

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO, DIMENSIONAMENTO E CONSTRUÇÃO  
DE COLHEITADEIRA PARA SEMENTES DE  
CÁPIM-BÚFEL

*Manoel Cordeiro de Barros*

Campina Grande, PB - BRASIL

Abril de 1995

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Estudo, Dimensionamento e Construção de Colheitadeira de Sementes de  
Capim-Búfel

*Manoel Cordeteiro de Barros*  
Engenheiro Mecânico

---

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Sandoval Faria da Mata

CO-ORIENTADOR:

Prof. M.Sc. Yoge Jerônimo Ramos da Costa

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da  
Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau  
de Mestre em Engenharia Mecânica.

Abril de 1995



B277e Barros, Manoel Cordeiro de.  
Estudo, dimensionamento e construção de colheitadeira para sementes de capim-búfel / Manoel Cordeiro de Barros. - Campina Grande, 1995.  
120 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1995.  
"Orientação : Prof. Dr. Sandoval Faria da Mata, Prof. M.Sc. Yoge Jerônimo Ramos da Costa".  
Referências.

1. Maquinário. 2. Colheitadeira Mecanizada. 3. Produção de Sementes. 4. Dissertação - Engenharia Mecânica. I. Mata, Sandoval Faria da. II. Costa, Yoge Jerônimo Ramos da. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 621(043)

DIMENSIONAMENTO E CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA  
COLHEITADEIRA DE SEMENTES DE CAPIM BÚFEL


MANOEL CORDEIRO DE BARROS

DISSERTAÇÃO APROVADA COM DISTINÇÃO EM 20 DE ABRIL DE 1995

  
SANDOVAL FARIAS DA MATA (Dr.)  
ORIENTADOR

  
YOGÉ JERÓNIMO RAMOS DA COSTA (M.Sc.)  
CO-ORIENTADOR

  
INACIO M. DAL FABBRO (Dr.)  
MEMBRO

  
FRANCISCO JOSÉ SIMÕES (Dr.)  
MEMBRO

CAMPINA GRANDE - Pb  
ABRIL DE 1995

## **AGRADECIMENTOS**

---

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba - Centro de Ciências e Tecnologia, pelo apoio do corpo docente, engenheiros e técnicos dos Laboratórios utilizados no cumprimento do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela indispensável contribuição financeira que foi concedida.

Ao meus pais:

**ABDIAS FERREIRA BARROS**  
**ALIETE CORDEIRO BARROS**

À minha esposa e filhas:

**ELIZA GURJÃO BARROS**  
**ALESSANDRA GURJÃO BARROS**  
**PAULA GURJÃO BARROS**

Em memória ao professor WILLAMS CAPIM DE MIRANDA, pela sua valiosa colaboração no dimensionamento da colheitadeira.

Aos irmãos, irmãs, parentes e amigos que direta ou indiretamente contribuíram na realização e elaboração deste trabalho.

## RESUMO

---

Este trabalho trata da construção de uma colheitadeira macanizada para sementes de capim-búfel, constituída de aspirador, captosres, tubos e curvas. O aspirador é uma máquina de média pressão, centrífuga, pás radiais retas, simples estágio e entrada unilateral. Foram ensaiados três captosres, dois dos quais confeccionados em madeira, diferenciando-se apenas quanto à inclinação da parte superior. O terceiro foi confeccionado em tubo PVC de 200 mm de diâmetro. Nos captosres foram realizados testes referentes à eficiência de sucção em toda extensão para as rotações do compressor de 1200, 1300, 1400 e 1500 rpm. O segundo e terceiro captosres apresentaram melhores resultados que o primeiro. O terceiro captor foi considerado ideal para o sistema, considerando-se que além de apresentar melhor poder de sucção que o segundo, possui forma racional com peso reduzido. Estas qualidades tornam sua utilização na parte frontal do trator tecnicamente viável. O sistema apresenta um retorno da ordem de R\$ 641,92 por dia de colheita, tornando-se uma fonte de renda adicional para o produtor rural.

## ABSTRACT

---

This paper deals with the assembly of a mechanized harvester for the seeds of "buffel grass" (capim-búfel) made up of an aspirator, receptors, tubes and curves. The aspirator is a machine of medium pressure, centrifugal type with straight radial impellers, of single stage and with a single side entry. Three receptors were tested, out of which two were made of wood, the only difference between them being in the inclination of the upper part. The third one was made from PVC tube of 200 mm diameter. Tests were conducted to determine suction efficiency of the receptors over the whole length for the rotational speeds of 1200, 1300, 1400, and 1500 rpm. The second and third receptors provided better results compared with the first. The third one of PVC was found to be ideal for the system considering that it presented better suction power than the second one, and it has a convenient shape with low weight. These qualities make its utilization in the frontal part of a tractor technically viable. The system presents a return of about R\$ 641,92 per day of harvest, making it a source of income for the rural producer.

# ÍNDICE

---

CAPÍTULO 1 - Introdução.....	1
CAPÍTULO 2 - Objetivo.....	5
2.1-Objetivo geral.....	5
2.2-Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO 3 - Viabilidade de pesquisa.....	6
CAPÍTULO 4 - Revisão bibliográfica.....	7
4.1-Introdução.....	7
4.1.1-Produção.....	8
4.1.2-Produção de semente.....	8
4.1.3-Plantio e colheita.....	9
4.1.4-Colheitadeira manual de sementes de capim-búfel.....	10
4.2-Separação de partículas sólidas.....	11
4.2.1-Fluidização.....	11
4.3-Escoamento através de meios porosos.....	12
4.3.1-Introdução .....	12
4.3.2-Força sobre às partículas.....	14
4.3.3-Leito expandido.....	14
4.4-Transportes de sólidos.....	16
4.5-Ventiladores.....	16
4.5.1-Classificação.....	17
4.5.1.1-Quanto ao nível energético de pressão.....	17
4.5.1.2-Segundo a modalidade construtiva.....	17
• Ventilador centrífugo.....	17
• Ventilador hélico-centrífugo.....	17



• Ventilador helicoidal.....	17
• Ventilador axial.....	18
4.5.1.3-Segundo a forma das pás.....	18
• Pás radiais retas.....	18
• Pás inclinadas para trás.....	18
• Pás inclinadas para frente.....	18
• Pás curvas de saída radial.....	18
4.5.1.4-Segundo o número de rotores.....	19
• Simple estágio.....	19
• Duplo estágio.....	19
4.5.1.5-Segundo o número de entrada de aspirações.....	19
• Entrada unilateral.....	19
• Entrada bilateral.....	19
4.6-Fundamentos dos ventiladores.....	19
4.6.1-Diagrama das velocidades.....	19
4.6.2-Altura manométrica.....	20
4.6.3-Velocidade periférica do rotor à saída das Pás.....	20
4.6.4-Diâmetro externo do rotor.....	21
4.6.5-Velocidade na boca de entrada da máquina.....	21
4.6.6-Diâmetro de entrada da máquina.....	22
4.6.7-Diâmetro da borda de entrada das pás.....	22
4.6.8-Largura das pás.....	22
4.6.9-Velocidade meridional de saída das pás.....	22
4.6.10-Velocidade relativa à saída das pás.....	23
4.6.11-Velocidade absoluta à saída das pás.....	23
4.6.12-Velocidade periférica de entrada das pás.....	23
4.6.13-Área da boca de saída da máquina.....	24
4.6.14-Número de pás.....	24
4.6.15-Potência da ventilador.....	25

4.6.16-Diâmetro do eixo do ventilador.....	25
4.7-Captore.....	25
4.7.1-Conceito.....	25
4.7.2-Captor em forma de "Bico de Pato".....	25
4.7.3-Perda de carga ao penetrar no captor.....	26
4.7.3.1-Coeficiente de entrada.....	26
4.8-Dutos para condução de ar.....	29
4.8.1-Dimensionamento dos tubos para Insuflamento e aspi- ração.....	29
4.8.1.1-Perda de carga em dutos circulares.....	30
4.9-Perda de carga em peças especiais.....	32
4.9.1-Expansão ou alongamento gradual.....	33
 CAPÍTULO 5 - Dimensionamento da colheitadeira.....	 35
5.1-Obtenção da vazão.....	36
5.1.1-Número de voltas do trator para varrer 1 hectare.....	36
5.1.2-O Tempo para varrer 1 hectare pelo trator.....	37
5.1.3-Volume varrido pelo trator em 1 hectare.....	37
5.1.4-Velocidade de captura na boca do captor.....	37
5.1.5-Vazão do ventilador para succionar uma partícula (sementes) distante 50 mm do captor.....	38
5.2-Diâmetro da tubulação do sistema.....	39
5.3-Diferencial de pressão.....	39
5.3.1-Perda de carga.....	39
5.3.1.1-Perda de carga no duto circular.....	40
5.3.1.1.1-Cálculo da velocidade de escoamento no tubo.....	40
5.3.1.1.2-Cálculo da viscosidade cinemática.....	40
5.3.1.1.3-Cálculo do número de Reynolds.....	40

5.3.1.1.4-Cálculo da rugosidade relativa.....	41
5.3.1.1.5-Cálculo do coeficiente de atrito.....	41
5.3.1.1.6-Cálculo da perda de carga.....	41
5.3.2-Perda de carga nas curvas.....	42
5.3.2.1-Cálculo da velocidade na curva.....	42
5.3.2.2-Cálculo da perda da carga nas curvas.....	42
5.3.3-Perda no captor.....	42
5.3.3.1-Cálculo do fator de perda.....	43
5.3.3.2-Cálculo da velocidade na entrada do captor.....	43
5.3.3.3-Cálculo da perda de carga.....	43
5.3.4-Perda de carga no alargador gradual .....	44
5.3.4.1-Cálculo da velocidade na seção quadrada.....	44
5.3.5-Perda de carga na mangueira.....	45
5.3.5.1-Cálculo da velocidade de escoamento na mangueira.....	45
5.3.5.2-Cálculo da viscosidade cinemática.....	45
5.3.5.3-Cálculo do número de Reynolds.....	46
5.3.5.4-Cálculo da rugosidade relativa.....	46
5.3.5.5-Cálculo do coeficiente de atrito.....	46
5.3.6-Perda de carga total na sucção.....	47
5.4-Estimativa da rotação da máquina de fluxo .....	47
5.5-Cálculo da altura manométrica.....	48
5.6-Tipo de rotor do ventilador.....	49
5.6.1-Velocidade específica.....	49
5.7-Projeto do ventilador.....	50
5.7.1-Velocidade periférica do rotor á saída da pá.....	50
5.7.2-Diâmetro externo do rotor.....	51
5.7.3-Velocidade na boca de entrada da máquina.....	51
5.7.4-Diâmetro de entrada na máquina.....	52

5.7.5-Diâmetro do bordo de entrada das pás.....	53
5.7.6-Largura das pás.....	53
5.7.7-Diagrama de velocidade.....	54
5.7.7.1-Velocidade meridional de saída.....	54
5.7.7.2-Velocidade relativa à saída das Pás.....	54
5.7.7.3-Velocidade absoluta à saída das pás.....	55
5.7.7.4-Velocidade periférica à entrada das pás.....	55
5.7.7.5-Dimensões da boca à saída da máquina.....	55
5.7.7.6-Número de pás.....	56
5.6.8-Potência do motor ventilador.....	56
5.6.9-Diâmetro do eixo.....	56
5.6.10-Traçado do difusor.....	56
5.8-Dimensionamento do captor.....	59
5.8.1-Captor em forma de "bico de pato". .....	59
CAPÍTULO 6 - Métodos e Materiais.....	61
6.1-Metodologia Usada nos Ensaios dos captores.....	61
6.3.1-Teste no Captor 1.....	62
6.3.2-Teste no Captor 2.....	63
6.3.3-Teste no Captor 3.....	63
6.2-Materiais.....	63
6.2.1-Tacômetro de contato .....	63
6.2.2-Anemômetro tipo ventoinha.....	64
6.2.3-Tubo medidor de pressão estática.....	64
6.2.4-Módulos de manômetros.....	65
6.2.5-Variador de velocidade.....	65
6.2.6-Barômetro.....	66
6.2.7-Tacômetro estroboscópio.....	66
6.2.8-Captore.....	66

6.2.8.1-Captor 1.....	66
6.2.8.2-Captor 2.....	67
6.2.8.3-Captor 3.....	68
6.2.9-Mangueiras.....	66
6.2.10-Colheitadeira.....	69
6.2.10.1-Variador de velocidade.....	70
6.2.10.2-Máquina de fluxo. ....	70
6.2.10.2.1-Carcaça.....	70
6.2.10.2.2-Rotor.....	71
6.2.10.2.3-Eixo.....	73
6.2.10.2.4-Mancais.....	73
6.2.10.2.5-Base da máquina.....	73
6.2.10.2.6-Tubulação.....	73
6.2.10.2.7-Curva.....	74
CAPÍTULO 7 - Resultados.....	75
7.1-Resultado dos testes nos captores.....	75
7.1.1-Análise do Captor 1.....	75
7.1.1.1-Conclusão.....	76
7.1.2-Anaálise do Captor 2.....	76
7.1.2.1-Conclusão.....	77
7.1.3-Análise do Captor 3.....	78
7.1.3.1-Conclusão. ....	78
7.2-Análise dos resultados.....	85
7.2.1-Tabela 7.4.....	85
7.2.1.1-Quanto à coluna de captor 2-1.....	86
7.2.1.2-Quanto à coluna de captor 3-1.....	86
7.2.1.3-Quantoa à coluna de captor 3-2.....	86
7.2.2-Análise da tabela 7.4.....	87



