

**INSTITUTO FEDERAL**  
**MINAS GERAIS**

Giovanna Cabral Costa e Silva

Lara Ellen de Sousa

Leandra de Campos Gabriel

Wesley José Oliveira

# **ESTUDO DO MOVIMENTO DA PÁ DE UM VENTILADOR AXIAL PROPULSOR**

Arcos - MG

29 de novembro de 2017

Giovanna Cabral Costa e Silva  
Lara Ellen de Sousa  
Leandra de Campos Gabriel  
Wesley José Oliveira

## **ESTUDO DO MOVIMENTO DA PÁ DE UM VENTILADOR AXIAL PROPULSOR**

Trabalho acadêmico integrador apresentado no curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG, como requisito parcial para a conclusão do semestre.

Instituto Federal de Minas Gerais  
Campus Arcos  
Graduação em Engenharia Mecânica

Orientador: Francisco de Sousa Júnior

Arcos - MG  
29 de novembro de 2017

# Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus, pois sem ele nada seria possível. A instituição, seu corpo docente, direção e administração que proporcionaram a oportunidade de aplicar e ampliar nossos conhecimentos através do Trabalho Acadêmico Integrador, aos nossos orientadores por disponibilizarem seu tempo e auxiliar com seus conselhos e incentivos e por nos ajudar sempre que precisamos, às nossas famílias por nos incentivar e apoiar em nossa vida acadêmica, aos colegas e amigos por compartilharem conhecimento e ajudarem a encontrar soluções para dúvidas em comum aos integrantes do grupo pelo comprometimento e dedicação ao trabalho. E por fim a loja Eletrozema de Arcos por sua boa vontade e atendimento exemplar e por disponibilizar o que era necessário para o desenvolvimento do trabalho.

# Resumo

Ventiladores são máquinas rotativas que movimentam gases. Por ter diferentes modelos, conseqüentemente tem diferentes funções. Essencialmente é necessário que se tenha pelo menos um motor de um eixo quantidades variáveis de hélice. Assim é possível criar o movimento necessário para exercer a função desejada.

O presente trabalho apresenta o estudo do movimento da pá de um ventilador axial propulsor, para o qual foi utilizado o modelo Economic Ventus fabricado pela Arge disponibilizado pela loja Eletrozema s/A localizada em Arcos. Usando o citado modelo foram feitas medições e pesquisas visando criar um desenho técnico da pá e um modelo em 3D do ventilador, bem como simular e analisar seu movimento. A partir do levantamento dos dados da fabricante e das operações realizadas partiu-se para a busca dos dados que eram relevantes e não estavam elucidados.

Esse processo possibilitou um estudo teórico do movimento das pás do ventilador, que mais adiante foi comprovada pelos cálculos realizados.

**Palavras-chave:** Ventilador axial propulsor, ventilador, pá, movimento.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Tabela de medidas . . . . .	10
Figura 2 – Tabela de Incerteza 1 . . . . .	10
Figura 3 – Tabela de Incerteza 2 . . . . .	10
Figura 4 – Tabela de Incerteza 3 . . . . .	11
Figura 5 – Tabela de Incerteza 4 . . . . .	11
Figura 6 – Tabela de Incerteza 5 . . . . .	11
Figura 7 – Tabela de Incerteza 6 . . . . .	12
Figura 8 – Desenho em <i>AutoCAD</i> . . . . .	12
Figura 9 – Desenho no <i>Software Autodesk Inventor</i> . . . . .	12
Figura 10 – Desenho em <i>Ilustração da movimentação do ar causado pela pá</i> . . . . .	13
Figura 11 – Rotação 1 . . . . .	14
Figura 12 – Rotação 2 . . . . .	14
Figura 13 – Rotação 3 . . . . .	15
Figura 14 – Coordenadas do centro de massa da pá . . . . .	18
Figura 15 – Relações de corda em uma circunferencia e relações metricas do triângulo . . . . .	20
Figura 16 – Gráfico Interpolação . . . . .	20
Figura 17 – Qualidade do produto . . . . .	21
Figura 18 – Opniões sobre o produto . . . . .	21

# Sumário

	<b>Introdução</b> . . . . .	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>OBJETIVOS</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> . . . . .	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEORICO</b> . . . . .	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>VENTILADOR DE TETO <i>ECONOMIC VENTUS</i></b> . . . . .	<b>9</b>
3.1.1	MEDIÇÕES REALIZADAS . . . . .	10
<b>3.2</b>	<b>MOVIMENTO CIRCULAR</b> . . . . .	<b>13</b>
3.2.1	RELAÇÃO DO AR E A PÁ . . . . .	13
3.2.2	ROTAÇÃO . . . . .	13
3.2.3	VELOCIDADE . . . . .	15
3.2.4	ACELERAÇÃO CENTRÍPETA . . . . .	16
3.2.5	VOLTAS AO REDOR DO EIXO . . . . .	16
3.2.6	PONTO DA PÁ MAIS DISTANTE DO EIXO . . . . .	17
<b>3.3</b>	<b>MOMENTO DE INÉRCIA</b> . . . . .	<b>18</b>
3.3.1	TORQUE E POTÊNCIA . . . . .	18
3.3.2	TRABALHO E ENERGIA CINÉTICA . . . . .	19
<b>3.4</b>	<b>ÁREA, VOLUME E MASSA</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>3.5</b>	<b>ANÁLISE DA SATISFAÇÃO DOS CLIENTES ATRAVÉS DA ESCOLHA DO MODELO</b> . . . . .	<b>21</b>
	<b>Conclusão</b> . . . . .	<b>22</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>23</b>
	<b>APÊNDICE A – ÁREA DA PÁ</b> . . . . .	<b>24</b>
	<b>APÊNDICE B – INTERPOLAÇÃO E PLOTAGEM DO GRÁFICO</b> . . . . .	<b>25</b>
	<b>APÊNDICE C – CÁLCULO DA ÁREA DA METADE DA PÁ</b> . . . . .	<b>26</b>
	<b>APÊNDICE D – MATRIZ DE ROTAÇÃO PARA 120 E 240 GRAUS</b> . . . . .	<b>29</b>
	<b>APÊNDICE E – MATRIZ DE ROTAÇÃO PARA 276 GRAUS</b> . . . . .	<b>30</b>

