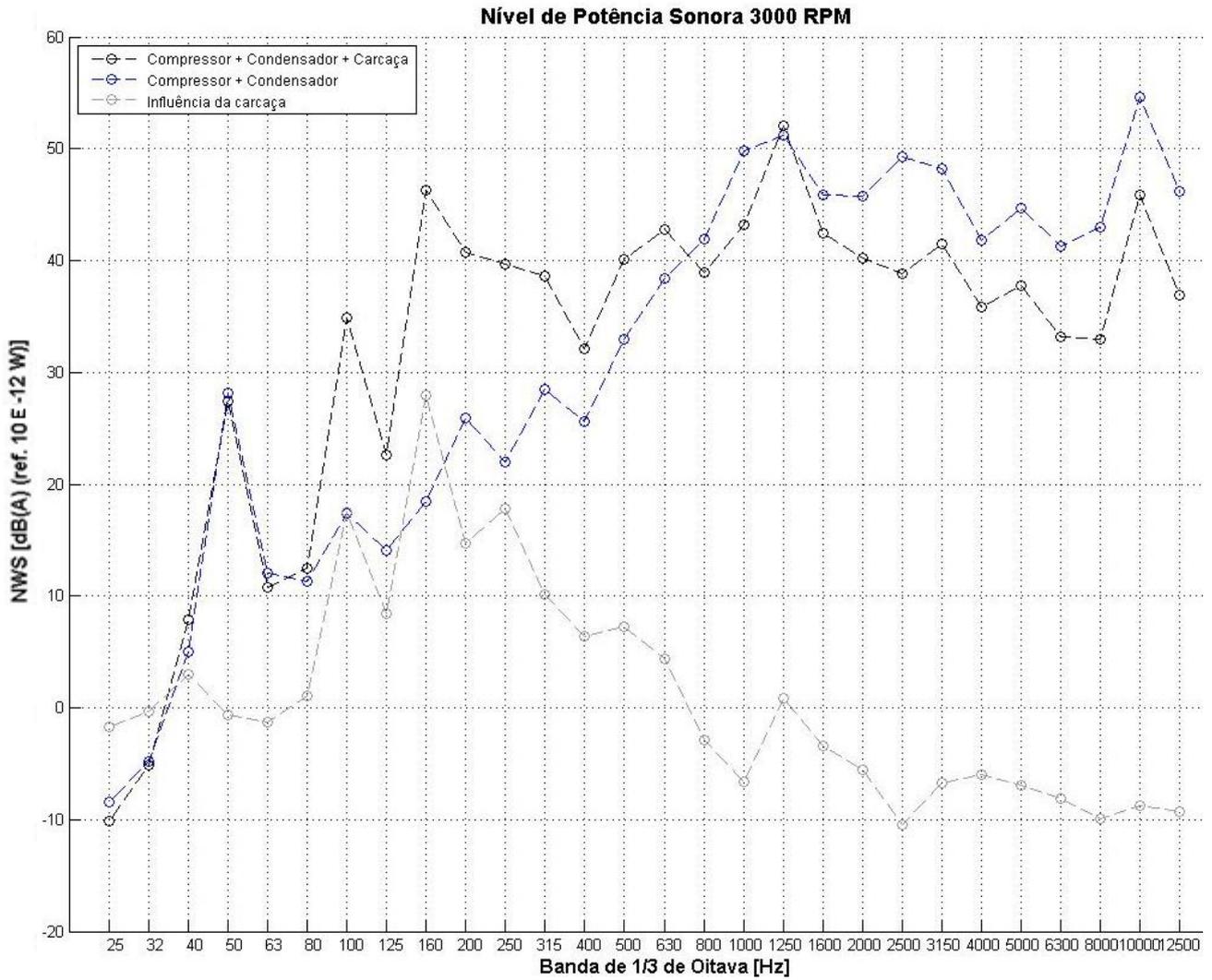


Figura 30 – Influência da carcaça 3000 rpm (50 Hz)

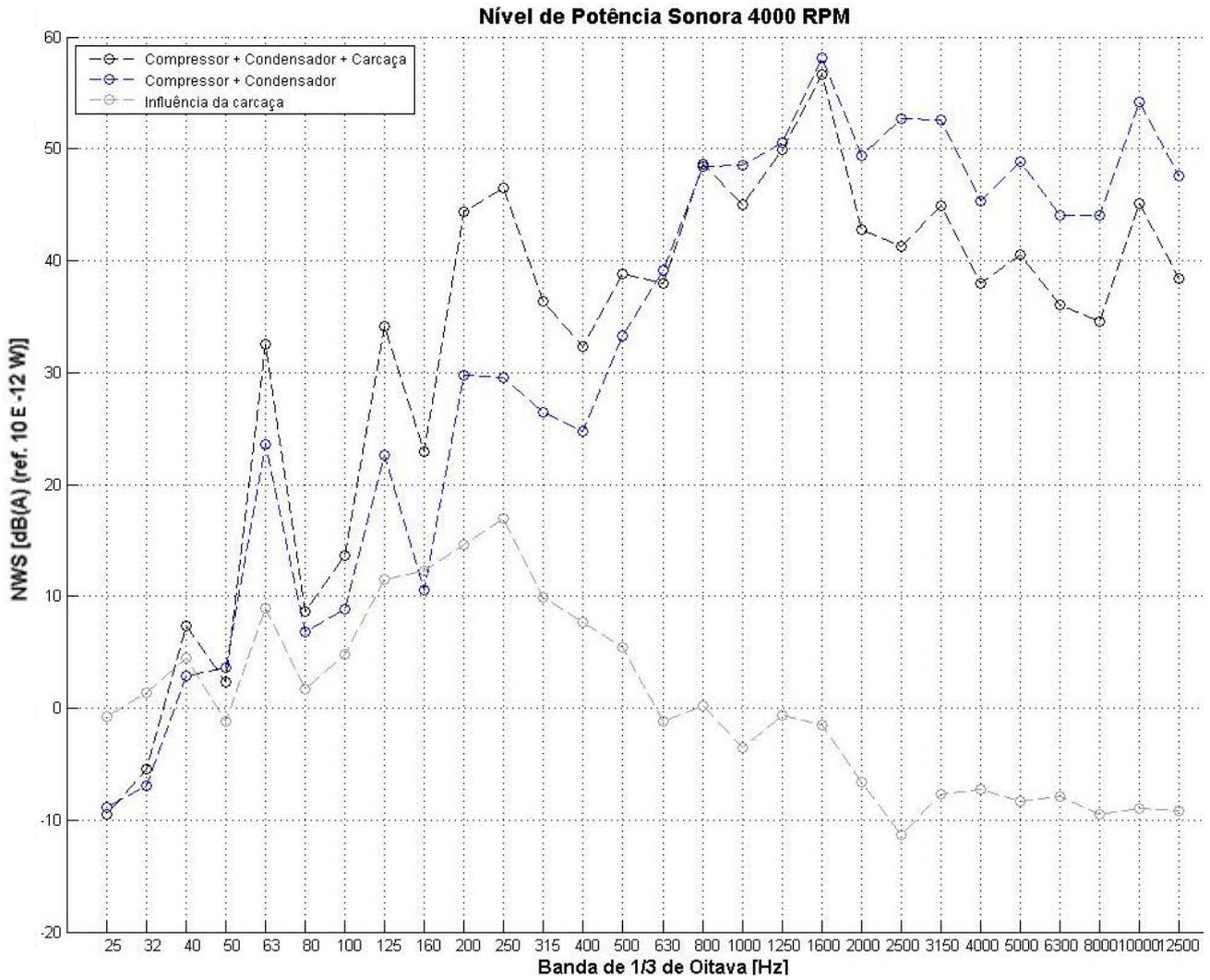


Figura 31 – Influência da carcaça 4000 rpm (66,6 Hz)

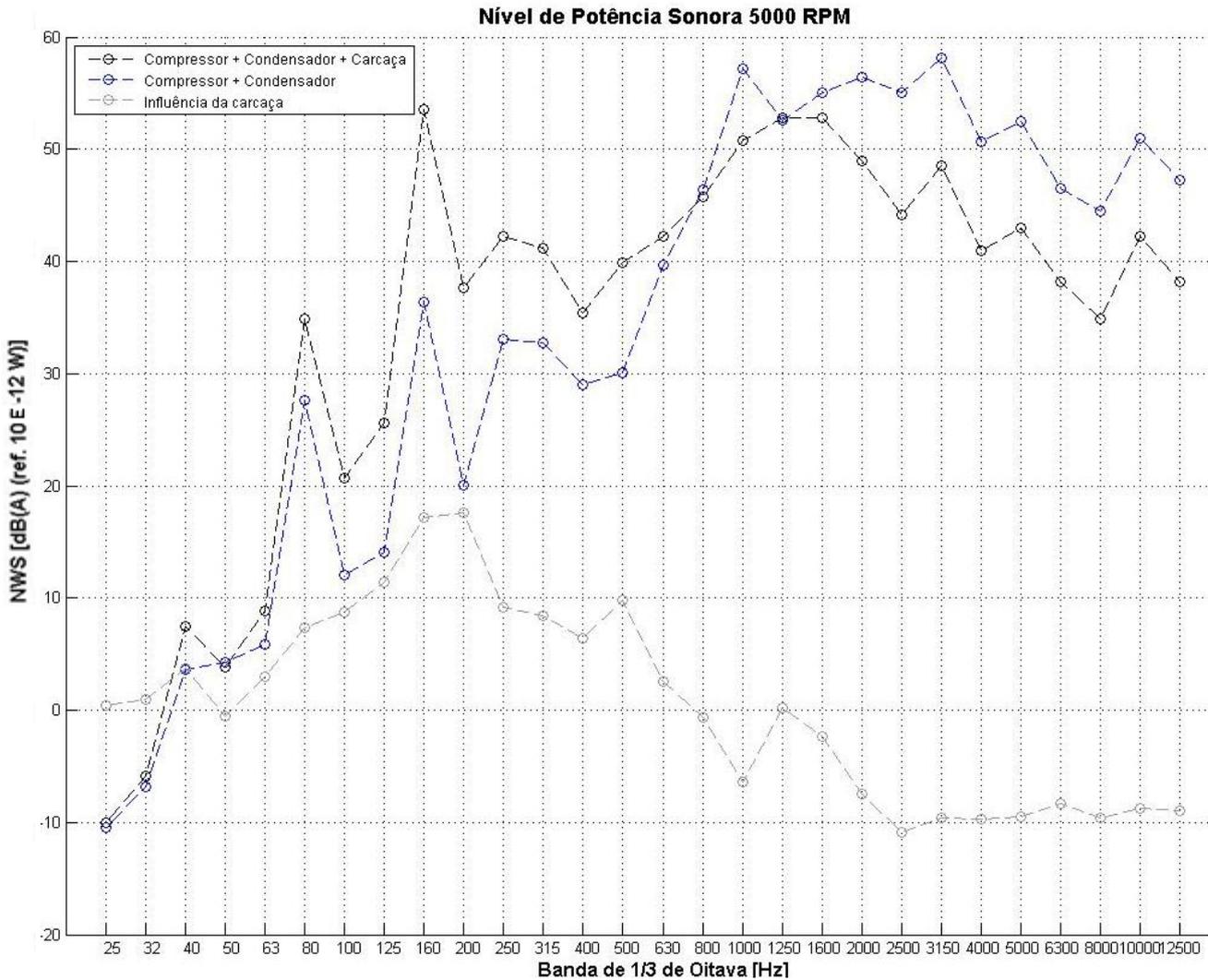


Figura 32 – Influência da carcaça 5000 rpm (83,3 Hz)

Analisando os resultados obtidos, observa-se que a carcaça funciona como amplificador para frequências abaixo de aproximadamente 800 Hz e como atenuador para frequências acima de 800 Hz.

4.1.3. Influência da manta

Para determinar a influência da manta no ruído do sistema, foi feita uma comparação entre o conjunto Compressor/Condensador/Carcaça/Manta (configuração 3) e o mesmo conjunto sem a manta (configuração 4). A influência da manta foi obtida através da subtração entre os valores de NWS das configurações 3 e 4. Nesse caso, novamente não é necessário o uso da Equação 8, pois a manta, assim como a carcaça, não é uma fonte de ruído, e também atenua ou amplifica o ruído de acordo com a banda de frequência. Os resultados para a influência da manta podem ser observados nas figuras 33, 34, 35 e 36, para as quatro rotações de interesse.

