

ANÁLISE DA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE SOBREALIMENTAÇÃO EM UM MOTOR CICLO DIESEL

Edemar Gonçalves; Fabio Guilherme Poltronieri; Gabriel Cassaro; Luiz Felipe Matana Araldi; Ronaldo Ramos Pulga; Cleodinei Visoli¹

RESUMO

A busca incessante pela otimização de motores, para aumento de potência e de torque nos coloca frente a frente com o tema da sobrealimentação. Consiste na elevação da pressão de admissão do motor por meio de um compressor mecânico ou um turbocompressor, fazendo com que o mesmo conjugado de motor possa realizar a combustão de uma maior quantidade de combustível e ar, isto, por conta de diminuição de densidade do ar. Em nossa pesquisa utilizou-se um motor ciclo Diesel. Neste foi instalado uma sobrealimentação por turbocompressor que resultou em uma pressão de admissão 0,4 bar superior a original, este aumento de pressão por sua vez, trouxe uma elevação superior a 40 % de torque, da mesma forma a potência deste motor obteve um significativo aumento, superior a 40 %. Com estas informações pode-se plotar os gráficos de potência e torque para todos os regimes de rotação do motor. Com estas informações foi possível levantar as melhores faixas de operação e sua utilização.

Palavras-chave: Sobrealimentação. Turbo. Motores Diesel.

1 INTRODUÇÃO

Com a ampla concorrência no mercado e em busca da competitividade as empresas que utilizam em seus produtos motores de combustão interna, estão cada vez mais buscando alternativas para otimizar a potência dos mesmos sem gerar o aumento da massa do equipamento, o que para um automóvel é de grande importância, (TILLMANN, 2013).

A máxima potência que um motor pode gerar depende, dentre outros fatores, da quantidade de mistura ar/combustível para o ciclo Otto ou ar para o ciclo Diesel que o mesmo pode queimar dentro de cada cilindro a cada ciclo de combustão.

Segundo Mahle (2017) neste contexto, pode-se afirmar que quanto maior a quantidade de ar injetado em um cilindro de dimensões fixas, maior a potência de saída do mesmo e, consequentemente maior o torque. Este é o conceito básico levantado pela sobrealimentação. A ideia principal de funcionamento da sobrealimentação é aumentar a densidade do ar na

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica – UCEFF. E-mail: eg-seguranca@hotmail.com; mec.sf@hotmail.com; gabrielcassaro@hotmail.com; opanois@hotmail.com; ronaldopulga@hotmail.com; cvisoli@gmail.com

entrada do cilindro do motor, para que desta forma seja possível injetar uma maior massa de ar para o processo de combustão, gerando assim uma maior combustão e consequentemente maior potência e torque do motor.

A sobrealimentação pode ser gerada utilizando-se basicamente três tipos de processos, são eles, a sobrealimentação mecânica, a sobrealimentação por turbocompressor e a sobrealimentação por onda. Nos motores, os processos mais comuns são a utilização de sobrealimentação mecânica e a sobrealimentação por turbocompressor. A sobrealimentação mecânica consiste na utilização de um *supercharger* associado ao motor por meio de elementos de correia ou engrenagem, na qual o próprio motor desenvolve a potência necessária para giro do compressor. Já, a sobrealimentação por turbocompressor, baseia-se na utilização de um sistema composto por uma turbina e um compressor associados entre si por um eixo, este sistema é acionado pelo próprio sistema de exaustão do motor (PINTO e VALENTE, 2017).

De acordo com Brunetti (2012) os sistemas de sobrealimentação ainda podem ser associados a outros mecanismos para melhoria de desempenho como por exemplo *intercooler*, onde este tem por objetivo a diminuição da temperatura do ar antes da entrada no sistema de admissão do motor, desta forma reduzindo ainda mais a densidade do ar e consequentemente gerando uma maior eficiência ao sistema. Para Nakano (2007 apud BELLS, CORKY, 1997), com a adição de um turbo compressor, dependendo do motor em análise pode-se chegar a um aumento de potência máxima de 60 %, isto considerando a utilização de sistema *intercooler*.

Diante de exposto questiona-se: **Como analisar a instalação de um sistema de sobrealimentação em um motor ciclo diesel?** O objetivo desta pesquisa é instalar um sistema de sobrealimentação por turbocompressor em um motor ciclo Diesel, com isto determinar os ganhos de potência e de torque, através de gráficos de potência *versus* torque.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DEFINIÇÃO DE MOTORES

Segundo Brunetti (2012) máquinas térmicas são equipamentos que permitem transformar calor em trabalho. Esta energia pode ser obtida de diversas fontes, como por exemplo combustão, energia elétrica, energia atômica, dentre outras.

Os motores podem ser divididos basicamente em dois grupos distintos, os que funcionam segundo a aspiração da mistura ar-combustível (ciclo Otto) e posteriormente

promovem a combustão pela queima da mistura através de uma faísca, e os motores que aspiram apenas o ar e, logo após a compressão, é pulverizado o combustível que logo promove a queima devido ao elevado calor e pressão gerados pela compressão do ar de admissão (ciclo Diesel) (MAHLE, 2017).

Segundo Mahle (2017), os motores de combustão interna ciclo Otto e ciclo Diesel ainda podem ser classificados quanto algumas de suas características, que são: a) quanto à ignição: por centelha ou por compressão; b) quanto ao movimento do pistão: alternativo (Otto, Diesel) ou Rotativo (wankel, quasiturbine); c) quanto ao ciclo de trabalho: 2 Tempos e 4 Tempos; d) quanto ao número de cilindros: monocilíndricos ou poli cilíndricos; e) quanto à disposição dos cilindros: em linha à opostos (boxer) ou em V à em estrela (radial); f) quanto à utilização:

1º Estacionários: destinado a utilização em máquinas estacionárias que operam em um mesmo regime de rotação como geradores e máquinas de solda.

2º Industriais: estes são utilizados em máquinas as quais exija requisitos especiais de operação, tais como tratores, carregadeiras, guindastes, compressores de ar, máquinas de mineração, veículos de operação fora-de-estrada.

3º Veiculares: estes são utilizados para o acionamento de veículos de modo geral, tais como caminhões e ônibus.

4º Marítimos: são destinados à propulsão de barcos e máquinas de uso naval.

