

RENATO EZELLNER

ANÁLISE SOBRE REDUÇÃO DE RUÍDO EM ALTERNADORES AUTOMOTIVOS

SÃO CAETANO DO SUL
2011

RENATO EZELLNER

ANÁLISE SOBRE REDUÇÃO DE RUÍDO EM ALTERNADORES AUTOMOTIVOS

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, da Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Mestre André de Oliveira

**SÃO CAETANO DO SUL
2011**

Ezellner, Renato

Análise sobre redução de ruído em alternadores automotivos / Renato Ezellner - São Caetano do Sul: CEUN-EEM, 2011.

44 p.

Monografia (Especialização) — Engenharia Automotiva. Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2011.

Orientador: Prof. Mestre André de Oliveira

1. *Otimização de ruído* 2. *Alternadores automotivos*. I. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário. Escola de Engenharia Mauá. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, familiares, amigos e a Deus, que sempre me ajudam de forma positiva e incondicional. Agradeço por todo o apreço e respeito, por acreditarem no meu potencial e capacidade.

Agradeço aos mesmos, ainda pelas experiências boas e ruins, pela amizade e crescimento, por fazerem parte do meu cotidiano e da minha vida.

Agradeço aos professores, mestres e doutores da Escola de Engenharia Mauá, que diretamente ou indiretamente são responsáveis pelo curso em questão e por todas as orientações, sugestões e conselhos que tornaram possível essa conquista.

Obrigado a todos!

RESUMO

Estudou-se o caso de uma montadora de veículos "A" em busca de uma solução para reduzir os níveis de ruídos (mecânico/vibração, magnético e de ventilação) provenientes dos alternadores automotivos (fornecedor "X") empregados em seus produtos. Para tanto, foi utilizada, nesse estudo, a ferramenta de qualidade disponível:

- Quality Function Deployment (QFD), para melhorar o processo de desenvolvimento de novos alternadores e o serviço de atendimento à “voz do cliente”;

Neste trabalho serão analisadas e apresentadas as principais fontes e sugestões de melhorias para os três tipos de ruídos provenientes dos alternadores para veículos de combustão interna (foco nos motores família 1). O alternador referência escolhido foi o de 60A (mecatrônico, ou seja, que executa ele próprio os cálculos no regulador de tensão, de fornecedor "X").

Os testes e avaliações foram feitos sob as mesmas condições experimentais, a fim de evitarmos dados inconsistentes e falsas conclusões (que serão apresentados nesta monografia). As melhorias que geraram melhores resultados foram:

- Utilização do conceito de montagem do tipo "sandwich", ou estator à mostra, somada ao redimensionamento do rotor (redução de ruído magnético);
- Aperfeiçoamento da hélice de refrigeração somada ao reprojeto das aletas de entrada/saída de ar (redução de ruído de ventilação);
- Aperfeiçoamento do enrolamento do estator (redução de ruído mecânico).

Palavras-chave: Alternador, ruído, ruído mecânico, ruído magnético, ruído de ventilação, redução, QAS, QFD.

ABSTRACT

It was studied the case of a automaker industry "A" in finding a solution to reduce the levels of noise (mechanical / vibration, magnetic and ventilation) from the automotive alternators (supplier "X") used in their products. For both, were used in this study, the quality tools available, such as:

- Quality Function Deployment (QFD), to improve the process of developing new alternators and customer service to the “customer's voice”;

In this work will be analyzed and presented the main sources and optimization suggestions for three types of noise from alternators for internal combustion vehicles (focus on one liter engine family). The chosen alternator was 60A (mechatronic, that himself perform the calculations in the voltage regulator, from supplier "X").

The tests and evaluations were made under the same experimental conditions in order to avoid inconsistent data and false conclusions (which are presented in this monograph).

Optimizations that provided the best results were:

- using the concept of assembly-type sandwich, or shown stator, coupled with the downsizing of the rotor (magnetic noise reduction);
- optimized propeller cooling fins added to the redesign of the entry/exit of air (ventilation noise);
- optimization of the stator winding (mechanical noise).

Keywords: Alternator, noise, mechanical noise, magnetic noise, noise, ventilation, optimization, QAS, QFD.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVO.....	13
1.2. JUSTIFICATIVA.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. ALTERNADOR.....	14
2.2. FERRAMENTAS DE QUALIDADE (QFD e outros indicadores)	15
3. PRÁTICAS E MÉTODOS	19
3.1. FERRAMENTAS DE QUALIDADE NA PRÁTICA.....	19
3.2. FUNÇÃO IDEAL DE EFICIÊNCIA DO ALTERNADOR.....	25
3.3. MÉTODO PARA TESTES DAS ALTERNATIVAS DE MELHORIAS.....	26
4. RESULTADOS E ANÁLISES	27
4.1. RESULTADOS.....	27
4.2. ANÁLISES	41
5. CONCLUSÕES.....	42
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – FONTES DE RUÍDO NOS ALTERNADORES	12
FIGURA 2 – “SETUP” PARA TESTES DO ALTERNADOR.....	13
FIGURA 3 – ESQUEMA DE UM ALTERNADOR COMUM.....	14
FIGURA 4 – EXEMPLO DE ALTERNADOR AUTOMOTIVO.....	15
FIGURA 5 – AS TABELAS QUE FORMAM A CASA DA QUALIDADE	16
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO CRUZAMENTO DA TABELA DOS REQUISITOS DOS CLIENTES COM A TABELA DAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE (ADAPTADA DE CHENG <i>ET AL.</i> , 1995)	16
FIGURA 7 – A CASA DA QUALIDADE E SEUS ELEMENTOS OU ÁREAS.....	17
FIGURA 8 – A “CASA DA QUALIDADE” E SEUS ELEMENTOS OU ÁREAS (TEMPLATE).....	17
FIGURA 9 - EXEMPLO DE “PESQUISA DE AUDITORIA DE QUALIDADE” (QAS).....	19
FIGURA 10 – “CASA DA QUALIDADE” PREENCHIDA	21
FIGURA 11 – ACOPLAMENTO TIPO “SANDWICH” (ESTATOR À MOSTRA)	22
FIGURA 12 – REFORÇO NOS MANCAIS DE FIXAÇÃO.....	23
FIGURA 13 – CONJUNTO DE GARRAS DO ROTOR COM CILINDRO ACOPLADO	23
FIGURA 14 – BOBINAS DO ESTATOR COM MAIOR FATOR DE PREENCHIMENTO.....	23
FIGURA 15 – ESTATOR COM 45% DE FATOR DE PREENCHIMENTO (FILAMENTOS DAS BOBINAS DESORGANIZADOS)	24
FIGURA 16 – FILAMENTOS DAS BOBINAS DO ESTATOR ORGANIZADOS, MELHOR FATOR DE PREENCHIMENTO (50%)	24
FIGURA 17 – FUNÇÃO IDEAL DO ALTERNADOR VERSUS FUNÇÃO REAL.....	25
FIGURA 18 – FLUXO DE ENTRADA E SAÍDA, EM CAIXA, DO ALTERNADOR	25
FIGURA 19 – COMPARAÇÃO DE RUÍDO GERAL ENTRE “SANDWICH” VERSUS “MANTA EMBORRACHADA”	27
FIGURA 20 – COMPARAÇÃO DE RUÍDO GERAL ENTRE MANCAIS NORMAIS VERSUS MANCAIS REFORÇADOS	29
FIGURA 21 – COMPARAÇÃO DE RUÍDO GERAL ENTRE ESTATOR DE 118 MM DE DIÂMETRO VERSUS ESTATOR DE 123 MM DE DIÂMETRO	31
FIGURA 22 – COMPARAÇÃO DE RUÍDO GERAL ENTRE ROTOR COM CILINDRO ACOPLADO VERSUS ROTOR NORMAL	33
FIGURA 23 – COMPARAÇÃO DE RUÍDO GERAL ENTRE ROTOR COM CILINDRO ACOPLADO VERSUS ROTOR NORMAL	34
FIGURA 24 – COMPARAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIAS COM FATORES DE PREENCHIMENTOS DIFERENTES (TEMPERATURA AMBIENTE).....	36
FIGURA 25 - COMPARAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIAS COM FATORES DE PREENCHIMENTOS DIFERENTES (TEMPERATURA 105°C).....	37
FIGURA 26 – COMPARAÇÃO ENTRE RUÍDO GERAL COM ALTERNADOR COM MELHORIAS VERSUS ALTERNADOR SEM MELHORIAS	39
FIGURA 27 – TROCA DE HÉLICE SIMPLES POR HÉLICE DUPLA	41
FIGURA 28 – APERFEIÇOAMENTO DAS ALETAS	41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – AVALIAÇÃO SUBJETIVA DE RUÍDO EM ALTERNADOR E MOTOR	20
TABELA 2 – ESTIMATIVAS PARA AS POSSÍVEIS ALTERAÇÕES.....	26
TABELA 3 - RESUMO DE MELHORIAS APROVADAS E REJEITADAS PARA NOVOS TESTES.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

QFD = Quality Function Development;

QAS = Quality Audit Survey;

PPH = Problems Per Hundred;

DRR = Direct Run Rate;

DRL = Direct Run Loss;

GCA = Global Customer Audit;

RPM = Rotações Por Minuto;

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, os veículos a combustão interna possuem alternadores de diversos tipos, modelos e capacidades, utilizados para produzir energia elétrica e evitar o esgotamento da bateria através da energia mecânica do motor. Essas máquinas elétricas geradoras (assim como qualquer outra), indispensáveis na aplicação mencionada, produzem ruídos durante o funcionamento.

Esses ruídos, por sua vez, podem criar desconforto aos usuários/donos desses veículos (desconforto esse, que pode ter como agravante o tempo de permanência do usuário ao veículo ligado). Esse desconforto pode ser determinante no aumento e/ou redução das vendas de uma montadora de veículos. A **FIGURA 1** apresenta as principais fontes de ruídos nos alternadores.

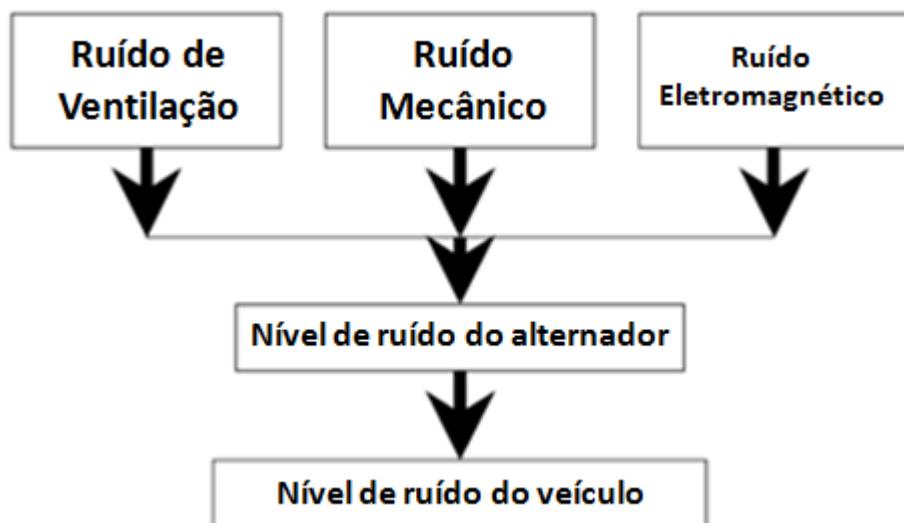


FIGURA 1 – Fontes de ruído nos alternadores

Por essa razão, algumas montadoras estão, cada vez mais, investindo em novas tecnologias junto aos seus fornecedores de peças, visando reduzir o nível de ruído proveniente dos seus alternadores.

Nesse trabalho, encontrar-se-á um estudo de caso onde uma determinada montadora "A" busca reduzir o ruído dos alternadores de seus produtos (motorização família 1) para atingir e/ou ultrapassar o nível de qualidade das outras montadoras do mesmo ramo. Para tanto, serão analisadas algumas modificações técnicas em alternadores e utilizadas algumas ferramentas de qualidade para atingir o objetivo traçado. A **FIGURA 2** apresenta uma proposta de montagem para avaliação do ruído dos alternadores.