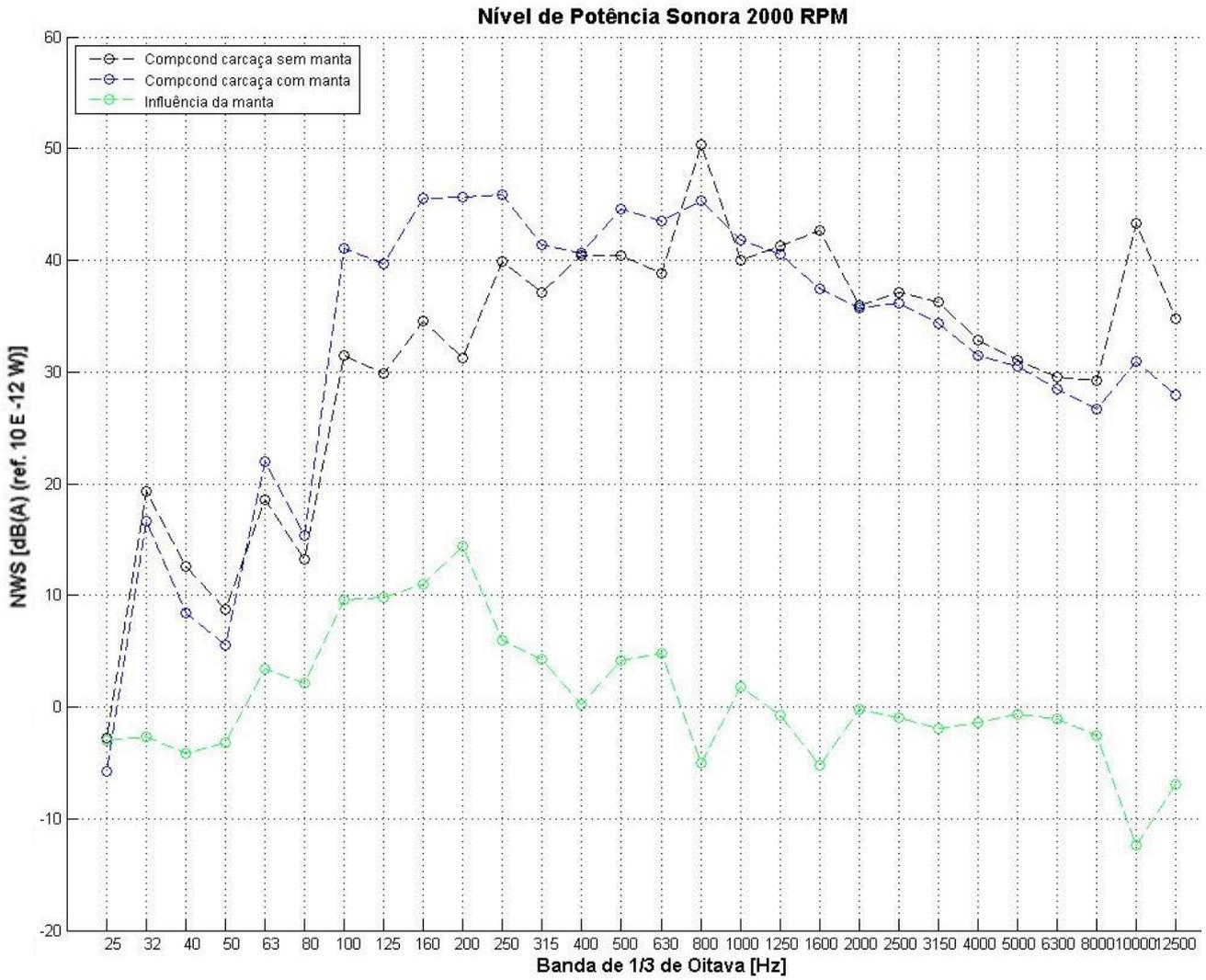


Figura 33 – Influência da manta 2000 rpm (33,3 Hz)

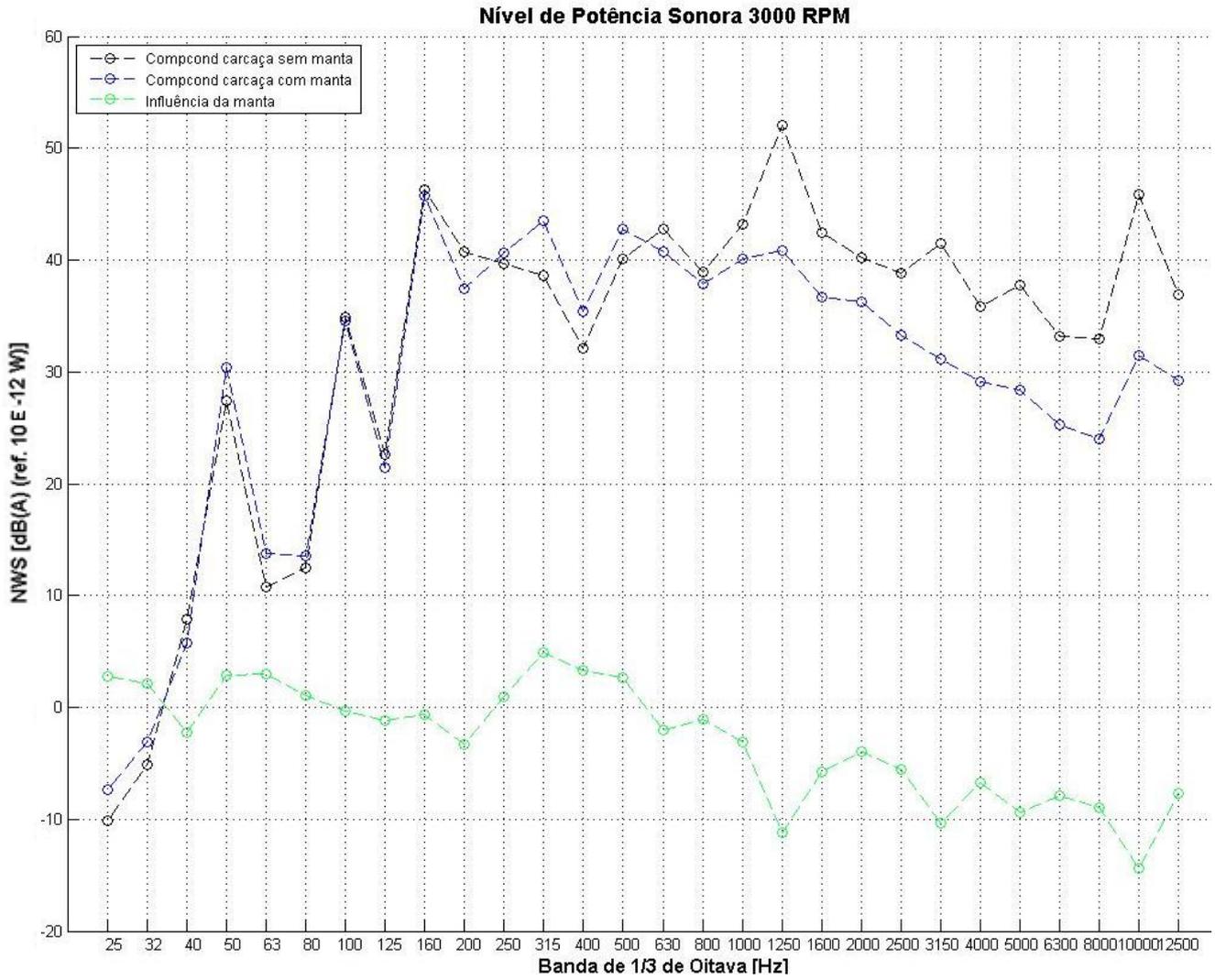


Figura 34 – Influência da manta 3000 rpm (50 Hz)

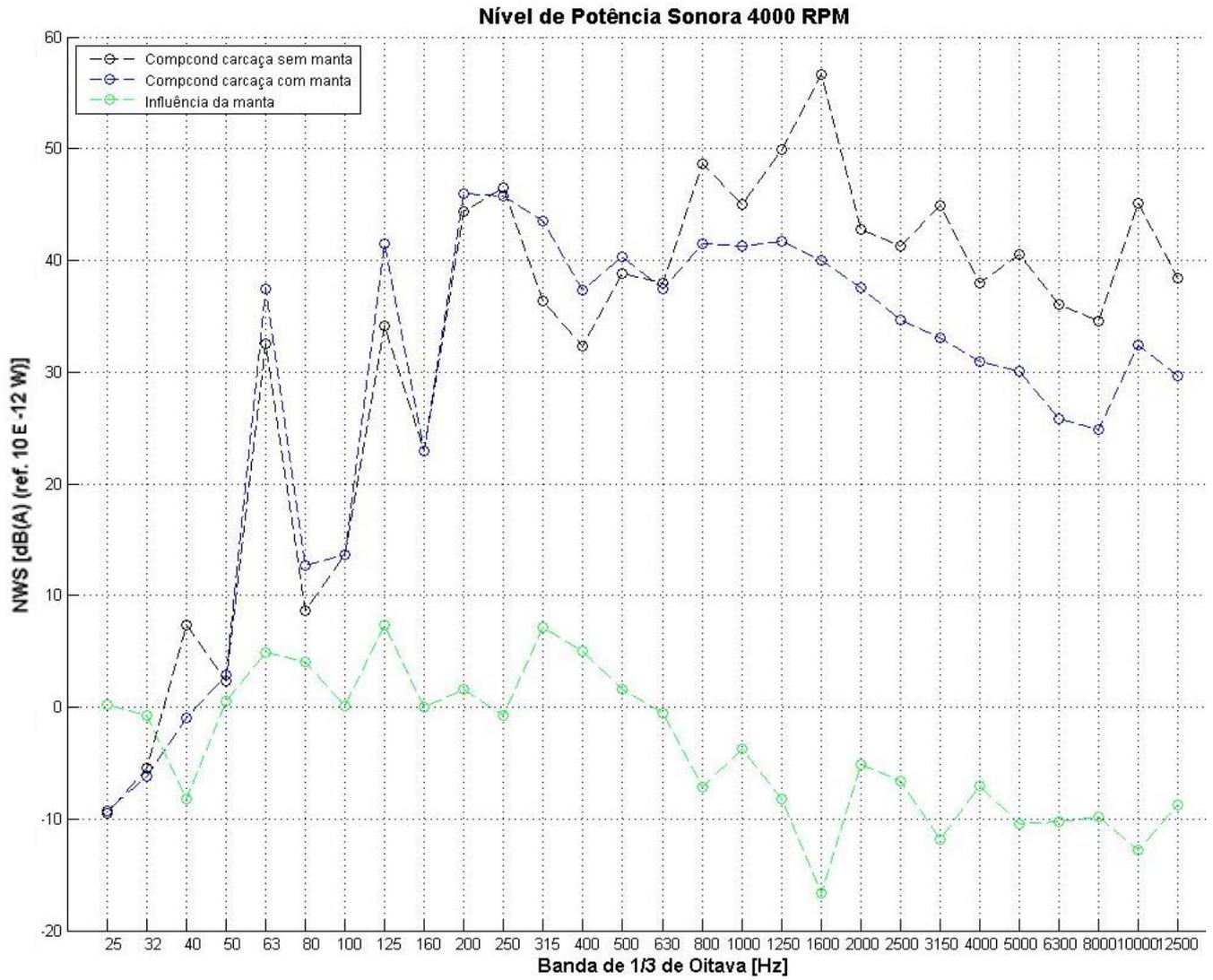


Figura 35 – Influência da manta 4000 rpm (66,6 Hz)

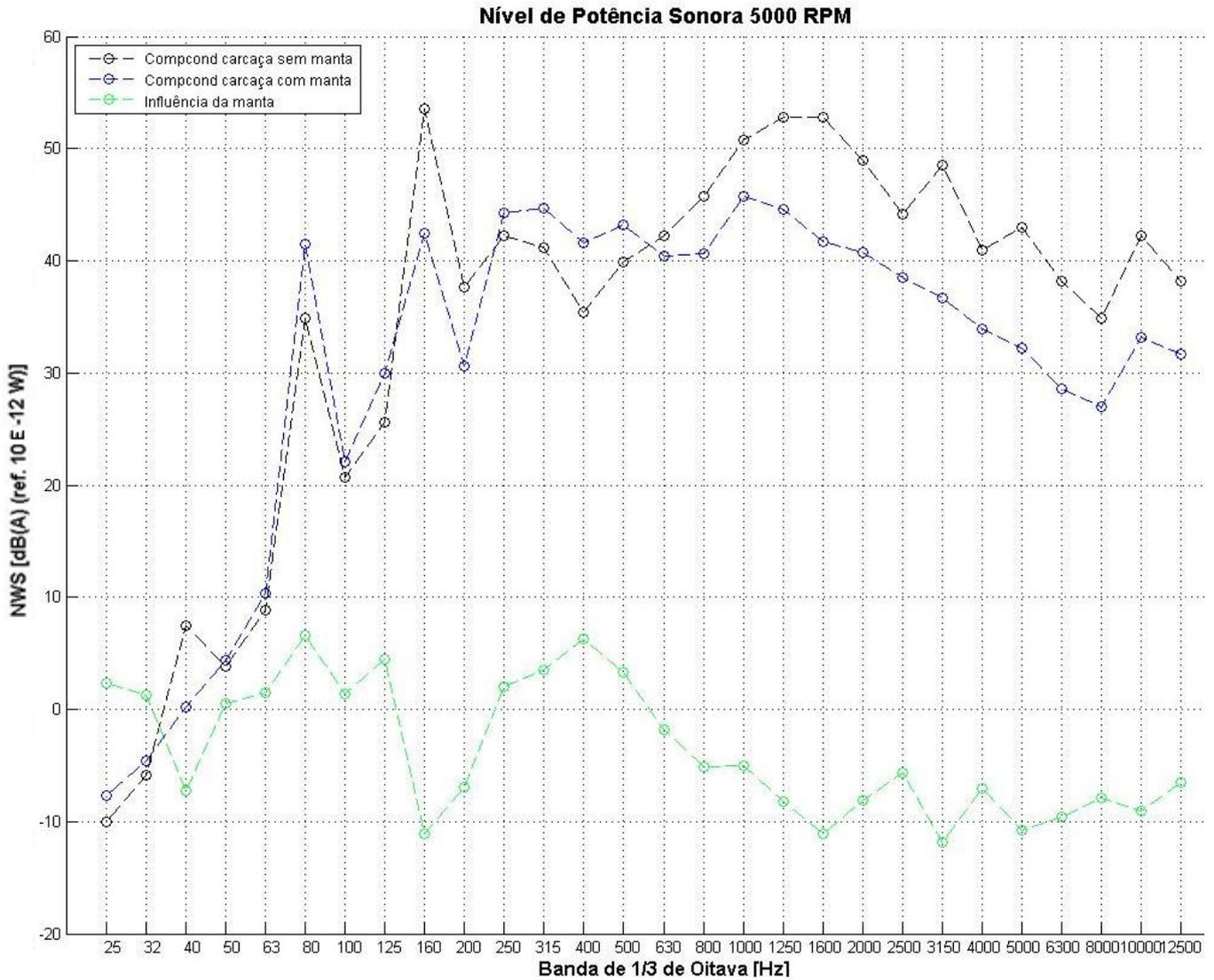


Figura 36 – Influência da manta 5000 rpm (83,3 Hz)

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que a manta funciona como amplificador para frequências abaixo de aproximadamente 630 Hz e como atenuador para frequências acima de 630 Hz.