2.2 MOTORES CICLO DIESEL

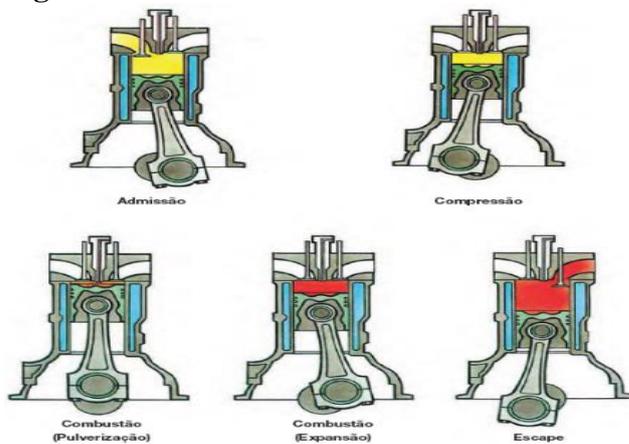
2.2.1 Princípio de funcionamento

Os motores do ciclo Diesel são caracterizados pela aspiração de somente ar, que após ser comprimido no interior da câmara de combustão, recebe o combustível sob pressão superior àquela em que o ar se encontra. A processo de combustão ocorre pela chamada autoignição, isto ocorre quando o combustível entra em contato com o ar aquecido pela elevada pressão na câmara de combustão. O combustível que é injetado ao final da compressão do ar é o óleo Diesel, porém o motor pode rodar com outros combustíveis, inclusive o óleo vegetal in natura (TILLMANN, 2013).

Em uma análise básica, os motores Diesel funciona de maneira muito semelhante ao motor do ciclo Otto. No primeiro estágio denominado de admissão, o ar é aspirado, passando pela válvula de admissão que está aberta entrando no cilindro no mesmo período a válvula de

descarga encontra-se fechada. No segundo tempo, tendo fechado a válvula de admissão e de descarga, o ar é comprimido dentro do cilindro até a uma pressão de cerca 40-45 kgf/cm², atinge temperatura da ordem de 800° C para uma taxa de compressão de 18:1. Próximo do ponto morto superior (PMS) é injetado óleo combustível no cilindro. Este óleo, misturando-se com o ar em altas temperaturas entram em autoignição e a expansão dos gases resultantes força o êmbolo a realizar o terceiro tempo do ciclo, a expansão. Pouco antes de o êmbolo atingir o ponto morto inferior (PMI), a válvula de descarga abre e os gases começam a ser descarregados do interior do cilindro. Ao atingir o PMS e fechando-se a válvula de descarga, inicia-se nova aspiração e, portanto, novo ciclo (VARELLA; SANTOS, 2010). A Figura 1 ilustra os ciclos descritos.

Figura 1 - Ciclo de combustão do motor Diesel



Fonte: Mahle (2017).

2.2.2 Principais Elementos

Para o devido funcionamento de um motor ciclo Diesel são necessários vários elementos mecânicos, estes podem ser subdivididos em dois grupos principais, os elementos estacionários e os elementos móveis. Os elementos estacionários, como o próprio nome diz são elementos fixos sem movimentos relativos, dentre eles estão: o bloco, o cabeçote, o cárter, o coletor de admissão e o coletor de escape. Já os elementos móveis são aqueles que possuem movimento relativo no motor, sendo eles, a biela, o pistão/anel, o virabrequim, o eixo comando de válvulas, as válvulas, o conjunto de acionamento das válvulas, a polia e o anti-vibrador, a bomba de óleo, e a bomba de água (MAHLE, 2017).

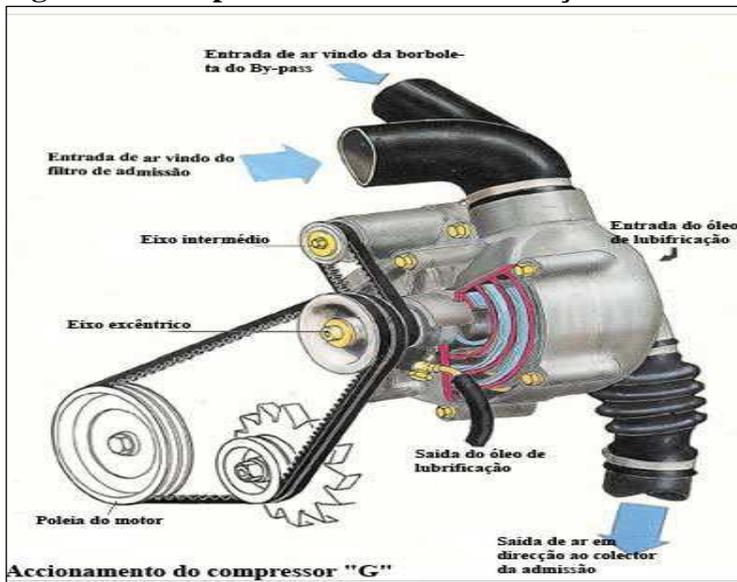
2.2.3 Sobrealimentação

O conceito básico da sobrealimentação é adicionar no sistema de admissão do motor uma quantidade mássica de ar (motores Diesel) ou de mistura (motores de explosão) superior ao compararmos com a aspiração normal do motor. Isto traz vantagens de eficiência do motor que opera em altitude, devido a diminuição da densidade do ar, além de poder ser usado para elevar a potência do motor por unidade de volume útil (cilindrada) e por ciclo (rotação) (PINTO e VALENTE, 2017).

A sobrealimentação realiza-se utilizando compressores volumétricos acionados diretamente pelo motor ou também, utilizando para este fim a energia dos gases de escape, fazendo-os incidir sobre uma turbina que, por sua vez, movimenta um compressor centrífugo (PINTO e VALENTE, 2017).

Na sobrealimentação mecânica é utilizado um sistema com compressor de acionamento mecânico e este é denominado compressor volumétrico. Este compressor é uma bomba de ar, podendo produzir facilmente 50% mais potência do que os motores atmosféricos de mesmo tamanho. Os compressores mais antigos produziam um ruído considerável mas os atuais são muito mais silenciosos. A Figura 2 ilustra um compressor de sobrealimentação mecânica (PINTO e VALENTE, 2017).

Figura 2 - Compressor de sobrealimentação mecânica



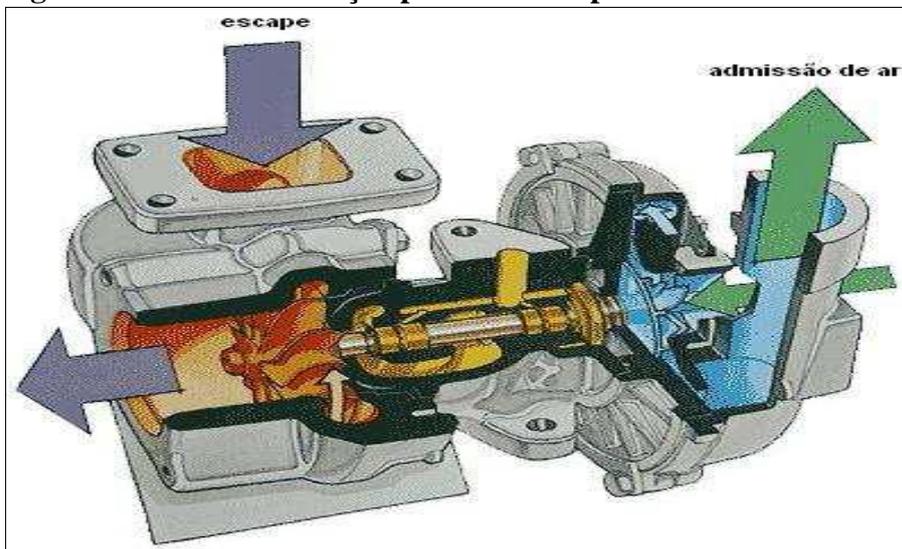
Fonte: Pinto e Valente (2017).