9.2.2-Custo homem hora colheitadeira.....	99
9.2.2.1-Custo de encargos sociais.....	99
9.2.3-Valor estimado da semente do capim-búfel p/ hectare...	99
9.2.4-Valor líquido estimado da semente do capim-búfel por hectare.....	100
9.3-Conclusão.....	100
 CAÍTULO 10 - Conclusão.....	 102
 CAÍTULO 11 - Sugestões.....	 104
 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	 106
 ANEXO 1 - Valores do coeficiente de entrada $C_e$ .....	 110
ANEXO 2 - Diagrama de Moody para determinação do coeficien- te f de perda de carga.....	111
ANEXO 3 - Valores de K para curvas e cotovelos.....	112
ANEXO 4 - Velocidades específicas para os diversos tipos de ventiladores.....	113
ANEXO 5 - Viscosidade cinemática de fluidos em função da tem- peratura.....	114
 APÊNDICE A - Obtenção do Peso Específico do Capim-búfel.....	 115
 APÊNDICE B - B.1 Determinação do grau de umidade da semente de capim-búfel.....	118
B.1.1-Método de estufa à 105°.....	118

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

---

Gráfico 7.1 (Captor 1).....	80
Gráfico 7.2 (Captor 2).....	82
Gráfico 7.3 (Captor 3).....	84
Gráfico 8.1 (Velocidade do trator em função da marcha simples).....	91
Gráfico 8.2 (Velocidade do trator em função das marcha reudzida).	91



## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 4.1-Capim-búfel.....	8
Figura 4.2-Colheitadeira manual de capim-búfel.....	10
Figura 4.3-Leitos.....	13
Figura 4.4-Rotores quanto à construção.....	18
Figura 4.5-Rotores segundo à forma das pás.....	19
Figura 4.6-Diagrama de velocidades.....	21
Figura 4.7-Velocidade relativa e meridional de saída da pá.....	23
Figura 4.8-Boca de entrada e saída da máquina.....	24
Figura 4.9-Captor "bico de pato".....	26
Figura 4.10-Escoamento em Tubo.....	27
Figura 4.11-Variação de energia numa expansão gradual.....	33
Figura 5.1-Trator e máquina.....	35
Figura 5.2- Área em hectare.....	36
Figura 5.3-Diagrama de velocidades. ....	51
Figura 5.4-Vista lateral do rotor em corte.....	52
Figura 5.5-Vista de procedimento da construção da voluta.....	57
Figura 5.6-Captor tipo "Bico de Pato".....	59
Figura 5.7-Captor bico de pato para distância (x).....	60
Figura 6.1-Montagem da colheitadeira no laboratório de térmica e fluidos.....	61
Figura 6.2-Vista da cantoneira com tubo de pitot.....	64
Figura 6.3-Módulo de manômetros.....	65
Figura 6.4-Captor 1.....	67
Figura 6.5-Captor 2.....	68
Figura 6.6-Captor 3.....	69
Figura 6.7-Variador de velocidade.....	70

Figura 6.8-Carcaça .....	71
Figura 6.9-Rotor.....	72
Figura 6.10-Eixo.....	72
Figura 6.11-Base da máquina de fluxo.....	73
Figura 6.12-Tubo de 200 mm.....	74
Figura 6.12-Curva.....	71

## ÍNDICE DE TABELAS

---

Tabela 4.1-Número de pás em função do tipo de ventilador.....	24
Tabela 4.2-Peso específico e velocidade cinemática em função da temperatura.....	32
Tabela 4.3-Valores do coeficiente de recuperação R.....	34
Tabela 4.4-Valores do coeficiente K de perda de carga.....	34
Tabela 5.1-Tipos de ventiladores em função do diâmetro.....	53
Tabela 7.1 (Média das leituras de 4 experimentos das pressões estáticas).....	79
Tabela 7.2 (Média das leituras de 4 experimentos das pressões estáticas).....	81
Tabela 7.3.....	83
Tabela 7.4-Variação da pressão estática entre os captores (%) com relação as tabelas 7.1, 2 e 3.....	89
Tabela 8.1-Velocidade do trator para marcha simples.....	92
Tabela 8.2-Velocidade do trator para marcha reduzida.....	92

## ÍNDICE DE SÍMBOLOS

---

A	área (m <sup>2</sup> )
A <sub>ag</sub>	área da seção quadrada do alargador gradual (m <sup>2</sup> )
A <sub>cpt</sub>	área da entrada do captor (m <sup>2</sup> )
A <sub>e</sub>	área de entrada da máquina (m <sup>2</sup> )
A <sub>s</sub>	área de saída da máquina
A <sub>pç</sub>	área da curva (m <sup>2</sup> )
b <sub>1</sub>	largura de entrada da pá (m)
b <sub>2</sub>	largura de saída da pá (m)
b <sub>s</sub>	largura da boca de saída da máquina (m)
CCC	custo do consumo de combustível pelo trator (R\$)
C <sub>e</sub>	coeficiente de vazão (adimensional)
CES	custo de encargos sociais (R\$)
CHM	custo de hora máquina (R\$)
CHHC	custo homem hora colheitadeira manual (R\$/ha)
CHHM	custo homem hora máquina (R\$/ha)
CM	custo de manutenção (R\$/ha)
CCT	consumo de combustível pelo trator para varrer 1 hectare (l)
d <sub>e</sub>	diâmetro do eixo (m)
Dep	depreciação (R\$)
D	diâmetro do tubo (m)
D <sub>1</sub>	diâmetro interno do rotor (m)
D <sub>2</sub>	diâmetro externo do rotor (m)
D <sub>3</sub>	diâmetro da boca de saída da máquina (m)
D <sub>4</sub>	diâmetro da boca de entrada da máquina (m)
D <sub>p</sub>	diâmetro da partícula (m)
D <sub>pç</sub>	diâmetro da curva (m)

<b>e</b>	estragulamento da voluta (m)
<b>f</b>	coeficiente de atrito
<b>F</b>	fator de carga
<b>Fg</b>	força sobre um leito (N)
<b>g</b>	aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )
<b><math>h_a, h_b</math></b>	energia potencial nos pontos A e B (mmH <sub>2</sub> O)
<b>hp</b>	perda de carga (mmH <sub>2</sub> O)
<b><math>h_v</math></b>	pressão dinâmica do fluido (mmH <sub>2</sub> O)
<b>H</b>	altura manométrica total (cmH <sub>2</sub> O)
<b>Hc</b>	comprimento da boca de saída da máquina (m)
<b>hp</b>	perda de carga no duto circular (mmH <sub>2</sub> O)
<b>hp<sub>ag</sub></b>	perda de carga no alongador gradual (mmH <sub>2</sub> O)
<b>hp<sub>mang</sub></b>	perda de carga na mangueira (mmH <sub>2</sub> O)
<b>hp<sub>pç</sub></b>	perda de carga nos acessórios (mmH <sub>2</sub> O)
<b>hp<sub>cpt</sub></b>	perda de carga no captor (mmH <sub>2</sub> O)
<b>hp<sub>J</sub></b>	perda de carga no sistema (mmH <sub>2</sub> O)
<b>L<sub>h</sub></b>	largura ou profundidade do hectare (m)
<b><math>l_c</math></b>	largura do captor (m)
<b>L<sub>h</sub></b>	largura ou profundidade de 1 hectare (m)
<b>L<sub>t</sub></b>	comprimento do tubo (m)
<b>L<sub>q</sub></b>	largura do quadrado de construção da voluta (m)
<b>m<sub>1</sub></b>	massa do capim-búfel para experimento 1 (g)
<b>m<sub>2</sub></b>	massa do capim-búfel para experimento 2 (g)
<b>m<sub>3</sub></b>	massa do capim-búfel para experimento 3 (g)
<b>n</b>	velocidade de rotação (rpm)
<b>n<sub>t</sub></b>	número de voltas do trator
<b>N</b>	potência do ventilador (CV)
<b>o</b>	ponto de entrada no ventilador (m)

$p_0$	pressão estática na boca de entrada do ventilador (kgf/cm <sup>2</sup> )
$p_3$	pressão estática na boca de saída do ventilador (kgf/cm <sup>2</sup> )
$Q$	vazão do ventilador (m <sup>3</sup> /s)
$r$	raio da circunferência (m)
$R$	coeficiente de recuperação de alongadores
$Re$	número de Reynolds
$t$	tempo para o trator varrer 100 m (h)
$T$	tempo para o trator varrer um hectare (h)
$T_{cm}$	tempo para varrer um hectare com colheitadeira manual (h)
$\bar{U}$	velocidade periférica, circunferencial ou arrastamento (m/s)
$U_1$	velocidade periférica à entrada da pá (m/s)
$U_2$	velocidade periférica à saída da pá (m/s)
$\bar{V}$	velocidade absoluta (m/s)
$V$	velocidade da massa fluida no duto (m/s)
$V_{ag1}$	velocidade na seção retangular do alargador gradual. (m/s)
$V_{a\phi}$	velocidade na curva (m/s)
$V_a$	velocidade na entrada da boca da máquina (m/s)
$VESCH$	valor da semente de capim-búfel por hectare (R\$)
$VESCH_1$	valor da semente de capim-búfel por hectare da colheitadeira manual. (R\$/ha)
$VELESC$	valor líquido da semente de capim-búfel por hectare da máquina mecanizada. (R\$/ha)
$VELESC_1$	valor líquido a semente de capim-búfel por hectare da colheitadeira manual. (R\$/ha)
$V_d$	velocidade no tubo (m/s)

$V_2$	velocidade absoluta de saída da pá (m/s)
$V_3$	velocidade da massa fluida na boca de saída do ventilador (m/s)
$V_4$	velocidade do massa fluida na saída do tubo de saída (m/s)
$V_0$	velocidade da massa fluida na boca de entrada do ventilador (m/s)
$V_c$	velocidade de captura no captor (m/s)
$V_{opt}$	velocidade à entrada do captor (m/s)
$V_m$	velocidade meridional (m/s)
$V_{m2}$	velocidade meridional de saída (m/s)
VN	valor nominal do trator (R\$)
$V_\infty$	velocidade superficial do fluido (m/s)
$V_{conf}$	velocidade de fluidização mínima (m/s)
$V_t$	velocidade média de escoamento do fluido no tubo (m/s)
$V_{trator}$	velocidade do trator (m/s)
$V_x$	projeção de V sobre U (m/s)
VU	vida útil do trator (R\$/ha)
$\bar{W}$	velocidade relativa (m/s)
$W_2$	velocidade relativa à saída do rotor (m/s)
x	distância de captura (m)
z	número de pás (pás)
$\frac{P_a}{\gamma}, \frac{P_b}{\gamma}$	energia manométrica nos pontos A e B, em altura de coluna de fluido. (mH <sub>2</sub> O)
$\frac{V_a^2}{2g}, \frac{V_b^2}{2g}$	energia cinética no ponto A e B, em altura de coluna de fluido. (mH <sub>2</sub> O)

$\alpha$	ângulo formado entre as velocidades absoluta e arrastamento	( $^{\circ}$ )
$\beta$	ângulo formado entre a velocidade periférica e o prolongamento da velocidade de arrastamento.	( $^{\circ}$ )
$\delta$	peso do recipiente e sua tampa mais o peso da semente úmida	(kg)
$\Delta p$	diferencial de pressão	(mmH <sup>2</sup> O)
$\gamma_a$	peso específica do ar	(kgf/m <sup>3</sup> )
$\gamma_{cap}$	peso específico da capim-búfel	(kgf/m)
$\gamma$	peso específico massa fluida	(kgf/m <sup>3</sup> )
$\eta$	rendimento da máquina	(%)
$\varphi$	pesos do recipiente com tampa, mais o peso da semente seca	(kg)
$\epsilon$	rendimento hidráulico	(%)
$\epsilon$	frações de vazios ou porosidade	
$\nu$	viscosidade cinemática	( $\mu$ Pa.s)
$\rho$	densidade do fluido	(kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_s$	densidade do sólido	(kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_1$	densidade do capim-búfel para experimento 1	(kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_2$	densidade do capim-búfel para experimento 2	(kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_3$	densidade do capim-búfel para experimento 3	(kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_{méd}$	densidade média das sementes	(kg/m <sup>3</sup> )
$\tau$	peso do recipiente com sua tampa	(kg)
$n_t$	número de voltas do trator	(voltas)
$v$	volume varrido pelo trator	(m <sup>3</sup> )
$\xi$	percentual de umidade média de sementes capim-búfel.	(%)
$\xi_1$	percentual de umidade na amostra 1 de semente	(%)



$\xi_2$	percentual de umidade na amostra 2 de semente (%)
$\xi_3$	percentual de umidade na amostra 3 de semente (%)
$\Omega$	velocidade angular (rad/s)
$\frac{\epsilon}{d}$	rugosidade relativa do duto

## CAPÍTULO - 1

### INTRODUÇÃO.

---

O Nordeste brasileiro é uma região de aproximadamente 2 milhões de quilômetros quadrados, onde mais de 60% apresenta clima semi-árido, com índice médio de pluviosidade de 450 a 800 mm anuais, distribuindo-se desuniformemente entre 4 a 6 meses, de modo que ocorrem períodos frequentes de secas em que partes dos rebanhos e dos cultivos se perdem. Esta característica torna a agropecuária uma atividade marcada por alta margem de risco, o que impede ou dificulta a introdução de modernas tecnologias.