A influência da manta poderia ser calculada através da subtração entre as configurações 1 (completo com manta) e 2 (completo sem manta), porém nestas configurações o ventilador fica ligado, e como ele não é influenciado pela manta, poderia distorcer os resultados.

4.2. Análise dos resultados

4.2.1. Conjunto Compressor/Condensador

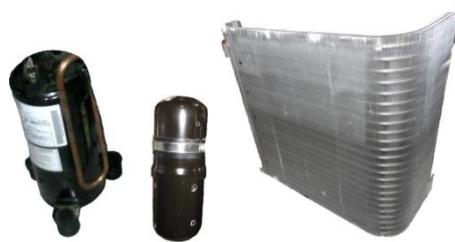


Figura 37 – Conjunto Compressor/Condensador e seus componentes

Nas Figuras 38, 39, 40 e 41, pode-se observar os resultados obtidos para o conjunto Compressor/Condensador, medido na configuração 5 (CompCond), e o mesmo conjunto composto pelo compressor, separador de líquido e condensador, ou seja, a soma das configurações 6, 7 e 8 (Comp+Sep+Cond), feita utilizando-se a Equação 8.

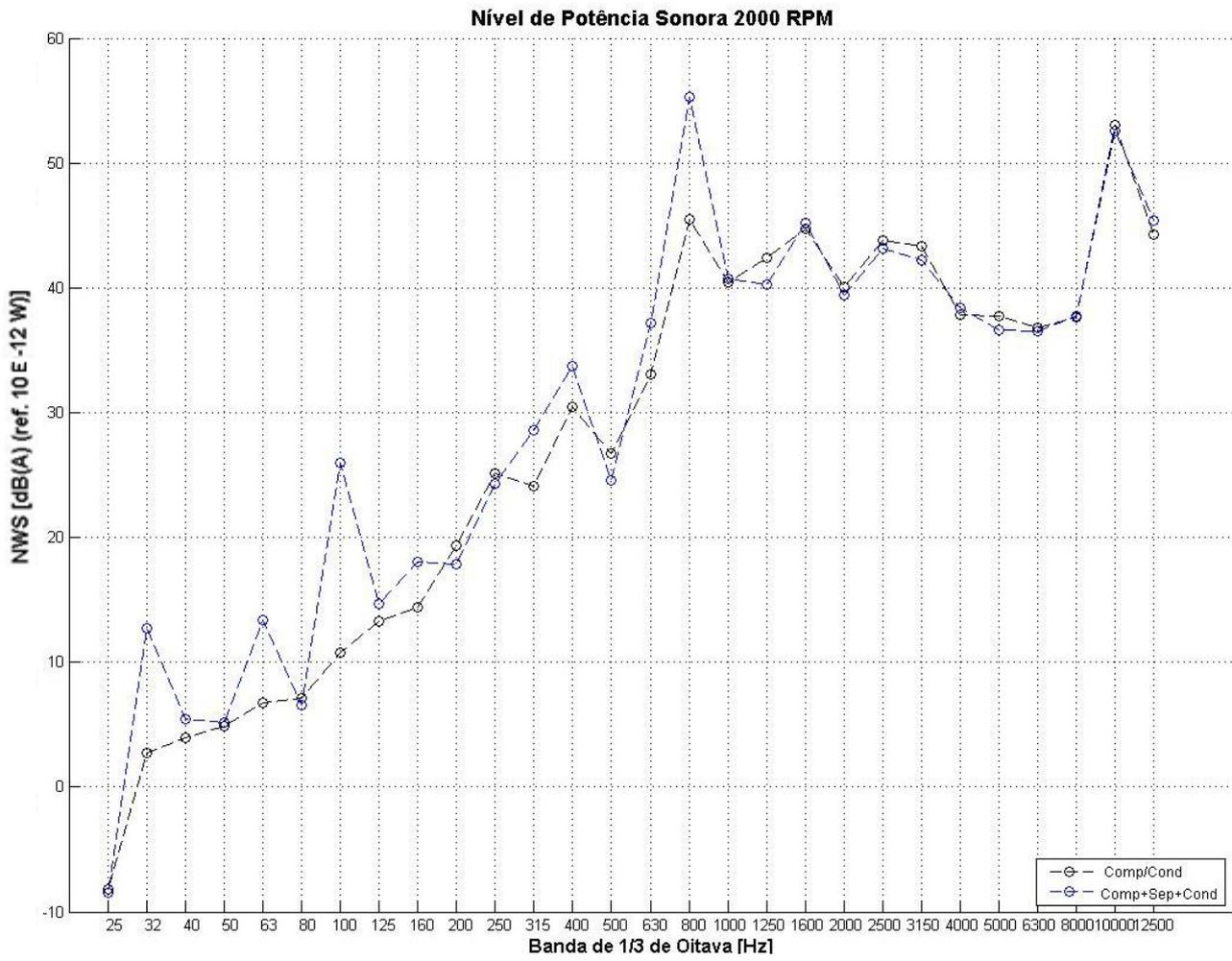


Figura 38 – NWS Compressor/Condensador 2000 rpm (33,3 Hz)

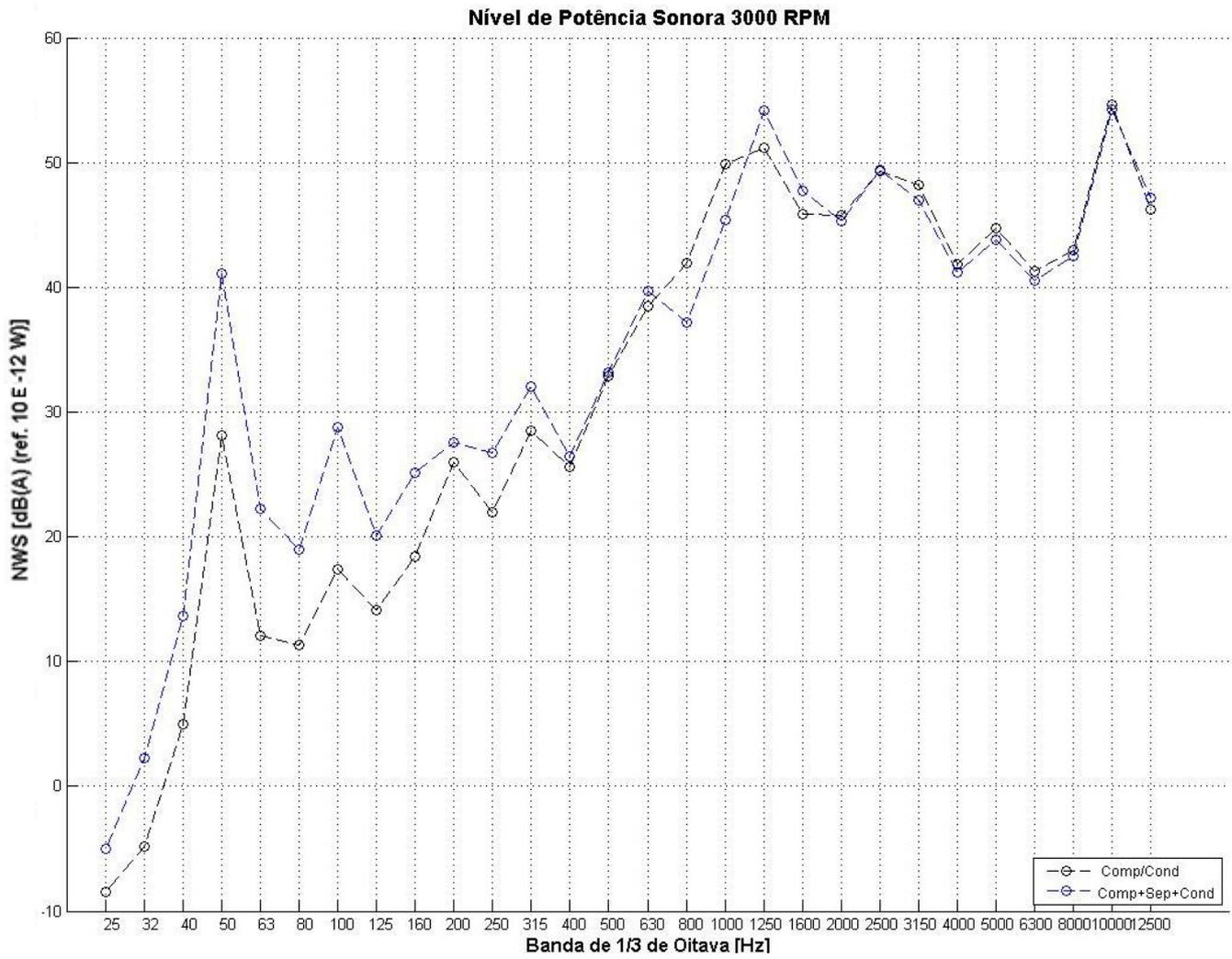


Figura 39 – NWS Compressor/Condensador 3000 rpm (50 Hz)

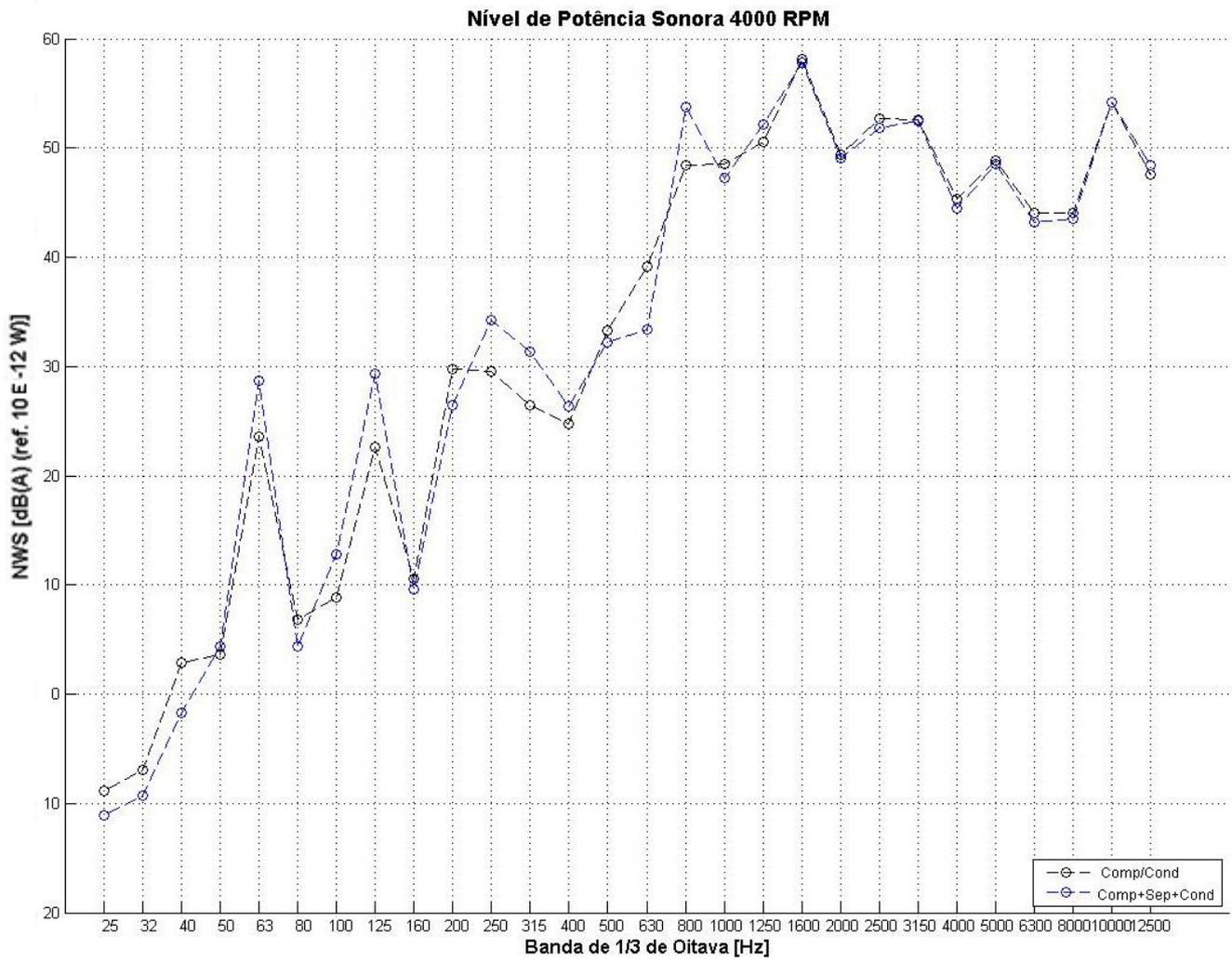


Figura 40 – NWS Compressor/Condensador 4000 rpm (66,6 Hz)