Os compressores volumétricos são acionados pelo movimento natural do motor, geralmente por uma correia, por uma corrente ou conjunto de engrenagens. Estes giram a uma rotação elevada que pode chegar a faixa de 15.000 rpm (PINTO e VALENTE, 2017).

Devido à sua forma de acionamento os compressores volumétricos possuem algumas vantagens em comparação aos turbocompressores, uma delas é que ele gera uma maior potência ao motor em baixas rotações. Outra vantagem do compressor volumétrico é que tem uma resposta mais rápida, não sofrendo o efeito "lag" do turbo. A desvantagem principal do compressor é que rouba potência ao motor devido ao seu acionamento mecânico e esta perda aumenta à medida que sobe o regime de rotações do motor (PINTO e VALENTE, 2017).

Na sobrealimentação por turbo um turbocompressor, é um compressor de ar que é usado para admissão forçada de um motor de combustão interna. A Figura 3 apresenta um modelo ilustrativo de sobrealimentação por turbocompressor (PINTO e VALENTE, 2017).

Figura 3 - Sobrealimentação por turbocompressor



Fonte: Pinto e Valente (2017).

O princípio de funcionamento da sobrealimentação por turbo consiste na diminuição da densidade do ar na admissão do motor para gerar mais potência devido a maior massa de ar possível no processo. Um turbocompressor tem o compressor movido por uma turbina, instalada no coletor de exaustão do motor, gerando assim potência necessária para sua movimentação, ao invés de acionamento mecânico (PINTO e VALENTE, 2017).

O turbo é composto por uma turbina radial e ligada por meio de um eixo a um compressor radial. A turbina é movimentada pelos gases do escapamento do motor o por sua vez fornece potência necessária ao compressor para elevar a compressão na admissão do motor. Para o controle desta compressão existe uma válvula denominada de Wastegate que calibrada,

possui a função de regular a pressão de sobrealimentação, evitando danos ao turbo e motor (MAHLE, 2017).

Esta válvula atua aliviando a pressão do turbo e conseqüentemente a vazão de ar que vai para o motor, permitindo melhor combustão e desempenho, principalmente em baixas rotações, ou seja, reduzindo a emissão de poluentes nesta faixa (MAHLE, 2017).

2.3 DETERMINAÇÃO

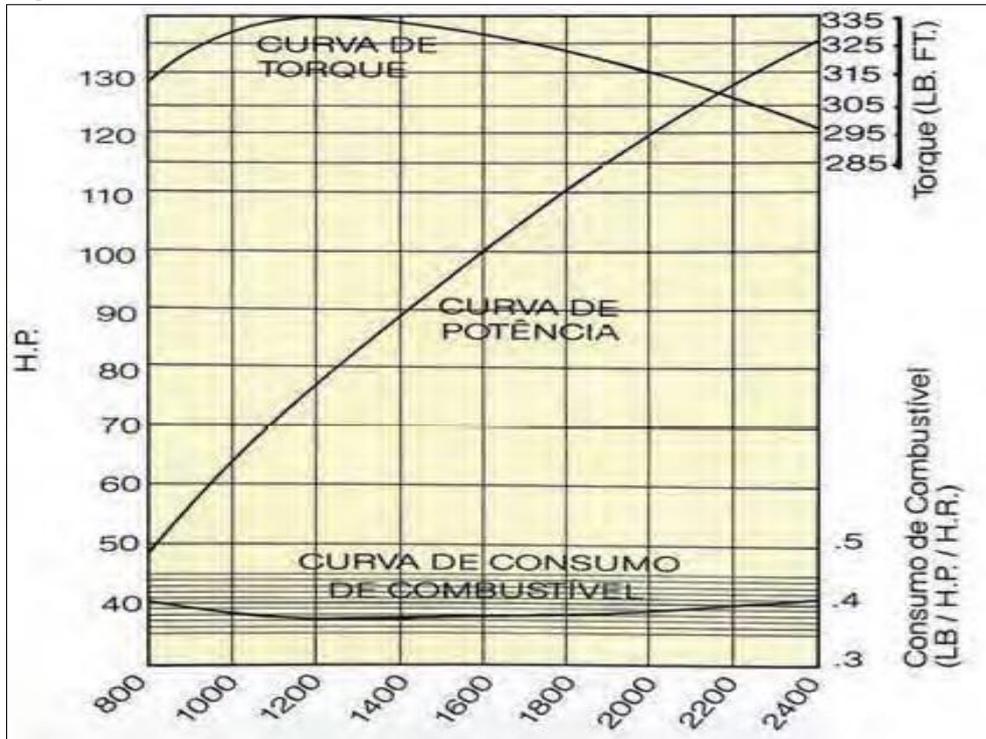
No caso de motores de combustão interna o seu torque ou conjugado é o momento criado pela biela, devido à força de expansão dos gases, atuando sobre o virabrequim. O torque do motor pode ser calculado pela Equação 1 (MAHLE, 2017).

$$M = \frac{P \times K}{RPM} \quad (1)$$

Onde M é o torque gerado pelo motor, P é a potência do motor em HP, K é a constante que depende da unidade da potência, sendo HP K= 5252 e RPM é a rotação do motor em rotações por minuto (MAHLE, 2017).

A elevação da potência do motor é obtida com o aumento de sua rotação atingindo o seu máximo na rotação máxima, enquanto que o torque máximo do motor é obtido aproximadamente com a metade dessa rotação. A Figura 4 apresenta um gráfico contendo as características de um motor (PINTO e VALENTE, 2017).

Figura 4 - Características de um motor



Fonte: Pinto e Valente (2017).

A potência do motor após a instalação do turbocompressor pode ser definida a partir da Equação 2. Onde HP_C é a potência em HP para o motor com a utilização de turbocompressor, HP é a potência do motor na forma aspirada, P_C é a pressão do compressor e P_{atm} é a pressão atmosférica (MAHLE, 2017).

$$HP_C = \frac{HP \times (P_C - P_{ATM})}{P_{ATM}} \quad (2)$$

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste estudo baseou-se na instalação de um sistema de superalimentação por turbocompressor para um motor ciclo Diesel, para posterior análise de seus ganhos. Como primeira etapa, foi utilizado um motor estacionário da Marca Kubota Modelo V1903-EBG de 4 cilindros, conforme especificação técnica ilustrada no Quadro 1.