Como alternativas para reversão do quadro que assola o Nordeste, alguns programas governamentais vêm sendo desenvolvidos há vários anos. Entre eles se destacam a construção de açudes em toda região; o trabalho realizado dentro do polo nordeste com abrangência de uma área superior a meio milhão de quilômetros quadrados, dividida em 447 municípios; projetos de irrigação através do sistema de integração com a agroindústria e o programa de fixação do homem à terra, através do assentamento de colonos nos perímetros irrigados.

Além dos programas já citados para o desenvolvimento do Nordeste, existem outros com apoio do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) para financiamento do Setor Agropecuário e Agroindustrial, da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) através do Fundo de Incentivo ao Nordeste (FINOR), também para os setores

agropecuário e agroindustrial, com isenção ou redução do imposto de renda, por um período de 10 anos, para empresas do setor agropecuário e agroindustrial, que venham a se instalar, modernizar ou diversificar suas produções em área de atuação da SUDENE.

A grande conquista da região Nordeste se deu na década de 80, através do artigo 159, inciso I, alínea c da Constituição Federal, e regulamentada pela lei número 7.827, de 27 de setembro de 1989, onde 1,8% do produto da arrecadação do imposto sobre os produtos industrializados, entregues pela União, constituem fontes de recursos do Fundo Constitucional do Nordeste (FNE), com 50% do montante destinado para aplicações no semi-árido.

Para neutralizar os citados fatores adversos, se faz necessário a utilização de todos os recursos, incentivos e meios disponíveis através de um programa de mobilização conjunta que envolva segmentos federais, estaduais, municipais e regionais, para assegurar a estruturação de mecanismos de desenvolvimento tecnológico, que propiciem o crescimento sócio-econômico do Nordeste.

Com o objetivo de propiciar meios para a criação destes mecanismos no Estado da Paraíba, o Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), através do seus cursos de Graduação e Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, vem desenvolvendo vários trabalhos ligados ao setor agropecuário, tais como: sistemas de secagem, armazenagem, conservação de grãos, fontes alternativas de energia (gaseificador, biomassa e eólica).

Para melhor consolidação do processo de desenvolvimento, transferência e aplicação desta tecnologia, a UFPB mantém um programa de integração com a Fundação Parque Tecnológico da Paraíba (PaqTc), Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), Secretária da Indústria Comércio e Tecnologia (SICT) e Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAAB) do município de Campina Grande, estado da Paraíba.

Recentemente o DEM, EMBRAPA e SAAB fizeram um trabalho de acompanhamento para diagnosticar os problemas dos sistemas de criação dos rebanhos de bovinos, caprinos e ovinos, da região do Sertão e do Cariri Paraibano. Dentre os problemas encontrados, identificou-se a escassez de pastagem e o alto custo, ou até mesmo a impraticável obtenção de concentrados como complementação alimentar. Na busca de alternativas para solucionar o problema de pastagem, verificou-se que o capim-búfel, pelas suas características, apresenta-se como uma alternativa viável.

O capim-búfel é uma gramínea que vem apresentando resultados satisfatórios e até mesmo surpreendentes para a região do semi-árido do Nordeste, especificamente do Cariri Paraibano. Nos campos de pastagem ele se caracteriza pelo alto poder de germinação, resistência ao pisoteio e apresenta um excelente poder de recuperação. Como ração animal, ele apresenta significativo poder nutritivo e um expressivo teor de fibras, podendo ser usado tanto no período de chuvas, quanto no período de seca, através do sistema de ensilagem, feno ou meda. Um problema detectado é a colheita das sementes, que são colhidas manualmente no campo. A

colheita manual é um processo lento e oneroso, acarretando uma grande perda. Para contornar este problema, o Departamento de Engenharia Mecânica, vem estudando o desenvolvimento de uma máquina de fluxo, com o objetivo de mecanizar a colheita da semente do capim-búfel.

## **CAPÍTULO - 2**

### **OBJETIVOS**

---

#### **2.1-Objetivo Geral.**

Projetar, dimensionar, construir e testar em laboratório e em campo, uma máquina de fluxo, colheitadeira de sementes do capim-búfel, para funcionar acoplada a um trator agrícola.

#### **2.2-Objetivos Específicos.**

Dimensionar e construir uma colheitadeira de sementes do capim-búfel composta de:

- Um captor tipo coifa;
- Um conjunto formado por rotor e carcaça para sucção do fluxo mássico composto de sementes, resto de cultura e ar;
- Uma tubulação para transporte pneumático das sementes, até um depósito de armazenagem;
- Testar em laboratório a capacidade e a dispersão de sucção dos captores construídos
- Testar em laboratório o ventilador (máquina de fluxo).

## CAPÍTULO - 3

### VIABILIDADE DA PESQUISA.

---

A viabilidade da pesquisa é fundamentada nas condições existentes e na necessidade de um trabalho desenvolvido entre os setores de pesquisas, os órgãos de integração, e os setores produtivos da região, com a finalidade de se obter meios que proporcionem melhores condições para o desenvolvimento sócio-econômico do segmento agropecuário da região.

Neste sentido o Departamento de Engenharia Mecânica da UFPB, dispõe de recursos humanos, infra-estrutura de laboratório e oficina mecânica, que podem ser utilizados na construção da máquina colheitadeira de sementes, além de uma relativa experiência no desenvolvimento de equipamentos agrícolas, fato este devidamente comprovado, com vários equipamentos desenvolvidos em trabalhos de mestrado, em colaboração com DNOCS e EMBRAPA.

Aliando as condições e experiências do DEM, as articulações de alguns órgãos de integração, com as necessidades do setor produtivo, o trabalho de desenvolvimento da máquina de fluxo, fica condicionado a uma simples ajuda dos órgãos de fomento à pesquisa, com a qual, complementam-se as condições para o desfecho final do trabalho.

## CAPÍTULO - 4

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

#### 4.1 - Introdução.

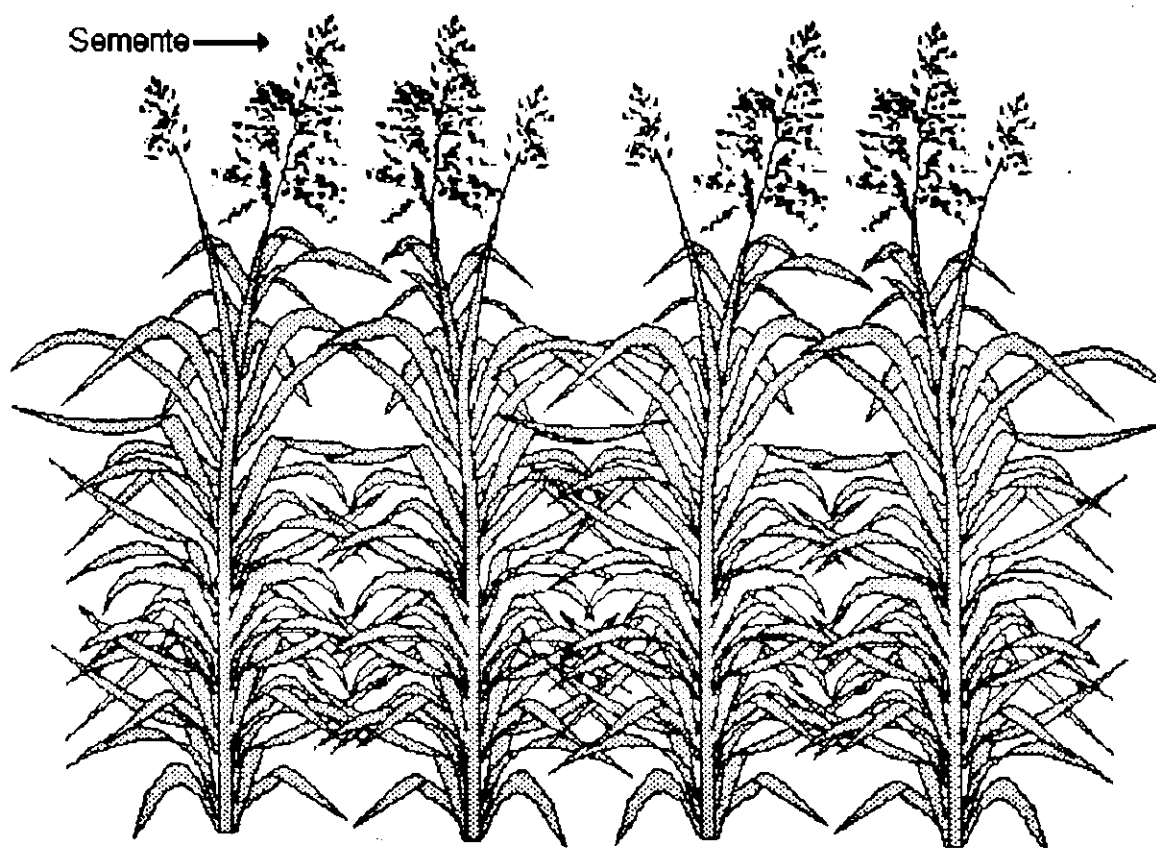
O capim-búfel (*Cenchrus Ciliaris* L.), mostrado na figura 4.1, é uma gramínea de grande importância na formação de boas pastagens nas regiões semi-áridas, por causa de sua resistência à seca e ao pastoreio, adaptação a diversos tipos de solos, produção de forragem de boa qualidade e alta palatabilidade e, também, pela sua facilidade de disseminação por meio de sementes.

Ocorre de forma espontânea ou subespontânea na África, Índia e Indonésia, em regiões com 300 a 400 mm de precipitação anual. Na Austrália desenvolve-se bem em local de 350 a 900 mm de precipitação anual, sendo as cultivares de porte baixo e amadurecimento prematuro as mais vantajosas para as regiões mais áridas.<sup>(3)</sup>

O capim-búfel tem a característica de suportar temperaturas elevadas, onde a temperatura ideal para a fotossíntese é de 35°C.<sup>(3)</sup>

O capim-búfel se desenvolve melhor em solos neutros ou em solos de acidez moderada. No caso de solos encharcados, geralmente não tem boa resistência. Em áreas mais úmidas, cede lugar a outras gramíneas mais produtivas.





**Figura 4.1 - Capim-Búfel**

#### 4.1.1-Produção.

O capim-búfel não tem elevado rendimento em matéria seca. A sua produção anual varia de 2 a 6 toneladas de matéria seca por hectare, onde essa produção depende do nível de adubação nitrogenada. Com adubação de nitrogênio consegue-se produções de 7 a 8 e de 4 a 5 t/ha/ano, na ausência de adubação.

#### 4.1.2-Produção de Sementes.

Produz grande quantidade de sementes de boa qualidade, especialmente quando se aplica nitrogênio. Na

Tanzânia, obteve-se de 120 a 150 kg de sementes por hectare sem fertilização. Aplicações parceladas de nitrogênio caracterizam produções maiores<sup>(9)</sup>.

A semente de capim-búfel pode ser colhida manualmente ou mecanicamente. Depois da colheita a semente só poderá ser utilizada após 6 meses de armazenamento, por apresentar uma certa dormência. Em pesquisa efetuada na Tanzânia, verificou-se que, 18 meses depois da colheita, as sementes tinham alcançado poder germinativo elevado (92,5%), e que, a partir desse momento, o seu valor começou a diminuir com o armazenamento, apresentando 80% de germinação três anos e meio depois, 60% após cinco anos e 4% ao fim de oito anos<sup>(9)</sup>.

As sementes de capim-búfel são capazes de permanecer viáveis no solo por longos períodos. Na Austrália, constatou-se que as sementes conseguiram manter 10% de seu poder germinativo, três anos depois de enterrada no solo<sup>(39)</sup>.

#### 4.1.3-Plantio e Colheita.

Para uma boa implantação do pasto, recomenda-se um preparo cuidadoso do solo, podendo-se semeá-lo em linhas, a 30 cm umas das outras, na base de 3 a 4 kg/ha.

O início da colheita é muito importante. Deve-se fazer várias caminhadas pela área a partir do florescimento das plantas. No caso de aparecimento de manchas dentro da área, onde o cacheamento está mais adiantado, é por ali que a colheita deve ser iniciada.

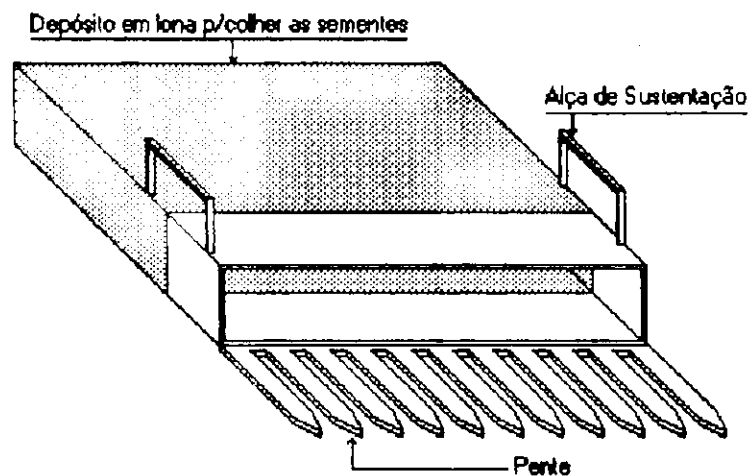
O momento exato para iniciar a colheita das sementes, é aquele em que a grande maioria dos cachos estão abertos e as sementes das suas pontas já começam a cair. Em geral, isto acontece de 25 a 35 dias após as plantas terem soltados os primeiros cachos<sup>(32)</sup>.