# INTRODUÇÃO

Ventiladores são máquinas com o número de pás variável, conectadas a um eixo que permite o movimento que ao girar, cria uma movimentação do ar. Sendo de uso comum e tendo diversas aplicações, tanto no ambiente doméstico quanto industrial, ao longo do tempo foram desenvolvidos modelos para atender a demanda de diversificação e funcionalidade do produto. ([ARGE, 2009](#))

Os materiais utilizados para sua fabricação são plurais, levando em consideração seus diferentes modelos e funções. Os critérios para escolha do material variam, mas frequentemente é utilizado o aço ou o MDF (Médium Destiny Fibeboard) por ter diferentes classificações e influenciar na necessidade de quem está utilizando. Sua variação de função sempre será adaptada à necessidade principal do consumidor.

O primeiro ventilador de teto foi criado pelo conhecido pai do ventilador, Philip H. Diehl entre 1882 e 1886. Diante da necessidade de atender o cliente, as primeiras fabricantes do produto começaram uma corrida para melhor atender o mercado. Após anos de desenvolvimento e estudo, várias empresas fabricantes de ventiladores, como a Arge que têm em seus catálogos mais de 500 modelos atualmente produzidos. ([ARGE, 2009](#))

# 1 OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo contemplar a exposição da aplicabilidade dos conteúdos ministrados nas disciplinas do segundo semestre do curso de engenharia mecânica, sendo elas, Estatística, Metrologia, Algebra Linear, Cálculo II, Física I e TAI II do segundo semestre de 2017 e com isso aumentar e consolidar a aprendizagem dos mesmos. Seus objetivos específicos, são observar, pesquisar e estudar o movimento realizado pela pá de um ventilador axial propulsor a partir do modelo “Ventilador de Teto Economic Ventus” da Arge, analisar por meio de um desenho técnico com o software AutoCAD e modelagem 3D e simulação do movimento com o Software Inventor.



## 2 JUSTIFICATIVA

Optou-se por trabalhar com um ventilador de teto devido ao leque de possibilidade de aplicar os conhecimentos obtidos nesse semestre do curso de Engenharia Mecânica do IFMG de cidade Arcos-MG . Levou-se em consideração também o fato de ser o equipamento presente no cotidiano da maioria da população e ser facilmente encontrado, comprado e manuseado.

Atualmente, o ventilador é um equipamento muito utilizado em vários setores da sociedade e entender o seu funcionamento é fundamental para definir a sua melhor utilização.

## 3 REFERENCIAL TEORICO

Tendo como função a movimentação de grandes massas de ar de um determinado ponto a outro com pressões estáticas relativamente baixas, o ventilador axial sofre grande influência em seu desempenho e eficiência, tanto pelo tipo de armação utilizada quanto pela posição de suas hélices. Este tipo de ventilador geralmente é mais conhecido por ser comumente usado em ambientes domésticos, mas pode ser utilizado em qualquer lugar em que o objetivo seja movimentação de ar dentro do ambiente. Sua maior desvantagem sendo o alto nível de ruídos e o baixo rendimento quando comparado a outros tipos de ventilador. (SANTOS, )

O modelo axial tem três tipos diferentes, sendo eles o axial propulsor, que tem o proposito de movimentar grandes volumes de ar em baixas pressões, sendo ideal para circulação de ar ambiente e o mais barato nesta função. O modelo axial comum, que tem uma grande calota central, possibilitando sua utilização a pressões mais altas, sendo frequentemente usado em ventilação de minas subterrâneas e às vezes em indústrias. Neste modelo o formato da pá é muito importante e não devem ser usados onde haja risco de erosão e corrosão. E por fim, o modelo tubo-axial, que é semelhante ao modelo propulsor, mas com o diferencial de as pás serem mais grossas e mais largas, colocado dentro de um tubo, o que permite uma direta conexão com os dutos. (ARAÚJO, )

No caso do modelo escolhido pelo grupo o tipo de ventilador escolhido foi o ventilador axial propulsor, sendo o único que será estudado e analisado, tendo em vista sua funcionalidade doméstica e forte presença no cotidiano dos integrantes do grupo.

### 3.1 VENTILADOR DE TETO *ECONOMIC VENTUS*

Após ser decidido a utilização de um modelo específico, fomos às lojas para encontrar algum produto que estivesse disponível a população local e que se encaixasse nos critérios previamente estabelecidos, sendo eles:

- Ventilador Axial Propulsor
- Ventilador de teto
- Pás retas
- Acessibilidade

Depois de deliberarmos, foi optado pelo modelo referido, o mesmo fabricado pela empresa Arge s/A disponibilizado pela loja Eletrozema Ltda.