Quadro 1 - Especificação técnica motor estacionário Kubota

Model		V1903-EBG
Type		Vertical, water-cooled, 4-cycle diesel engine
Number of cylinders		4
Bore and stroke	mm (in.)	80 x 92.4 (3.15 x 3.64)
Total displacement	L (cu.in.)	1.857 (113.32)
Combustion chamber		Spherical Type (New TVCS)
SAE NET Continuous H.P. (SAEJ1349)	kW / rpm (HP / rpm)	17.1 / 1800 (23.0 / 1800) 14.5 / 1500 (19.5 / 1500)
SAE NET Standby H.P. (SAEJ1349)	kW / rpm (HP / rpm)	19.3 / 1800 (26.0 / 1800) 16.4 / 1500 (22.0 / 1500)
Maximum bare speed	rpm	1890 / 1575
Minimum bare idling speed	rpm	1250 to 1350 / 950 to 1050
Order of firing		1-3-4-2
Direction of rotation		Counter-clockwise (viewed from flywheel side)
Injection pump		Bosch Type mini pump
Injection pressure	Mpa (kgf/cm ² , psi)	13.73 (140, 1991)
Injection timing (Before T.D.C.)		0.25 rad (14.5°)
Compression ratio		23 : 1
Fuel		Diesel Fuel No.2-D (ASTM D975)
Lubricant (API classification)		above CD grade
Dimension (length x width x height)	mm (in.)	700.6 x 482 x 635.7 (27.58 x 18.98 x 25.03)
Dry weight (BB Spec.)	kg (lbs.)	202 (445.3)
Starting system		Cell starter (with glow plug)
Starting motor		12 V, 1.4 kW
Charging generator		12 V, 480 W
Recommended battery capacity		12 V, 100 to 120 AH

Fonte: Kubota (2017).

Para este motor foi utilizada uma turbina Marca Mahle Modelo NB 039 A8 a qual, segundo o fabricante, é indicada para a aplicação deste motor, a Figura 5 ilustra o sistema de sobrealimentação por turbocompressor utilizado.

Figura 5 – Sistema de sobrealimentação por turbocompressor



Fonte: Mahle (2017).

De posse dos equipamentos a serem utilizados, a próxima etapa consistiu na confecção de uma bancada móvel para a fixação do motor, para isto foi utilizado tubos retangulares e quatro rodas com trava. A Figura 6 apresenta a bancada após a sua execução. Nesta bancada foi instalado um tanque de combustível na parte inferior e um suporte para bateria na parte posterior da mesma.

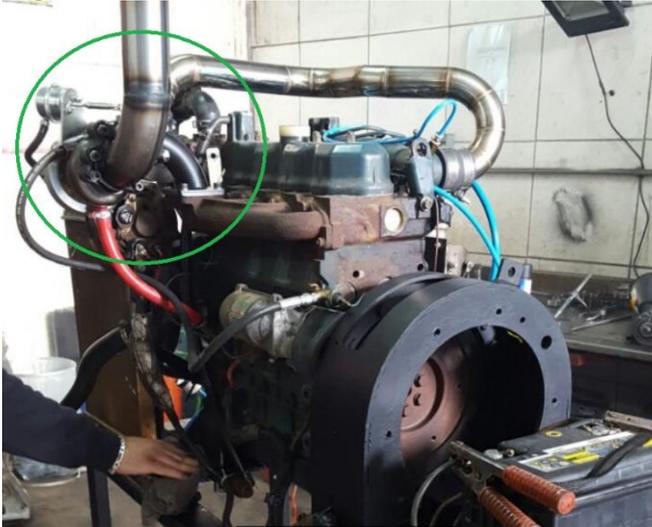
Figura 6 - Bancada de teste



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Após isto, iniciou-se o processo de desmontagem do motor para o início da etapa de instalação. O procedimento de desmontagem consistiu na remoção do coletor de escape original do motor, isto se fez necessário para a instalação no novo coletor que estava associado a turbina a ser instalada. A Figura 7 mostra em destaque o sistema coletor e a turbina já instalados no motor.

Figura 7 - Motor com sistema coletor e turbina



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Com esta etapa concluída foi realizada a interligação entre a saída de pressão do compressor e a linha de admissão do motor, para isto foram utilizados tubos de aço inoxidável de diâmetro adequado e foram unidos por meio de soldagem. A Figura 8 apresenta em destaque esta interligação.

Figura 8 – Interligação turbina com sistema de admissão



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

O procedimento seguinte foi a instalação de manômetro na linha de admissão do motor para verificação da pressão da turbina. Para este sistema de turbo foi utilizado um manômetro de até 2 kgf/cm² conforme orientação do fornecedor. A Figura 9 nos ilustra o manômetro devidamente instalado.

Figura 9 - Manômetro na linha de admissão



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Após isso, foi realizada a confecção da linha de lubrificação do sistema de sobrealimentação por turbocompressor, utilizou-se uma entrada e uma saída de óleo recomendada pelo fabricante e a interligação foi realizado com mangueiras adequadas para este uso e com resistência a pressão de 400 psi. A Figura 10 mostra o sistema devidamente instalado.

Figura 10 - Sistema de lubrificação



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Após este procedimento foi realizada a interligação elétrica do motor para seu acionamento, seguiu-se as orientações do fabricante do motor nesta etapa. A Figura 11 ilustra esta etapa.

Figura 11 - Parte elétrica



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Após isto, foi realizado a regulagem da válvula wastegate do turbo, a Figura 12 traz em destaque a válvula, o correto ajuste desta se faz necessário pois é este que irá ditar a pressão do sistema de sobrealimentação por turbocompressor.

Figura 12 - Válvula wastegate



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Após a realização das etapas acima descritas, pode-se realizar os devidos testes para atestar a eficiência e ganhos por meio da instalação do sistema de sobrealimentação por

turbocompressor. Com base na pressão apresentada pelo manômetro instalado, pode-se calcular a potência teórica para o motor com sobrealimentação por turbocompressor, isto pode ser realizado com o auxílio da Equação 2. Esta nova potência foi recalculada para todas as rotações do motor utilizado, seguindo as características do mesmo exposto na especificação, do Quadro 1. De posse destas novas potências existentes para o motor, pode-se determinar o torque de saída para o motor, isto com base na Equação 1.

Após a realização do cálculo destas potências e torque pode-se realizar a confecção do novo gráfico de potência para este motor, estes possuem suas características similares ao diagrama exposto.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

O desenvolvimento deste projeto teve como ponto de partida a instalação de um sistema de sobrealimentação por turbocompressor em um motor ciclo Diesel com características exposta no Quadro 1. Neste procedimento de instalação foi utilizado um kit de turbocompressor com características adequadas e repassadas pelo fornecedor do motor.

O processo de instalação seguiu o procedimento apresentado no tópico 3, no qual partiu-se de um motor ciclo Diesel da Marca Kubota Modelo V1903-EBG e realizou-se a instalação de um turbocompressor Marca Mahle Modelo NB 039 A8.

Como resultados obtive-se um motor com sistema de sobrealimentação por turbocompressor, composto por sistema de turbo compressão, linha de admissão de alta pressão, sistema de lubrificação e sistema de monitoramento. A Figura 13 ilustra a montagem final do conjunto motor mais turbocompressor e seu sistema.