#### 4.1.4-Colheitadeira Manual de Sementes de Capim-búfel.

A colheitadeira manual construída pela EMBRAPA, mostrada na figura 4.2, é composta basicamente de um pente para colher e um depósito para recolher as sementes.

O comprimento do pente e as dimensões do depósito poderão variar de acordo com as necessidades do produtor.

A colheita é feita manualmente por dois homens que ficam um de cada lado da mesma.



**Figura 4.2 -** Colheitadeira Manual de Sementes de Capim-búfel  
(Comunicação Técnica da EMBRAPA, N° 11, fev./87, pg.1-8)

Este modelo de colheitadeira poderá ser utilizado também na colheita de sementes de outros capins, como BRACHIARIA, UROCHLOA, etc., sendo necessário a substituição do pente por outro, em que as dimensões entre os dentes estejam ajustados para um novo tipo de sementes.

#### 4.2-Separação de Partículas Sólidas.

Um método utilizado para separar o material em diversas granulações, consiste na utilização de peneira, porque este processo depende exclusivamente da dimensão das partículas, embora outras propriedades, tais como, a forma das partículas e a sua tendência para aglomerar, possam também ser consideradas.

O outro método para separação consiste nas diferenças de atuação das partículas em movimento, sendo que, neste caso, o tamanho e massa específica das partículas são os fatores mais influentes, e a sua forma tem influência insignificante.

Existem outros métodos que tiram proveito de diferenças nas propriedades elétricas e magnéticas dos materiais ou das propriedades de superfície<sup>(31)</sup>.

##### 4.2.1-Fluidização.

Ao passar um fluido de cima para baixo num leito de sólidos, não se verifica movimento entre as partículas, a não ser que, a orientação seja inconstante. No caso do fluxo ser laminar, o

decréscimo da pressão através do leito será diretamente proporcional à vazão volumétrica.

No caso do fluido passar de baixo para cima no leito, a queda de pressão será a mesma de cima para baixo a baixa vazão volumétrica, mas, quando o atrito de superfície sobre as partículas se iguala ao seu peso simulado (peso real menos a impulsão), as partículas passam a reorganizar-se de modo a proporcionar menos resistência ao escoamento, e com isso, o leito começa a expandir. A continuidade desse processo se mantém a medida que a velocidade é aumentada com a força total de atrito igual ao peso das partículas, até que o leito torne-se estável. Quando se altera ainda mais a velocidade, as inúmeras partículas distanciam-se umas das outras, tornando-se livremente sustentadas no fluido. Isto é *leito fluidizada*. Para velocidades elevadas, quando a expansão do leito é grande, existe divergência bastante clara entre o comportamento nos dois casos. Especificamente para o gás, a sua fluidização uniforme só acontece para velocidades relativamente baixas. O aumento da velocidade implica na forma de duas "fases" distintas: a fase contínua, que se denomina muitas vezes por fase *densa* ou de *emulsão*, e a fase descontínua, conhecida por fase *leve* ou de *bolhas*.

#### 4.3-Escoamento Através de Meios Permeáveis.

##### 4.3.1-Introdução.

O escoamento de partículas sólidas no meio fluido é de grande interesse. Um estudo destes fenômenos se enquadra entre as categorias.

*1-Leito fixo:* as partículas sólidas permanecem fixas, ficando retidas por blindagem porosa, enquanto o fluido passa através do leito de partículas (figura 4.3a).

*2-Leito fluidizado:* as partículas sólidas estão livres no topo do leito, onde se expande a medida que a velocidade aumenta. Não existe escoamento total dos sólidos (Figura 4.3b).

*3-Transporte de sólidos:* ocorre escoamento tanto dos sólidos quanto do fluido. (Figura 4.3c).

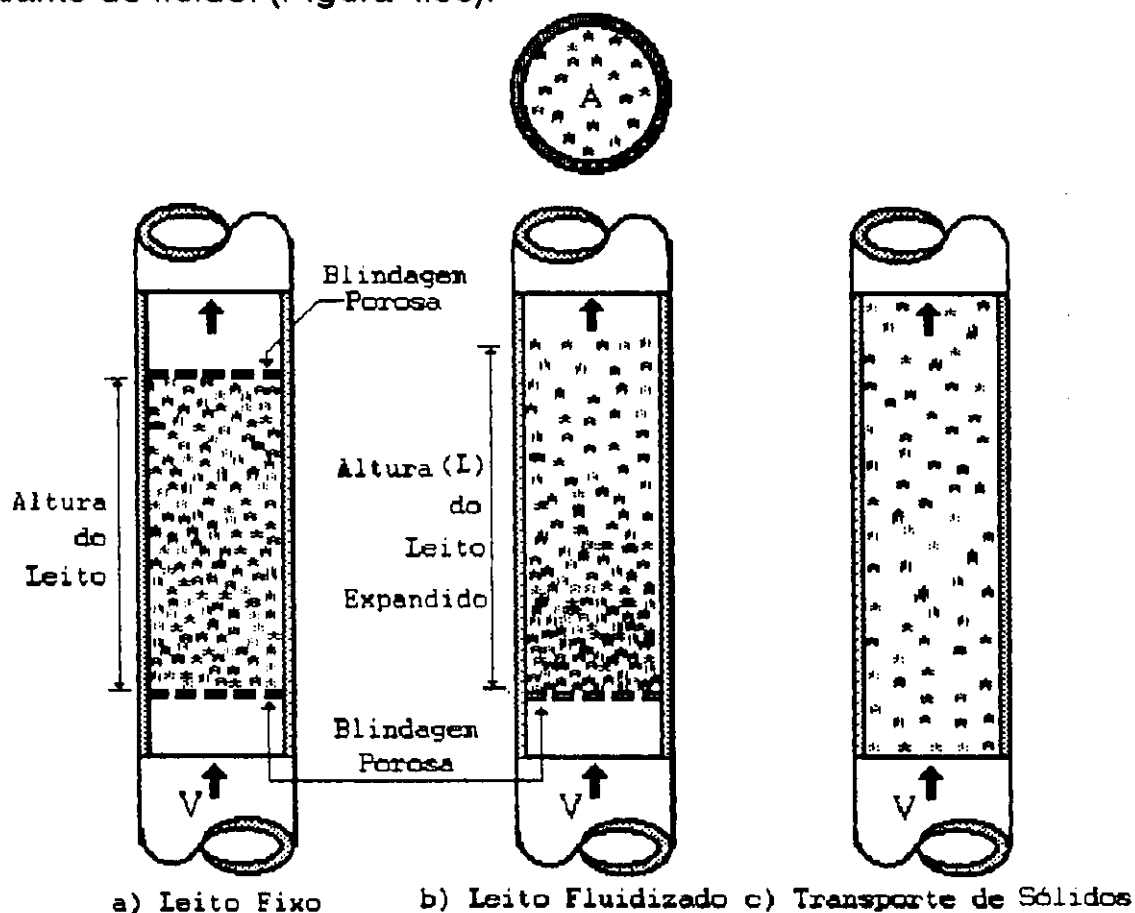


Figura 4.3 - Leitos<sup>(30)</sup>

### 4.3.2-Força sobre as Partículas.

O movimento dos sólidos, seja no mesmo sentido do fluido ou não, depende do balanço relativo das forças. No equilíbrio:

$$(\text{força de arrasto} + \text{força de empuxo} + \text{força gravitacional} = 0)^{(30)} \quad (4.1)$$

### 4.3.3-Leito expandido.

Um leito de sólidos, para se expandir na ascendente (figura 4.3b), é necessário que a velocidade superficial do fluido  $V_{\infty}$  supere a velocidade de fluidização mínima  $V_{\infty f}$ . Para calcular esta velocidade, deve-se fazer um comparativo de força sobre um leito de partículas de área  $A$  e profundidade  $L$ . A força total para baixo produzida por efeito de gravidade é: <sup>(30)</sup>

$$F_g = (\rho_s - \rho)gAL(1 - \epsilon) \quad (4.2)$$

A força para cima produzida pela ação de atrito do fluido sobre os sólidos é: <sup>(30)</sup>

$$F_{f_s} = A\Delta p = \left\{ \left[ \frac{150(1-\epsilon)}{Re'} + 1,75 \right] \left[ \frac{\rho V_{\infty}^2 L(1-\epsilon)A}{D_p \epsilon^3} \right] \right\} \quad (4.3)$$

No instante inicial da fluidização,  $F_g = F_{fp}$ , substituindo  $V_{\infty}$  e igualanda a equação 4.2 com a equação 4.3, obtém-se: <sup>(30)</sup>

$$(\rho_s - \rho)g = \left[ \left( \frac{150(1 - \epsilon)\mu V_{\infty f}}{D_p^2 \epsilon^3} \right) + \left( \frac{1,75\rho V_{\infty f}^2}{D_p \epsilon^3} \right) \right] \quad (4.4)$$

onde,

$\rho_s$  = densidade do sólido (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho$  = densidade do fluido (kg/m<sup>3</sup>)

$D_p$  = diâmetro da partícula (m)

$L$  = comprimento de coluna recheada (m)

$Re$  = número de Reynolds

$V_{\infty f}$  = velocidade de fluidização mínima (m/s)

$V_{\infty}$  = velocidade superficial do fluido (m/s)

$\epsilon$  = frações de vazios ou porosidade

$A$  = área (m<sup>2</sup>)

$\mu$  = viscosidade absoluta (kg/m.s)

Se as frações de vazios e as propriedades dos fluidos forem conhecidas, a velocidade mínima de fluidização  $V_{\infty f}$  poderá ser obtida.

A equação mostra o início da fluidização, o começo da expansão do leito caracterizado pela fração mínima de vazios. O outro extremo é alcançado quando a fração de vazios tende a 1, que corresponde a uma única partícula sendo sustentada no leito. Neste caso, a velocidade máxima será a mesma que uma partícula atingiria caindo numa grande massa fluida parada. Esta velocidade máxima é a velocidade terminal  $V_t$ .<sup>(30)</sup>

$$V_t = \frac{D_p^2}{18} \cdot \frac{(\rho_s - \rho)g}{\mu} \quad Re < 1 \quad (4.5)$$



e

$$V_t = \left[ \frac{3D_p(\rho_s - \rho)g}{\mu} \right]^{1/2} \quad 500 < Re < 200.000 \quad (4.6)$$

onde,

$$Re = \frac{V_t \cdot D_p \cdot \rho}{\mu} \quad (4.7)$$

#### 4.4-Transporte de Sólidos.

É de grande importância nos transportes de sólidos, a escolha de alimentadores para se ter a dispersão completa de sólidos no gás.

Os transportadores pneumáticos consistem num ventilador que tem a finalidade de insuflar os sólidos dispersados no gás em alta velocidade nos tubos ou dutos, e num ciclone ou outro equipamento que faça a separação dos sólidos do gás.

Os transportadores pneumáticos são úteis para materiais granulados que deslizam livremente quando estão dispersos no fluxo do gás e não aderem às paredes nem se aglomeram.

#### 4.5-Ventiladores.

São máquinas geratrizes ou operatrizes que transformam a energia mecânica de eixo rotativo em energia cinética ao fluido. Através dessa energia, o fluido ( ar + sementes ) é capaz de escoar superando as resistências dos tubos e peças especiais.

#### 4.5.1-Classificação.

São vários os critérios que podem classificar os ventiladores:

##### 4.5.1.1-Quanto ao Nível Energético de Pressão.

- Baixa pressão, até 200 mmH<sub>2</sub>O;
- Média pressão, de 200 a 800 mmH<sub>2</sub>O;
- Alta pressão, de 800 a 2.500 mmH<sub>2</sub>O;
- Muita alta pressão, de 2.500 a 10.000 mmH<sub>2</sub>O

##### 4.5.1.2-Segundo a Modalidade Construtiva.

- Ventilador Centrífugo. (Figura 4.4a)

A massa gasosa penetra no rotor paralelamente ao eixo, sendo dirigido pelas pás para a periferia na direção normal ao eixo.

- Ventilador Hélico-centrífugos. (Figura 4.4b)

A massa gasosa penetra no rotor axialmente; atinge as pás cujo o bordo de entrada é curvo e inclinado em relação ao eixo; segue uma trajetória que é curva reversa, pois as pás são de dupla curvatura, e atinge o bordo de saída que é paralelo ao eixo ou ligeiramente inclinado em relação a ele. Sai do rotor segundo um plano perpendicular ao eixo ou segundo uma trajetória ligeiramente inclinada em relação ao plano perpendicular ao eixo.

- Ventilador Helicoidal. (Figura 4.4c)

A massa gasosa atinge o bordo das pás que é curvo e bastante inclinado em relação ao eixo; a trajetória é uma hélice cônica reversa, e as pás são bastante inclinadas em relação ao eixo.

- Ventilador Axial. (Figura 4.4d)

A massa gasosa em sua passagem pelo rotor é totalmente axial.