### 3.1.1 MEDIÇÕES REALIZADAS

Foram realizadas oito medições, com autorização da revendedora e em seguida encontrado a média. Os resultados foram obtidos por meio de um paquímetro em aço, com resolução de 0,05mm. Os dados obtidos são:

Figura 1 – Tabela de medidas

Referencia de medida	Medições feitas pelo grupo (mm)								Media das medidas
A	3,05	3,10	2,95	2,90	3,00	2,95	3,00	3,05	3,00
B	397,00	397,15	396,95	397,05	396,85	397,05	397,00	396,95	397,00
C	375,05	375,15	375,00	374,95	374,90	374,95	375,05	374,95	375,00
D	20,05	20,00	20,10	20,00	19,85	19,90	20,10	20,00	20,00
E	110,90	111,00	110,70	110,95	111,15	111,05	111,10	111,15	111,00
F	8,00	8,15	8,00	8,05	7,95	7,95	8,00	7,90	8,00

Fonte: Os próprios autores

Para melhorar a precisão, foi realizado o cálculo repetitividade, desvio padrão, incerteza combinada e incerteza expandida, obtendo os seguintes resultados:

Figura 2 – Tabela de Incerteza 1

Balanço de Incertezas (Espessura da pá)					
Fontes de Incerteza		Efeitos Aleatórios			
Símbolo	Descrição	$\alpha$	Distribuição	$\mu$	$\nu$
R	Resolução do paquímetro	0,05	Retangular	0,028867513	$\infty$
Re	Repetitividade	0,154858326	Retangular	0,089407496	7
S	Desvio Padrão	-	-	0,065465367	$\infty$
$\mu_c$	Incerteza combinada	0,162730148	Retangular	0,09395229	$\infty$
Uc	Incerteza expandida	0,3848568	Retangular	0,22219718	7
Incerteza				0,27	mm

Fonte: Os próprios autores

Resultado de Medição = (3,00 +- 0,27) mm

Figura 3 – Tabela de Incerteza 2

Balanço de Incertezas (medida de comprimento da pá)					
Fontes de Incerteza		Efeitos Aleatórios			
Símbolo	Descrição	$\alpha$	Distribuição	$\mu$	$\nu$
R	Resolução do paquímetro	0,05	Retangular	0,028867513	$\infty$
Re	Repetitividade	0,209679164	Retangular	0,121058322	7
S	Desvio Padrão	-	-	0,088640526	$\infty$
$\mu_c$	Incerteza combinada	0,215558233	Retangular	0,12445260	$\infty$
Uc	Incerteza expandida	0,509795222	Retangular	0,29433041	7
Incerteza				0,35	mm

Fonte: Os próprios autores

Resultado de Medição = (397,00 +- 0,35) mm

Figura 4 – Tabela de Incerteza 3

Balanço de Incertezas (Comprimento sem Arco)					
Fontes de Incerteza		Efeitos Aleatórios			
Símbolo	Descrição	$\alpha$	Distribuição	$\mu$	$\nu$
R	Resolução do paquímetro	0,05	Retangular	0,028867513	$\infty$
Re	Repetitividade	0,18966194	Retangular	0,109501372	7
S	Desvio Padrão	-	-	0,080178373	$\infty$
$\mu c$	Incerteza combinada	0,196141917	Retangular	0,11324259	$\infty$
Uc	Incerteza expandida	0,463875634	Retangular	0,26781872	7
Incerteza				0,32	mm

Fonte: Os próprios autores

Resultado de Medição = (375,00 +- 0,32) mm

Figura 5 – Tabela de Incerteza 4

Balanço de Incertezas (Comprimento do Arco)					
Fontes de Incerteza		Efeitos Aleatórios			
Símbolo	Descrição	$\alpha$	Distribuição	$\mu$	$\nu$
R	Resolução do paquímetro	0,05	Retangular	0,028867513	$\infty$
Re	Repetitividade	0,209679164	Retangular	0,121058322	7
S	Desvio Padrão	-	-	0,088640526	$\infty$
$\mu c$	Incerteza combinada	0,215558233	Retangular	0,12445260	$\infty$
Uc	Incerteza expandida	0,509795222	Retangular	0,29433041	7
Incerteza				0,35	mm

Fonte: Os próprios autores

Resultado de Medição = (20,00 +- 0,35) mm

Figura 6 – Tabela de Incerteza 5

Balanço de Incertezas (Largura da Pá)					
Fontes de Incerteza		Efeitos Aleatórios			
Símbolo	Descrição	$\alpha$	Distribuição	$\mu$	$\nu$
R	Resolução do paquímetro	0,05	Retangular	0,028867513	$\infty$
Re	Repetitividade	0,357629984	Retangular	0,206477768	7
S	Desvio Padrão	-	-	0,151185789	$\infty$
$\mu c$	Incerteza combinada	0,361108302	Retangular	0,20848598	$\infty$
Uc	Incerteza expandida	0,854021134	Retangular	0,49306933	7
Incerteza				0,59	mm

Fonte: Os próprios autores

Resultado de Medição = (111,00 +- 0,59) mm

Figura 7 – Tabela de Incerteza 6

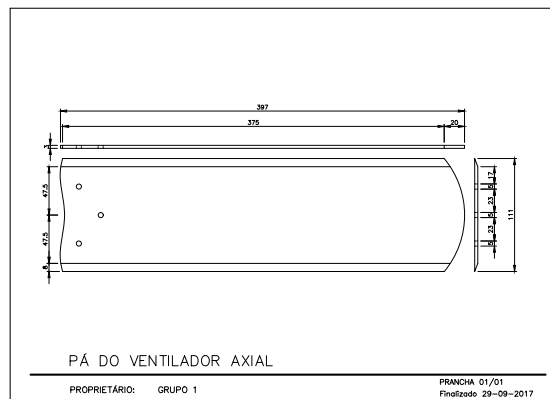
Balanço de Incertezas (Comprimento do Chanfro)					
Fontes de Incerteza		Efeitos Aleatórios			
Símbolo	Descrição	$\alpha$	Distribuição	$\mu$	$\gamma$
R	Resolução do paquímetro	0,05	Retangular	0,028867513	$\infty$
Re	Repetitividade	0,178814992	Retangular	0,103238884	7
S	Desvio Padrão	-	-	0,075592895	$\infty$
$\mu_c$	Incerteza combinada	0,185673912	Retangular	0,10719888	$\infty$
Uc	Incerteza expandida	0,439118801	Retangular	0,25352536	7
Incerteza				0,30	mm

Fonte: Os próprios autores

Resultado de Medição = (8,00 +/- 0,30) mm

Assim foi possível criar um modelo em 3D para simular o movimento do ventilador, e fazer o desenho técnico que auxiliaria no desenvolvimento do projeto.