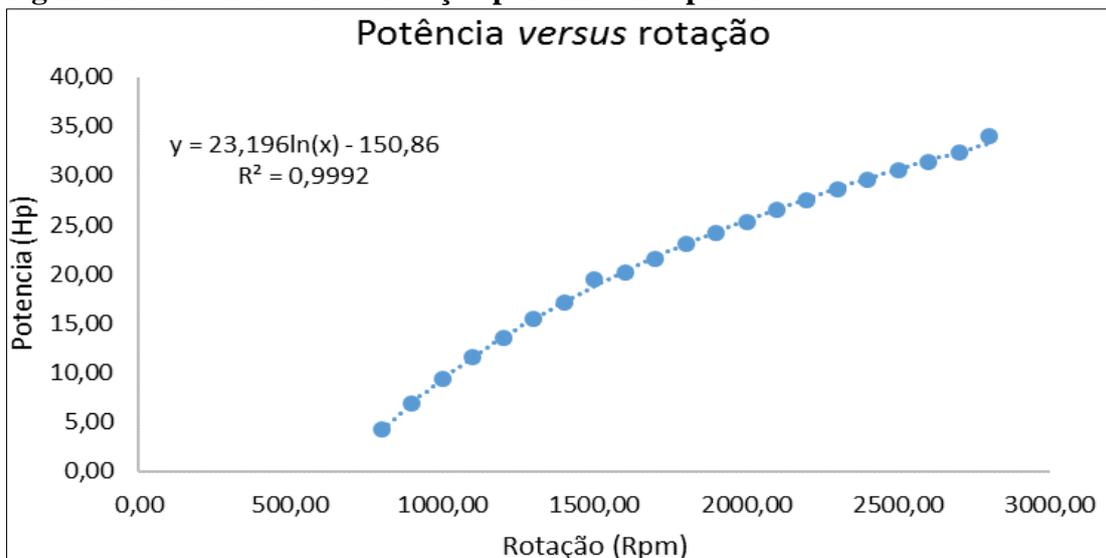
Figura 13 - Motor com sistema de sobrealimentação por turbocompressor



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Com base nas informações do motor expostas no Quadro 1, e com referência no gráfico exposto na Figura 04, podemos elaborar o gráfico de potência *versus* rotação para o motor em sua forma aspirada, a Figura 14 nos traz a plotagem deste gráfico.

Figura 14 - Potência *versus* rotação para motor aspirado



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

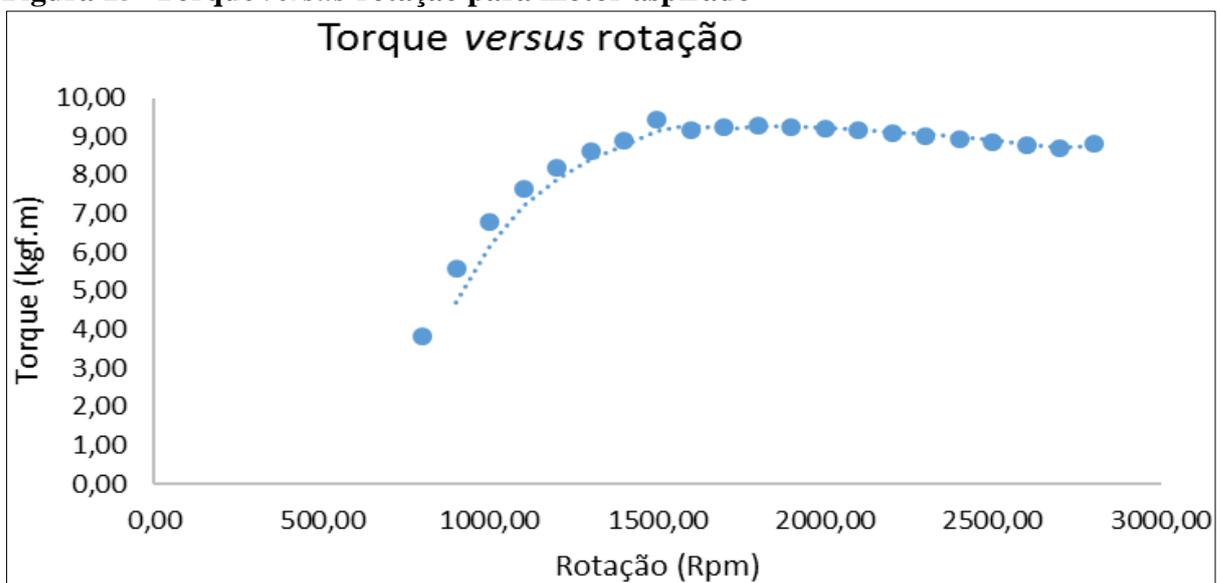
Este gráfico é de grande importância para o desenvolvimento de nosso estudo pois a partir dele pode-se definir a potência para cada regime de rotação do motor, o que não era possível através da especificação exposta do Quadro 1.

Conforme observa-se na Figura 04 o gráfico de potências de um motor possui uma curva de forma logarítmica, e por conta disso pode-se no momento da plotagem do gráfico gerar a equação estabelecida por esta curva. A equação gerada é $y = 23,196 \times \ln(X) - 150,86$, a partir

dela pode-se chegar a potência em qualquer rotação do motor de forma adequada. Outro dado importante é o fator R^2 , este demonstra a aproximação da linha de tendência logarítmica e o quanto os valores estão convergindo. Em nosso caso o fator R^2 obtivemos um valor de 0,9992, o que traz uma alta convergência de resultados e reafirma que a equação pode ser utilizada seguindo uma tendência de curva logarítmica.

Com base no gráfico exposto na Figura 14, e com o auxílio da Equação 01 pode-se determinar mais um importante gráfico, torque *versus* rotação, este está exposto na Figura 15.

Figura 15- Torque *versus* rotação para motor aspirado



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

O gráfico torque *versus* rotação é de grande importância para o conhecimento, pois a partir deste podemos observar as melhores faixas de torque desprendido pelo motor a uma determinada rotação, e com esta informação podemos definir o melhor regime de trabalho para o motor em estudo. Como podemos observar na Figura 16, uma boa faixa de trabalho para este motor é a de 1500 rpm a 2250 rpm, está nos desprende os maiores torques para este motor.

De posse das informações do motor em sua forma aspirada, o próximo passo foi o levantamento das informações para o mesmo após a instalação do sistema de sobrealimentação por turbocompressor. Com a válvula wastegate devidamente regulada, conforme recomendações do fabricante, podemos verificar, com o auxílio do manômetro instalado na linha de admissão do motor, a pressão de trabalho do turbocompressor. Esta pressão teve a magnitude de 0,4 bar.

Com base nesta informação e com as características do motor expostas nos gráficos da Figura 14 e com o auxílio da Equação 02, pode-se determinar as potências para o motor com a sobrealimentação por turbocompressor. A Tabela 1 traz todas às potências para cada regime de rotação.