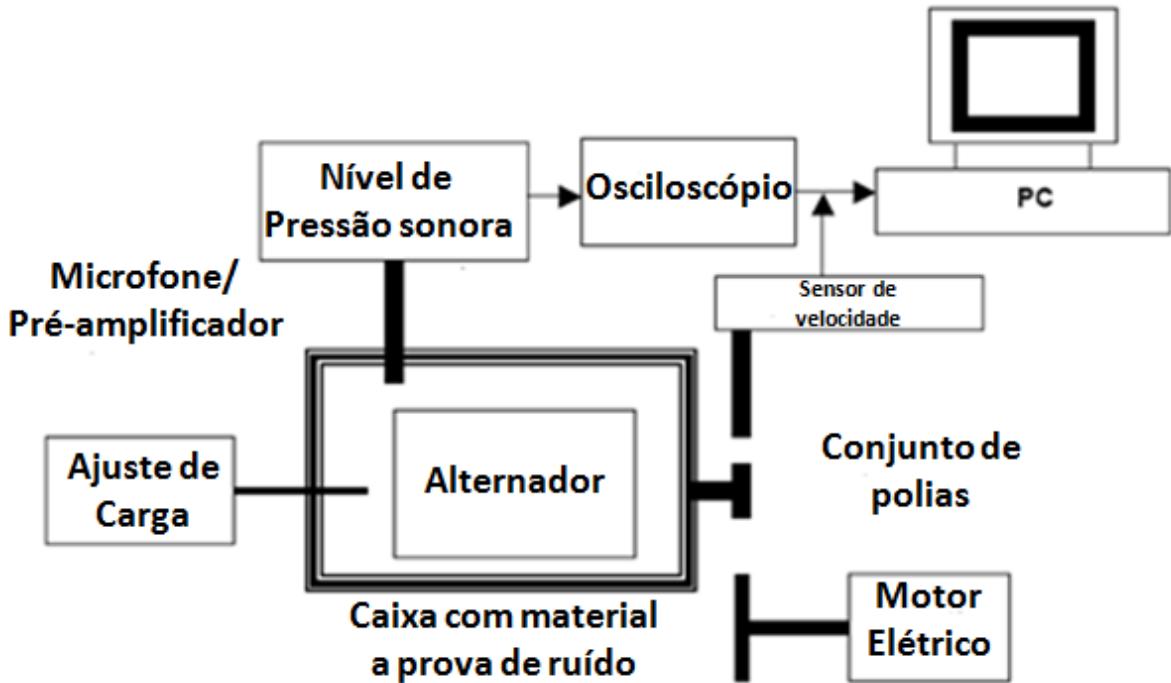


FIGURA 2 – “Setup” para testes do alternador

Em uma pesquisa preliminar, constatou-se que o acesso a outras fontes de informação sobre o tema, incluindo novas tecnologias e os seus respectivos potenciais/desempenhos no campo da análise e redução de ruídos em alternadores veiculares são de difícil acesso ao público por serem consideradas geralmente "know how" de fornecedores e/ou montadoras.

1.1. OBJETIVO

O trabalho proposto tem como finalidade apresentar os procedimentos adotados e resultados obtidos na redução de ruído em alternadores automotivos.

1.2. JUSTIFICATIVA

No ramo da indústria automotiva, devido à atual grande concorrência entre as empresas, promover a melhoria de seus produtos e maior satisfação dos clientes/usuários envolve fatores importantes, entre eles o gasto em análises técnicas, pesquisas de satisfação e desenvolvimento de tecnologias. Tudo para conseguir obter uma parcela maior de mercado e um lucro melhor ao final das contas. Sabe-se que o conforto é um fator decisivo no momento

da compra, levado em consideração por quase todos os clientes/usuários. Reduzir o ruído proveniente do alternador, é nada mais do que reduzir o ruído interno da cabine e gerar maior conforto ao cliente/usuário no momento da direção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ALTERNADOR

Alternador é uma máquina que transforma energia mecânica em energia elétrica. É utilizado em diversas áreas, desde geradores de energia portáteis, em automóveis e até nas usinas hidrelétricas.

O alternador funciona de acordo com o fundamento da indução eletromagnética, ele aproveita o mesmo princípio físico básico, onde a corrente elétrica flui através do rotor criando um campo magnético que induz a movimentação dos elétrons nas bobinas do estator, que resultará em corrente alternada. É importante saber que a intensidade desta tensão/corrente não é constante. Após cada giro de 360 graus, o ciclo da tensão se repete. Por isso, num giro uniforme consegue-se uma alteração periódica da tensão, que pode ser representada como onda senoidal com meia-onda positiva e meia negativa. Veja exemplo de esquema de alternador comum na **FIGURA 3**.

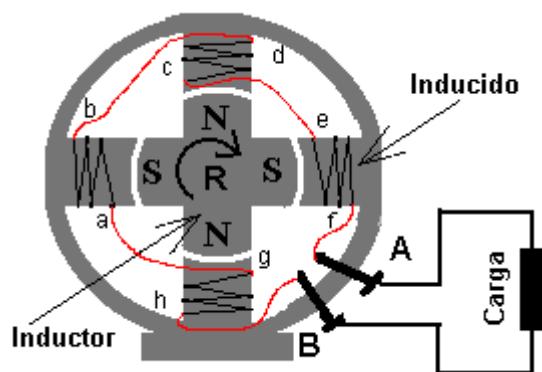


FIGURA 3 – Esquema de um alternador comum

Os alternadores automotivos possuem as mesmas características de um alternador comum, com a adição de um retificador e um regulador de tensão, pois os automóveis operam com tensão contínua de 12 a 14,9 volts. Comparado com o motor de partida (motor de arranque) o alternador trabalha com o princípio inverso, já que o alternador carrega a bateria e alimenta

todos os consumidores elétricos com sua corrente quando o motor do veículo está em funcionamento. Já o motor de arranque só funciona até à partida do motor de combustão, sendo assim, ele fica inoperante após esse período, permanecendo parado mesmo enquanto o motor do automóvel está em funcionamento. Veja exemplo de alternador automotivo na **FIGURA 4**, logo abaixo.



FIGURA 4 – Exemplo de alternador automotivo

2.2. FERRAMENTAS DE QUALIDADE (QFD e outros indicadores)

Nesse trabalho, será utilizada uma ferramenta de qualidade bastante empregada em empresas de diferentes ramos comerciais. Logo abaixo, segue breve passagem sobre a mesma e também sobre outros indicadores de qualidade (que não foram usados no momento), a fim de facilitarmos o entendimento durante a análise do trabalho realizado, propriamente dito.

- QFD (Quality Function Development)

Em traços gerais, a aplicação do QFD envolve a construção de um conjunto de matrizes, das quais a mais utilizada é vulgarmente designada como "Casa da Qualidade" (ou matriz de planejamento). Foi possível utilizá-la nas análises desse trabalho.

A casa da qualidade é obtida pelo cruzamento da tabela dos requisitos do cliente (ou da qualidade exigida) com a tabela das características de qualidade (AKAO, 1990), como ilustrado na **FIGURA 5**. O resultado obtido deste cruzamento é, portanto, conforme a **FIGURA 6**. O triângulo “A” e a aba “C” compõem a tabela dos requisitos dos clientes. O triângulo “B” e a aba “D” compõem a tabela das características de qualidade. O quadrado “Q”, interseção das duas tabelas, é denominado ”matriz de relações”.

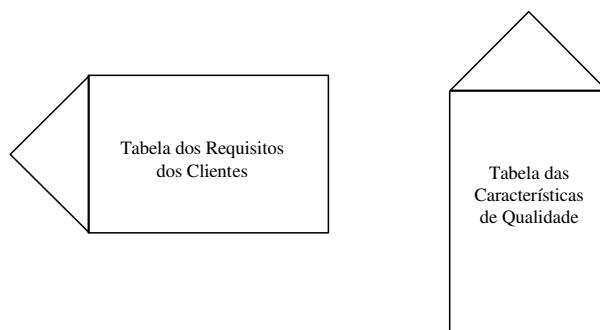


FIGURA 5 – As tabelas que formam a casa da qualidade

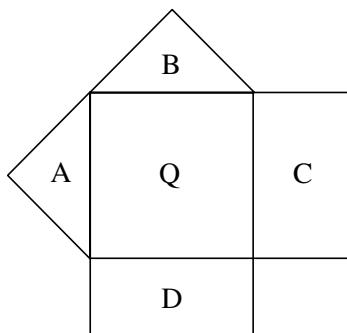


FIGURA 6 – Representação gráfica do cruzamento da tabela dos requisitos dos clientes com a tabela das características de qualidade (adaptada de CHENG *et al.*, 1995)

A casa da qualidade pode ser definida como a matriz que tem a finalidade de executar o projeto da qualidade, sistematizando as qualidades verdadeiras exigidas pelos clientes por meio de expressões lingüísticas, convertendo-as em características substitutas e mostrando a correlação entre essas características substitutas (características de qualidade) e aquelas qualidades verdadeiras (AKAO, 1996). Pela definição dada acima, percebe-se que a casa da qualidade (**FIGURA 7** e **FIGURA 8**) funciona como um sistema. A entrada desse sistema é a “voz do cliente”, na forma de expressões lingüísticas. O processo pode ser claramente visto como o conjunto das três atividades relacionadas a seguir: a sistematização das qualidades verdadeiras exigidas pelos clientes; a transformação das qualidades exigidas pelos clientes em características de qualidade (características técnicas ou características substitutas); e a identificação das relações entre as qualidades verdadeiras e as características de qualidade. A saída do sistema consiste nas especificações do produto, ou seja, no conjunto de características técnicas do produto com suas respectivas qualidades projetadas (valores de especificações). Dessa forma, pode-se entender que a tabela dos requisitos dos clientes (horizontal) é a entrada da casa da qualidade e a tabela das características de qualidade (vertical) é a saída do sistema.

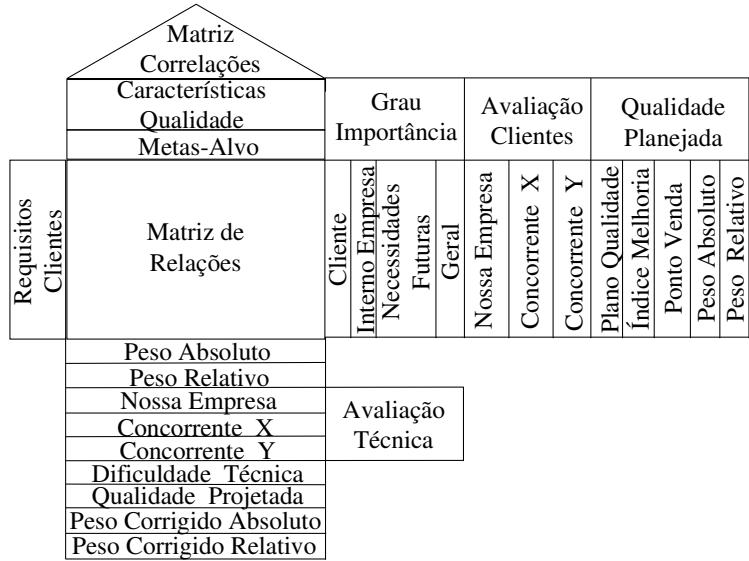


FIGURA 7 – A casa da qualidade e seus elementos ou áreas

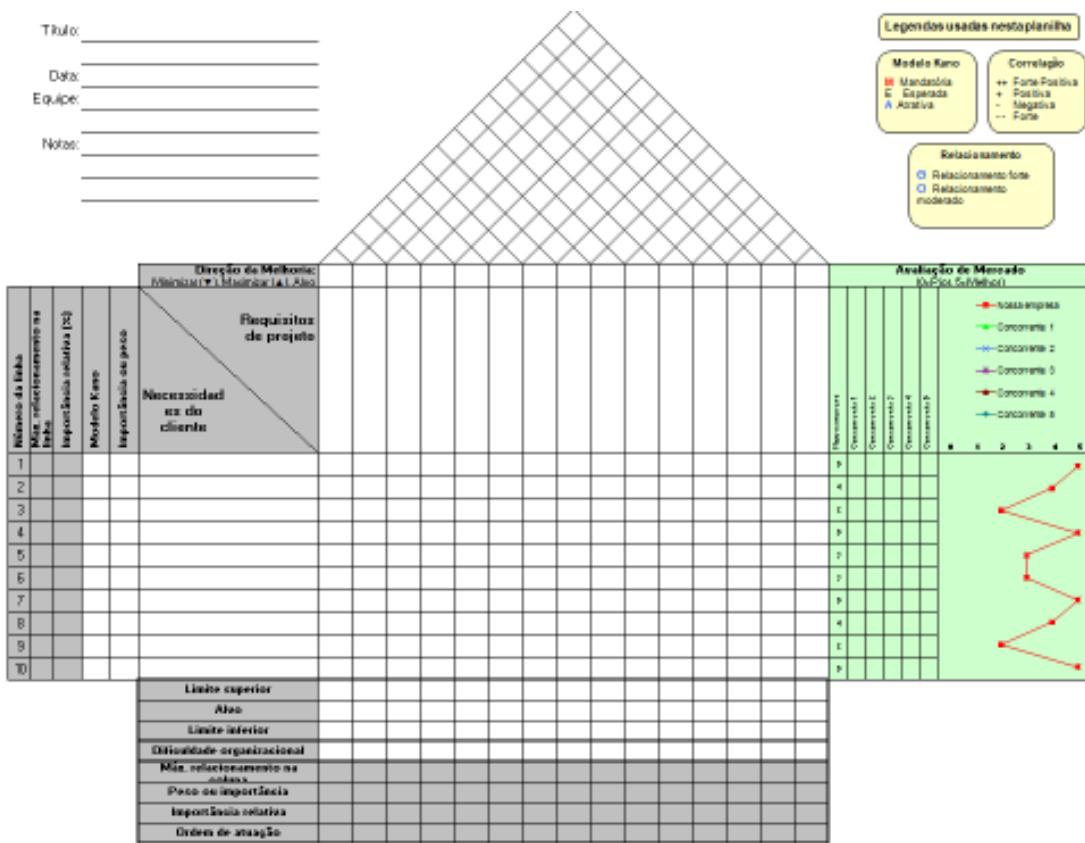


FIGURA 8 – A “Casa da Qualidade” e seus elementos ou áreas (template)