Figura 8 – Desenho em *AutoCAD*

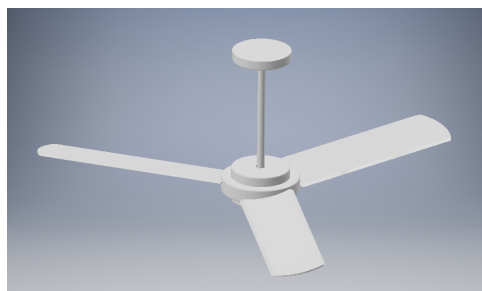


1.pdf

Fonte: Os próprios autores

E com o software Inventor foi reproduzido o ventilador, onde pôde ser observado a sua geometria de modo mais claro, em seguida foi realizado a simulação de seu movimento para melhor visualização.

Figura 9 – Desenho no *Software Autodesk Inventor*



Fonte: Os próprios autores

## 3.2 MOVIMENTO CIRCULAR

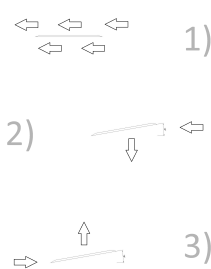
Definimos movimento circular como um corpo em que a trajetória percorrida por ele corresponde a uma circunferência com a velocidade constante. (FILHO, 2014) Para sair do estado de repouso o ventilador depende da força tangencial para iniciar seu movimento, após atingir sua velocidade máxima o ventilador se mantém em uma trajetória constante, ou seja, ele mantém tanto sua velocidade quanto seu movimento circular constante. (Júnior, 201-)

Para estagnar a rotação, a energia fornecida para o motor é interrompida porem o movimento só será interrompido no atrito com o ar que lentamente irá diminuir a velocidade da hélice até que ela volte a estar em repouso. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016)

### 3.2.1 RELAÇÃO DO AR E A PÁ

Quando as pás estão paralelas ao eixo x, sem inclinação, girando através do eixo, com um movimento circular uniforme, em sentido horário ou anti-horário não há deslocamento de ar em nenhuma direção (parte 1 da figura 10). Com uma inclinação de 10 graus em sentido horário (sentido negativo) as pás produz um deslocamento de ar vertical descendente, função ventilador (parte 2 da figura 10). Com inclinação de 10 graus no sentido anti-horário (positivo) as pás produz um deslocamento de ar vertical ascendente, função exaustor (parte 3 da figura 10). Para inclinações superiores a 10 graus, em teoria produziria um maior deslocamento de ar, porém forçaria o motor impossibilitando o funcionamento do mesmo.

Figura 10 – Desenho em *Ilustração da movimentação do ar causado pela pá*



Fonte: Os próprios autores

Ascendente - deslocamento de ar para cima

Descendente - deslocamento de ar para baixo

### 3.2.2 ROTAÇÃO

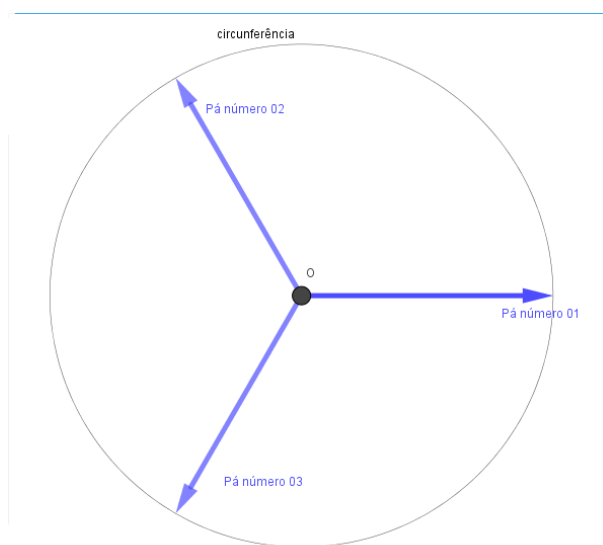
Foi realizado o cálculo com matriz de rotação para encontrar os vetores que representam a posição exata das pás no corpo do ventilador. Para os cálculos, foi adotado

a primeira pá partindo da origem representada pelo vetor  $[46 \ 0]$ . Para encontrar o vetor posição da segunda pá foi realizado um produto matricial entre a matriz de rotação com ângulo de  $120^\circ$  e o vetor posição da primeira pá. Utilizando a matriz de rotação de  $240^\circ$  foi encontrado o vetor posição da terceira pá.

A terceira pá também pode ser encontrada pelo produto matricial entre a matriz de rotação com ângulo de  $120^\circ$  e o vetor posição da segunda pá.