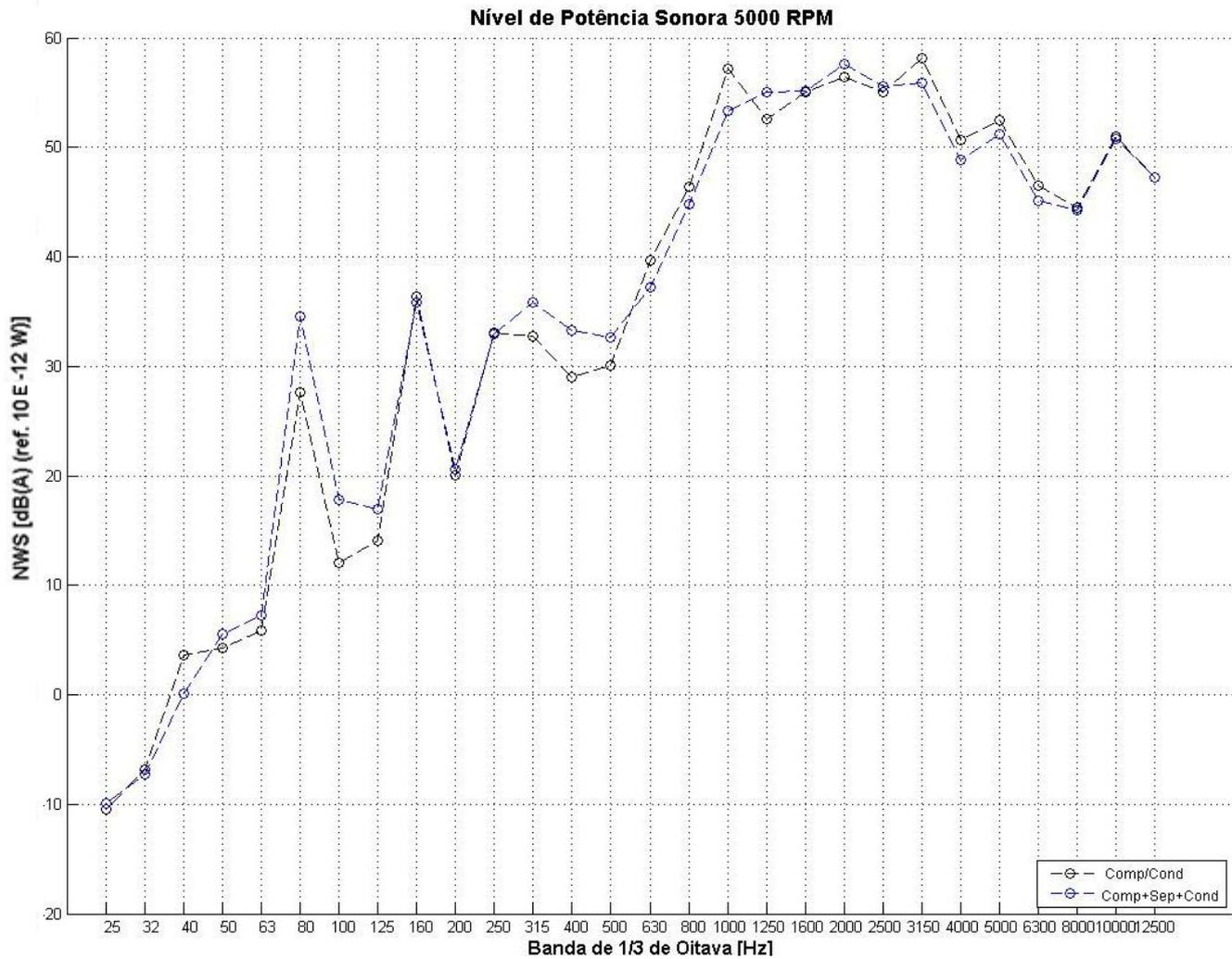


Figura 41 – NWS Compressor/Condensador 5000 rpm (83,3 Hz)

Em todas as rotações, os valores de NWS do conjunto Comp/Cond ficaram bem próximos aos do conjunto Comp+Sep+Cond, exceto para frequências abaixo de 200 Hz a 3000 rpm (50 Hz), e algumas bandas de frequência a 2000 rpm (33,3 Hz). Sendo assim, é possível substituir a configuração 5 pela soma das configurações 6, 7 e 8 (utilizando a Equação 8).

4.2.2. Conjunto Compressor/Condensador/Carcaça



Figura 42 – Conjunto Compressor/Condensador/Carcaça e seus componentes

Nas Figuras 43, 44, 45 e 46, pode-se observar os resultados obtidos para o conjunto Compressor/Condensador/Carcaça, medido na configuração 4 (Comp/Cond/Carc), e o mesmo conjunto composto pelo compressor, separador de líquido, condensador e carcaça (Comp+Sep+Cond+Carc), ou seja, a soma das configurações 6, 7 e 8 utilizando a Equação 8 somada à influência da carcaça obtida na seção 4.1.2.

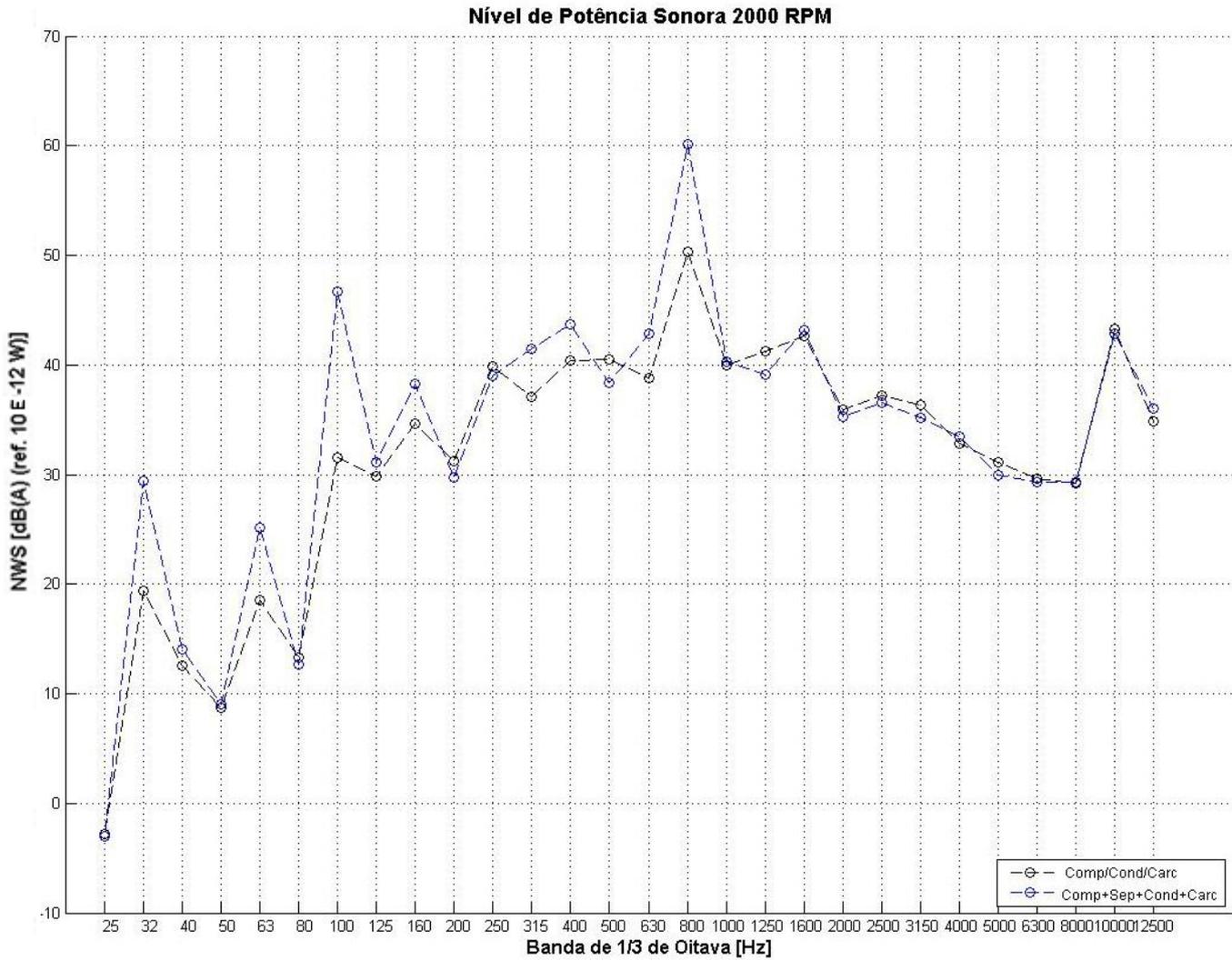


Figura 43 – NWS Compressor/Condensador/Carça 2000 rpm (33,3 Hz)

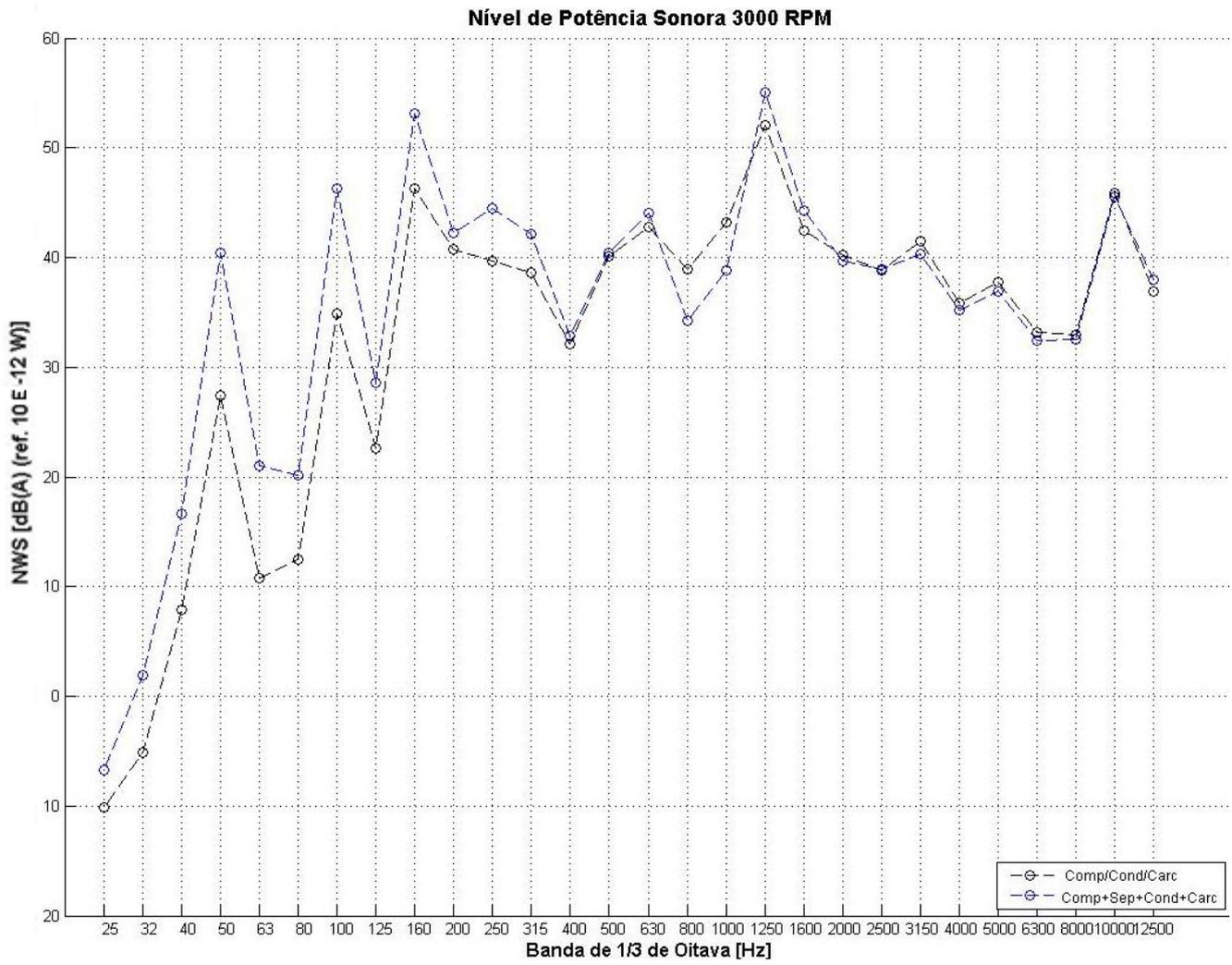


Figura 44 – NWS Compressor/Condensador/Carcaça 3000 rpm (50 Hz)