- QAS (Quality Audit Survey) e outros indicadores de qualidade

A montadora “A”, em questão, se baseia nos três Pilares da Qualidade (Qualidade Inicial, Qualidade a Longo Prazo e Qualidade Percebida) e acredita que eles são essenciais para tornar a empresa como “os melhores em qualidade” no setor automobilístico, sendo os

indicadores de qualidade de fundamental importância, pois medem o desempenho nesse caminho, do ponto de vista do cliente.

Essa montadora trabalha regularmente para melhorar vários indicadores de qualidade, que medem tanto o produto quanto o processo. Estes indicadores internos de qualidade fornecem informações sobre como é controlada a qualidade durante o processo de montagem e manufatura. Alguns exemplos destes indicadores internos são o DRR (Direct Run Rate), o DRL (Direct Run Loss) e o GCA (Global Customer Audit), que são reportados diariamente à diretoria.

Há outros dois indicadores de qualidade que não são medidos diretamente durante o processo de manufatura, mas são muito importantes, pois servem como meio de comparação dos produtos nas plantas da empresa como um todo. São eles o PPH – Problemas por Cem Veículos e o Custo de Garantia. Costuma-se a se referir a estas duas métricas como os principais indicadores de qualidade porque, em última análise, eles representam a opinião dos clientes externos sobre os veículos, baseada na experiência que eles têm com o produto. Levando em consideração todos os indicadores de qualidade, quando alguns desses índices encontram-se fora do objetivo, o problema é reportado à gerência e diretoria e, dependendo da gravidade e do tipo de problema, são tomadas ações corretivas.

Aperfeiçoar a qualidade dos veículos é essencial para fortalecer a reputação da marca de qualquer montadora no mercado. Agindo assim, acredita-se que a posição competitiva da empresa cresça, assim como, a oportunidade para aumentar a produção, as vendas, o volume e a receita. Ao se tornar os melhores nos três Pilares da qualidade e, ao mesmo tempo, reduzir os Problemas por Cem Veículos (PPH) e o Custo de Garantia, a montadora se posicionará como a melhor em qualidade e referência na indústria.

Com relação ao QAS, se trata de uma “Pesquisa de Auditoria de Qualidade”, como pode ser visto na **FIGURA 9**, que é fornecida por uma consultoria em pesquisas externas e acontece duas vezes ao ano e todos os concorrentes também são avaliados. Durante a pesquisa, os clientes são consultados quanto aos problemas que possam ter experimentado com seu veículo, especialmente nos primeiros 90 dias após a compra. Seu feedback é usado exaustivamente para melhorar a qualidade dos veículos que é desenhado, projetado, fabricado e vendido. Levando em consideração os problemas relatados pelos clientes melhora-se a qualidade dos veículos e no futuro a empresa é recompensada com um número menor de Problemas por Cem Veículos (PPH).

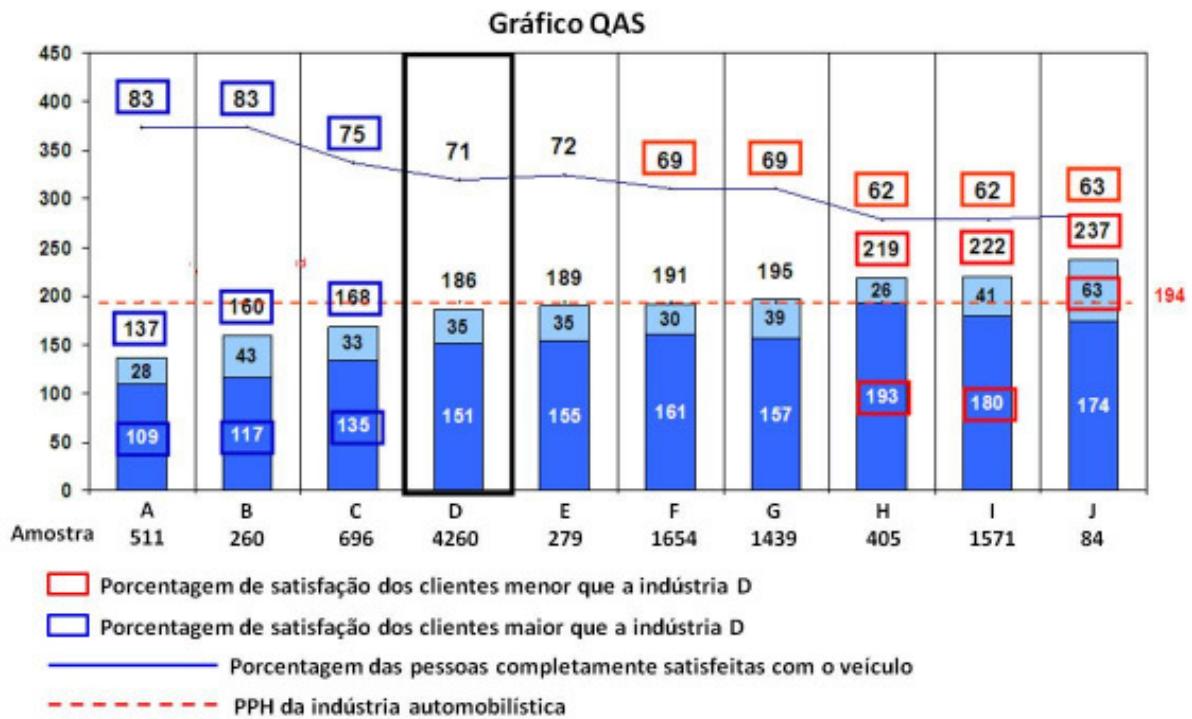


FIGURA 9 - Exemplo de “Pesquisa de Auditoria de Qualidade” (QAS)

Os fabricantes e seus fornecedores conseguem as informações pertinentes à operação dos seus veículos, desempenho de reparo e satisfação dos clientes de múltiplas fontes incluindo o programa de ligações telefônicas no momento do lançamento, suporte técnico, administração de garantia, gerenciamento de garantia e grupo de suporte legal. Cada um destes grupos tem uma estrutura operacional e fluxo de trabalho distintos, com uma perspectiva única de seus papéis e responsabilidades e uma variedade muito grande de dados coletados, análises e requerimentos. Dados adicionais vêm de fontes externas como a pesquisa *Quality Audit Survey (QAS)* e grupos de clientes, que podem ser estendidos a fornecedores e técnicos de pós-vendas (Barkai, 2004).

3. PRÁTICAS E MÉTODOS

3.1. FERRAMENTAS DE QUALIDADE NA PRÁTICA

Para o preenchimento da “Casa da Qualidade” (QFD), focou-se apenas no ruído geral (mais crítico) para diminuir a complexidade do tema. Os ruídos considerados pelo ruído geral são: magnético, mecânico e de ventilação (a soma desses ruídos representa o ruído geral).

O objetivo aqui é identificarmos potenciais de melhoria que a empresa “A” pode realizar, em comparação à empresa “B”, seguindo a “voz do cliente”, com auxílio do fornecedor “X”.

Inicialmente, foram traçados alguns controles, restrições e metas:

- Deve-se analisar apenas alternadores de 60A, automotivos e presentes nos veículos 1.0L das empresas “A” e “B”, em questão;
- O foco é a redução de ruído na cabine, proveniente do alternador;
- Deve-se comparar apenas com uma concorrente (empresa “B”), que por escolha (para efeito de melhor comparação) carrega alternador equivalente ao da empresa “A” (mesmo fornecedor, mesma geração, mesma tecnologia e mesmas especificações elétricas);
- Deve-se utilizar nas comparações, um veículo da concorrente (veículo “A1”) e três veículos da empresa “A” (veículos “A2”, “A3” e “A4”), todos hatchback e de plataformas/modelos diferentes;
- Os veículos foram avaliados em câmara anecóica, para remover a variável de ruído externo;
- Durante a avaliação, diferentes rotações de motor foram verificadas (idle, 1500rpm, 2500rpm, 3500rpm, 4500rpm e 6000rpm) e 10 pessoas, previamente “treinadas” (para conseguirem melhor diferenciar ruído de motor com ruído de alternador);
- Não existem quaisquer informações disponíveis, relevantes de QAS;

Após essa etapa, começou-se o levantamento dos dados acima mencionados.

Segue abaixo, veja **TABELA 1**, avaliação referente ao teste subjetivo realizado nos veículos em questão (média de notas):

	AVALIAÇÃO DE RUÍDO DO ALTERNADOR (0 à 10) 0=péssimo; 10=excelente	AVALIAÇÃO DE RUÍDO DO MOTOR (0 à 10) 0=péssimo; 10=excelente
△ Veículo A1 (empresa "B")	7,0	5,0
○ Veículo A2 (empresa "A")	5,5	5,4
◎ Veículo A3 (empresa "A")	5,5	7,1
□ Veículo A4 (empresa "A")	6,0	3,5

TABELA 1 – Avaliação subjetiva de ruído em alternador e motor

Uma vez com as notas em mãos, pode-se começar a preencher os campos de preenchimento da “Casa da Qualidade”.