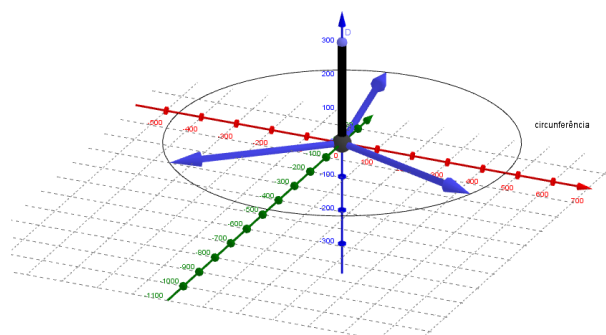
Os programas dos cálculos realizados estão localizados no apêndice (D)

Figura 11 – Rotação 1



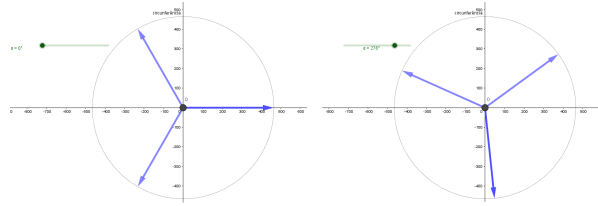
Fonte: Os próprios autores

Figura 12 – Rotação 2



Fonte: Os próprios autores

Figura 13 – Rotação 3



Fonte: Os próprios autores

### 3.2.3 VELOCIDADE

Produzindo um movimento circular uniforme, às pás que percorrem uma circunferência que possuem uma velocidade angular constante. Para obter a velocidade angular faz-se o produto do valor encontrado em rps(rotação por segundo) com o valor da circunferência feita pelo movimento das hélices em torno do seu eixo de rotação  $2\pi$ , encontrando assim a velocidade angular:

$$\omega = 7,67 * 2\pi = 48,80 \frac{rad}{seg}.$$

$$\omega = rps * 2\pi$$

Onde  $\omega$  é a velocidade angular em radianos por segundo:  $\frac{rad}{seg}$ . E  $2\pi$  a circunferência. Considerando que o  $\Delta\theta$  positivo para rotações no sentido anti-horário e negativo para rotações no sentido horário, a conexão entre o número de revoluções, o ângulo em graus e o ângulo em radianos é a seguinte:

$$1rev = 360graus = 2\pi rad.$$

Para o cálculo de velocidade linear utiliza a seguinte formula:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{t}$$

Sendo  $\Delta\theta$  o giro de ângulo, expresso em radianos e, t o tempo em segundo. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016)

*No movimento circular existe uma velocidade angular e uma velocidade linear. [...]*

*Denomina-se velocidade linear à velocidade de um ponto que se encontra sobre a circunferência. [...] A velocidade linear é aquela desenvolvida na direção da tangente da circunferência, em cada ponto. [...] a velocidade linear é constante é igual a:  $v = \omega \cdot r$ , onde  $\omega$  é a velocidade angular e r o raio do círculo [...](FILHO, 2014)*



Como o raio é conhecido, pela diâmetro de 930 mm, pode-se calcular por meio da formula anterior a velocidade do dispositivo em m/s a 466 rpm e com raio igual a 0,465 metros.

$$V = 48,80 * 0,465 = 22,69m/s$$

As marcações de tempo realizadas com um modelo instalado comprovou o tempo de 10s para o ventilador atingir sua rotação máxima de 466 rpm.

Para encontrar a aceleração média do ventilador realizamos o seguinte cálculo:

$$\frac{Vf}{Tf} = 22,69/10 = 2,27m/s\ddot{s}$$

### 3.2.4 ACELERAÇÃO CENTRÍPETA

Tendo a velocidade como responsável por manter o movimento retilíneo uniforme, a aceleração centrípeta mantém movimento circular. Ou seja, ela altera a direção e o sentido do vetor da velocidade, puxando as pás para o eixo de rotação.(Júnior, 201-)

Para encontrar a aceleração centrípeta foi feito o seguinte calculo:

$$Ac = R * \omega$$

$$Ac = 0.465 * 22,69^2$$

$$Ac = 239.3987 \frac{m}{seg^2}$$

### 3.2.5 VOLTAS AO REDOR DO EIXO

Considerando o giro do ventilador apenas a partir do momento em que atinge sua velocidade desejada. A velocidade é constante e é a mesma em qualquer ponto que se tome. O ventilador percorrendo a velocidade angular constante de 48,80 rad/s afirmando que o modelo percorre uma trajetória circular, com velocidade angular constante, fazendo sete voltas e um giro de 276 graus a cada segundo.

$$48,80 \frac{rad}{seg} = \frac{\Delta\Theta}{1}$$

$$\Delta\Theta = 48,80rad$$

$$180graus - - - - - \pi$$

$$x - - - - - 48,80$$

$$x = 2796graus$$

$$1\text{volta} = 360$$

$$X\text{volta} = 2796$$

$$X = 7\text{voltas}; 276\text{graus}$$

Portanto a pá realiza sete voltas completas e 276 graus em apenas um segundo em torno do eixo. Para confirmação dos dados basta fazer o processo reverso, multiplicando 60 vezes a quantidade de voltas o mesmo faz em 1 segundo, obtendo a rotação por segundo.

$$60 * 7(\text{voltas}) + 60 * 276\text{graus} =$$

$$420\text{rpm} + 16560\text{graus}$$

=

$$\frac{016560}{360} = 46\text{rpm}$$

$$420 + 46 = 466\text{rpm}$$

O período em que a pá demora para dar uma volta ao redor do eixo é de:

$$\frac{2\pi}{48,80} = 0,128755\text{s}$$

cada 128,755 milissegundos a pá faz uma volta completa ao redor do eixo do ventilador. O período realizado pela pá se renova a cada 129 milissegundos aproximadamente.

### 3.2.6 PONTO DA PÁ MAIS DISTANTE DO EIXO

Sabendo que o ventilador realiza 466 rpm, consideramos que o ponto localizado na extremidade possui uma distância de 0,465m do eixo, assim encontramos o espaço por este ponto percorrido ao redor do eixo através da circunferência que é  $c = 2\pi r = 2\pi(0,465\text{m}) = 2,92\text{m}$ .