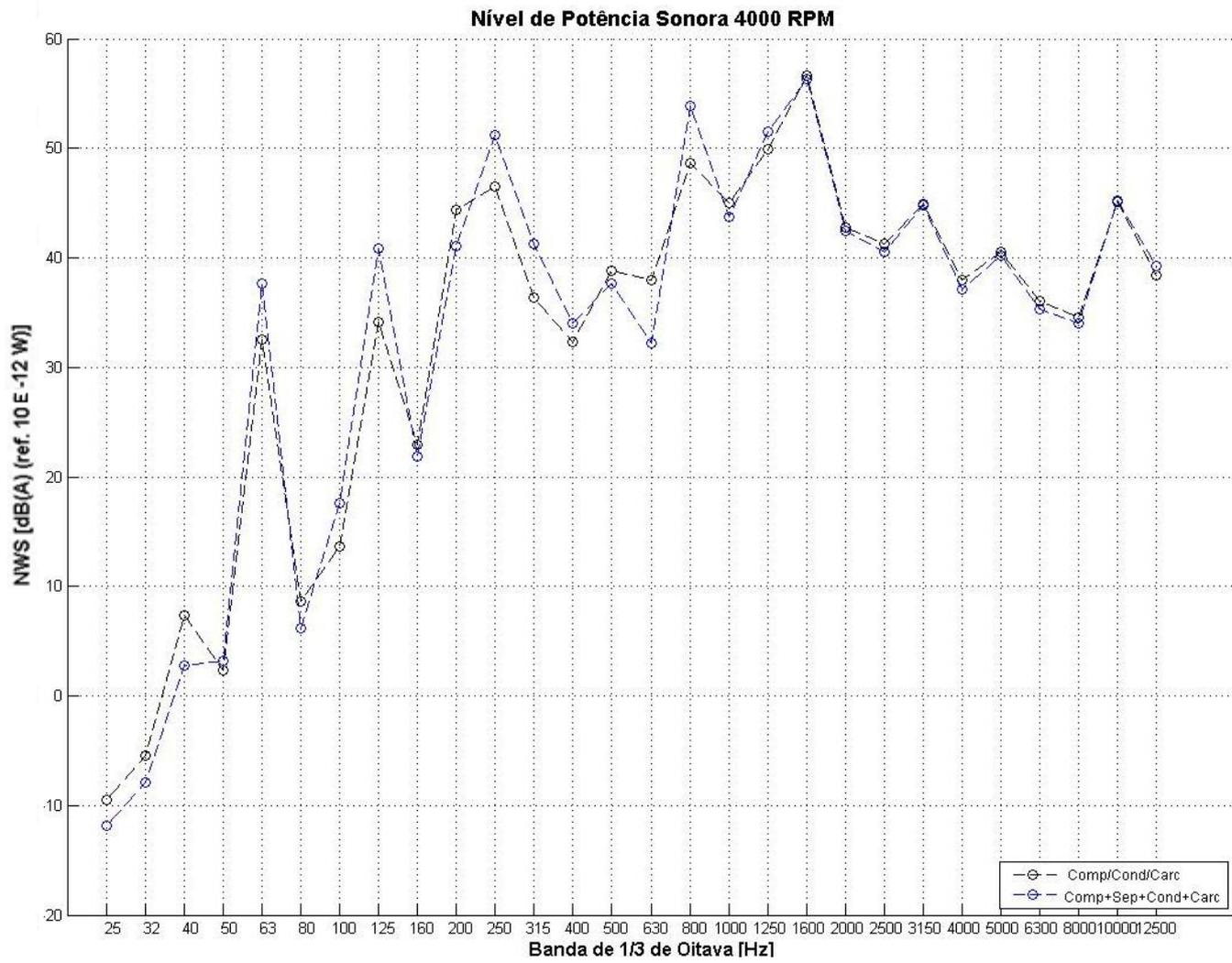


Figura 45 – NWS Compressor/Condensador/Carça 4000 rpm (66,6 Hz)

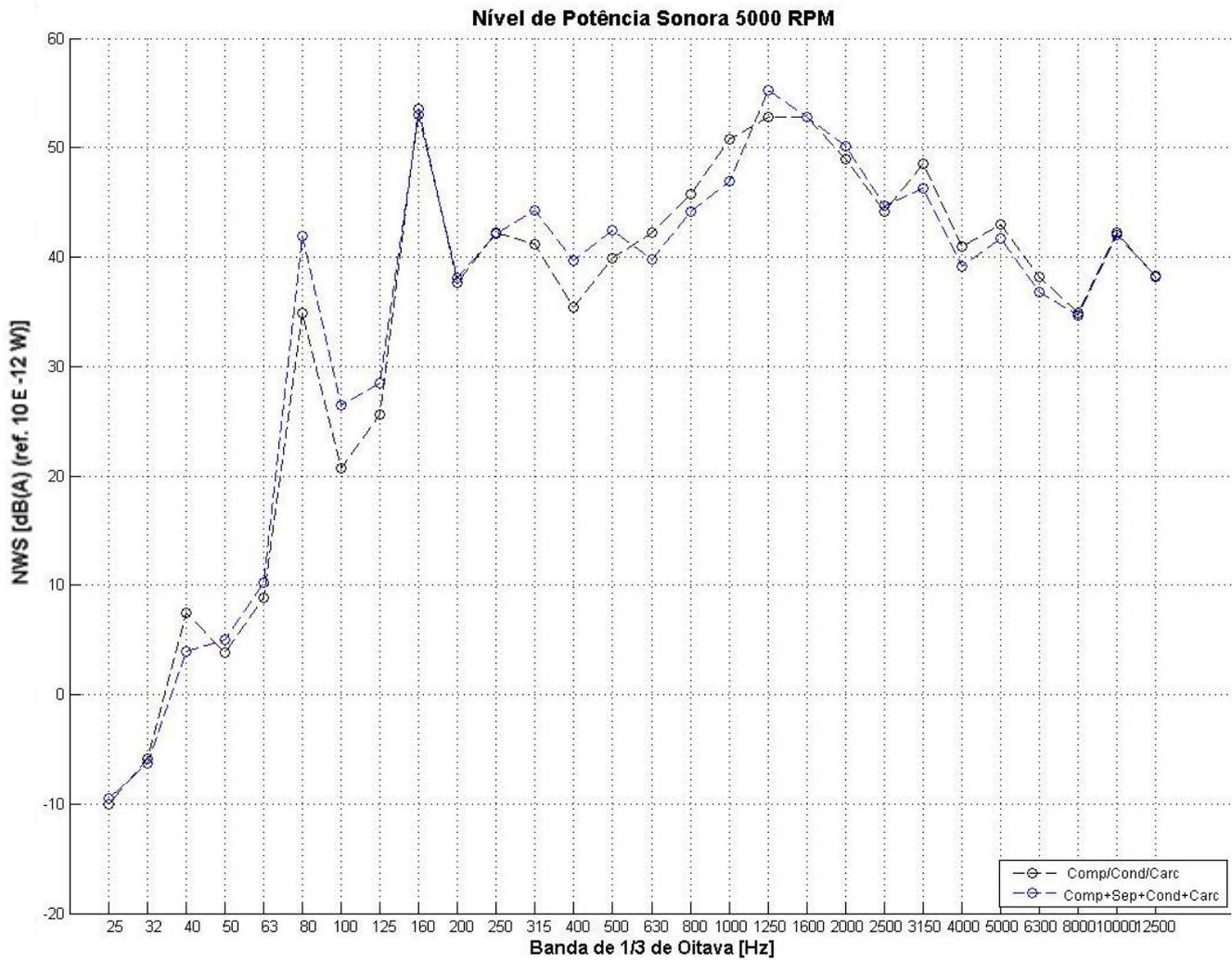


Figura 46 – NWS Compressor/Condensador/Carça 5000 rpm (83,3 Hz)

É possível observar que os valores de NWS do conjunto Comp/Cond/Carc ficaram bem próximos aos do conjunto composto pelo compressor, separador de líquido, condensador e carça, exceto para frequências abaixo de 200 Hz a 3000 rpm (50 Hz), e algumas bandas de frequência a 2000 rpm (33,3 Hz). Sendo assim, é possível substituir a configuração 4 pela soma das configurações 6, 7 e 8 (utilizando a Equação 8) com influência da carça.

4.2.3. Conjunto Compressor/Condensador/Carcaça/Manta

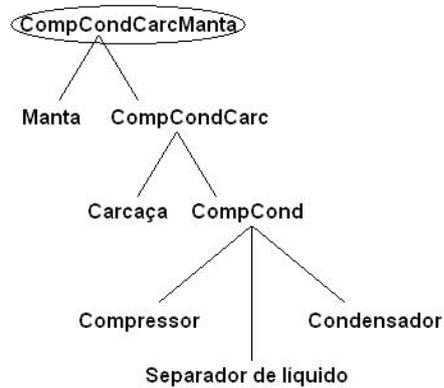


Figura 47 – Conjunto Compressor/Condensador/Carcaça/Manta e seus componentes

Nas Figuras 48, 49, 50 e 51, pode-se observar os resultados obtidos para o conjunto Compressor/Condensador/Carcaça/Manta, medido na configuração 3 (Comp/Cond/Carc/Manta), e o mesmo conjunto composto pelo compressor, separador de líquido, condensador, carcaça e manta (Comp+Sep+Cond+Carc+Manta), ou seja, a soma das configurações 6, 7 e 8 utilizando a Equação 8 somada às influências da carcaça e da manta obtidas nas seções 4.1.2 e 4.1.3.

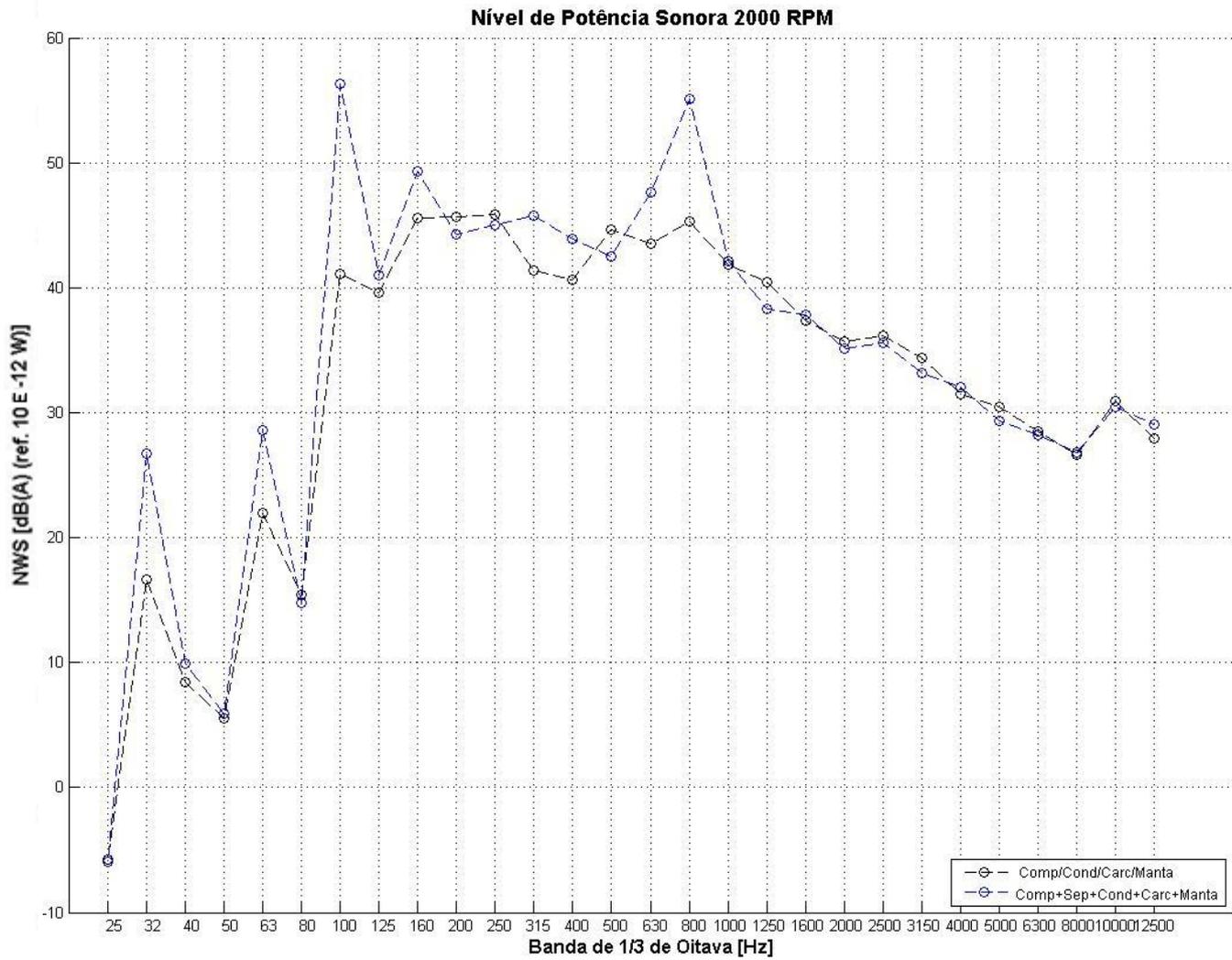


Figura 48 – NWS Compressor/Condensador/Carça/Manta 2000 rpm (33,3 Hz)