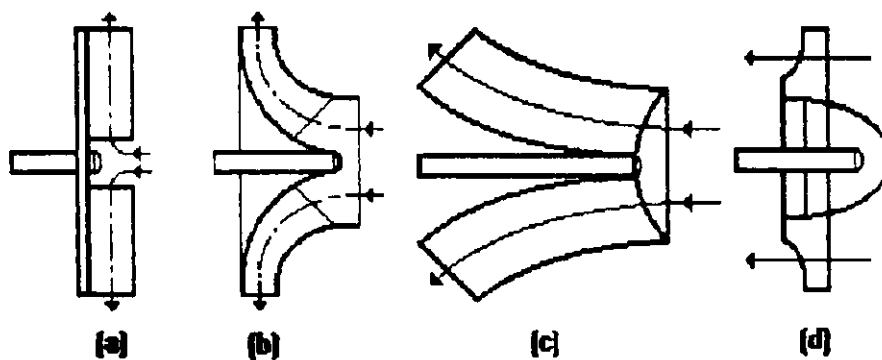
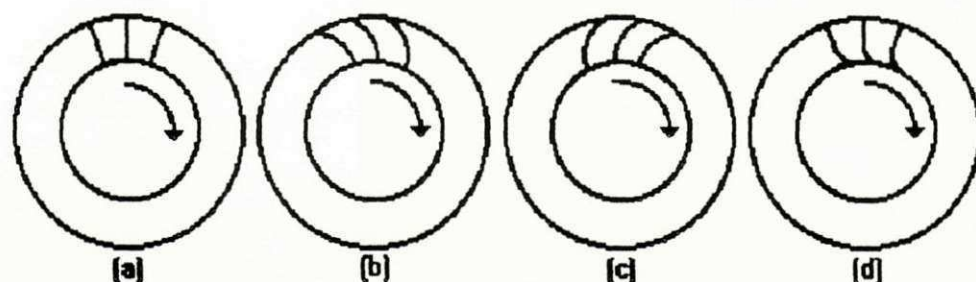


Figura 4.4 - Rotores quanto a construção

#### 4.5.1.3-Segundo a forma das Pás.

- Pás radiais retas, figura 4.5a;
- Pás inclinadas para traz, figura 4.5b;
- Pás inclinadas para frente, figura 4.5c;
- Pás curvas de saída radial, figura 4.5d



**Figura 4.5** - Rotores segundo a forma das pás

#### 4.5.1.4-Segundo o número de Rotores.

- Simples estágio
- Duplo estágio

#### 4.5.1.5-Segundo o número de entradas de Aspiração.

- Entrada unilateral
- Entrada bilateral

### 4.6-Fundamentos dos Ventiladores.

#### 4.6.1-Diagrama das Velocidades.

Nos ventiladores, uma partícula gasosa em contato com a pá do rotor não tem a mesma trajetória em cada instante com a qual se acha em contato. A figura 4.6 mostra o diagrama de velocidades.

- $\bar{U}$  - velocidade circunferencial, periférica ou de arrastamento, tangente à circunferência descrita pelo ponto M da pá. Seu módulo é dado pelo produto da velocidade angular

$\Omega = \frac{\pi n}{30}$  (radiano por segundo) pelo raio  $r$  correspondente ao ponto  $M$ ,

ou seja,  $\bar{U} = \Omega r$ .  $n$  é número de rotações por minutos.

- $\bar{W}$  - velocidade relativa da partícula no ponto  $M$  percorrendo a trajetória relativa e que corresponde ao perfil da pá.
- $\bar{V}$  - velocidade absoluta, soma geométrica das velocidades periférica e relativa.
- $\alpha$  - ângulo formado entre as velocidades absoluta e periférica.
- $\beta$  - ângulo formado pela velocidade relativa e a direção da velocidade periférica em sentido oposto. É o ângulo de inclinação da pá no ponto considerado.
- A projeção de  $\bar{V}$  sobre a direção radial ou meridional é designada  $V_m$ . Esta componente intervém no cálculo da vazão do ventilador.
- A projeção de  $\bar{V}$  sobre  $\bar{U}$ , isto é, a componente periférica de  $\bar{V}$  e que é representada por  $V_u$ .

#### 4.6.2-Altura Manométrica (H).<sup>(19)</sup>

$$H = \frac{P}{\gamma}, \quad (\text{m}) \quad (4.8)$$

onde  $p$  é a pressão manométrica do sistema e  $\gamma$  o peso específico da massa fluida.

#### 4.6.3-Velocidade Periférica do Rotor à Saída da Pá ( $U_2$ ).<sup>(19)</sup>

$$U_2 = \sqrt{\frac{g \cdot H}{\epsilon}}, \quad (\text{m/s}) \quad (4.9)$$

onde  $g$  é aceleração da gravidade,  $H$  a altura manométrica e  $\epsilon$  o rendimento hidráulico estimado.

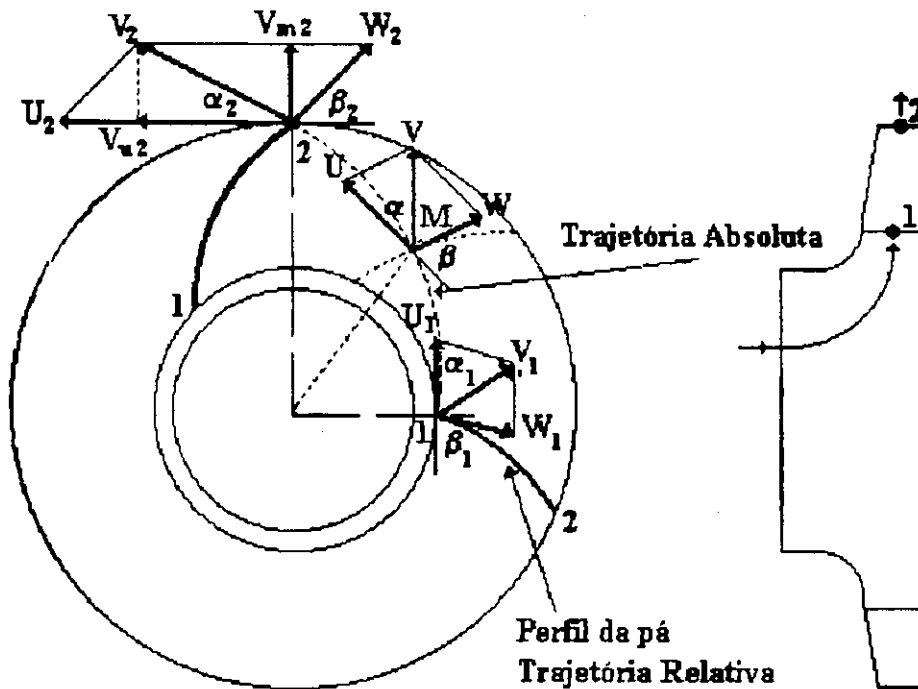


Figura 4.6 - Diagrama de velocidades para os pontos 1 e 2 nas pás<sup>(19)</sup>

#### 4.6.4-Diâmetro Externo do Rotor ( $D_2$ ).<sup>(19)</sup>

$$D_2 = \frac{60 \cdot U_2}{\pi n}, \quad (\text{m}) \quad (4.10)$$

onde  $U_2$  é a velocidade periférica de saída no rotor, e  $n$  o número de rotações por minuto da máquina.

#### 4.6.5-Velocidade na Boca de Entrada da Máquina ( $V_a$ ).<sup>(19)</sup>

$$0,25\sqrt{2 \cdot g \cdot H} \leq V_a \leq 0,50\sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \quad (\text{m}) \quad (4.11)$$

onde 0,25 a 0,50 é um fator de correção de perdas na entrada da máquina,  $g$  aceleração da gravidade e  $H$  a altura manométrica.

#### 4.6.6-Diâmetro de Entrada da Máquina ( $D_a$ ). <sup>(19)</sup>

Da equação da continuidade, tem-se:

$$D_a = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi V_a}}, \quad (\text{m}) \quad (4.12)$$

onde  $Q$  é a vazão da máquina e  $V_a$  a velocidade na boca de entrada da máquina.

#### 4.6.7-Diâmetro da Borda de Entrada das Pás ( $D_1$ ). <sup>(19)</sup>

$$1,3D_2 \leq D_1 \leq 1,6D_2, \quad (\text{m}) \quad (4.13)$$

onde  $D_2$  é o diâmetro externo do rotor.

#### 4.6.8-Largura das Pás ( $b$ ). <sup>(19)</sup>

$$b = \frac{Q}{\pi D_1 \cdot V_{m1}}, \quad (\text{m}) \quad (4.14)$$

onde  $V_{m1} < V_a$ .  $Q$  representa a vazão da máquina,  $D_1$  o diâmetro de entrada no rotor e  $V_{m1}$  é a velocidade meridional na entrada da pá.

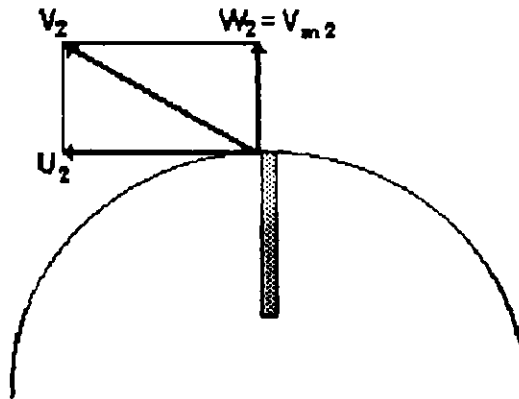
#### 4.6.9-Velocidade Meridional de Saída da Pá ( $V_{m2}$ ). <sup>(19)</sup>

$$V_{m2} = \frac{Q}{\pi D_2 \cdot b_2}, \quad (\text{m/s}) \quad (4.15)$$

onde  $Q$  é a vazão da máquina,  $D_2$  o diâmetro de saída do rotor e  $b_2$  a largura de saída das pás.

#### 4.6.10-Velocidade Relativa à Saída da Pá ( $W_2$ ).

$W_2 = V_{m2}$ , para o caso específico do rotor de pás radiais retas, a velocidade relativa de saída da pá coincide com a velocidade meridional de saída, conforme mostra a figura 4.7.



**Figura 4.7** - Velocidades relativa e meridional de saída das pás.

#### 4.6.11-Velocidade Absoluta à Saída das Pás ( $V_2$ ).<sup>(19)</sup>

$$V_2 = \sqrt{U_2^2 + W_2^2}, \quad (\text{m/s}) \quad (4.16)$$

onde  $U$  é a velocidade periférica de saída da pá e  $W$  a velocidade relativa de saída da pá.

#### 4.6.12-Velocidade Periférica de Entrada da Pá ( $U_1$ ).

O valor da velocidade periférica de entrada da pá é obtida em função da seguinte relação  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{D_1}{D_2}$  ou;<sup>(19)</sup>

$$U_1 = U_2 \frac{D_1}{D_2} \quad (\text{m/s}) \quad (4.17)$$



#### 4.6.13-Área da boca de Saída da Máquina ( $A_s$ ).

$A_s = H_c \cdot b_s$ , onde  $H_c$  é o comprimento da boca de saída da voluta e  $b_s$  a sua largura. A figura 4.8 mostra a boca de entrada e saída da máquina.

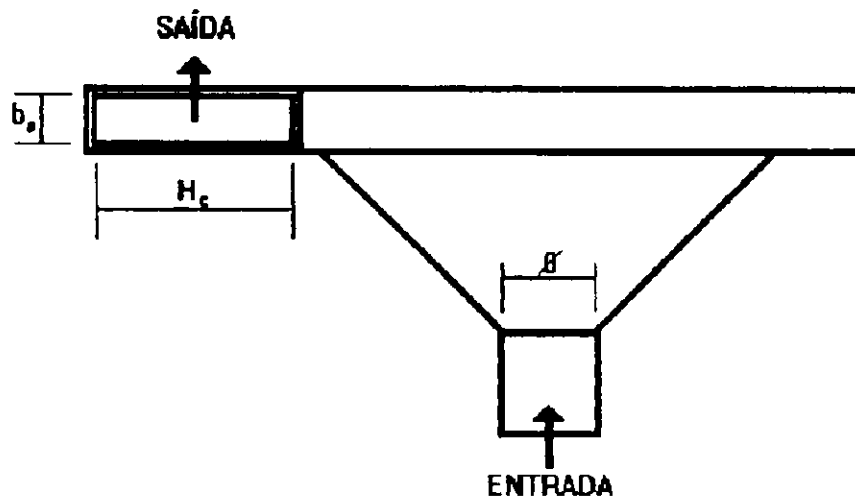


Figura 4.8 - Boca de entrada e saída do ventilador.

#### 6.14-Número de Pás do Rotor ( $z$ ).<sup>(1)</sup>

$$z = 10 \cdot \pi D_2, \quad (4.18)$$

onde  $D_2$  é o diâmetro de saída da rotor. A Tabela 4.1 relaciona o número de pás com o tipo de ventiladores.

Tipos	$z$
Ventiladores de pás curvadas para trás	14 - 40
Ventiladores de pás curvadas para frente	32 - 66
Ventiladores de pás radiais	12 - 20

Tabela 4.1 - Número de pás em função do tipo de ventilador<sup>(1)</sup>

#### 4.6.16-Potência do Ventilador (N). <sup>(19)</sup>

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{76 \cdot \eta}, \quad (\text{CV}) \quad (4.19)$$

onde  $\gamma$  é o peso específico da massa fluida,  $Q$  a vazão do ventilador,  $H$  a altura manométrica e  $\eta$  o rendimento do ventilador.