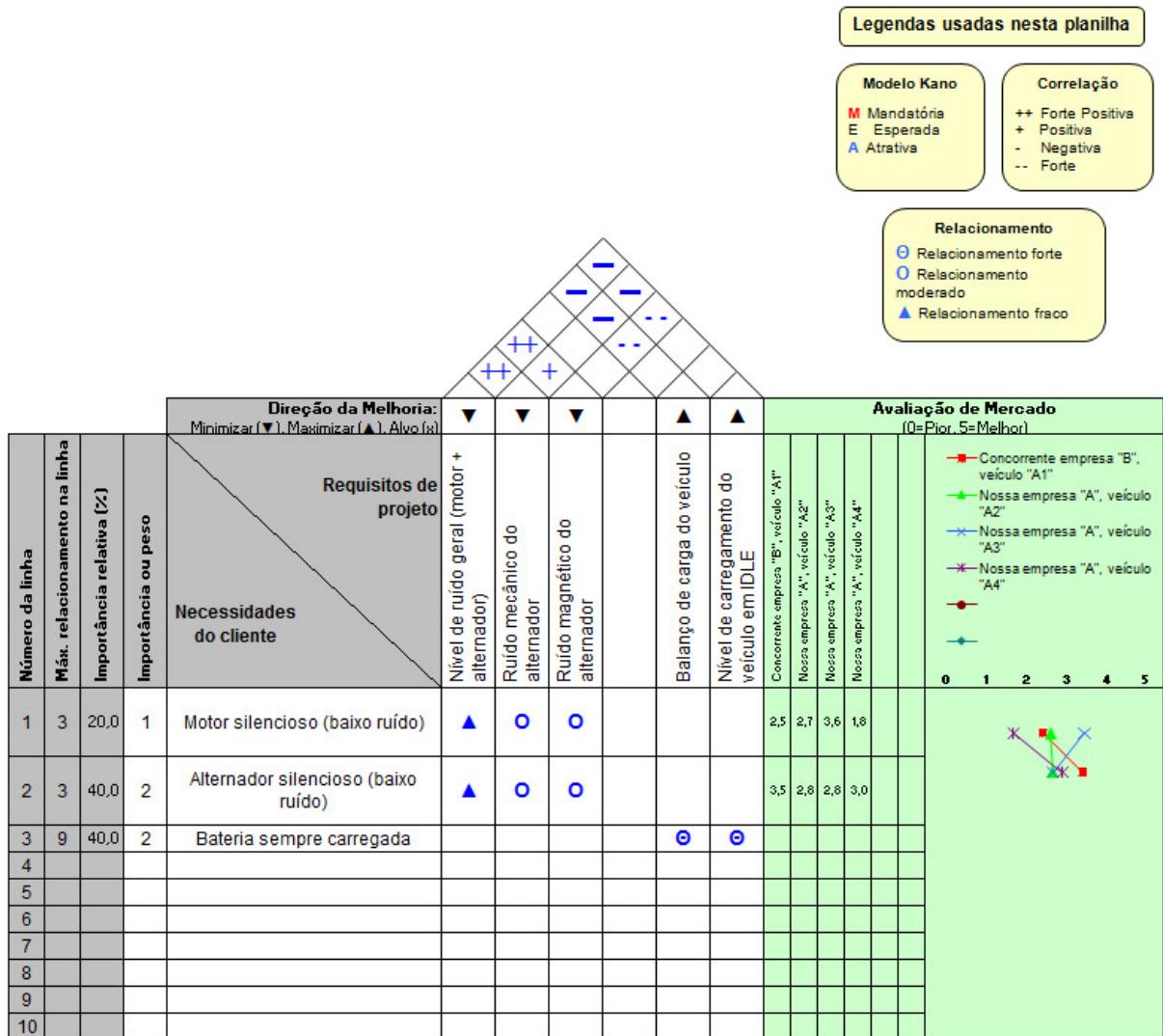


FIGURA 10 – “Casa da Qualidade” preenchida

As notas da tabela acima foram adicionadas na área referente à “Avaliação de Mercado” e usou-se a área “Necessidades do Cliente” para adicionar as vozes dos clientes (julgando um valor de importância para cada um deles).

Quanto aos “Requisitos de Projeto”, adicionaram-se variáveis que fazem relação com a “voz do cliente”, de modo que fosse possível correlacionar um item ao outro.

Uma vez finalizadas as etapas acima, pode-se concluir que para ganharmos em ruído (sem prejudicar o balanço de carga do veículo), deve-se atacar além dos ruídos magnético e mecânico, a eficiência e saída de corrente também (garanti-las iguais ou melhores).

Melhorando a eficiência e mantendo ou aumentando a saída de corrente, é possível ter condições de carregamento melhores em “IDLE”, até o uso de menores rotações na máquina. Isso pode ajudar na redução geral de ruído (soma de todos os ruídos).

Vale mencionar que a análise de mercado não foi muito útil nesse caso, afinal houveram variações muito grandes entre as avaliações subjetivas (o que dificulta qualquer tipo de análise para se determinar algum tipo de relação).

Deste modo, são elaboradas algumas alternativas, propostas pelo fornecedor “X”, que podem melhorar as condições de eficiência, saída de corrente e redução no ruído geral dos alternadores em questão (todas precisam ser testadas).

Cinco alternativas de melhoria foram analisadas:

- A) Manta embrorrhachada entre os acoplamentos traseiro e dianteiro (para absorção de vibração) da carcaça do alternador;
- B) Acoplamento tipo sandwich, com estator à mostra (diminuição de massa e possível redução de vibração);

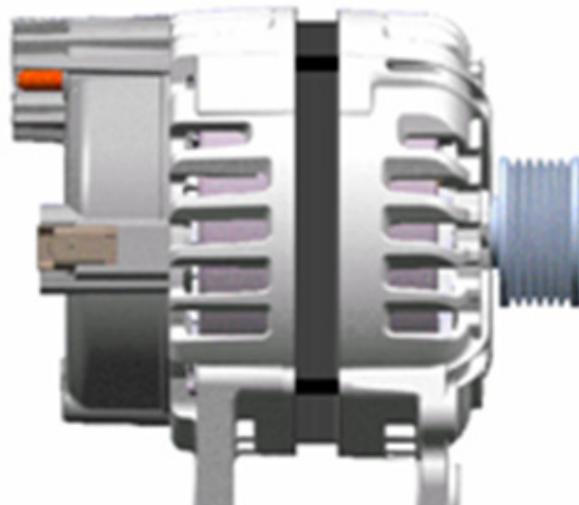


FIGURA 11 – Acoplamento tipo “sandwich” (estotor à mostra)

- C) Reforços nos mancais (tentativa de reduzir vibração);

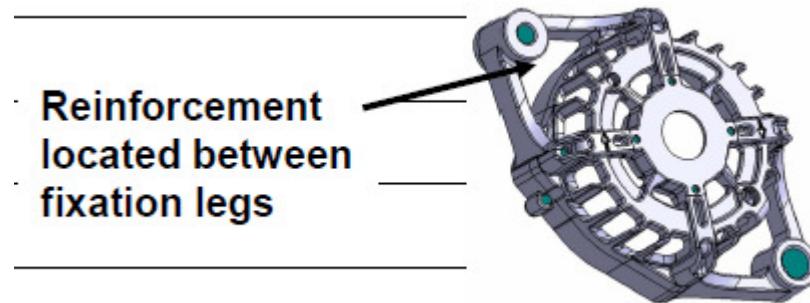


FIGURA 12 – Reforço nos mancais de fixação

- D) Aumento de diâmetro do estator (tentativa de reduzir ruído magnético);
 E) Acoplamento do cilindro central no conjunto de garras do rotor (tentativa de reduzir vibração e ruído magnético e mecânico);

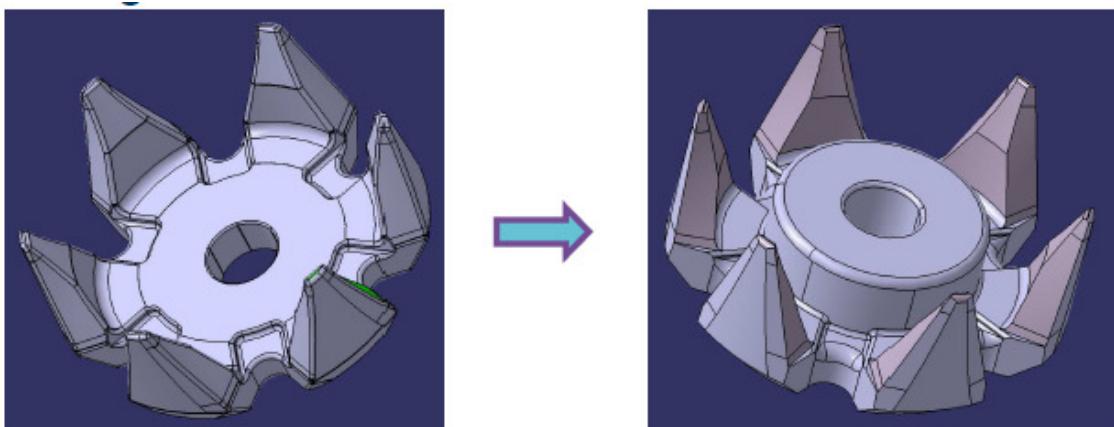
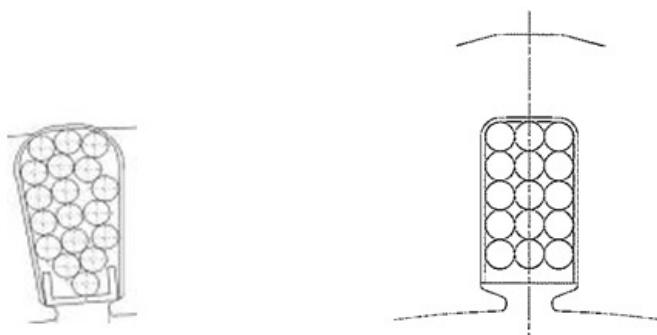


FIGURA 13 – Conjunto de garras do rotor com cilindro acoplado

- F) Fator de preenchimento no estator (tentativa de melhorar a eficiência – caso seja confirmada essa melhoria, pode-se estudar também a redução de ruído mecânico);



Referência

45%

Proposta

50%

FIGURA 14 – Bobinas do estator com maior fator de preenchimento

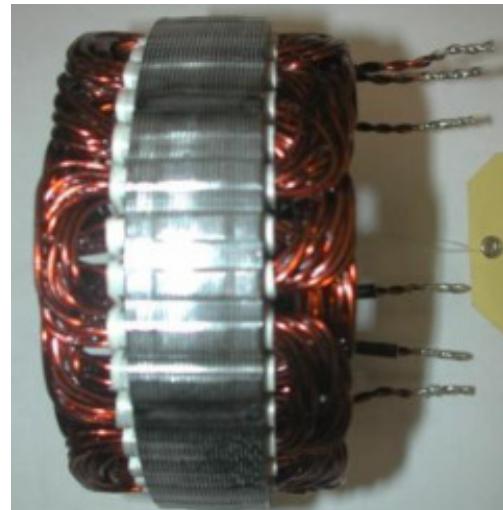


FIGURA 15 – Estator com 45% de fator de preenchimento (filamentos das bobinas desorganizados)

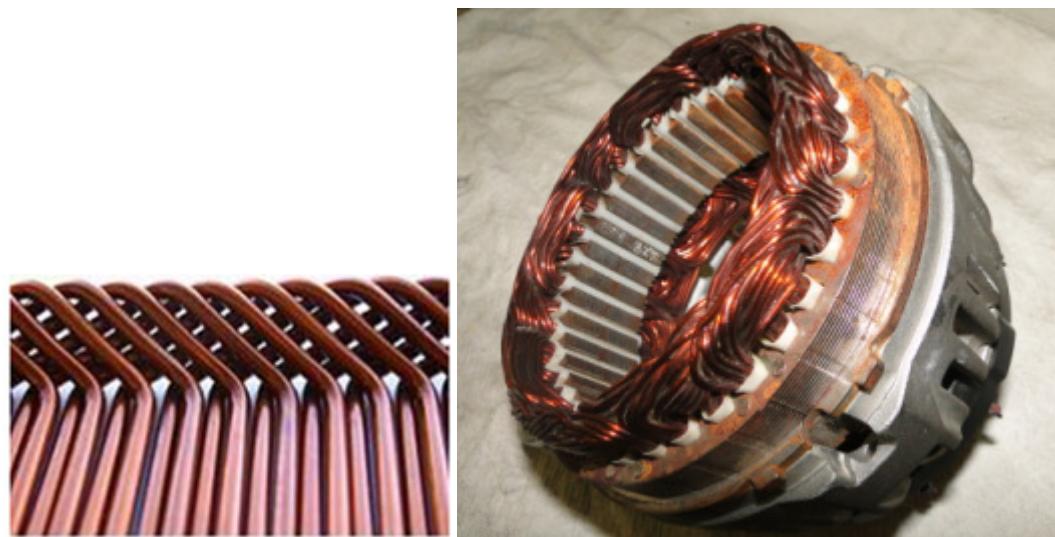


FIGURA 16 – Filamentos das bobinas do estator organizados, melhor fator de preenchimento (50%)

3.2. FUNÇÃO IDEAL DE EFICIÊNCIA DO ALTERNADOR

Idealmente, tudo o que é fornecido de energia mecânica para o alternador, deve ser convertido em energia elétrica (para todas as velocidades de rotação).