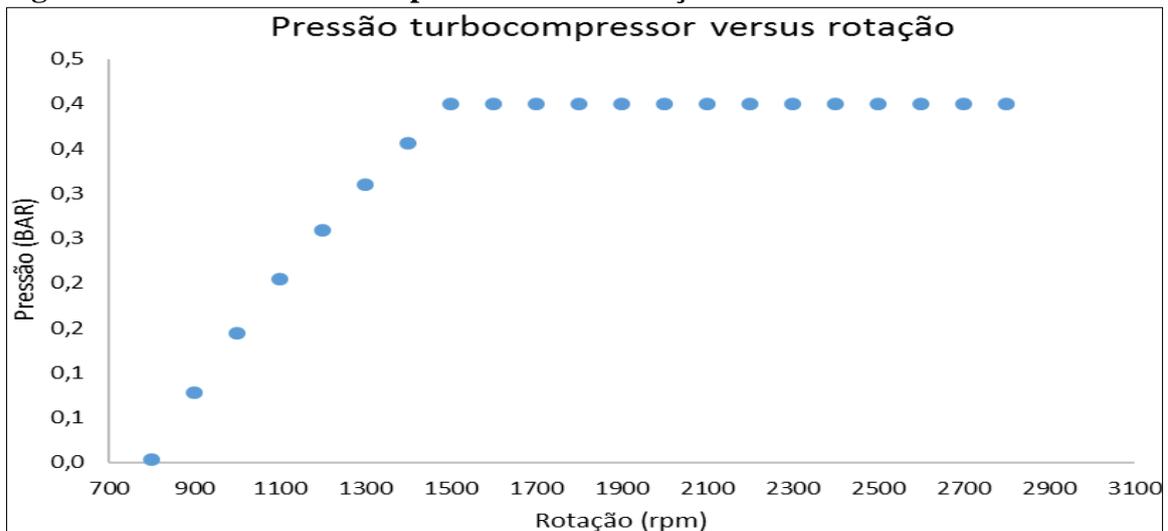
Tabela 1 - Potência para motor com sobrealimentação por turbocompressor

Determinação da potência				
Potência aspirado (HP)	Pressão Turbo (bar)	Pressão Atmosférica (bar)	Potência Turbo (HP)	Rotação (rpm)
4,21	0,0037	0,97	5,94	800,00
6,92	0,0,777	0,97	9,78	900,00
9,36	0,1441	0,97	13,21	1000,00
11,55	0,2042	0,97	16,32	1100,00
13,56	0,2591	0,97	19,15	1200,00
15,41	0,3095	0,97	21,76	1300,00
17,12	0,3563	0,97	24,18	1400,00
19,50	0,4000	0,97	27,54	1500,00
20,20	0,4000	0,97	28,53	1600,00
21,60	0,4000	0,97	30,50	1700,00
23,00	0,4000	0,97	32,48	1800,00
24,16	0,4000	0,97	34,13	1900,00
25,35	0,4000	0,97	35,80	2000,00
26,47	0,4000	0,97	37,39	2100,00
27,54	0,4000	0,97	38,90	2200,00
28,57	0,4000	0,97	40,35	2300,00
29,55	0,4000	0,97	41,74	2400,00
30,49	0,4000	0,97	43,07	2500,00
31,40	0,4000	0,97	44,35	2600,00
32,27	0,4000	0,97	45,57	2700,00
34,00	0,4000	0,97	48,02	2800,00

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

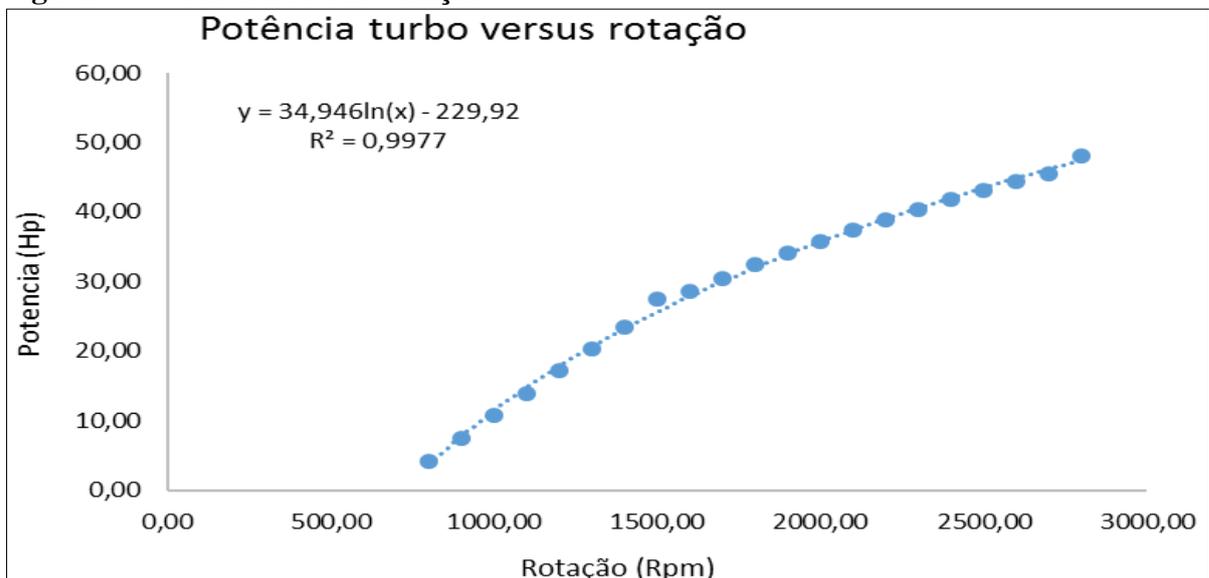
Na Tabela 1 pode-se observar que houve um aumento de potência ao compararmos a coluna 1 e a coluna 4, isto se deve a maior pressão na linha de admissão do motor.

Com nas informações apresentadas na Tabela 1 se pode plotar o gráfico da pressão *versus* Rotação do motor, ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Pressão turbocompressor versus rotação

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Com base nas informações expostas na Tabela 1, pode-se plotar o gráfico de potência *versus* rotação para o motor com sobrealimentação por turbocompressor, este pode ser verificado na Figura 17.

Figura 17 - Potência *versus* rotação

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Da mesma forma que os motores aspirados, pode-se a partir deste gráfico, definir a potência para cada regime de rotação deste motor, isto com o auxílio da equação da curva logarítmica que para este gráfico possui a expressão $y = 32,762 \ln(x) - 213,07$, está por sua vez

possui um fator R^2 de tendência de 0,9992, o que nos traz uma elevada confiabilidade nos resultados.