#### 4.6.17-Diâmetro $d_e$ do Eixo do Ventilador. <sup>(11)</sup>

$$d_e = 12 \left( \sqrt[3]{\frac{N}{n}} \right), \quad (\text{m}) \quad (4.20)$$

onde  $N$  é a potência da ventilador e  $n$  o número de rotações do ventilador.

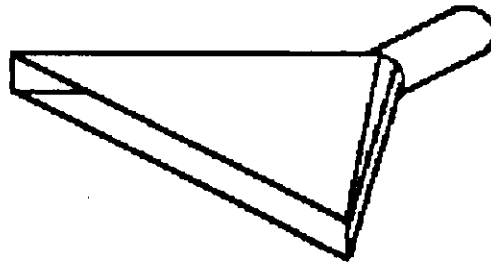
### 4.7-Captadores.

#### 4.7.1-Conceito.

É uma peça que pela diferença de pressões entre o ar ambiente e o existente no captor, cria uma corrente para o interior do mesmo.

#### 4.7.2-Captor em Forma de “Bico de Pato”.

É um captor que forma uma concordância entre a seção retangular de entrada e a seção circular do duto. A figura 4.9 ilustra este tipo de captor.



**Figura 4.9** - Captor "Bico de Pato".

### 4.7.3-Perda de Carga ao Penetrar no Captor ( $\Delta p_{cp}$ ).

#### 4.7.3.1-Coeficiente de Entrada.

As trajetórias constituídas pelas partículas fluidas ou sólidas em escoamento, sofrem uma modificação sensível ao penetrarem na boca do captor. (Figura 4.10)

O vácuo ou rarefação que existe no tubo, faz com que a veia líquida se contraia e esta é máxima no ponto B a uma certa distância da entrada A.

No ponto M a pressão existente é atmosférica.

Como o fluido escoar de A para B, uma parte da energia de pressão (*atmosférica*) ou pressão estática se converte em energia cinética ou pressão dinâmica, e a partir de B uma parte dessa pressão dinâmica se converte novamente em pressão estática. Simultaneamente com essas conversões, ocorre uma perda de energia ou de "carga", pois nem toda a energia devida à pressão atmosférica se converte em pressão dinâmica. Na fase imediata de conversão da pressão dinâmica  $h_v$  em pressão estática  $p_e$ , há uma certa recuperação de energia de pressão a qual não é total devido a perda de carga proveniente da viscosidade da massa fluida.

Em função das perdas, ocorre uma redução na vazão no tubo ou captor e esta redução é caracterizada por um coeficiente  $C_e$ , denominado *coeficiente de entrada*, que representa a razão entre a vazão real e a vazão teórica. <sup>(19)</sup>

$$C_e = \frac{\text{Volume real}}{\text{Volume teórico}} \quad (4.21)$$

ou

$$C_e = \sqrt{\frac{h_v}{\left(\frac{P_e}{\gamma}\right)_{\text{captor}}} } \quad (4.22)$$

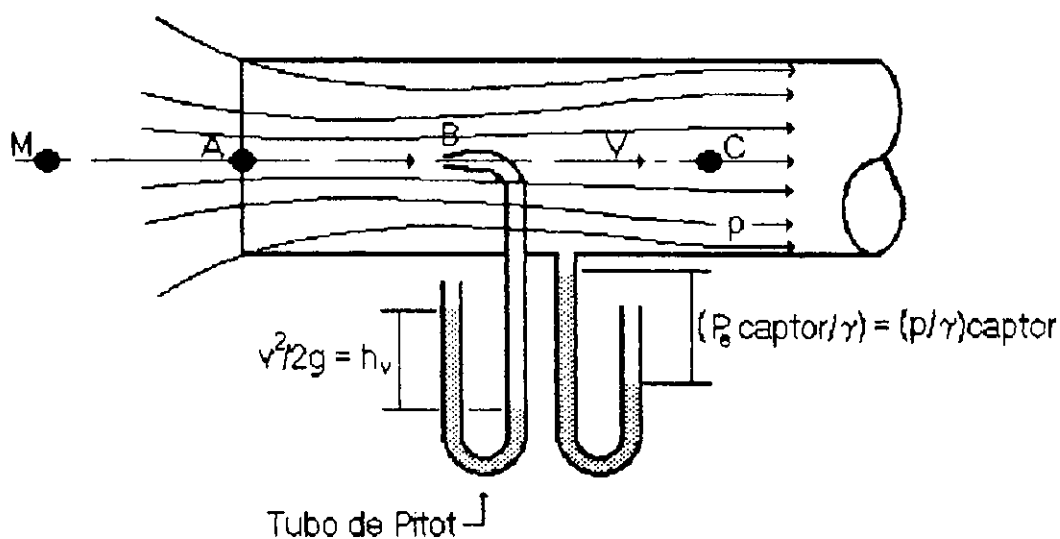


Figura 4.10 - Escoamento em tubo <sup>(19)</sup>

O termo  $h_v$  é dado por: <sup>(19)</sup>

$$h_v = \frac{V_{opt}^2}{2g} \cdot \gamma. \quad (4.23)$$

é expressa em  $\text{kgf/m}^2$ , onde

$V(\text{m/s})$ ,  $g(\text{m/s}^2)$  e  $\gamma(\text{kgf/m}^3)$

Convém notar que  $1 \text{ kgf/m}^2$  corresponde à pressão devida a  $1 \text{ mmH}_2\text{O}$ .<sup>(19)</sup>

Como o peso de  $1 \text{ m}^3$  de ar é aproximadamente igual a  $1,2 \text{ kgf}$ .

A pressão  $\left(\frac{p}{\gamma}\right)_{\text{captor}}$  na entrada do captor é dada em  $\text{mmH}_2\text{O}$ .

#### 4.7.3.2-Perda de Carga.

A perda de carga será determinada pela seguinte fórmula:<sup>(19)</sup>

$$h_{p_{opt}} = F \cdot h_v, \quad (\text{mmH}_2\text{O}) \quad (4.24)$$

onde  $F$  fator de carga, igual a  $F = \frac{(1 - C_e^2)}{C_e^2}$ ,<sup>(30)</sup> onde  $C_e$  é o coeficiente de entrada, e  $h_v$  é a pressão dinâmica. O coeficiente  $C_e$  e o fator  $F$  são funções dos tipos de captores e seu valor é encontrado no Anexo 1.

#### 4.8- Dutos para Condução de Ar.

Dutos conduzem o ar graças à energia que é comunicada ao mesmo, provocada por um ventilador localizado, em geral, em local separado até a uma razoável distância do recinto ao ventilar.

Através de bocas de insuflamento ou de captação adaptadas aos dutos principais, pode-se conseguir um adequado insuflamento ou uma satisfatória captação sob o ponto de vista de distribuição de vazão e de velocidade de escoamento, por variação de pressão causada pelo rotor.

O sistema de duto para insuflamento é estudado sob dois aspectos:

- o da condução de ar no interior dos dutos, a partir da captação até a sua exaustão.
- o dos materiais do dutos, das peças e equipamentos complementares ao sistema de dutos.

##### 4.8.1-Dimensionamento dos Dutos para Insuflamento e Aspiração.

Seja qual for o método adotado no dimensionamento, ele se baseia na *Equação da Continuidade* e no *Princípio de Conservação de energia*.

A EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE representa o valor da vazão em função da área da secção normal e a velocidade média do fluido nesta secção. Logo é representado por: <sup>(19)</sup>

$$Q = S.V, \quad (m^3/s) \quad (4.25)$$

onde,

Q é a vazão, expressa em  $m^3/s$ ;

S é a área transversal da secção de escoamento, em  $m^2$ .

V é a velocidade média de escoamento, expressa em  $m/s$ .

A equação da conservação de energia mostra que, considerando a unidade de peso de fluido que flui entre dois pontos A e B, a energia no ponto A é igual no ponto B, mais a perda de energia (perda de carga) no escoamento entre A e B.<sup>(19)</sup>

$$h_a + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} = h_b + \frac{p_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g}, \quad (4.26)$$

onde,

$h$ , representa a energia potencial, expressa em  $mmCH_2O$ ;

$\frac{p}{\gamma}$ , representa a energia de pressão, expressa em  $mmCH_2O$ ;

$\frac{V}{2g}$ , representa a energia cinética, expressa em  $mmCH_2O$ ;

#### 4.8.1.1-Perda de Carga em Dutos Circulares

A perda de carga em dutos circulares pode ser encontrado usando a fórmula universal de Darcy e Weisbach ou diagramas baseados no emprego de dutos de determinado material com rugosidade definida e válidos para o escoamento incompressível.

O primeiro método é geral, aplicável quando se conhece a rugosidade do material do duto, o peso específico da mistura gasosa e a viscosidade da mesma.

O *método universal* apresenta a seguinte fórmula: <sup>(19)</sup>

$$h_p = f \left( \frac{L_d}{D} \right) \left( \frac{V^2}{2g} \right) \cdot \gamma \quad (\text{Pa}) \quad (4.27)$$

A perda de carga nesta fórmula é expressa em Pascal,

(Pa) onde:

$h_p$  perda de carga no tubo em, Pascal

$g$  aceleração da gravidade em,  $\text{m/s}^2$ ;

$L_d$  representa o comprimento do duto, em m;

$D$  é o diâmetro do duto, em m;

$V$  é a velocidade do fluido, em  $\text{m/s}$ ;

$\gamma$  é o peso específico do ar, em  $\text{kgf/m}^2$ ;

$f$  é o coeficiente de atrito ou resistência ou de perda de carga e que depende de duas grandezas:

a) Rugosidade relativa das paredes do duto  $\frac{\epsilon}{D}$ , sendo  $\epsilon$  a rugosidade do duto e  $D$  o seu diâmetro.

b) Números de Reynolds, definido como:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

onde,  $\nu$  é a viscosidade cinemática ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) encontrado no anexo 5 em função da temperatura.



Temperatura (°C)	Peso Específico (kgf/m <sup>3</sup> )
0	1,2922
10	1,2467
20	1,2041
30	1,1644
40	1,1272
60	1,0924

Tabela 4.2 - Peso Específica do ar.<sup>(19)</sup>

Através do Anexo 2 (Diagrama de Moody)<sup>(19)</sup> pode-se encontrar o coeficiente de atrito  $f$ .

#### 4.9 - Perdas de Cargas em Peças Especiais. ( $hp_{ac}$ )

Como ao longo do duto da instalação de ventilação forçada existem peças que contribuem para aumentar a perda de carga do sistema, em função do atrito, das turbulências e das variações na velocidade que provocam.

As principais dentre essas peças são:

- boca de captação ou tomada de ar;
- bocas de saída;
- curvas e cotovelos;
- alargamentos graduais ou expansões;
- reduções.

Conhecendo-se a velocidade média  $V$  de escoamento na peça, calcula-se a altura representativa da pressão dinâmica  $h_v$  em mmCH<sub>2</sub>O.

Consultando-se os anexos 4, 5 e 6, onde para cada tipo de peça se encontra o coeficiente K, que, multiplicado por  $h_v$ , fornece a perda de carga em mmH<sub>2</sub>O. <sup>(19)</sup>

$$h_{p_{ac}} = K \cdot h_v = K \left( \frac{V_{ac}^2}{2g} \right) \gamma \quad (\text{mmH}_2\text{O}) \quad (4.29)$$

#### 4.10.1-Expansão ou Alongamento Gradual.

Quando ocorre um aumento gradual de diâmetro, a medida que a energia cinética diminui, a energia de pressão aumenta. Dai, dizer-se que no alargamento ocorre uma *"recuperação na energia de pressão"*, representada por  $p_s$ . Simultaneamente, ocorre uma perda de carga  $h_{p_a}$ , que dependendo do ângulo  $\alpha$ , é em geral pequena.

A Figura 4.11 ilustra essa variação.

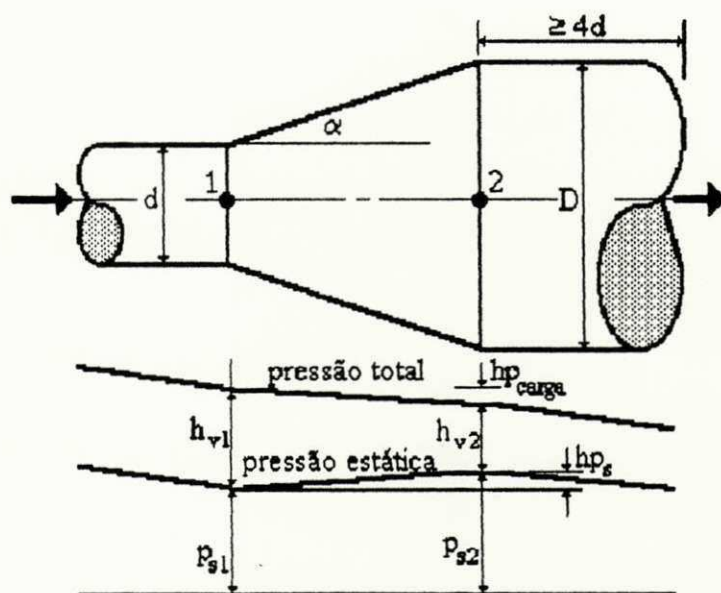


Figura 4.11 - Variação de energia numa expansão gradual <sup>(19)</sup>

A tabela 4.3, fornece valores do fator de recuperação  $R$  que multiplicado pela diferença entre as energias de pressão  $(h_{v1} - h_{v2})$  fornece a perda de carga  $hp_a$ , logo: <sup>(19)</sup>

$$hp_a = R \cdot (h_{v1} - h_{v2}) \quad (\text{mmH}_2\text{O}) \quad (4.30)$$

Ângulo $\alpha$	Relação D/d			
	1,25:1	1,5:1	2:1	2,5:1
5	0,88	0,84	0,76	0,68
10	0,85	0,76	0,63	0,53
15	0,83	0,70	0,55	0,43
20	0,81	0,67	0,48	0,43
30	0,79	0,63	0,41	0,25

Tabela 4.3 - Valores do coeficiente de recuperação  $R$  (ver Fig. 4.11) <sup>(19)</sup>

Ângulos $^\circ$	K
5	0,28
10	0,44
15	0,58
20	0,72
25	0,87
30	1,00
>30	1,00

Tabela 4.4 - Valores do coeficiente K para alargador gradual <sup>(19)</sup>

## CAPÍTULO - 5

### DIMENSIONAMENTO DA COLHEITADEIRA.

Neste capítulo, sistematizaremos o dimensionamento para uma máquina de fluxo centrífuga, de um único estágio e admissão simples, onde a massa de trabalho será o ar seco mais as sementes de capim-búfel.