Entretanto, sabe-se que existem perdas (eficiência da hélice, quantidade de inércia do rotor, vibração dos componentes internos devido à interação magnética etc), que fazem com que a curva de eficiência esteja sempre abaixo da curva ideal. É essa curva, real, que deve-se melhorar. Vide **FIGURA 17** e **FIGURA 18**:

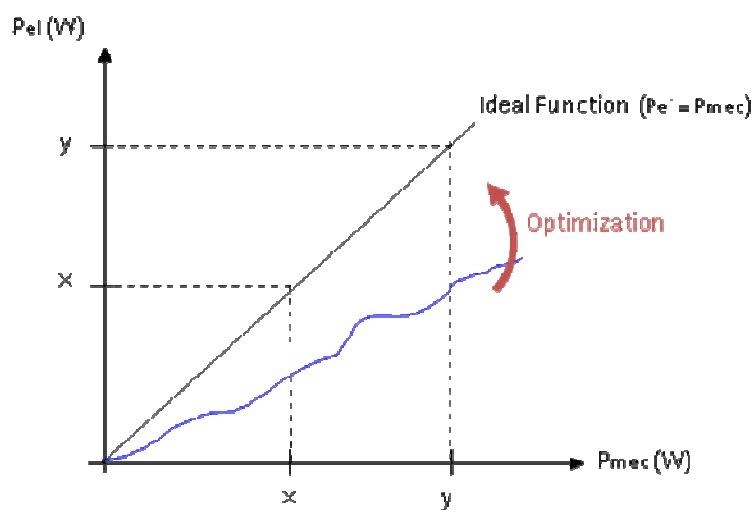


FIGURA 17 – Função ideal do alternador versus função real

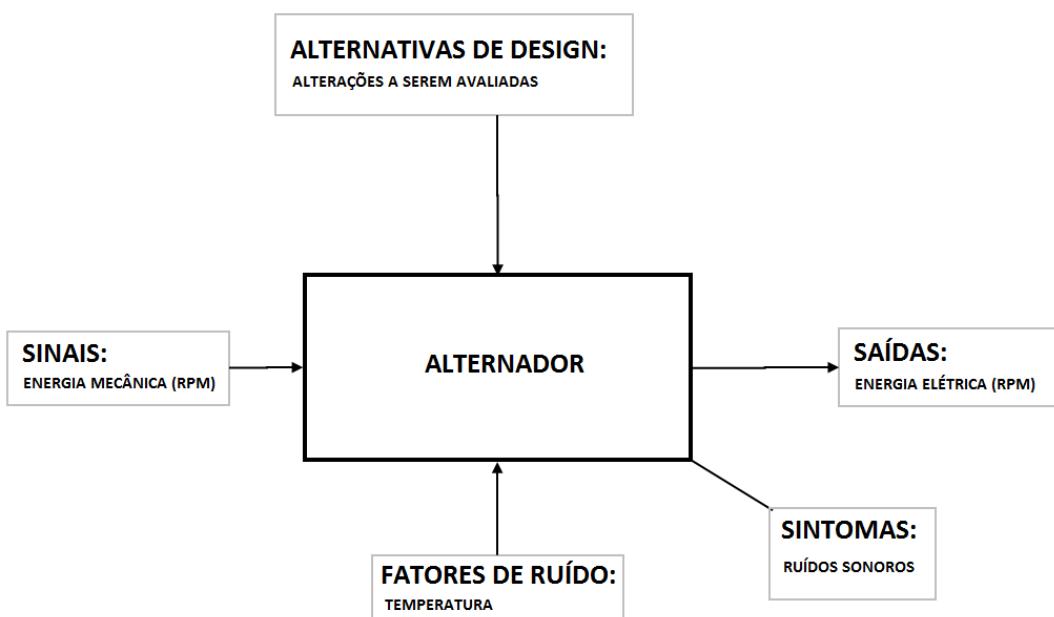


FIGURA 18 – Fluxo de entrada e saída, em caixa, do alternador

3.3. MÉTODO PARA TESTES DAS ALTERNATIVAS DE MELHORIAS

Como estimativa, utilizou-se mais uma vez uma das ferramentas do “QFD” para ajudar a apontar os maiores potenciais de melhorias (vide **Erro! Fonte de referência não encontrada.**):

CTSS	Alterações:	Manta emborrachada	Acoplamento "sandwich"	Mancais reforçados	Estator com diâmetro maior	Rotor com cilindro acoplado	Maior fator de preenchimento
Ruído Magnético		S	-	S	+	S	S
Ruído Mecânico		+	+	+	S	+	S
Saída de Corrente		S	S	S	S	S	+
Eficiência		S	S	S	S	S	+
Σ^+	1	1	1	1	1	1	2
Σ^-	0	1	0	0	0	0	0
ΣS	3	2	3	3	3	3	2

TABELA 2 – Estimativas para as possíveis alterações

Vide acima que existem duas propostas diferentes de acoplamento (uma proposta onde tem-se o estator à mostra e outra onde existe uma manta emborrachada entre os acoplamentos traseiro e dianteiro). Nesse caso, uma vez que ambos não podem ser implementados em conjunto (não são compatíveis), deve-se compará-los diretamente um com outro.

Quanto às demais alternativas, que permitem implementação em conjunto, devem-se ser testadas separadamente.

Foi feito da seguinte forma:

- Comparação entre dois alternadores de 60A cada, um contendo em seu acoplamento uma manta de borracha (~1mm de espessura) e o outro contendo o estator à mostra (“sandwich”); Proposta “A” versus proposta “B”;
- Comparação entre dois alternadores de 60A cada, um sem modificações e o outro contendo reforços nos mancais; Proposta “C” versus alternador sem alterações;
- Comparação entre dois alternadores de 60A cada, um sem modificações e o outro contendo um estator de diâmetro maior ($\varnothing 120\text{mm}$ no alternador sem modificação e $\varnothing 125\text{mm}$ do alternador modificado); Proposta “D” versus alternador sem alterações;
- Comparação entre dois alternadores de 60A cada, um sem modificações e o outro contendo cilindro do rotor acoplado ao conjunto das garras; Proposta “E” versus alternador sem alterações;
- Comparação entre dois alternadores de 60A cada, um sem modificações e o outro contendo fator de preenchimento maior de cobre no estator (45% no alternador sem

alterações contra 50% de fator de preenchimento no alternador modificado); Proposta “F” versus alternador sem alterações;

Os testes para determinação de ruído e saída de corrente seguirão normas usadas pela empresa “A” e fornecedor “X”, de acordo com procedimentos cuja divulgação não foi autorizados. Outro ponto importante é que os resultados apresentarão apenas o ruído geral (soma de todos os ruídos), conforme mencionado anteriormente. Como não é o objetivo desse trabalho analisar o teste propriamente dito, apenas serão considerados os resultados obtidos. Uma vez com os resultados em mãos, pode-se analisar as alterações que geraram maiores ganhos.

4. RESULTADOS E DEMAIS ANÁLISES

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Comparação entre dois alternadores de 60A, um contendo em seu acoplamento uma manta de borracha (~1mm de espessura) e o outro contendo o estator à mostra (“sandwich”);

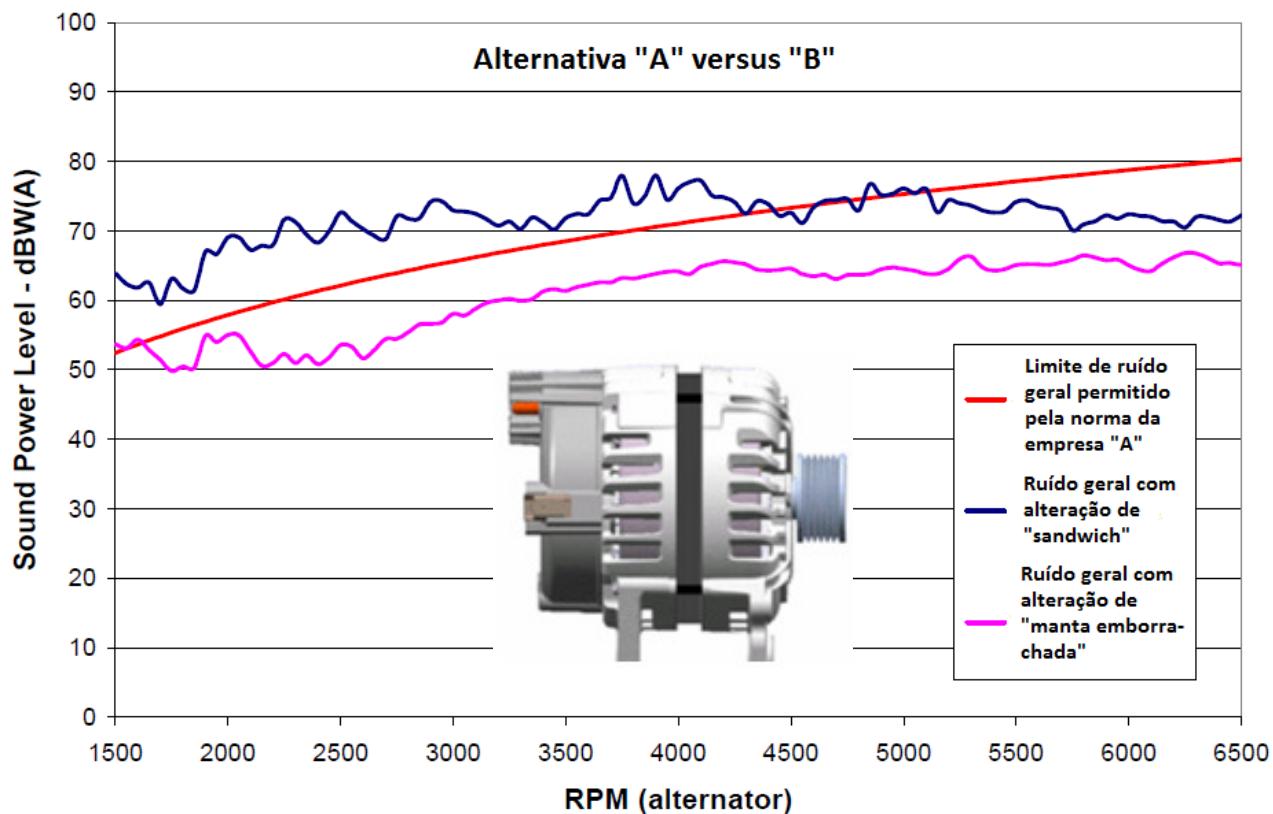


FIGURA 19 – Comparação de ruído geral entre “sandwich” versus “manta emborrachada”

- Análise dos resultados obtidos:

A manta embrorrhachada (alternativa “A”) proporcionou uma redução maior de ruído geral (cerca de 10dB na média geral) que o conceito de acoplamento em “sandwich”, com estator à mostra (alternativa “B”).

Entretanto, durante os testes, notou-se um aumento muito grande de temperatura no alternador contendo a manta embrorrhachada entre o acoplamento da carcaça (acima de 20°C de aumento). Isso porque, segundo a análise técnica, pelo fornecedor “X”, a manta embrorrhachada isola muito o calor interno do alternador (dificulta o resfriamento). Esse aumento de temperatura também danificou o papel de isolamento do estator, o que nos obrigou a rejeitar essa alternativa (não é possível sequer trabalhar no redimensionamento da manta, uma vez que o problema da temperatura afeta diretamente a eficiência do alternador).

Já o conceito de acoplamento em “sandwich”, apesar de apresentar uma redução menor no ruído geral do alternador, ajuda a dissipar o calor interno do mesmo. Esse conceito melhora a eficiência da máquina e, apesar de não ser o escopo do trabalho, é um item interessante que vale a pena ser verificado em conjunto à redução de ruído geral.

Neste caso, a alternativa “B” foi aprovada para mais testes.