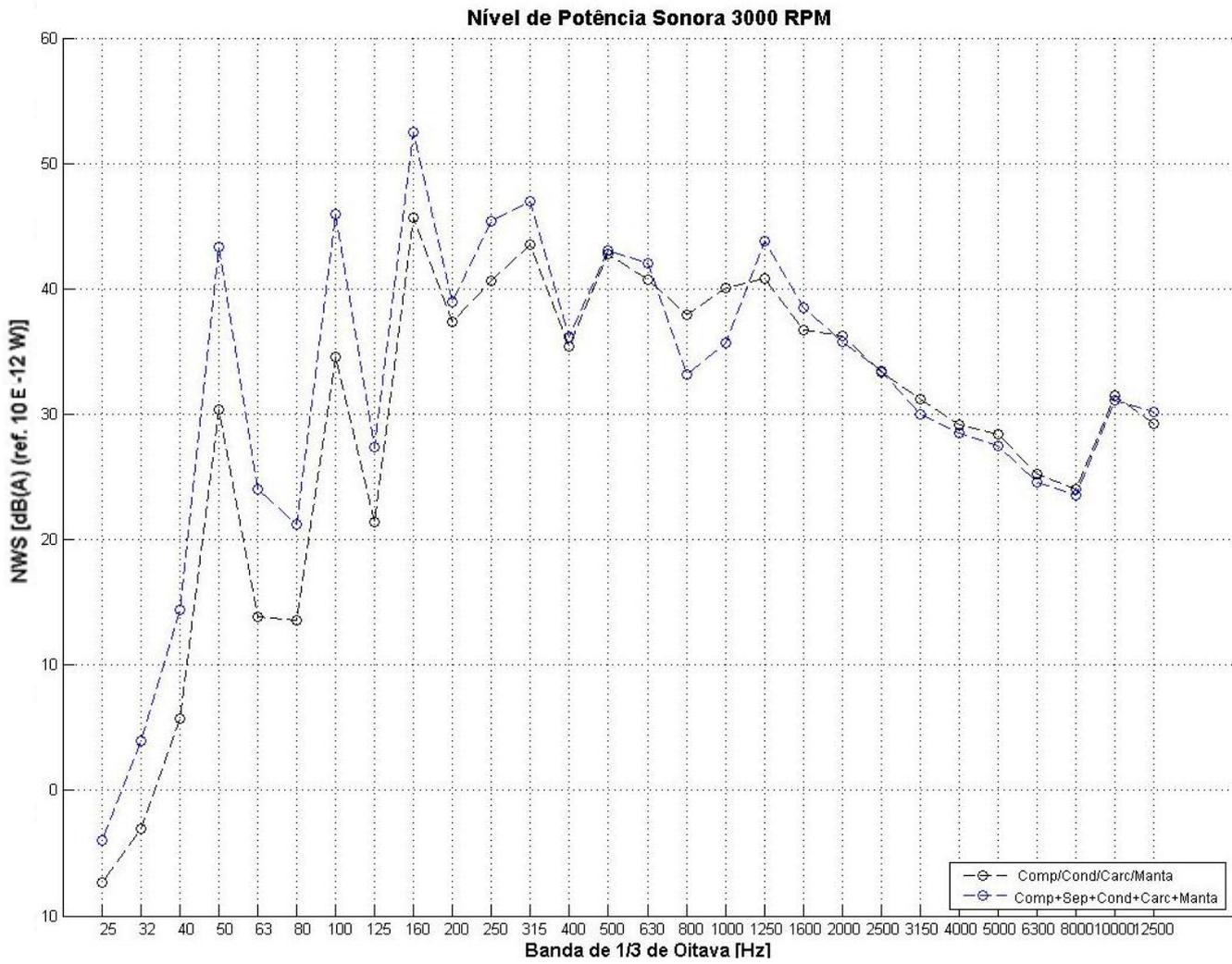


Figura 49 – NWS Compressor/Condensador/Carcaça/Manta 3000 rpm (50 Hz)

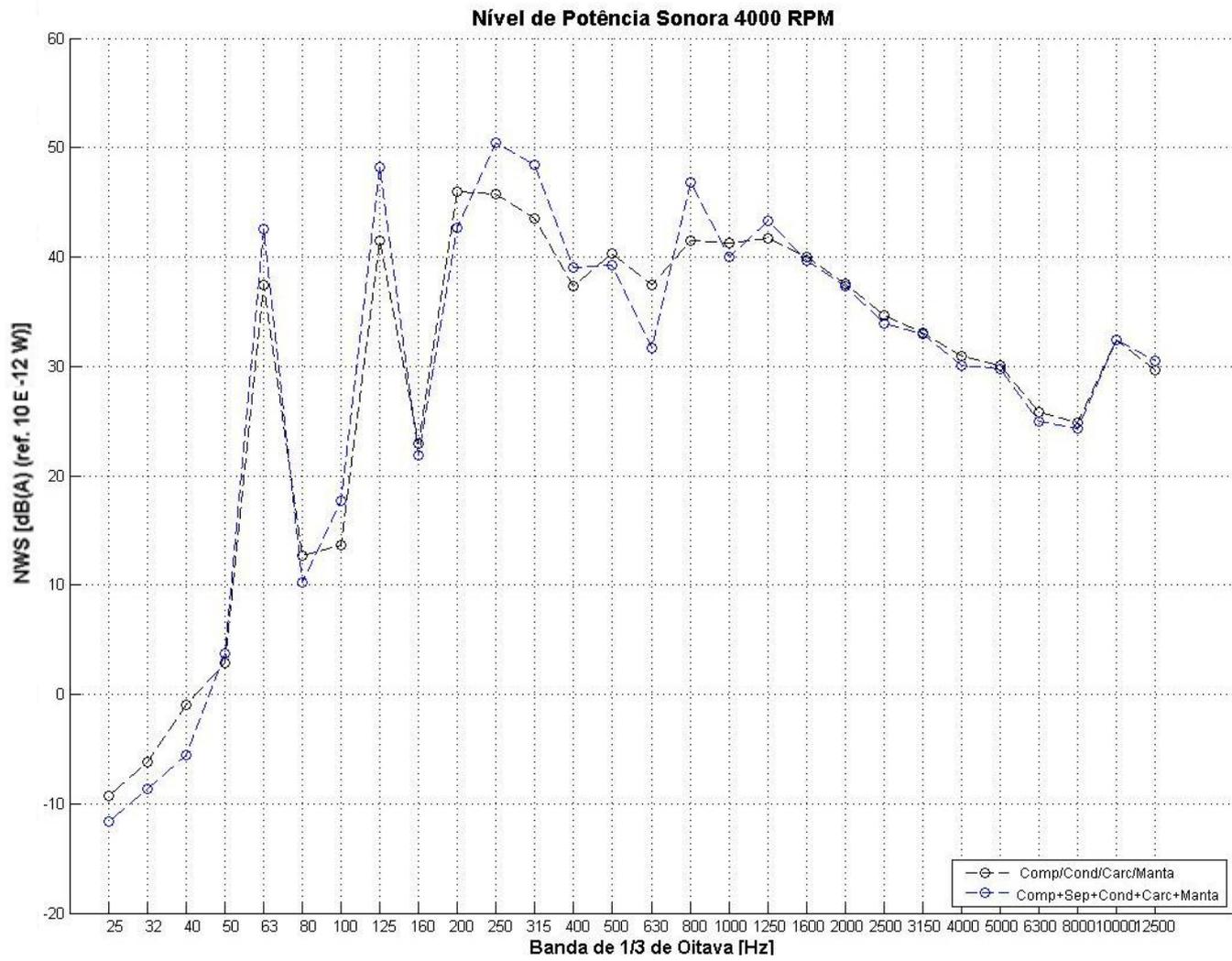


Figura 50 – NWS Compressor/Condensador/Carça/Manta 4000 rpm (66,6 Hz)

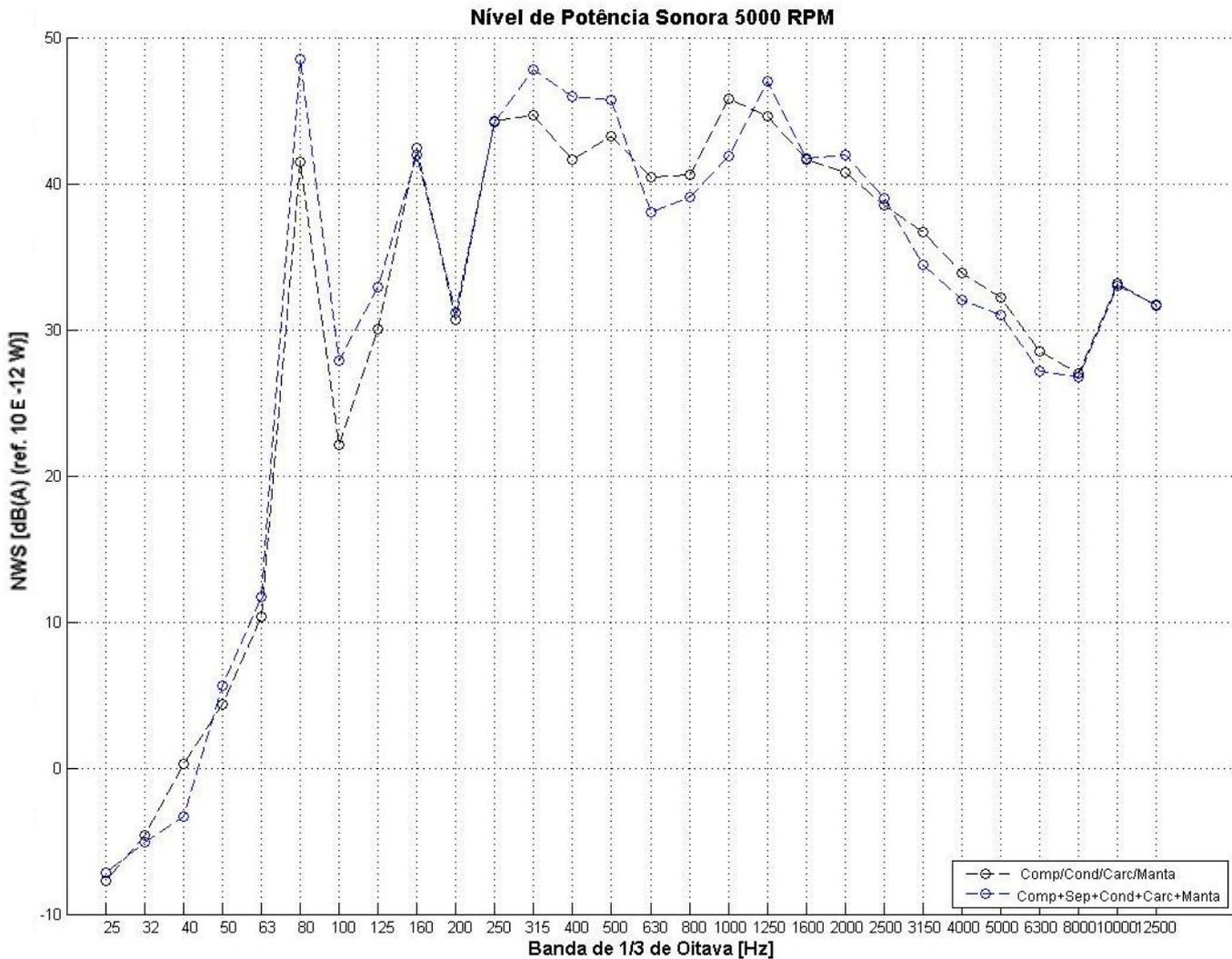


Figura 51 – NWS Compressor/Condensador/Carça/Manta 5000 rpm (83,3 Hz)

É possível observar que os valores de NWS do conjunto Comp/Cond/Carc/Manta ficaram bem próximos aos do conjunto composto pelo compressor, separador de líquido, condensador, carça e manta, exceto para frequências abaixo de 200 Hz a 3000 rpm (50 Hz), e algumas bandas de frequência a 2000 rpm (33,3 Hz). Sendo assim, é possível substituir a configuração 3 pela soma das configurações 6, 7 e 8 (utilizando a Equação 8) com influência da carça e manta.

4.2.4. Sistema Completo



Figura 52 – Sistema Completo e seus componentes

Como o ventilador (configuração 9) foi medido dentro da carcaça, para obter o ruído do ventilador isolado, a influência da carcaça (seção 4.1.2) foi subtraída da configuração 9 medida. O resultado dessa subtração será chamado de configuração 10.

Nas figuras 53, 54 e 55, pode-se observar os resultados obtidos para o sistema completo, medido na configuração 1, e o mesmo conjunto composto pelo compressor, separador de líquido, condensador, ventilador, carcaça e manta (Comp+Sep+Cond+Carc+Manta+Vent), ou seja, a soma das configurações 6, 7, 8 e 10 utilizando a Equação 8 somada às influências da carcaça e da manta obtidas nas seções 4.1.2 e 4.1.3. As rotações indicadas nos títulos dos gráficos correspondem às rotações do compressor e ventilador respectivamente.