Usando o  $T = \frac{(60\text{s})}{466} = 0.129\text{s}$ , encontramos sua velocidade:

$$v = \frac{c}{t} = \frac{2,92\text{m}}{0,129\text{s}} = 22,69 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

E seu módulo de aceleração é

$$\begin{aligned} &= \frac{v^2}{r} \\ &= \frac{(22,69 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{(0,465\text{m})} = 1,1 \times 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

Assim é possível calcular o período do movimento, sendo ele o período de revolução é  $(466 \frac{\text{rev}}{\text{min}})^{-1} = 2,15 \times 10^{-3}$  min, o que corresponde, na unidade SI,  $T = 0.129 \text{ s} = 129 \text{ ms}$ .

### 3.3 MOMENTO DE INÉRCIA

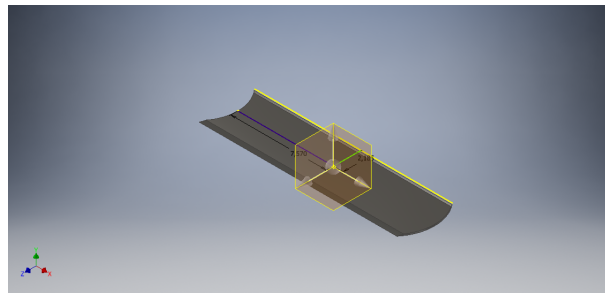
Momento de Inércia de um respectivo corpo pode ser definido como uma resistência a mudança em sua velocidade angular, criando uma resistência a mudança no movimento rotacional. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016)

Para calcular o momento de inércia da pá utiliza-se o teorema dos eixos paralelos que segundo Halliday; Resnick; Walker, 2016, é a equação na qual uma placa fina em relação a um eixo perpendicular passando pelo centro é:

$$I_{cm} = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$$

As coordenadas do centro de massa da pá foram obtidas no software Inventor.

Figura 14 – Coordenadas do centro de massa da pá



Fonte: Os próprios autores

As coordenadas do centro de massa são (0.192278,0.055499) O momento de inercia total é obtido através da equação:

$$I_t = I_{cm} + I$$

Sendo a formula de momento de inercia,  $I = m * D^2 = 1059,94Kg * m^2$

Já para calcular o momento de inércia do ventilador, utilizamos novamente a fórmula de momento de inércia:

$$I = 2,945 * 0,93^2 = 2,5471Kg * m^2$$

#### 3.3.1 TORQUE E POTÊNCIA

O torque deve ser aplicado para que o ventilador mantenha uma velocidade angular constante. Podemos definir torque como o produto entre o momento de inércia de um corpo e sua aceleração angular.

$$\tau = I * \alpha$$

$$\tau = I * \frac{\omega}{\tau} = 1059.94 * \frac{48}{10} = 5087.71N * m$$

De forma análoga, foi encontrado o torque do ventilador:

$$\tau = 12,4299N * m$$

Potência pode ser definida como o produto entre torque e velocidade angular, logo temos a seguinte expressão:

$$P = \tau * \omega$$

$$P = 12,4299 * 48,8$$

$$P = 606,57912watts$$

### 3.3.2 TRABALHO E ENERGIA CINÉTICA

Energia Cinética é diretamente associada ao movimento, então dizemos que um corpo com velocidade possui energia cinética. A energia cinética  $K$  de um corpo rígido em rotação em torno de um eixo fixo é dada por  $K = \frac{1}{2}I * V^2$  (ângulo em radianos). (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016)

Utilizando os dados encontrados anteriormente, foi feito o cálculo, encontramos a energia cinética do ventilador:

$$K = \frac{1}{2} * 2,1579 * 48,80^2 = 2568,86J$$

Como obtemos esse resultado da energia cinética, podemos concluir que o trabalho é 2,1579 J, uma vez que trabalho é igual a variação da energia cinética, e a energia cinética inicial é nula.

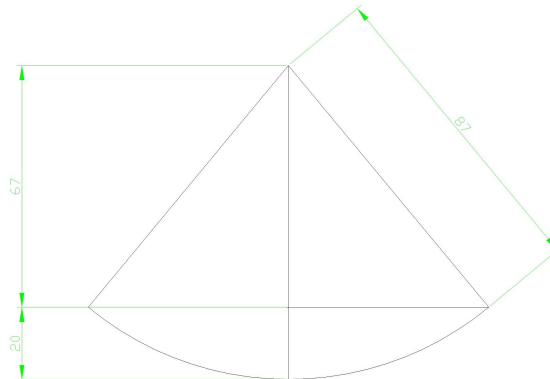
## 3.4 ÁREA, VOLUME E MASSA

Para calcular a área da pá dividimos ela em duas partes, sendo a área do setor circular e a área da região abaixo da curva. Para calcular a área do setor circular foi utilizado a relação entre cordas de uma circunferência, sendo  $AP * PC = BP * PD$ , porém era necessário encontrar o valor do segmento AP, para isso foi utilizado o teorema de Pitágoras, cálculo localizado no apêndice (A)

Para calcular a área da região abaixo da curva era preciso encontrar um polinômio que modelasse essa curva, com isso foi feito uma interpolação na qual seu cálculo pode ser encontrado no apêndice(A).

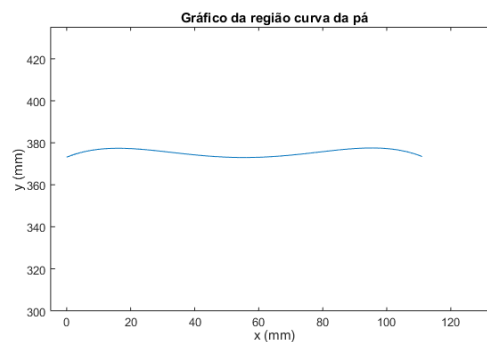
Após concluída a interpolação foi produzido um gráfico demonstrando a curva.