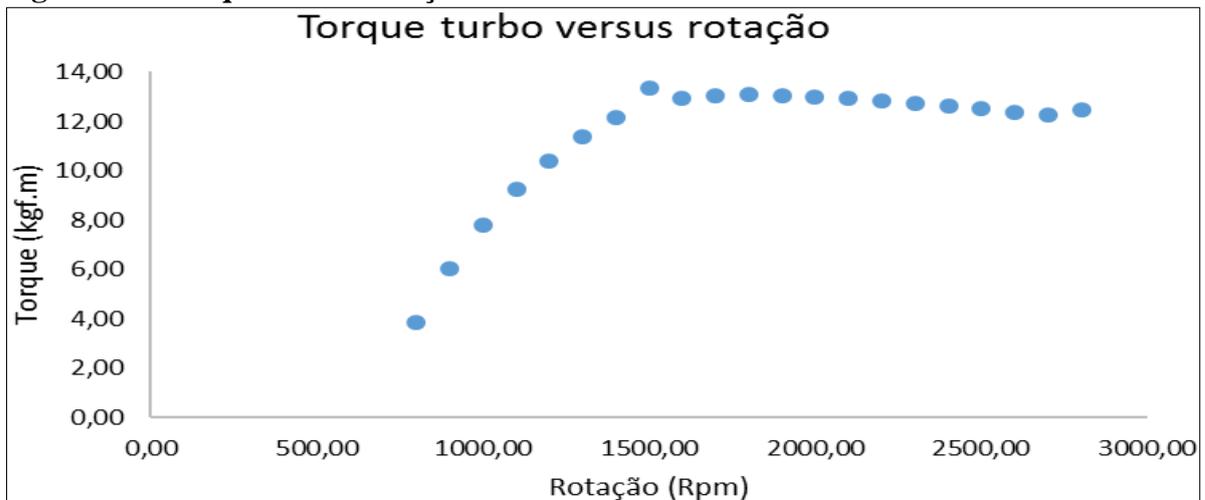
De posse das informações referentes à potência teórica para o motor com sistema de sobrealimentação por turbocompressor, exposta na Tabela 1, pode-se levantar o torque do motor para cada regime de rotação, isto é possível com o auxílio da Equação 01. Os valores do torque para cada regime de rotação estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela torque de motor com sobrealimentação por turbocompressor
Determinação de Torque

Rotação rpm	Potência HP	K	Torque Kgf.m
800,00	5,94	5252,00	5,39
900,00	9,78	5252,00	7,89
1000,00	13,21	5252,00	9,59
1100,00	16,32	5252,00	10,77
1200,00	19,15	5252,00	11,59
1300,00	21,76	5252,00	12,15
1400,00	24,18	5252,00	12,54
1500,00	27,54	5252,00	13,33
1600,00	28,53	5252,00	12,95
1700,00	30,50	5252,00	13,03
1800,00	32,48	5252,00	13,10
1900,00	34,13	5252,00	13,04
2000,00	35,80	5252,00	13,00
2100,00	37,39	5252,00	12,93
2200,00	38,90	5252,00	12,84
2300,00	40,35	5252,00	12,74
2400,00	41,74	5252,00	12,63
2500,00	43,07	5252,00	12,51
2600,00	44,35	5252,00	12,38
2700,00	45,57	5252,00	12,26
2800,00	48,02	5252,00	12,45

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Com base nestas informações apresentadas na Tabela 2, pode-se plotar o gráfico de torque *versus* rotação para motor com sistema de sobrealimentação por turbocompressor, este está exposto na Figura 18.

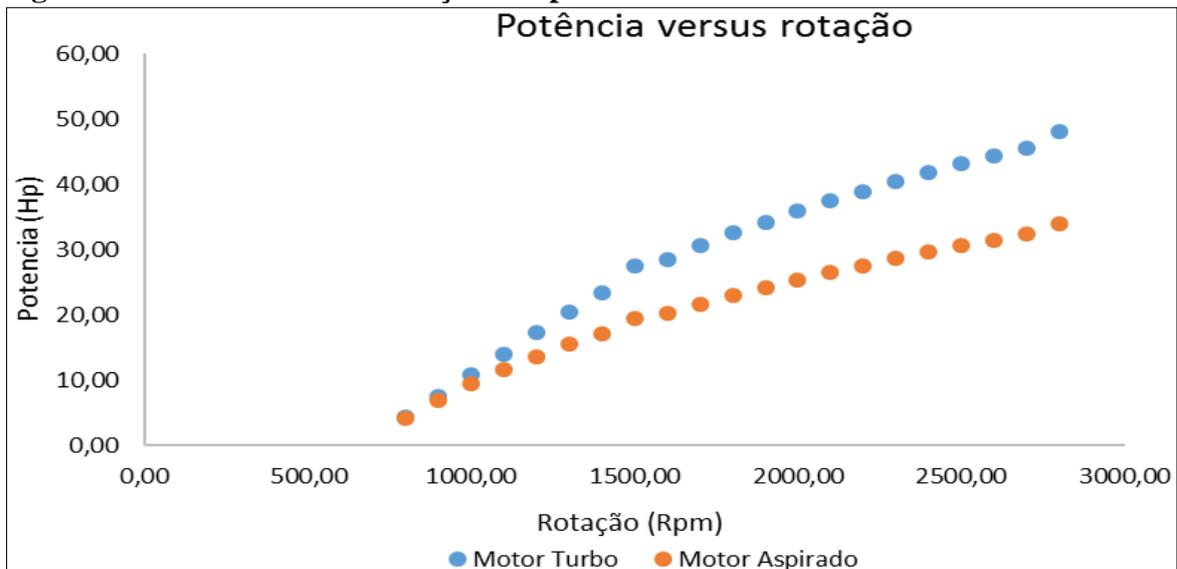
Figura 18 - Torque versus rotação

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Da mesma forma que o observado na Figura 15, na Figura 18 pode-se verificar a melhor faixa de torques para este motor, desta forma uma boa faixa de trabalho para este motor é a de 1500 rpm a 2250 rpm, está nos desprende os maiores torques para este motor da mesma forma que para o motor aspirado, porem neste caso a faixa de valores de torque é mais elevada.