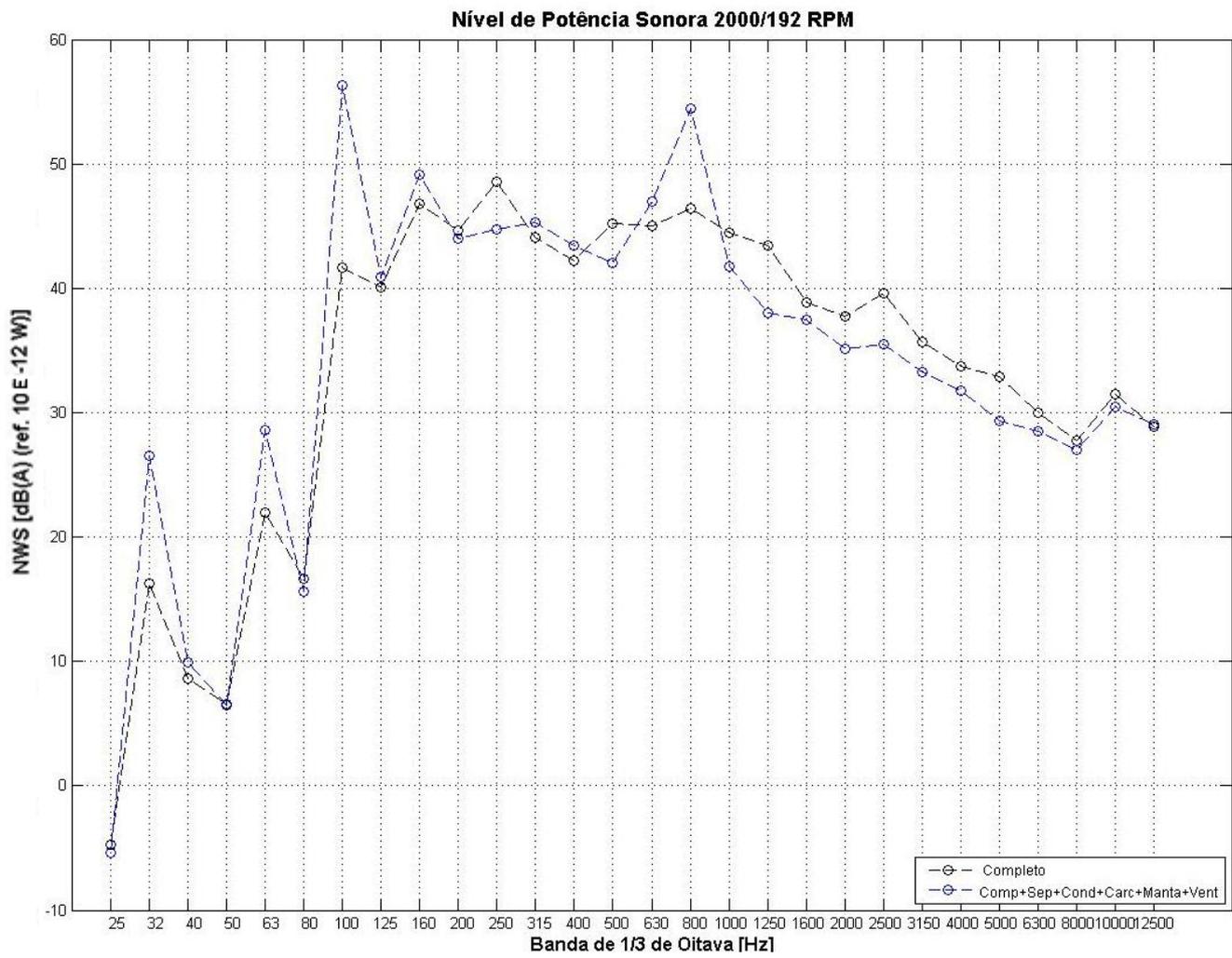


Figura 53 – Sistema completo 2000/192 rpm (33,3/3,2 Hz)

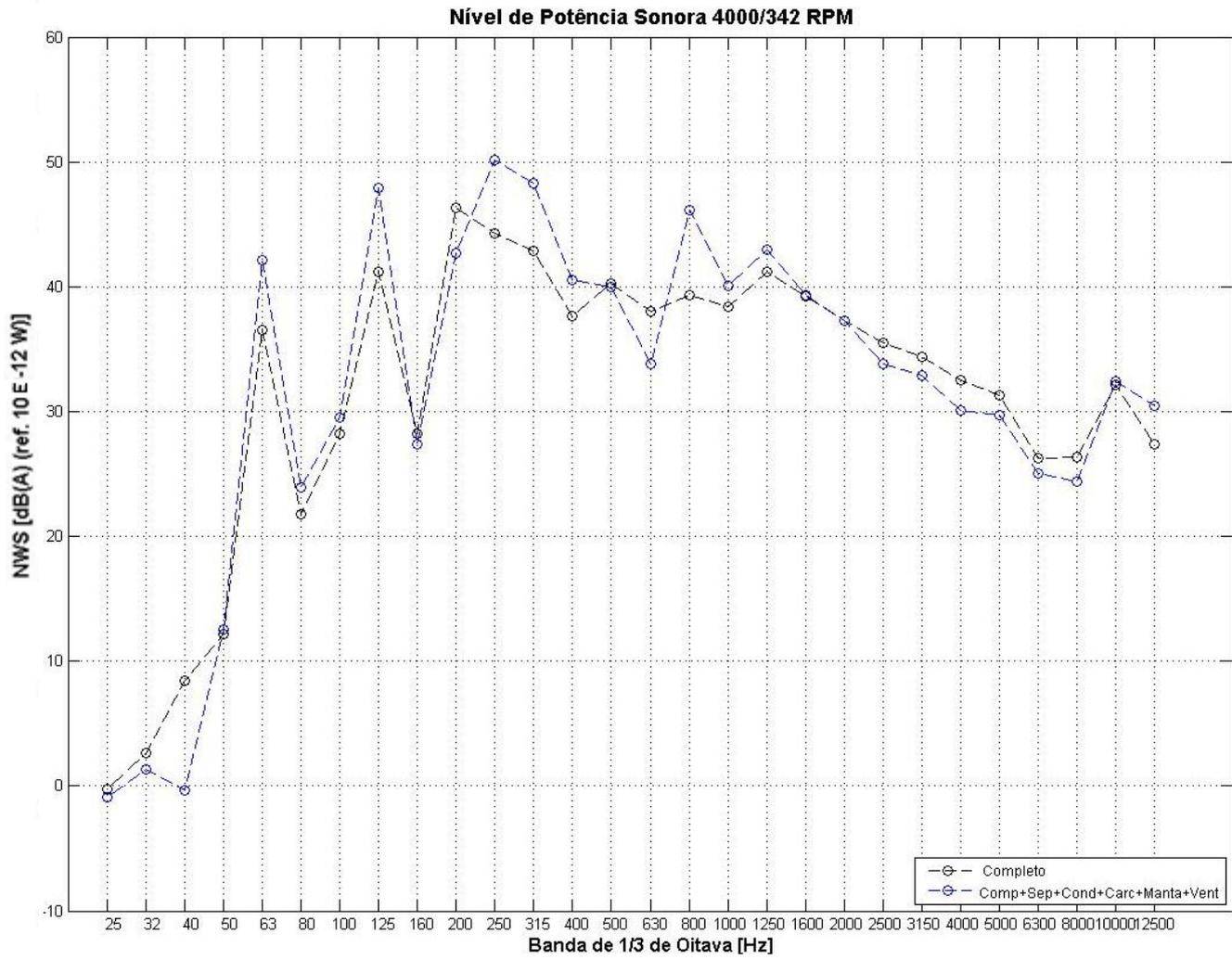


Figura 54 – Sistema completo 4000/342 rpm (66,6/5,7 Hz)

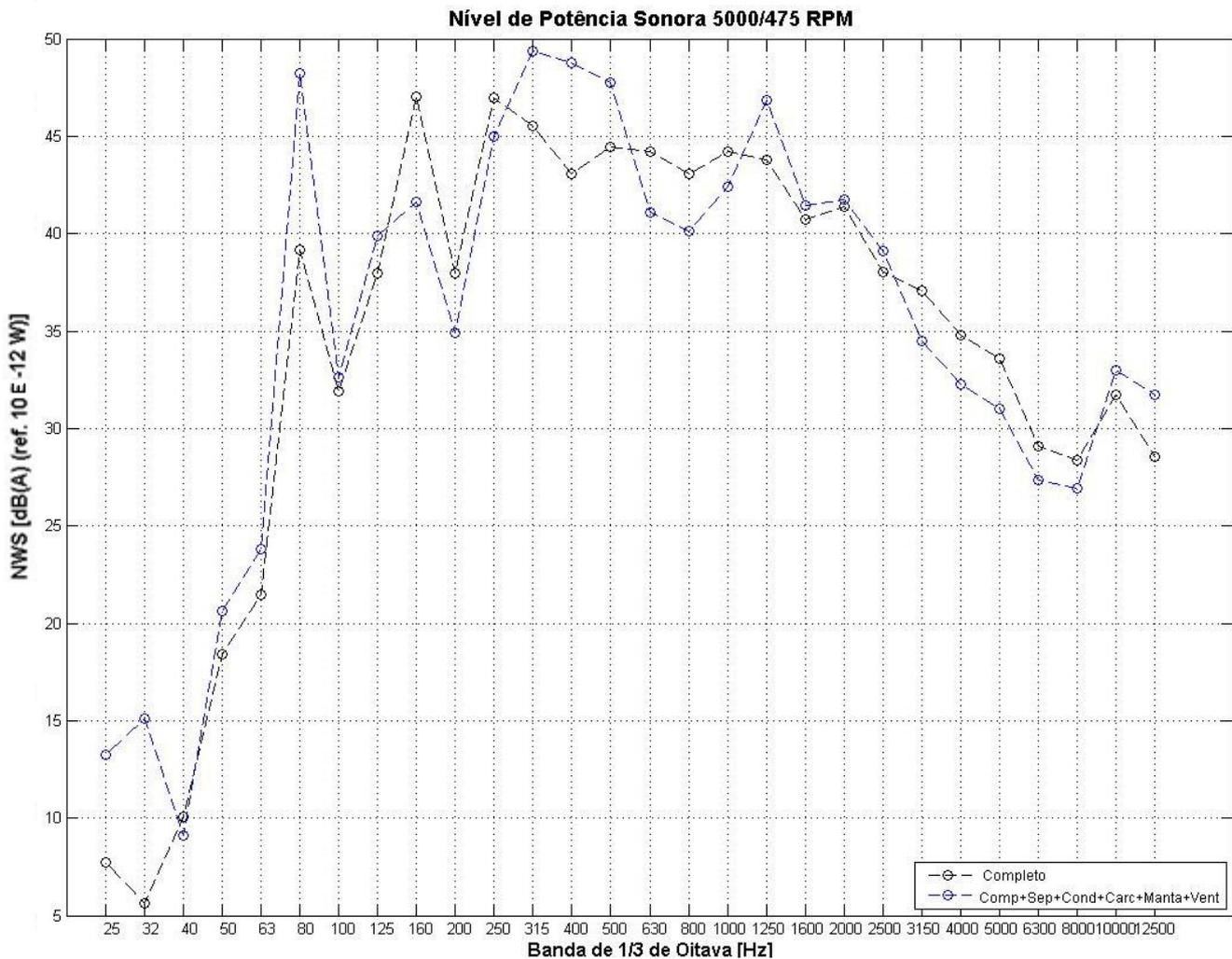


Figura 55 – Sistema completo 5000/475 rpm (83,3/7,9 Hz)

É possível observar que os valores de NWS do sistema completo ficaram bem próximos aos do conjunto composto pelo compressor, separador de líquido, condensador, carcaça, manta e ventilador, exceto para algumas bandas de frequência a 2000/192 rpm (33,3/3,2 Hz), para a região entre 160 e 1000 Hz a 4000/342 rpm (66,6/5,7 Hz) e para algumas frequências entre 25 e 400 Hz a 5000/475 rpm (83,3/7,9 Hz).

Nas figuras 56, 57 e 58, é possível observar a contribuição de ruído de cada um dos componentes da unidade externa, juntamente com as influências da manta e da carcaça.