Figura 15 – Relações de corda em uma circunferencia e relações metricas do triângulo



Fonte: Os próprios autores

Figura 16 – Gráfico Interpolação



Fonte: Os próprios autores

Com isso feito a integral do polinômio obtido, assim foi encontrado um valor da área abaixo da região curva. A área total da pá é a soma das duas áreas encontradas.

$$A_t = 31561,74 + 11632,70 = 43194,44mm$$

Para encontrar o volume basta multiplicar a área total pela espessura.

$$V = 43194,44 * 3 = 129583,32mm^3$$

Segundo Covema,201- a densidade de uma chapa de MDF com 3mm de espessura é de  $(840 \pm 30)kg/m^3$ , que equivale a  $(0,84 \pm 30)mg/mm^3$ , logo a massa da pá pôde ser encontrada através da equação:

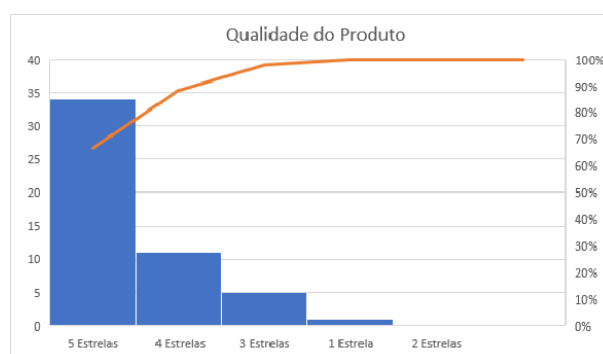
$$m = \rho * v$$

$$m = 108849.99mg.$$

### 3.5 ANÁLISE DA SATISFAÇÃO DOS CLIENTES ATRAVÉS DA ESCOLHA DO MODELO

O gráfico a seguir mostra o estudo feito com uma amostra de 51 consumidores que adquiriram o Ventilador de Teto Economic Ventus. Eles deram suas opiniões sobre a qualidade do produto, classificando o produto em: Cinco estrelas (Excelente); Quatro estrelas (Ótimo); Três estrelas (Bom); Duas estrelas (Ruim); Uma estrela (Péssimo).

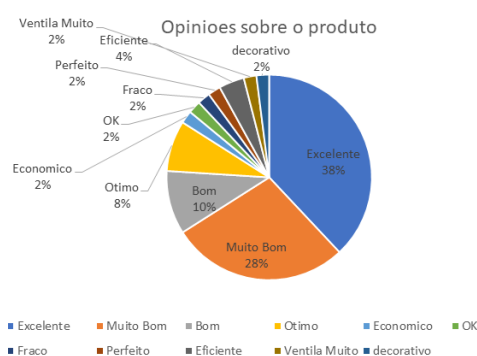
Figura 17 – Qualidade do produto



Fonte: Os próprios autores

O gráfico a seguir é um estudo feito com uma amostra de 74 consumidores que adquiriram o Ventilador de Teto Economic Ventus. Eles expuseram suas opiniões sobre o produto.

Figura 18 – Opiniões sobre o produto



Fonte: Os próprios autores

Após a análise dos gráficos apresentados, podemos dizer que o Ventilador de Teto Economic Ventus possui um bom desempenho, já que a maioria dos clientes estão satisfeitos com o produto adquirido.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento desse trabalho possibilitou a todos os integrantes um maior coesão das disciplinas estudadas, visto que foi realizado um estudo aprofundado das mesmas.

Pode-se dizer que o objetivo geral do trabalho foi alcançado, contando que a modelagem 3D feita pelo *Software Autodesk Inventor* foi concluída com sucesso, tendo em vista a produção da simulação do movimento do ventilador.

# Referências

- ARAÚJO, P. A. M. *Ventilação Aplicada à Engenharia de Segurança do Trabalho*. ESPECIALIZAÇÃO em ENGENHARIA de SEGURANÇA do TRABALHO, aula 6, Recife, Brasil. Citado na página 9.
- ARGE. *Arge faz parte da história do ventilador*. 2009. Acesso em: 28 set. 2017. Citado na página 6.
- FILHO, S. A. da S. *FÍSICA - MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME - PARÂMETROS*. 2014. Disponível em: <<http://sofstica.com.br/mcu-teoria>>. Acesso em: 22 set. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 15.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. Citado 4 vezes nas páginas 13, 15, 18 e 19.
- JÚNIOR, J. S. da S. *Movimento circular uniforme (MCU)*. 201-. Disponível em: <<http://m.mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/movimento-circular-uniforme-ou-mcu-1.htm>>. Acesso em: 05 nov. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 16.
- SANTOS, F. L. dos. *Dimensionamento e projeto de um ventilador centrífugo*. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Mecânica), Unijuí (Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul), Panambi, Brasil. Citado na página 9.



# APÊNDICE A – Área da pá

```

clear,clc
% Calculo da araa da pa abaixo da regioa curva
% Sera feita a integral do polinomio obtido atraves da interpolacao
format bank
syms x
int((-0.03*x^2)+(0.62*x)+(373.14),0,111)

ans =

    31561.74 mm

% Calculo da area do setor circular
% Primeiro passo, encontrar o tamanho de um segmento da corda, utilizando
    pitagoras
% Segundo passo, encontrar o outro segmento da corda, utilizando a
    relacao entre cordas: AP*PC=BP*PD.
% Terceiro passo, encontrar o valor do angulo utilizando as relacoes
    metricas do triangulo retangulo
format bank
PD=input('Entre com o valor do segmento PD: ');
R=input('Entre com o valor do raio: ');
AP=sqrt((R^2)-(PD^2));
BP=input('Entre com o valor do segmento BP: ');
PC=(BP*PD)/(AP);
%cosd(PD/R);
teta=(180- acosd(PD/R));
Area=(pi*R^2*teta)/360;
fprintf('A area do setor circular e de %5.2f mm \n' ,Area)
Entre com o valor do segmento PD: 86.8
Entre com o valor do raio: 87
Entre com o valor do segmento BP: 20
A area do setor circular e de 11632.70 mm