4.1.2. Comparação entre dois alternadores de 60A, um sem modificações e o outro contendo reforços nos mancais;

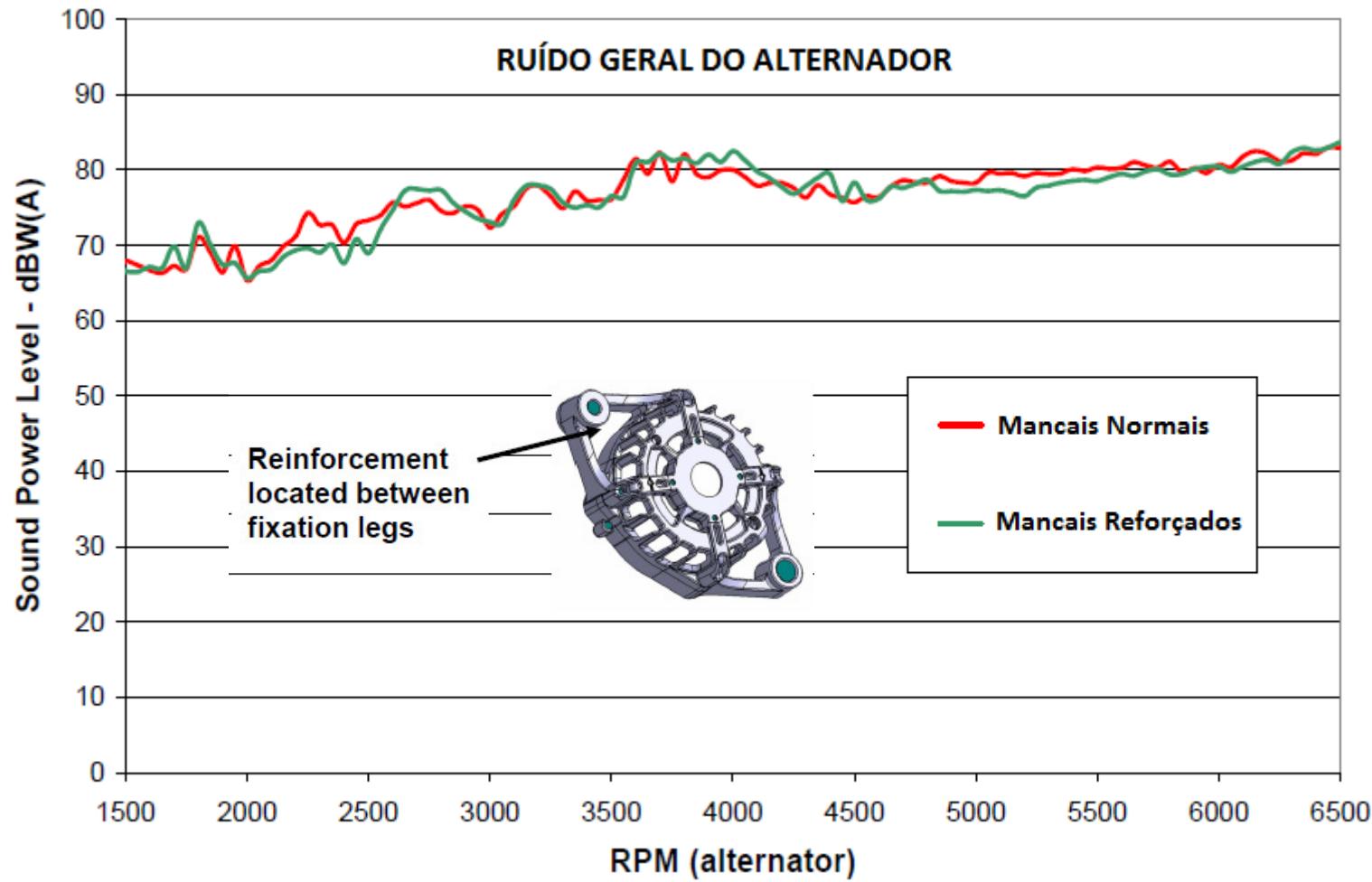


FIGURA 20 – Comparação de ruído geral entre mancais normais versus mancais reforçados

- Análise dos resultados obtidos:

Os mancais reforçados (alternativa “C”) não apresentaram melhorias relevantes, em nível de ruído, comparado ao alternador de mancais normais. A perspectiva aqui era observarmos uma melhor condição de ruído mecânico. Não foi possível.

Deste modo, visto que para o reforço dos mancais seriam necessárias modificações em ferramental e adição de material à carcaça (afeta acréscimo de custo), rejeitou-se a alternativa “C”.

4.1.3. Comparação entre dois alternadores de 60A, um sem modificações e o outro contendo um estator de diâmetro maior ($\varnothing 120\text{mm}$ no alternador sem modificação e $\varnothing 125\text{mm}$ do alternador modificado);

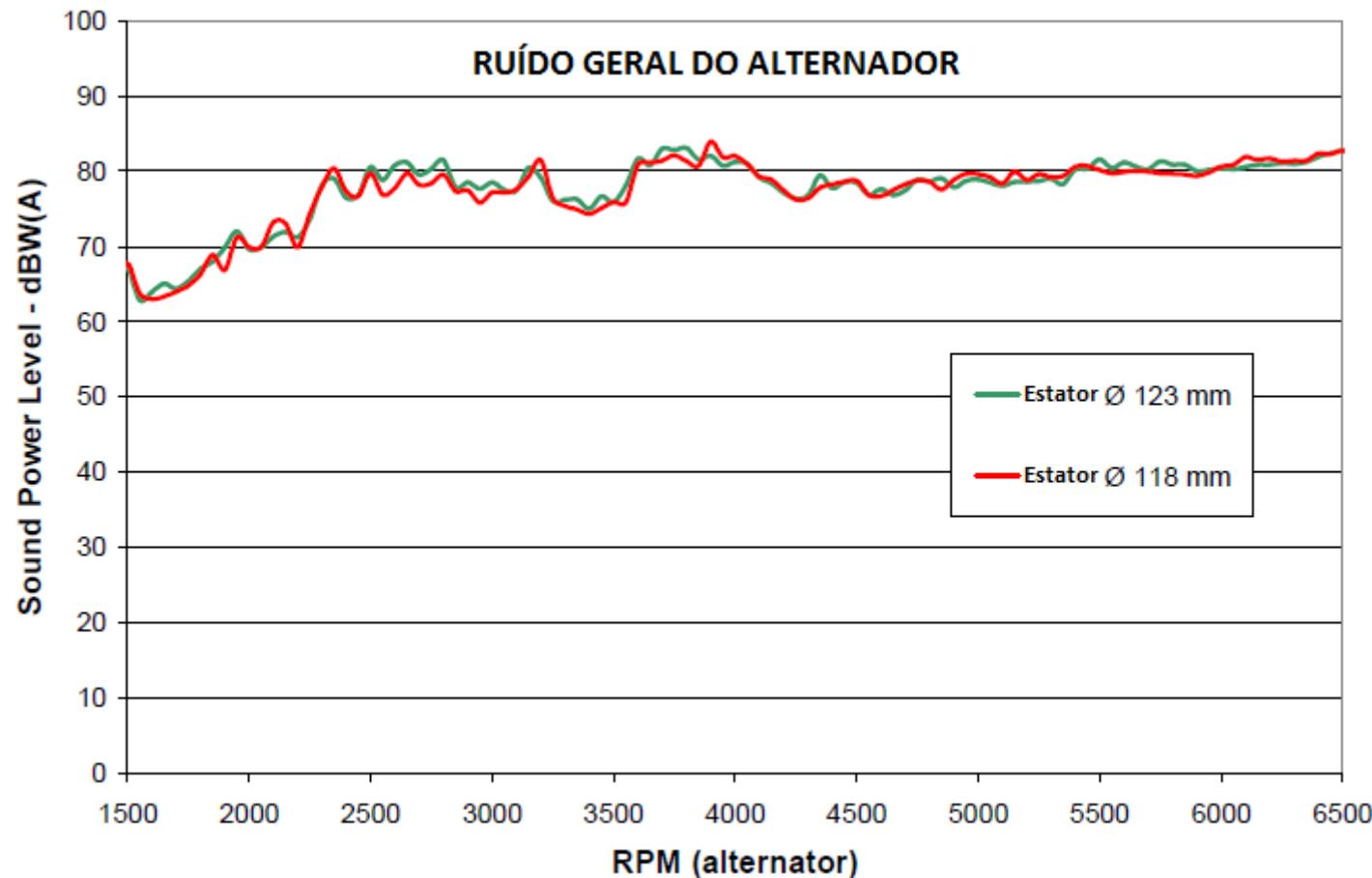


FIGURA 21 – Comparação de ruído geral entre estator de 118 mm de diâmetro versus estator de 123 mm de diâmetro

- Análise dos resultados obtidos:

Mais uma vez, outra alternativa que não proporcionou bons resultados. A alternativa “D” não diminuiu o nível de ruído geral como era o esperado. Comparando os gráficos da **FIGURA 21** pode-se concluir que para ambos os diâmetros de estator, foram obtidos resultados equivalentes.

Deste modo, não existem justificativas para aprovação dessa alteração. A alteração “D” está rejeitada.

4.1.4. Comparação entre dois alternadores de 60A cada, um sem modificações e o outro contendo cilindro do rotor acoplado ao conjunto das garras;

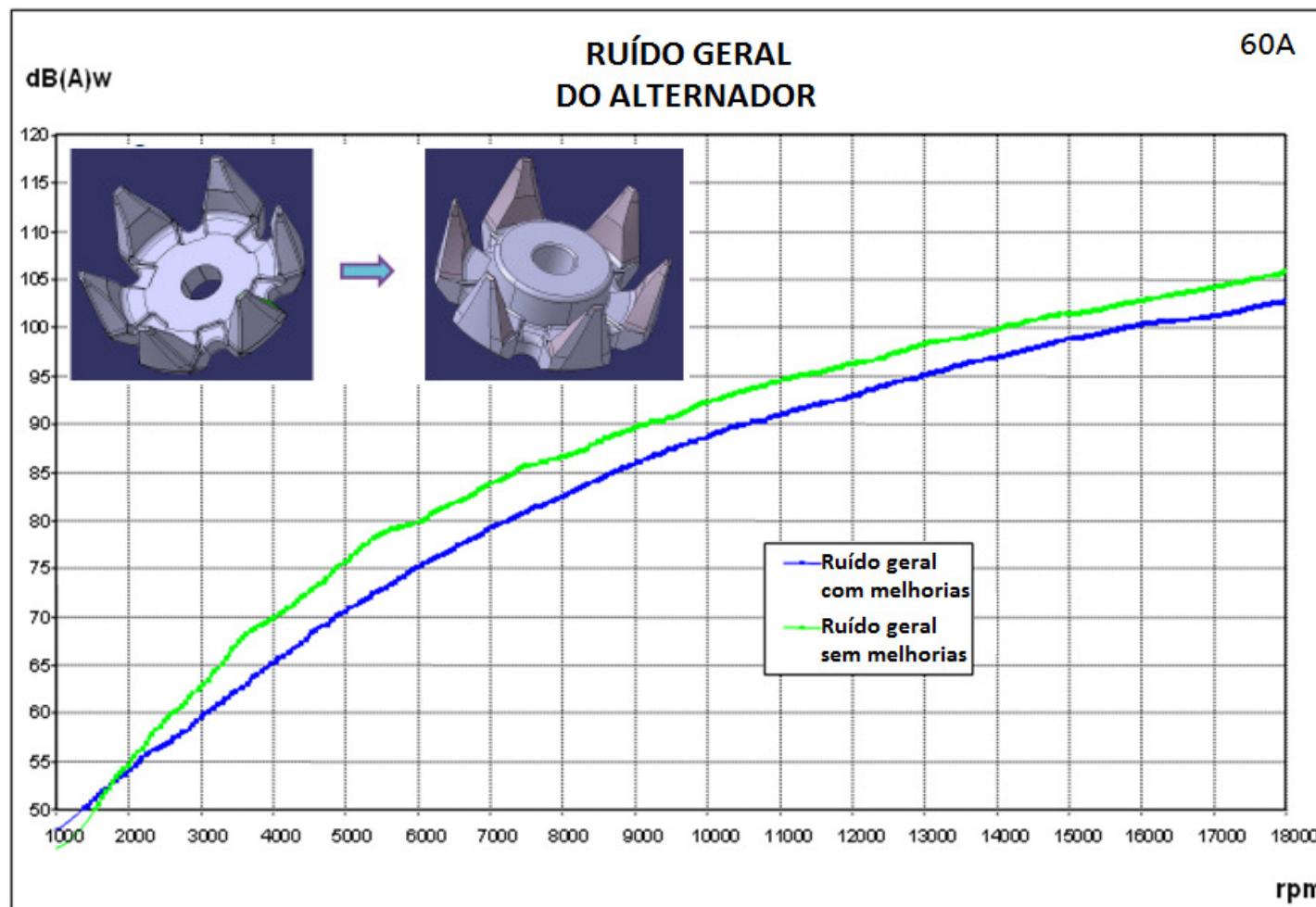


FIGURA 22 – Comparação de ruído geral entre rotor com cilindro acoplado versus rotor normal

4.1.5. Comparação entre dois alternadores de 60A, um contendo rotor com cilindro acoplado ao conjunto das garras e o outro contendo a manta emborrachada entre os acoplamentos;