A máquina colheitadeira tem como objetivo, aspirar uma certa massa fluida, composta de sementes do capim-búfel e ar.

A máquina será instalada na parte traseira de um trator, acoplada à tomada de força do mesmo. Na parte da frente do trator fica o captor que tem a forma de "bico de pato" ou forma tubular, com boca retangular. (Figura 5.1)

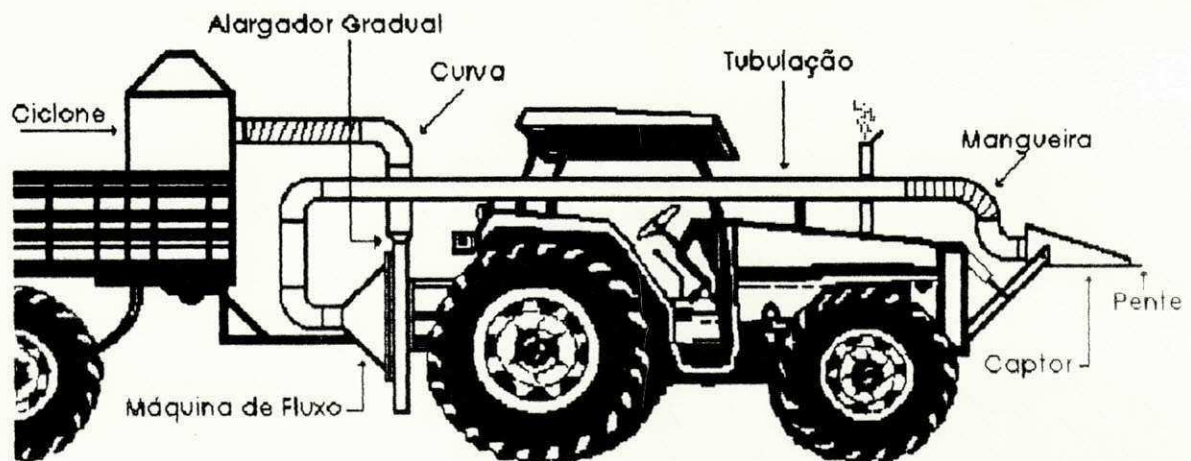


Figura 5.1 - Trator e Máquina

Para iniciar o dimensionamento da colheitadeira, necessita-se obter certos dados, os quais serão apresentados a seguir:

## 5.1 - Obtenção da Vazão.

Para obtenção da vazão será estabelecido o seguinte procedimento:

a) Considera-se a velocidade do trator em 6,0 km/h, que é a velocidade de trabalho.

b) Considera-se uma área de 1 hectare como parâmetro de colheita.

c) Área de varredura do captor é de  $A_{cpt} = 0,028 \text{ m}^2$ , ou seja, 2,8 m de largura por 0,01 m de altura da abertura captor.

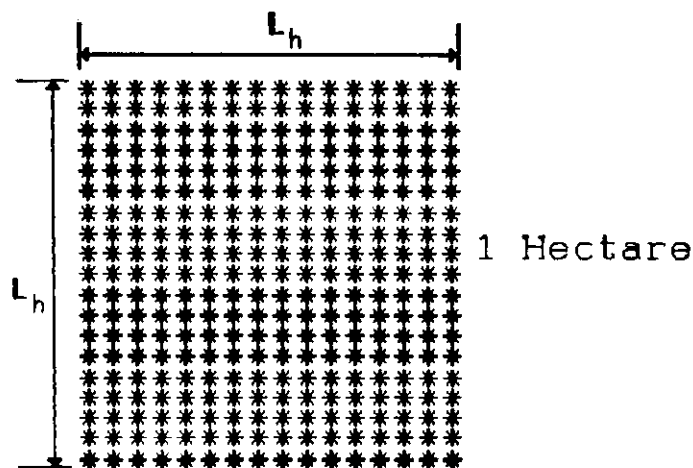


Figura - 5.2 - Área em Hectare

### 5.1.1-Número de Voltas do Trator para Varrer um Hectare. ( $n_t$ )

$$n_t = \frac{L_h}{H_c}, \quad (5.1)$$

onde  $n_t$  é o número de voltas que o trator vai realizar para varrer 1 hectare,  $L_h$  é a largura do hectare e  $H_c$  é a largura do captor.

$$n_t = \frac{100}{2,8} = 36 \text{ voltas}$$

#### 5.1.2-O Tempo (T) para Varrer 1 hectare pelo Trator.

O trator levará o seguinte tempo para varrer 1 ha:

$$T = \frac{n_t(L_h)}{V_{\text{trator}}} = \frac{36 \times 100}{6.100} = 0,6 \text{ h} = 36 \text{ min} \quad (5.2)$$

#### 5.1.3-Volume (v) Varrido pelo Trator em 1 Hectare.

O volume (v) varrido pelo trator será:

$$\begin{aligned} v &= A_{\text{opt}} \cdot n_t \cdot L_h \\ &= 0,028 \times 36 \times 100 \\ &= 100,8 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (5.3)$$

Assim sendo a vazão na boca do captor será:

$$Q_b = \frac{v}{T} = \frac{100,8}{36} = 2,8 \text{ m}^3 / \text{min} \quad (5.4)$$

#### 5.1.4-Velocidade de Captura na Boca do Captor.

É a velocidade que deve ter a partícula (semente) localizada a uma certa distância "x", para que esta possa deslocar-se até o captor. A equação para obtenção da velocidade é:

$$V_c = \frac{Q_0}{0,75(10 \cdot x^2 + A_{\text{opt}})} \quad (19) \quad (\text{m/min}) \quad (6.5)$$

onde "x" é a distância compreendida entre a boca do captor e a semente a ser succionada, neste caso,  $x=0$ , logo a velocidade de captura será:

$$V_c = \frac{2,8}{0,75(0,028)} = 133,3 \text{ m/min}$$

#### 5.1.5-Vazão do Ventilador para Succionar uma Partícula (semente)

Distante 50 mm do Captor. (Q)

A vazão em função da distância "x" entre a semente e o captor, será calculada pela equação que também depende da forma do captor (bico de pato):

$$Q = 3,7(H_{\text{opt}} \cdot x \cdot V_c)^{(19)} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (6.6)$$

$$\begin{aligned} Q &= 3,7 \times 2,8 \times 0,05 \times 133,3 \\ &= 68,89 \text{ m}^3 / \text{min} \\ &\cong 1 \text{ m}^3 / \text{s} \end{aligned}$$

A vazão do ventilador para succionar a massa fluida composta de ar mais sementes de capim-búfel será de:

$$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 5.2 - Diâmetro da Tubulação do Sistema.

Como no capim-búfel (biloela) as espiguetas variam de 100 a 150 mm de comprimento, é necessário que se adote um tubo com diâmetro um pouco maior que os 150 mm, que é o tamanho das espiguetas. Baseado neste dado, deve-se adotar um tubo leve, por possuir paredes finas e porque esse tubo será instalado em toda extensão do trator, com isso, não é preciso dimensionar suporte muito robusto que servirá de sustentação do tubo no trator.

Conforme catálogo técnico da CANDE Tubos e Conexões, consultado, o TUBO PVC VENTILAÇÃO JS de 200 mm será utilizado como tubulação do sistema. Este tubo terá uma espessura de parede que varia de 2,5 a 2,8 mm, pesando 14,575 kg o tubo de 6m de comprimento .

## 5.3 - Diferencial de Pressão. ( $\Delta p$ )

O diferencial de pressão representa o quanto o ventilador necessitará para elevar a massa fluida desde a sua captação até o seu ponto de descarga. Com isso, inicialmente, parte-se para encontrar as perdas de carga no sistema que é o mínimo que o ventilador necessitará para elevar a massa fluida.

### 5.3.1-Perda de Carga.

Durante o escoamento da massa fluida através de um sistema hidráulico ou pneumático, pode ocorrer uma perda de pressão (perda de carga), que é consequência de vários fatores.



### 5.3.1.1-Perda de Carga em Duto Circular.

A perda de carga para o tubo de PVC de 200 mm de diâmetro e 6.000 mm de comprimento que está acoplado ao sistema de ensaio no laboratório, será calculado pela fórmula de Darcy-Weisbach, conforme equação 4.27:

#### 5.3.1.1.1-Cálculo da Velocidade de Escoamento no Duto.

Como a vazão é igual 1 m<sup>3</sup>/s e o diâmetro do duto é igual a 0,2 m, a velocidade média no duto será:

$$V_d = \frac{Q}{A_c} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{1}{\frac{\pi 0,2^2}{4}} = 31,83 \text{ m/s}$$

#### 5.3.1.1.2-Cálculo da Viscosidade Cinemática ( $\nu$ ).

O valor da viscosidade cinemática é encontrado no anexo 5, entrando com a temperatura que será estimada em 30° C. Assim sendo tem-se:

$$\nu = 1,810^{-5}$$

#### 5.3.1.1.3-Cálculo do Número de Reynolds.

O número de Reynolds será calculado pela fórmula.

$$R_e = \frac{V_d \cdot D}{\mu} \rho = \frac{31,83 \cdot 0,2}{0,000018} \cdot 9,43 = 3335076,66 = 3 \cdot 10^6 \quad (5.8)$$

Para  $R_e = 3 \cdot 10^6$  encontrado no anexo 2, tem-se um sistema com regime turbulento.

#### 5.3.1.1.4-Cálculo da Rugosidade Relativa.

Como o tubo utilizado é de polipropileno o valor de  $\epsilon = 0,00015 \text{ m}^{(19)}$ , logo

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,00015}{0,2} = 0,00075$$

#### 5.3.1.1.5-Cálculo do Coeficiente de atrito.

Entrando no diagrama de Moody, anexo 2, com a rugosidade relativa e número de Reynolds, o coeficiente de atrito será igual a:

$$f = 0,0185$$

#### 5.3.1.2-Cálculo da Perda de Carga.

Como já são conhecidos os dados da equação de perda de carga em duto circular, ou seja,  $L_d = 6 \text{ m}$ ,  $D = 0,2 \text{ m}$  e  $V_d = 31,83 \text{ m/s}$ , a perda de carga no duto será:

$$h_p = \left( 0,0185 \frac{6}{0,2} \cdot \frac{31,83^2}{19,62} \right) 9,43 = 269,76 \text{ Pa}$$

$$h_p = 27,0 \text{ mmH}_2\text{O}$$

### 5.3.2-Perda de Carga nas Curvas.

Como o sistema montado no trator é possuidor de três curvas de 90° de PVC, a perda nas curvas será calculada através da equação 4.29:

#### 5.3.2.1-Cálculo da Velocidade na Curva.

Como a vazão é igual a 1 m<sup>3</sup>/s e o diâmetro da curva é de 0,2 m, a velocidade na curva será:

$$V_{vc} = \frac{Q}{A_{vc}} = \frac{1}{\frac{\pi 0,2^2}{4}} = 31,83 \text{ m/s}$$

#### 5.3.2.2-Cálculo da Perda de carga nas Curvas.

Entrando no anexo 3, que é função do tipo de acessório, tem-se que K = 0,3, logo:

$$h_{p_{vc}} = 4 \left\{ 0,3 \left[ \frac{31,83^2}{19,62} \right] \cdot 9,43 \right\} = 584,34 \text{ mmH}_2\text{O}$$

### 5.3.3-Perda no Captor.

O captor tem a forma de bico de pato. A perda de carga será calculada pela equação 4.23:

#### 5.3.3.1-Cálculo do Fator de Perda de carga.

O valor F, fator de perda de carga, se determina no anexo 1, em função do tipo de captor;  $F = \frac{1 - C_e^2}{C_e^2}$ , onde  $C_e$  é coeficiente de entrada no captor, também encontrado no anexo 1, logo:

$$F = \frac{1 - 0,9^2}{0,9^2} = 0,23$$

#### 5.3.3.2-Cálculo da Velocidade na entrada do Captor.

Como a velocidade no captor foi encontrado na equação 5.5, sendo o seu valor igual à 133,3 m/s.