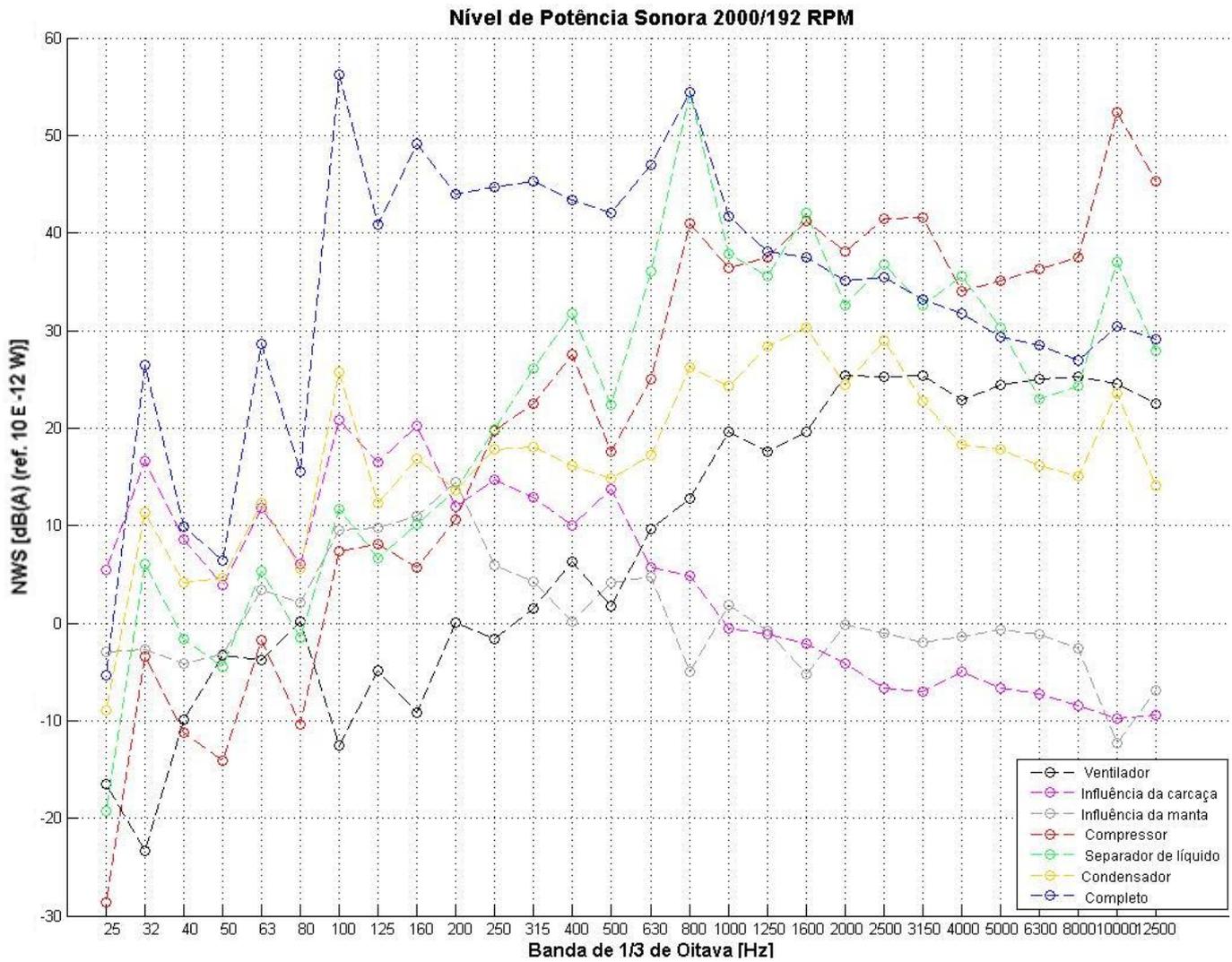


Figura 56 – Contribuição de ruído dos componentes 2000/192 rpm (33,3/3,2 Hz)

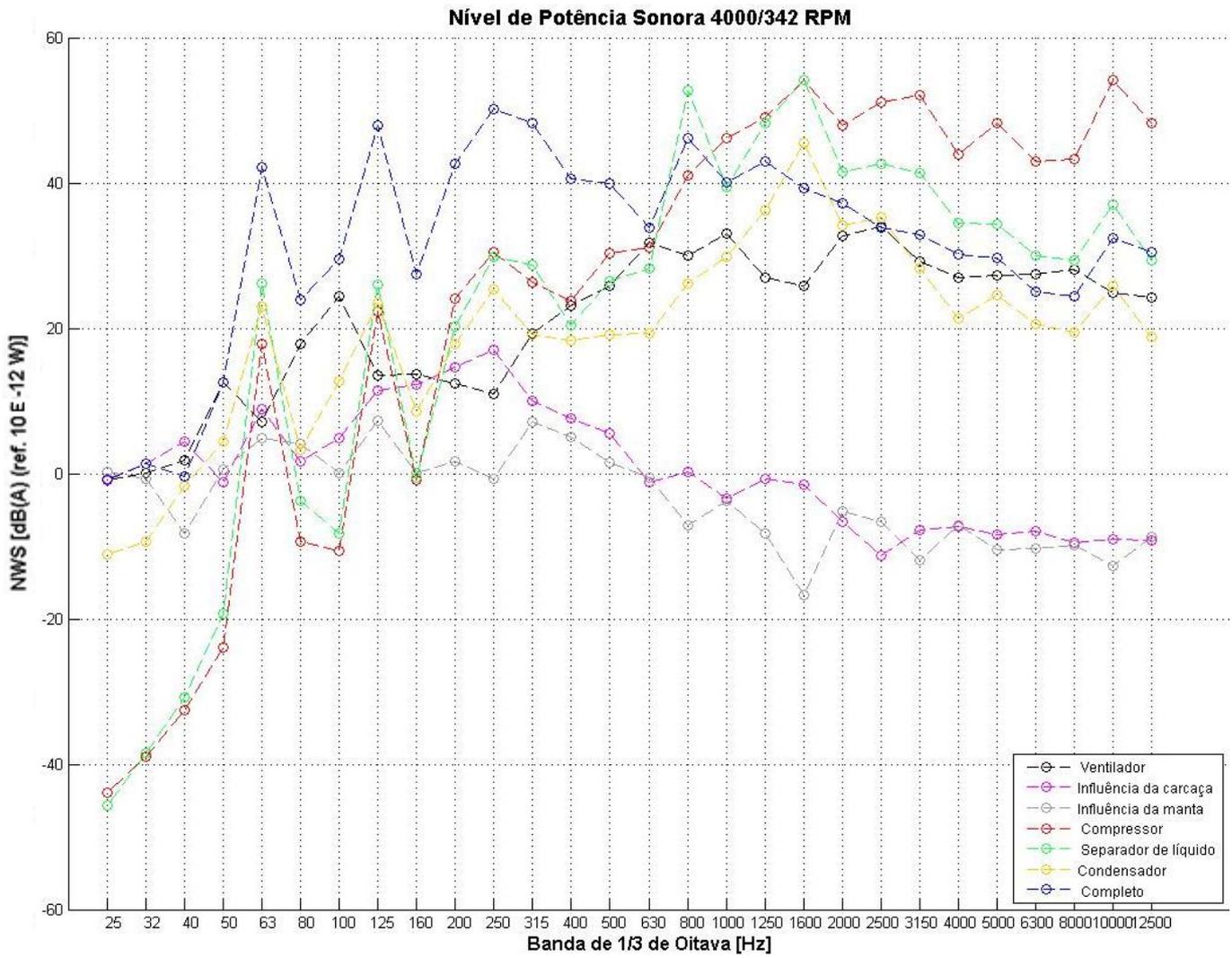


Figura 57 – Contribuição de ruído dos componentes 4000/342 rpm (66,6/5,7 Hz)

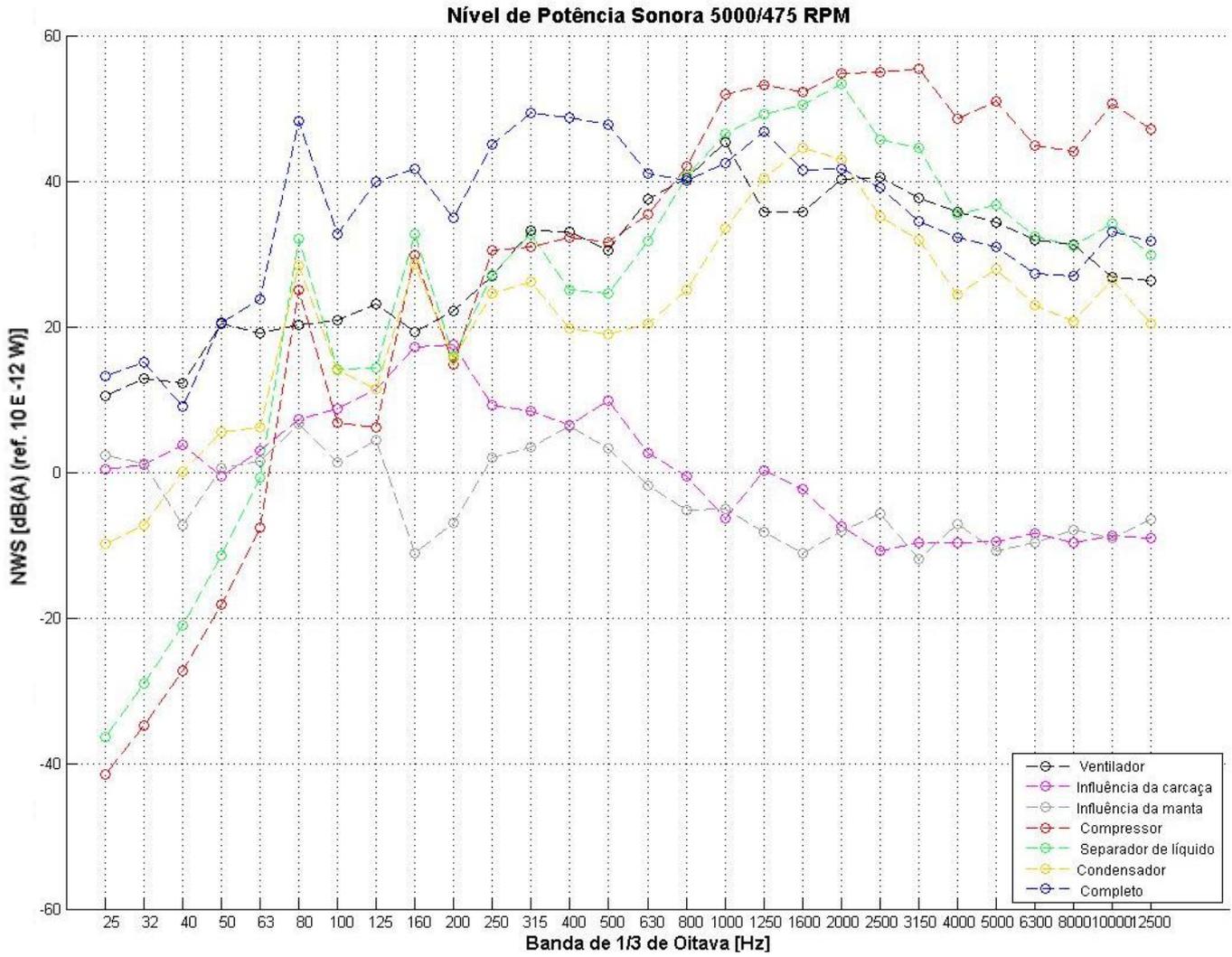


Figura 58 – Contribuição de ruído dos componentes 5000/475 rpm (83,3/7,9 Hz)

5. Conclusões

É possível observar nas figuras 56, 57 e 58 que foi atingido o objetivo do trabalho, que consistia em quantificar a contribuição de ruído dos componentes da unidade externa do aparelho condicionador de ar.

Analisando os resultados obtidos, é possível constatar que:

- A carcaça atenua o ruído de 800 a 1000 Hz para cima e funciona como amplificador para frequências abaixo dessas.
- A manta atenua o ruído de 630 a 800 Hz para cima e funciona como amplificador para frequências abaixo dessas.
- O compressor e o separador de líquido são os componentes que mais contribuem para o ruído do sistema nas altas frequências.
- O ventilador é o componente que mais contribui para o ruído do sistema nas baixas frequências a 342 e 475 rpm (5,7 e 7,9 Hz).
- O condensador contribui para o ruído total do sistema de maneira significativa apenas em baixas frequências quando o sistema está operando em rotações mínimas.

5.1. Considerações finais

Levando em conta os resultados obtidos para o sistema completo nas figuras 53, 54 e 55, acredita-se que o método de determinação da potência sonora do ventilador, descrito na seção 4.2.4 não seja o ideal, levando a possíveis erros que fazem com que as duas curvas das figuras citadas tenham diferenças consideráveis em algumas bandas de frequências. O ideal seria construir um suporte para fixar o ventilador que não fosse fechado como a carcaça.

Analisando os gráficos obtidos, é possível observar que em nenhum deles o NWS do sistema passa de 60 dB, que é aproximadamente o mesmo nível da voz humana em uma conversa normal a 60 cm de distância. Por ser a unidade externa do aparelho, seu ruído é abafado por outros ruídos comuns de ambientes externos, tais como ruas com tráfego intenso de carros, ruídos de aviões, comércio, não incomodando pessoas no interior do ambiente refrigerado. Porém deve-se tomar cuidado com a maneira e o local que será fixada a unidade externa. Se não houver um bom isolamento, a vibração proveniente da unidade externa pode ser transmitida através do suporte e, caso coincida com alguma

frequência natural tanto do suporte como da parede ou janelas, pode sim causar um ruído considerável pra quem estiver no ambiente interior.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

- Fazer a medição do ventilador isolado, ou seja, sem a carcaça e observar se há muita diferença do método descrito na seção 4.2.4.
- Fazer a medição da unidade interna em diferentes condições de funcionamento.
- Fazer a análise de ruído de forma numérica, modelando seus componentes e comparar os resultados com os apresentados neste trabalho.

Referências

____. **The Invention That Changed the World.** Disponível em: <<http://www.williscarrier.com/1876-1902.php>> Acesso em : ago 2012

BEZ, Humberto Nocetti. **Qualificação de câmara reverberante para medida de potência sonora e avaliação da qualidade acústica de um aparelho de ar condicionado.** Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica. 1983.

GERGES, Samir N. Y. **Ruído – Fundamentos e Controle.** 2. ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

ISO 3745 “**Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for anechoic and hemi-anechoic rooms**”. 2nd ed. 2003.

WYLEN, Gordon Van; SONNTAG, Richard; BORGNAKKE, Claus. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica.** 4. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1995.