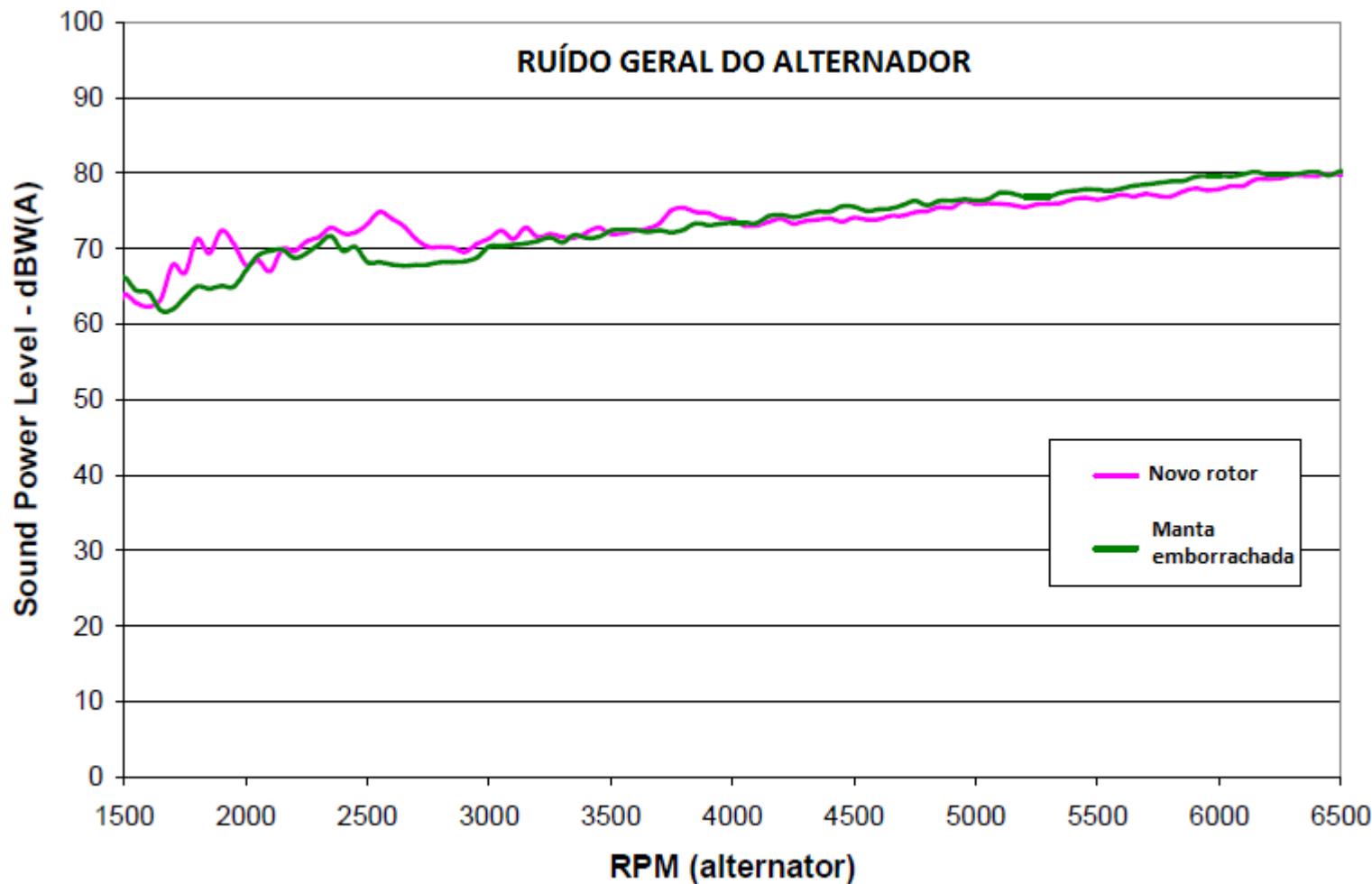


FIGURA 23 – Comparação de ruído geral entre rotor com cilindro acoplado versus rotor normal

- Análise dos resultados obtidos:

Durante os testes da alternativa “E”, observou-se uma significante melhoria no nível de ruído geral (vide **FIGURA 22** acima). Essa melhoria, de aproximadamente 5dB, em praticamente toda a curva de rotação do alternador nos levou a comparar essa alternativa “E” com a alternativa “A” (que fora rejeitada anteriormente, mas que proporcionou uma boa melhoria no nível geral de ruído também).

Comparando a alternativa “A” com a alternativa “E”, com relação ao nível geral de ruído, tem-se uma diferença um pouco maior até os 3500rpm do alternador e pouca diferença dos 3500rpm até 6500rpm (vide **FIGURA 23**).

Deste modo, a alternativa “E” foi aprovada para mais testes.

4.1.6. Comparação entre dois alternadores de 60A cada, um sem modificações e o outro contendo fator de preenchimento maior de cobre no estator (45% no alternador sem alterações contra 50% de fator de preenchimento no alternador modificado);

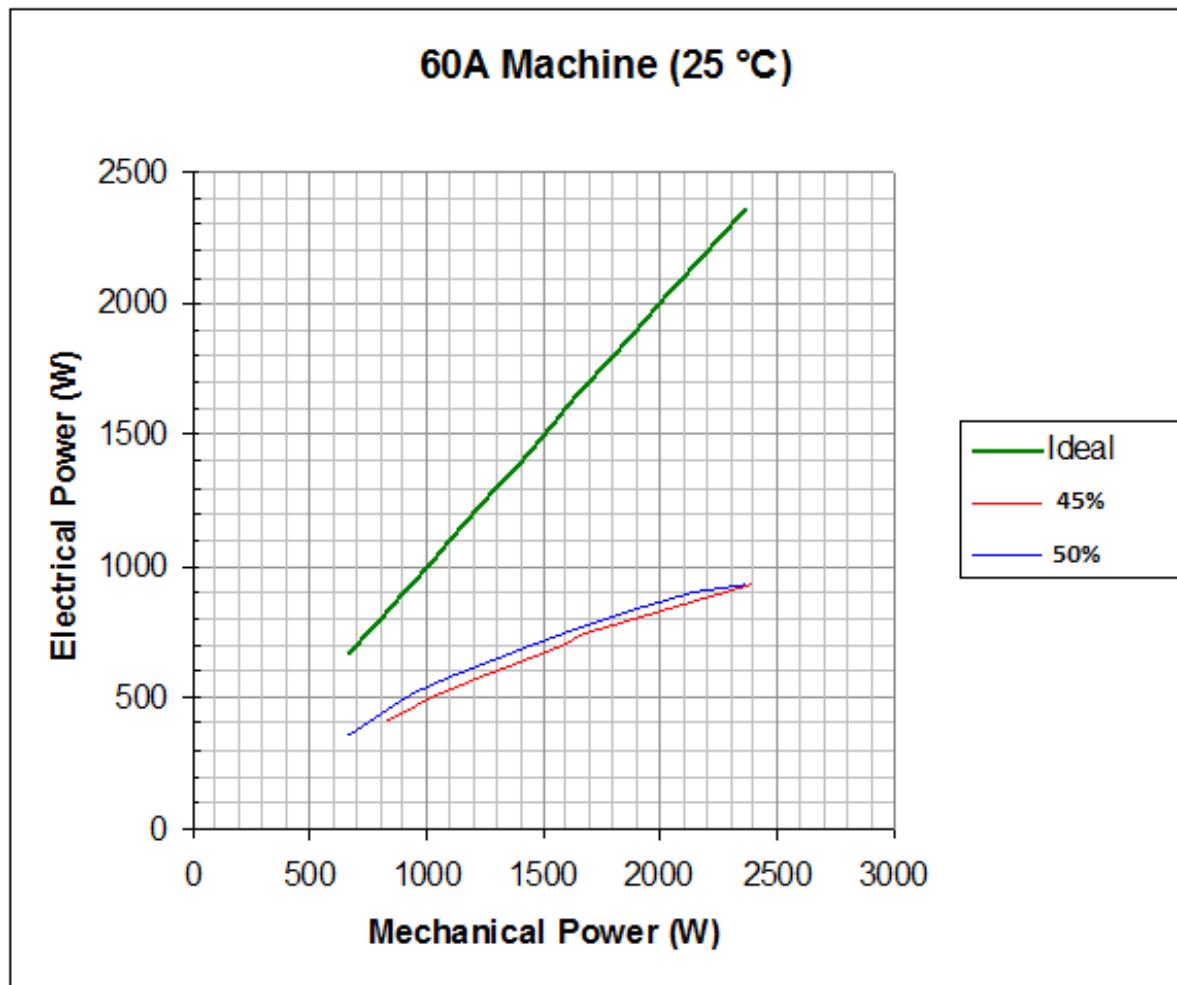


FIGURA 24 – Comparação entre eficiências com fatores de preenchimentos diferentes (temperatura ambiente)

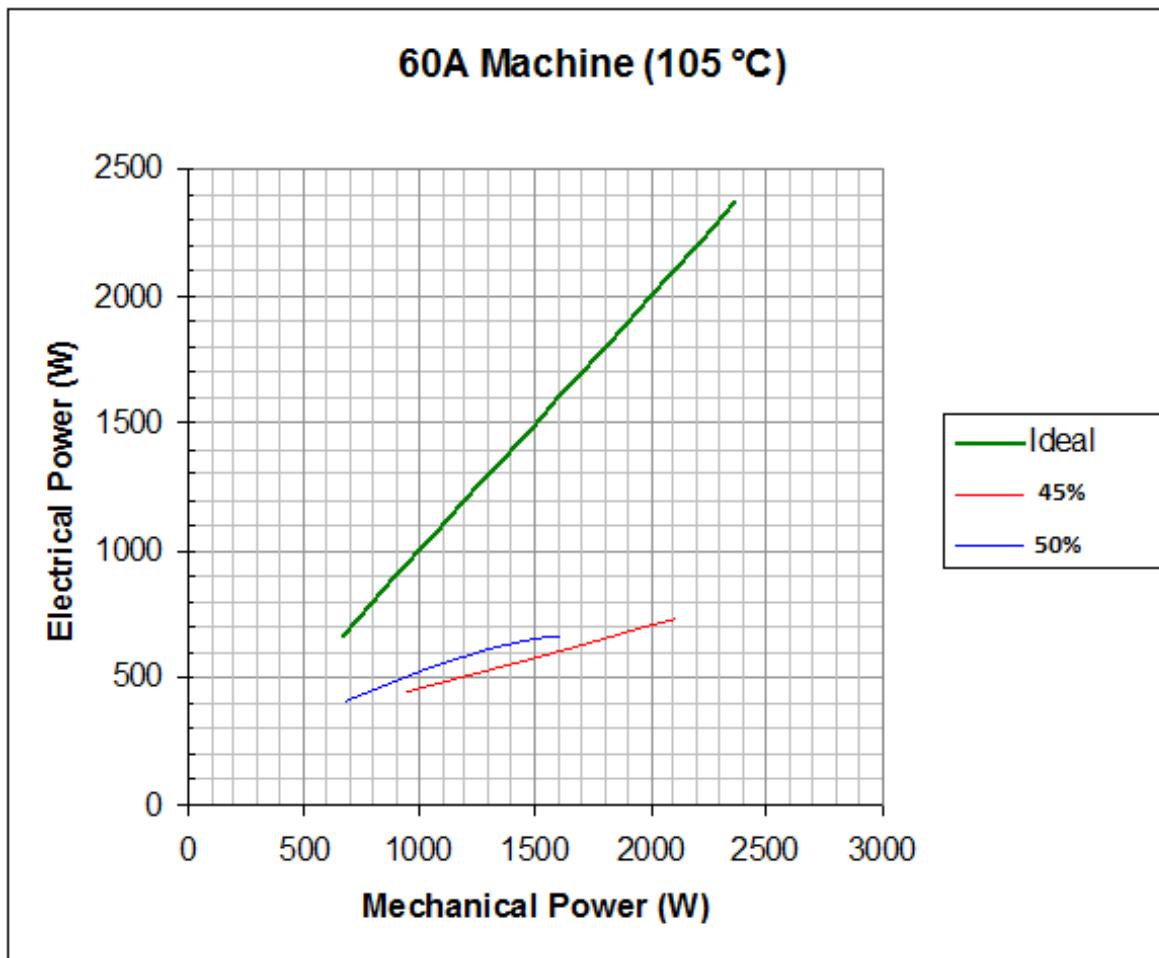


FIGURA 25 - Comparação entre eficiências com fatores de preenchimentos diferentes (temperatura 105°C)

- Análise dos resultados obtidos:

A alternativa “F” foi verificada para analisarmos o potencial em melhoria de eficiência. Durante os testes, observou-se que a eficiência é maior quanto maior for o fator de preenchimento nas bobinas do estator.

Foi possível aumentar a eficiência do alternador testado em aproximadamente 17%, apenas aumentando o fator de preenchimento nas bobinas do estator de 45% para 50%, sem agregar acréscimo em massa de cobre.

Uma vez mais eficiente, conseguimos uma mesma condição de saída de corrente com menores rotações (rpm). Isso implica em uma condição menor de vibração, que resulta em redução de ruído mecânico.