```

## APÊNDICE B – Interpolação e plotagem do gráfico

```
clear,clc
%nterpolacao e plotagem do grafico
format bank
x=[12.9678 19.4877 55.3 86.9701 103];
y=[377.2682 377.2682 373 376.8975 376.711];
p=polyfit(x,y,4)
v=0:0.00001:111;
ye=polyval(p,v);
plot(v,ye)
```

p =

```
    -0.00    0.00   -0.03    0.62
      373.14
```

# APÊNDICE C – Cálculo da área da metade da pá

Para facilitar o cálculo da área da pá foi feita uma divisão horizontal, considerando a pá em situação vertical usando como referência o desenho técnico. A operação matricial a seguir define a área da primeira parte:

```
clear, clc
% Calculo de parte da area da angulação, proxima ao eixo da pa.
% Matriz A x elevado a 2+x+c.

A=[0 0 1;30.8025 5.55 1;123.21 11.1 1;
277.2225 16.65 1;492.85 22.2 1;
770.0625 27.75 1;1108.89 33.3 1;
1509.3225 38.85 1;1971.36 44.4 1;
2495.0025 49.95 1;3080.25 55.5 1;
3727.1025 61.05 1;4435.56 66.6 1;
5205.6225 72.15 1; 6037.29 77.7 1;
6930.5625 83.25 1;7885.44 88.8 1;
8901.9225 94.35 1;9980.01 99.9 1;
11119.7025 105.45 1;12321 111 1]

% B representa a altura definida nos ponto x da pa.

B=[187.5;188.7481;189.6117;189.8581;
189.5939;188.9697;188.1325;187.2259;
186.3918;185.7705;185.5021;185.5021;
186.25889;187.0647;187.9689;188.8291;
189.5028;189.8435;189.7014;189.9448;187.5]
% Transposta da matriz A.
C=A'
% Produto da matriz transposta de A com a matriz A.
D=A'*A
% Produto da matriz transposta de A com a matriz B.
E=A'*B
```

```
% Inversa da matriz resultante do Produto da matriz transposta de A com a
matriz A.
```

```
F=inv(D)
```

```
% Resultado das incognitas da área proxima ao eixo da pa.
```

```
G=F*E
```

A seguir, a area da segunda parte:

```
clear, clc
```

```
% Calculo de parte da area oposta ao eixo da pa.
```

```
% Matriz A x elevado a 2+x+c.
```

```
A=[0 0 1;30.8025 5.55 1;123.21 11.1 1;
277.2225 16.65 1;492.85 22.2 1;
770.0625 27.75 1;1108.89 33.3 1; 1509.3225 38.85 1;
1971.36 44.4 1;2495.0025 49.95 1;3080.25 55.5 1;
3727.1025 61.05 1;4435.56 66.6 1; 5205.6225 72.15 1;
6037.29 77.7 1;6930.5625 83.25 1;7885.44 88.8 1;
8901.9225 94.35 1;9980.01 99.9 1;11119.7025 105.45 1;
12321 111 1]
```

```
% B representa a altura definida nos ponto x da pa.
```

```
B=[187.5;191.7334;195.3184;198.3447;200.8753;202.956;
204.6201;205.892; 206.789;297.3228;207.5; 207.3228;
206.789;205.892;204.6201;202.956;200.8753;198.3447;
195.3184;191.7334;187.5]
```

```
% Transposta da matriz A.
```

```
C=A'
```

```
% Produto da matriz trasposta de A com a matriz A.
```

```
D=A'*A
```

```
% Produto da matriz transposta de A com a matriz B.
```

```
E=A'*B
```

```
% Inversa da matriz resultante do Produto da matriz trasnposta de A com a
```

```
matriz A.
```

```
F=inv(D)
```

```
% Resultado das incognitas da area oposta ao eixo da pá.
```

```
G=F*E
```

Com os valores obtidos da matriz G em ambas as partes, foi possível calcular as integrais que representam a área real da pá em mm<sup>2</sup>

```
% Integral para calculo de area da parte proxima ao eixo da pa
```

```
syms x
```

```
int((0.000845205480206224*x^2 -0.0918372465356754*x +  
189.606568781314) ,0,111)
```

```
%ntegral para calculo de area da parte oposta ao eixo da pa
```

```
clear , clc
```

```
syms x
```

```
int((-0.0110727905013789*x^2 + 1.20801956913086*x +  
184.339359016074) ,0,111)
```

## APÊNDICE D – Matriz de rotação para 120 e 240 graus

```

clear,clc
% Calculo da matriz de rotacao 120
a=[cosd(120) -sind(120); sind(120) cosd(120)]
primeirapa=[46; 0]
segundapa=a*primeirapa;
terceirapa=a*segundapa
a =
           -0.5           -0.866025403784439
    0.866025403784439           -0.5
primeirapa =
    46
     0
terceirapa =
           -23
   -39.8371685740842

clear,clc
% Calculo da matriz de rotacao 240
a=[cosd(240) -sind(240); sind(240) cosd(240)]
primeirapa=[46; 0]
terceirapa=a*primeirapa
a =
           -0.5           0.866025403784439
   -0.866025403784439           -0.5
primeirapa =
    40
     0
terceirapa =
           -23
   -39.8371685740842

```

# APÊNDICE E – Matriz de rotação para 276 graus

```
clear,clc
% Calculo da matriz de rotacao
a=[cosd(276) -sind(276); sind(276) cosd(276)]
primeirapa=[46; 0]
coordenada=a*primeirapa

a =

    0.104528463267653    0.994521895368273
   -0.994521895368273    0.104528463267653

primeirapa =

    46
     0

coordenada =

    4.80830931031206
   -45.7480071869406
```