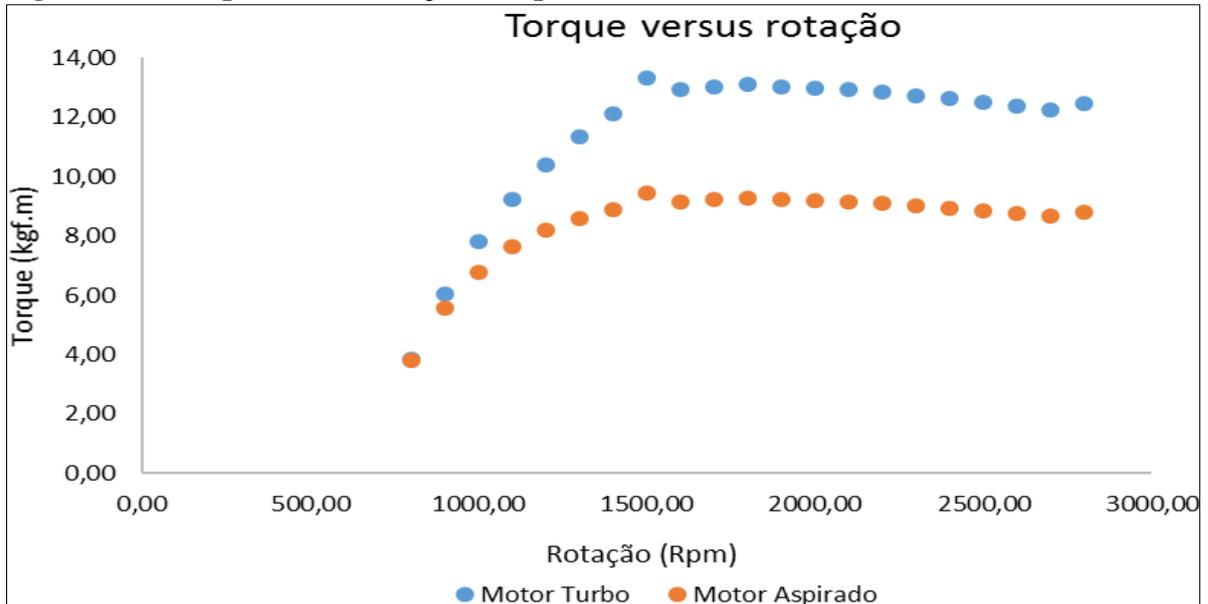
Verificando-se as informações acima expostas podemos fazer o comparativo entre os torques e potências para cada regime de rotação, e podemos afirmar que nosso ganho teórico de potência é de 41,24 % valor que está dentro do afirmado por Nakano (2007 apud BELLS, CORKY, 1997), o qual nos traz que se pode chegar a um ganho de até 60 %, esta variação nos resultados se deve que para a situação exposta não foi atribuído a este sistema de *intercooler* para melhor eficiência do sistema, desta forma podemos chegar a um ganho ainda maior, porem para isto deve-se reavaliar o projeto do motor e suas utilizações, pois ao acrescentar maiores faixas de pressão de admissão no motor pode nos gerar maiores temperaturas bem como aumento na faixa de rotações, e a não verificação destes itens pode levar a danificação do motor.

Para melhor verificação, através das informações já expostas pode-se realizar a plotagem dos gráficos comparativos entre motor aspirado e motor com turbocompressor. A Figura 19 nos mostra o comparativo entre as potências do motor.

Figura 19 - Potência versus rotação comparativo

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Da mesma forma podemos realizar a plotagem do gráfico comparativo entre torques do motor, isto podemos observar na Figura 20.

Figura 20 - Torque versus rotação comparativo

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

A partir das Figuras 19 e 20 pode-se evidenciar graficamente o ganho de 41,24 % em potência e consequentemente torque para o motor descrito, este ganho se deve a instalação de um sistema de sobrealimentação por turbocompressor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As máquinas térmicas são equipamentos que convertem algum tipo de energia térmica em energia mecânica. Os motores de combustão interna são máquinas térmica que por sua vez convertem a energia térmica gerada pela combustão em energia mecânica desprendida em forma de torque, dentro os motores de combustão interna, os mais usuais são os participantes do ciclo Otto e do ciclo Diesel, a principal diferença deles é a admissão, para o ciclo Otto a admissão corresponde a uma mistura de ar mais combustível, já, para o ciclo Diesel a admissão é de somente ar e o combustível é injetado em outro estágio.

Podemos verificar que a busca por alternativas para otimização de motores é intensa, sempre se levando em consideração o ganho de potência e baixo consumo. Dentro deste contexto vimos a importância do sistema de sobrealimentação de motores a combustão interna. A sobre alimentação baseia-se na elevação da pressão de injeção do ar na admissão do motor, este conceito é baseado na compressibilidade do ar, pois uma elevação na pressão gera um aumento na densidade do ar, desta forma é possível adicionar mais ar em uma mesma câmara de combustão.

Neste contexto realizamos a instalação de um sistema de sobrealimentação por turbocompressor da Marca Mahle Modelo NB 039 A8 em um motor ciclo Diesel da Marca Kubota Modelo V1903-EBG. Como resultado obtive-se um motor com uma pressão de admissão de 0,4 bar superior, o que nos originou em uma rotação de 1500 rpm um ganho de 8,04 Hp e já em uma rotação de 2800 rpm um ganho de 14,02 Hp, desta forma podemos concluir de forma gráfica um ganho de potência superior a 41 %.

Com uma nova análise, para a verificação do ganho de torque, podemos chegar a uma magnitude de 3,89 Kgf.m, o que é um valor bem elevado, levando-se em comparação ao torque nominal do motor de forma aspirada que chegava a um máximo de 9,44 Kgf.m, desta forma podemos verificar um ganho acima de 41 % de torque.

Com o a elaboração dos gráficos verifica-se a faixa de trabalho de maior torque para este motor e esta ser encontra entre 1500 rpm a 2250 rpm, na qual a rotação de 1500 rpm nos traz os maiores valores de torque tanto na versão aspirada, quanto na versão com sobrealimentação que são de 9,44 kgf.m e 13,33 kgf.m respectivamente.

REFERÊNCIAS

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna: V. 1.** 1. ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2012. 553 p.

BELLS, CORKY, 1997, “**Maximum Boost: designing, testing, and installing turbocharger systems** / by Corky Bells”, Ed Robert Bentley, Inc, 1ª Ed.

KUBATA. **Modelo kubata diesel**, 2017. Disponível em: http://www.centerbob.com.br/produtos/motores/motores-kubota?gclid=EAIaIQobChMIp43X_7nH3AIVEgOGCh0UFgHIEAAYASAAEgIKk_D_BwE#produto, Acesso junho de 2017.

MAHLE. **Manual Técnico: Curso Mahle Metal Leve Motores de Combustão Interna.** Disponível em: <http://www.mahle-aftermarket.com/media/local-media-latin-america/download-center/technical-materials/2016-04-19-manual-curso-de-motores-2016-2.pdf>. Acesso em junho 2017.

NAKANO, Danillo Gabriel. **Estudo sobre instalação de um Turbocompressor em automóvel nacional:** análise de projeto e análise de caso. 2017. 129 f. Monografia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: < http://automotiva-poliusp.org.br/wp-content/uploads/2013/02/nakano_danillo.pdf. >. Acesso em junho 2017.

PINTO, Adriano Bessa; VALENTE, Steven da Conceição Valente. **Sobrealimentação automóvel.** Disponível em: http://ave.dee.isep.ipp.pt/~mjf/act_lect/SIAUT/Trabalhos%202011-12/SIAUT_2011-12_Sobrealimentacao.pdf. Acesso em junho 2017.

TILLMANN, Carlos Antônio da Costa. **Motores de Combustão Interna e seus Sistemas.** Pelotas: E-tec Brasil! 2013. 166 p. Disponível em: http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifsul/tecnico_biocombustivel/motores_combustao_interna_e_seus_sistemas.pdf. Acesso em junho 2017.

VARELLA, Carlos Alberto Alves; SANTOS, Gilmar de Souza. **Noções Básicas de Motores Diesel.** Seropédica, Rio de Janeiro, 2010. 44 p. Disponível em: http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Literatura/No%E7%F5es%20B%E1sicas%20de%20Motores%20Diesel.pdf. Acesso em junho 2017.