Desta forma, a alternativa “F” está aprovada para novos testes.

4.1.7. Resultado final, considerando as melhorias “B”, “E” e “F”;

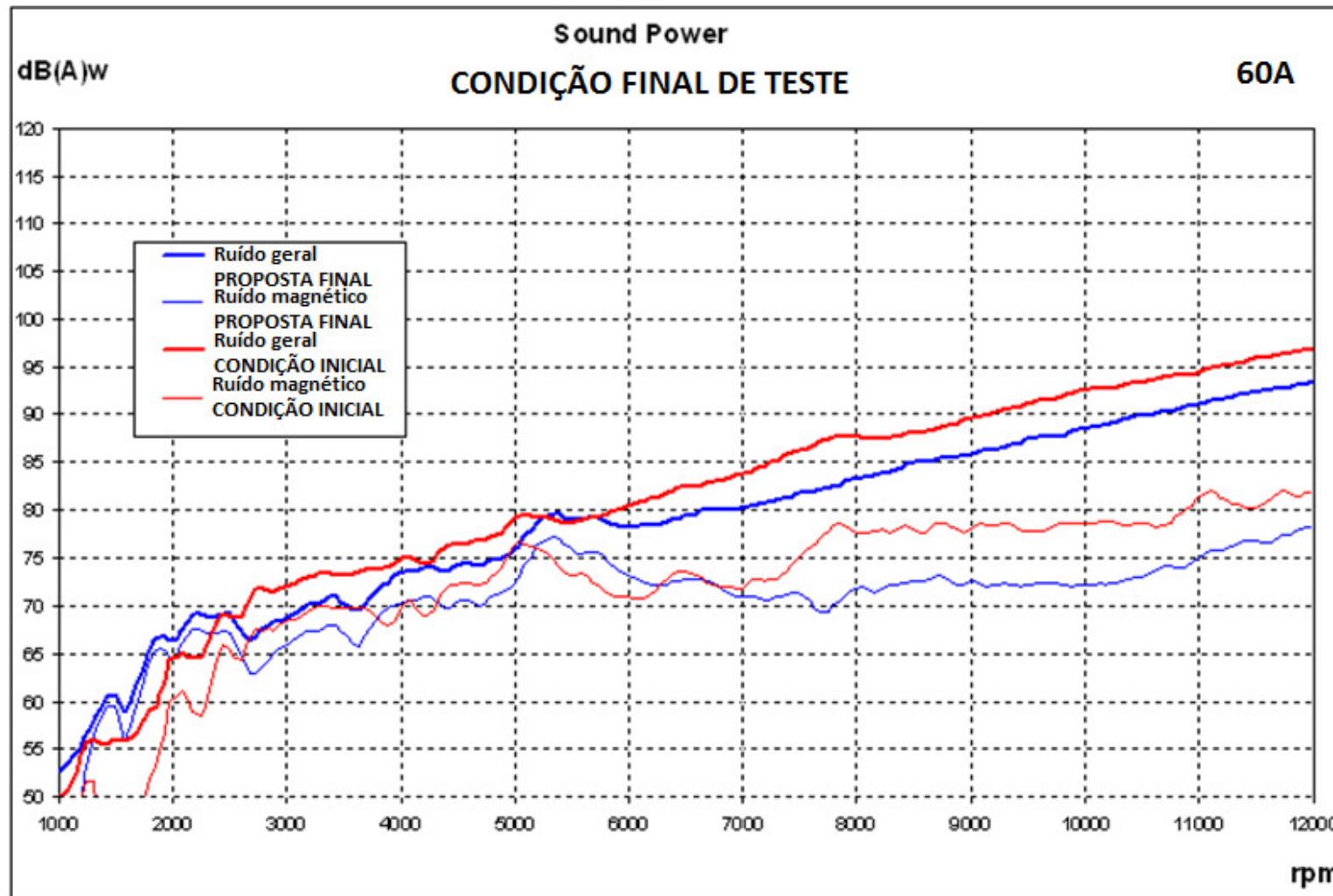


FIGURA 26 – Comparação entre ruído geral com alternador com melhorias versus alternador sem melhorias

- Análise dos resultados obtidos:

O fornecedor “X” montou um protótipo de alternador considerando as alternativas de melhorias “B”, “E” e “F”. O resultado, comparado ao alternador atual sem quaisquer modificações, mostra uma máquina com ruído geral menor (aproximadamente 5dB a menos de ruído geral) e mais eficiente em razão de menores temperaturas e maior fator de preenchimento das bobinas do estator (vide **FIGURA 26**).

4.2. DEMAIS ANÁLISES

Ainda é possível realizar algumas melhorias com relação ao ruído proveniente da ventilação. Apesar de ser uma parcela pequena, frente ao ruído magnético e mecânico, pode-se aperfeiçoar a hélice e as aletas existentes no corpo externo dos alternadores para facilitar a entrada/saída (fluxo) de ar.

Algumas alternativas de melhoria, que podem ser analisadas também, nesse sentido, são mencionadas logo abaixo:

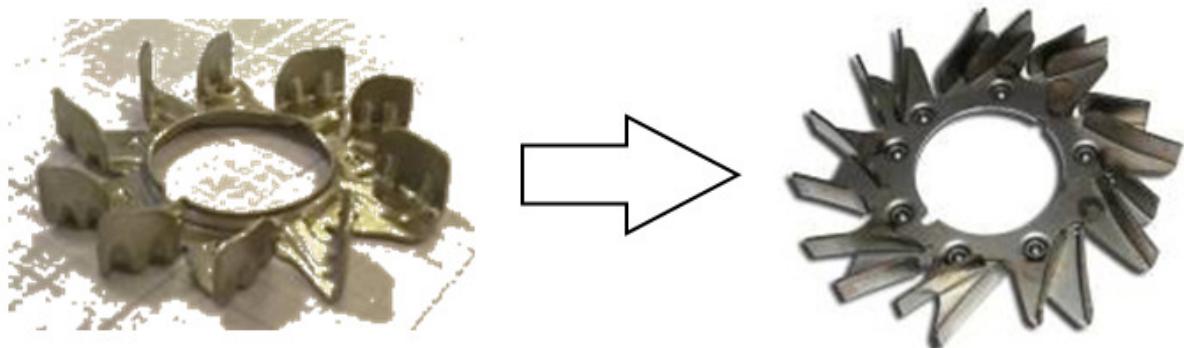


FIGURA 27 – Troca de hélice simples por hélice dupla

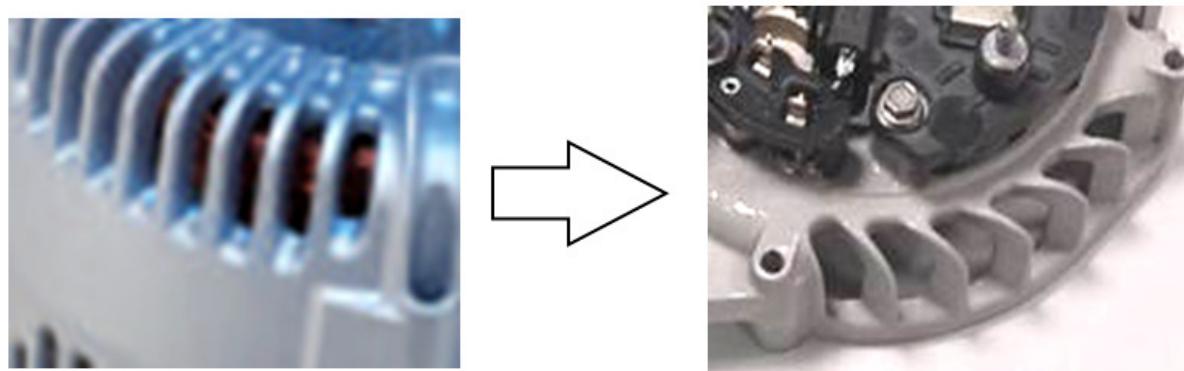


FIGURA 28 – Aperfeiçoamento das aletas

5. CONCLUSÕES

Uma vez com as melhores alternativas selecionadas, o resultado foi promissor, houve uma redução no nível de ruído geral (aproximadamente 5dB, vide **FIGURA 26** acima), que era o objetivo desse trabalho.

Isso leva à conclusão de que:

- Pode-se reduzir o ruído geral dos alternadores atuais da empresa “A” em, no mínimo, ~5dB, colocando-a em uma posição melhor com relação à concorrência;
- Existem melhorias adicionais que podem ser avaliadas, como é o caso das alternativas para redução do ruído proveniente da ventilação, gerando maiores reduções no ruído geral dos alternadores da empresa “A”;
- Foi possível aumentar a eficiência do alternador analisado em aproximadamente 17%, apenas aumentando o fator de preenchimento nas bobinas do estator (sem adição de cobre) de 45% para 50%;

	PRÓS	CONTRAS	RESULTADO
Manta emborrachada no acoplamento	- Proporciona uma redução do ruído mecânico (aprox. 10dB) em razão da absorção de vibração pela manta emborrachada	- Gera aumento de temperatura no interior do alternador (acima de 20°C de aumento)	REJEITADO
Acoplamento tipo "sandwich"	- Proporciona uma redução do ruído mecânico (aprox. -4dBW(A)) em razão da menor massa da caixa externa do alternador - Melhora a dissipação de calor do estator para o meio externo	- Gera um aumento de ruído magnético	APROVADO
Reforçamento dos mancais	- Proporciona uma redução do ruído mecânico (aprox. -5dBW(A))	- Agrega custo à peça, devido ao acréscimo de matéria prima	APROVADO
Aumento no diâmetro do estator	- Proporciona uma redução do ruído magnético (praticamente desresível, segundo nossa avaliação)	- Agrega custo à peça, devido ao acréscimo de matéria prima	REJEITADO
Acoplamento do cilindro central no conjunto de garras do rotor	- Proporciona uma redução do ruído mecânico (aprox. -5dBW(A)) em razão da redução em vibração interna do alternador	- NA	APROVADO
Aumento do fator de preenchimento no rotor	- Permite um aumento na saída de corrente e na eficiência da máquina (aprox. +17%)	- Agrega custo à peça, devido ao acréscimo de tempo de processo no fornecedor	APROVADO

TABELA 3 - Resumo de melhorias aprovadas e rejeitadas para novos testes

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Pode-se realizar os mesmos testes experimentais para alternadores de famílias superiores, com capacidades maiores e aplicações em outros tipos de veículos.

Pode-se, como sugestão adicional, realizar comparação entre diferentes tipos de alternadores (diferentes tecnologias, famílias, aplicações) para que seja possível entender melhor os ganhos em ruído e, assim, abrir novas possibilidades de tecnologias.

Outro ponto interessante é o a verificação e análise do posicionamento do alternador em diferentes veículos de diferentes montadoras, levantando através de QAS, por exemplo, quais são as melhores notas de ruído interno para testes comparativos em veículo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SAGA, Norihiko; IWAKI, Yoshiyuki; NAKAZAWA, Masaru. "A Study on Electromagnetic Noise of an Alternator". The Japan Society of Mechanical Engineers [n.s] CHUNG, Jintai; JOON, Sang Suh; EUN, Hee Joon). "Identification of Noise Characteristics of an Automobile Alternator" [n.s]

Saad, A. A. A. Vehicle Alternator Electromagnetic Noise Characteristics Determination.
SAE paper 2009-01-2188

<<http://www.howstuffworks.com/alternator.htm/printable>>

<<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=16689370>>

<<http://www.sae.org/technical/papers/2005-01-3616>>

<http://www.joseclaudio.eng.br/grupos_geradores_6.html>

<http://www.joseclaudio.eng.br/grupos_geradores_7.html>

<http://www.joseclaudio.eng.br/grupos_geradores_8.html>

Technical information from Cummins Power Generation Inc. Power topic #7015.

Disponível em: <<http://www.cumminspower.com/en/>>. Acesso em 07 mar. 2010.

<http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/view/full/10294#eztoc126476_5_6>

<www.numa.org.br/...port/.../A%20Casa%20da%20Qualidade.doc>

<www.siqueiracampos.com/downloads/qfd.xls>

<http://www.revista-ped.unifei.edu.br/documentos/V07N01/v7n1_artigo_4.pdf>

<http://www.automotiva-poliusp.org.br/mest/banc/pdf/rodrigo_vasconcellos.pdf>

<http://www.eletroleve.com.br/database_images/ruidorv9.pdf>