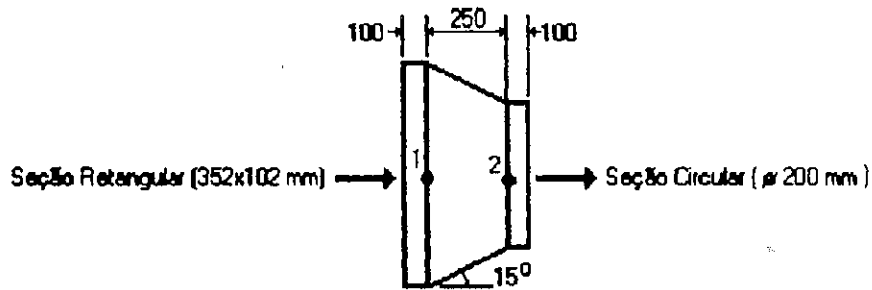
#### 5.3.3.3-Cálculo da Perda de carga.

Como são conhecidos os valores de F e  $V_{cpt}$ , tem-se:

$$h_{p_{cpt}} = 0,23 \left\{ \left( \frac{2,22^2}{19,62} \right) 9,43 \right\} = 0,55 \text{ mmH}_2\text{O}$$

### 5.3.4-Perda de Carga no Alargador Gradual.

O alargador está situado na saída do ventilador, as suas dimensões estão num croqui abaixo.



A fórmula aplicada para o cálculo da perda será:

$$h_{p_{ag}} = k(hv_2 - hv_1) \quad (\text{mmH}_2\text{O}) \quad (5.9)$$

O valor de K é encontrado na tabela 4.4, função da concordância formada pela seção quadrada, com a seção circunferencial. O seu valor é 0,44.

A velocidade na seção é a mesma da velocidade na curva, ou seja, 31,83 m/s.

#### 5.3.4.1-Cálculo da Velocidade na Seção Quadrada.

Como a seção mede 352 mm por 102 mm, a área será:

$$A_{te} = 0,352 \cdot 0,102 = 0,0359 \text{ m}^2$$

logo,

$$V_{ag} = \frac{1}{0,0359} = 27,86 \text{ m/s}$$

Como já são conhecidos os valores das velocidades e de K, a perda de carga será:

$$h_{p_{ag}} = 0,44 \left( \frac{31,83^2}{19,62} \cdot 9,43 - \frac{27,86^2}{19,62} \cdot 9,43 \right) = 50,12 \text{ mmH}_2\text{O}$$

### 5.3.5-Perda de Carga na Mangueira. ( $h_{p_{mang}}$ )

A mangueira é de 200 mm de diâmetro com 4m de comprimento. A fórmula para o cálculo da perda de carga é a mesma utilizada no cálculo do tubo, ou seja, a equação 4.7.

#### 5.3.5.1-Cálculo da Velocidade de Escoamento na Mangueira.

A velocidade média na mangueira é a mesma do duto, ou seja,  $V_{mang} = 31,83 \text{ m/s}$ .

#### 5.3.5.2-Cálculo da Viscosidade Cinemática ( $\nu$ ).

O valor da viscosidade cinemática é encontrado no anexo 5, entrando com a temperatura que será estimada em 30° C. Assim sendo tem-se:

$$\nu = 1,8 \cdot 10^{-5}$$

### 5.3.5.3-Cálculo do Número de Reynolds.

O número de Reynolds será calculado pela fórmula.

$$R_e = \frac{V_d \cdot D}{\mu} \rho = \frac{31,83 \cdot 0,2}{0,000018} \cdot 9,43 = 3335076,66 = 3.10^6$$

Para  $R_e = 3.10^6$  encontrado no anexo 2, tem-se um sistema com regime turbulento.

### 5.3.5.4-Cálculo da Rugosidade Relativa.

Como a mangueira tem o suco aproximadamente igua a 5 mm, logo o valor de  $\epsilon = 0,005 \text{ m}$ , logo

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,005}{0,2} = 0,025$$

### 5.3.5.5-Cálculo do Coeficiente de atrito.

Entrando no anexo 2 com a rugosidade relativa e número de Reynolds, o coeficiente de atrito será igual a:

$$f = 0,053$$

### 5.3.5.6-Cálculo da Perda de Carga.

Como já são conhecidos os dados da equação de perda de carga, ou seja,  $L_d = 4 \text{ m}$ ,  $D = 0,2 \text{ m}$  e  $V_d = 31,83 \text{ m/s}$ , a perda de carga na mangueira será:

$$h_{p_{\text{man}}g} = \left( 0,053 \frac{4}{0,2} \cdot \frac{2,22^2}{19,62} \right) 9,43 = 2,51 \text{ Pa}$$

$$h_p = 0,25 \text{ mmH}_2\text{O}$$

### 5.3.6-Perda de Carga Total na Sucção.

A perda de carga total será a soma de todas as perdas do sistema.

$$\begin{aligned} h_{p_{\text{total}}} &= h_p + h_{p_{\text{vf}}} + h_{p_{\text{opt}}} + h_{p_{\text{ag}}} + h_{p_{\text{man}}g} \\ &= 27,00 + 584,34 + 0,55 + 50,12 + 0,25 \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$h_{p_{\text{total}}} = 662,26 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Como a perda encontrada para o sistema foi de 656,44 mmH<sub>2</sub>O, considera-se a pressão diferencial um pouco superior a perda de carga total, no caso específico, adota-se um acréscimo como coeficiente de segurança, logo adota-se  $\Delta p = 700 \text{ mmH}_2\text{O}$ , neste caso, para  $\Delta p$  igual a 700 mmH<sub>2</sub>O, é considerado segundo o nível energético de pressão um ventilador de média pressão.

### 5.4 - Estimativa da Rotação da Máquina de Fluxo.

Os diâmetros são inversamente proporcionais à rotação da máquina, com isso, quando se aumenta a rotação da máquina, diminui-se respectivamente os diâmetros interno e externo do rotor e conseqüentemente aumenta-se a largura da pá, que é inversamente



proporcional ao diâmetro. Quanto menor for a rotação da máquina maior serão os diâmetros da máquina e menor será a largura das pás.

Como no trator, na sua tomada de força possui uma rotação de 540 rpm, precisa-se utilizar um redutor de velocidade na tomada do trator, para adquirir uma rotação estimada de trabalho da máquina colheitadeira de sementes de capim-búfel.

Diante disto, foi feita uma pesquisa no comércio de Campina Grande, sobre os implementos acoplados ao trator, relativo a que rotações esses implementos trabalham. As rotações variam de 890 a 1200 rpm.

Conforme cálculos efetuados com estas rotações a máquina está compatível com o tamanho do trator para uma rotação de:

$$n = 1200 \text{ rpm}$$

### 5.5 - Cálculo da Altura Manométrica (H)

O cálculo da altura manométrica é feito através da equação 4.8, onde  $p$  é a pressão efetiva e  $\gamma$  é o peso específico da massa fluida, onde a massa fluida é a soma do peso específico do ar mais o peso específico da semente do capim-búfel ( $\gamma_{ar} + \gamma_{cap}$ ).

Para  $\Delta p = 700 \text{ mmH}_2\text{O}$ , representa uma pressão de  $0,07 \text{ kgf/cm}^2$  que a máquina deverá fornecer, logo

$$\begin{aligned}
 H &= \frac{P}{(0,6\gamma_{ar} + 0,4\gamma_{cap})} \\
 &= \frac{0,07 \frac{kg}{cm^2}}{\left[ 0,6 \left( 1,1644 \frac{kgf}{m^3} \right) + 0,4 \left( 21,8 \frac{kgf}{m^3} \right) \right]} \cdot 10000 \\
 H &= 74,15 \text{ m(ar + capim-búfel)}
 \end{aligned}$$

## 5.6 - Tipo de Rotor do Ventilador.

Será escolhido a forma e modelo do rotor, conforme à conveniência de trabalho que o ventilador está determinado a executar. Como o ventilador está pré-determinado a executar a sucção de ar, mais partícula em suspensão (sementes) e, conforme consultas bibliográficas, ficou caracterizado que o rotor para o caso específico, será rotor centrífugo de pás radiais retas. Este tipo de rotor, conforme os fabricantes de ventiladores, é utilizado para transporte de ar, gás, fumaça, vapores e fibras, além de transportar diversos materiais sólidos.

### 5.6.1- Velocidade Específica. ( $n_s$ )

É função da rotação ( $n$ ) do ventilador, da vazão ( $Q$ ) do ventilador e da altura manométrica ( $H$ ) de elevação, assim sendo tem-se:

$$n_s = 16,6 \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{\sqrt[3]{H^3}}, \quad (\text{rpm}) \quad (5.11)$$

como já são conhecidos todos os dados da equação acima, a velocidade específica será:

$$n_s = 16,6 \frac{(1200 \text{ rpm}) \cdot \sqrt{1000 \frac{\text{l}}{\text{s}}}}{\sqrt[3]{(700 \text{ mmH}_2\text{O})^3}} = 4629 \text{ rpm}$$

A velocidade específica equivale à velocidade de um ventilador semelhante.

Consultando o anexo 4, para  $n_s = 4.629 \text{ rpm}$ , o rotor seria centrífugo de pás para frente. Este rotor é do tipo fechado, não são recomendados para transporte de partículas sólidas, como desejasse um rotor que succione ar mais sementes, e havendo possibilidade de succionar espiguetas, haverá possibilidade de acontecer entupimento no interior do rotor, ocasionando a interrupção da sucção.

Utilizando ainda o gráfico citado acima, nenhum dos rotores constantes satisfaz o sistema.

## 5.7 - Projeto do Ventilador.

### 5.7.1 - Velocidade Periférica do Rotor à Saída da Pá ( $U_2$ ).

Opta-se por um rotor centrífugo de pás radiais retas por ser de fácil confecção e ser apropriado para succionar partículas em suspensão<sup>(19)</sup>. A velocidade periférica será calculada pela equação 4.9. Sendo  $\epsilon$  o rendimento hidráulico, este valor pode ser estimado em 75% aplicando na fórmula:

$$U_2 = \sqrt{\frac{9,8 \cdot 74,14}{0,75}} = 31,1 \text{ m/s}$$

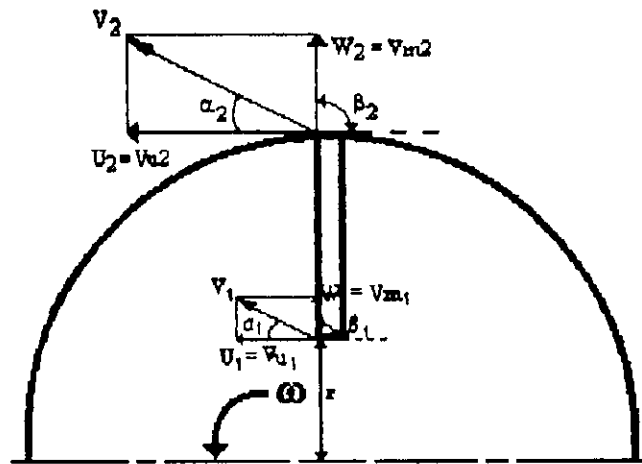


Figura 5.3 (Diagrama de Velocidades)<sup>(19)</sup>

### 5.7.2 - Diâmetro Externo do Rotor ( $D_2$ ).

O diâmetro externo do rotor será calculado através da equação 4.10, logo:

$$D_2 = \frac{60.31,1}{\pi.1200} = 0,49 \text{ m}$$

Na figura 5.4, estão representadas, as cotas correspondentes aos diâmetros interno e externo, largura da pá, velocidades de entrada e saída e o diâmetro do eixo do rotor.

### 5.7.3-Velocidade na Boca de Entrada na Máquina ( $V_a$ ).

Segundo a equação 4.11, adota-se a equação como sendo:

$$V_a = 0,50\sqrt{2gH}.$$

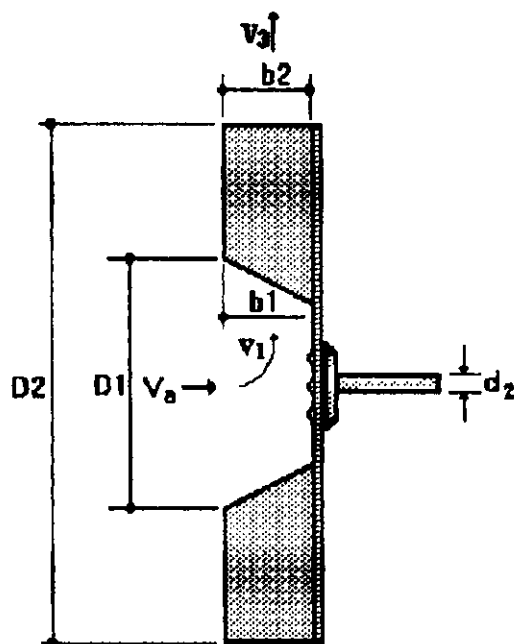


Figura 5.4 - Vista Lateral do rotor em corte

para se obter na entrada da boca do ventilador um diâmetro compatível com diâmetros comerciais, logo o valor da velocidade na boca de entrada do ventilador será:

$$V_a = 0,50\sqrt{2.9,81.74,15} = 19,1 \text{ m/s}$$

#### 5.7.4-Diâmetro de Entrada na Máquina ( $D_a$ ).

O diâmetro será calculada pela equação 4.12. Substituindo os valores de Q e  $V_a$ , o diâmetro será:

$$D_a = \sqrt{\frac{4(1)}{\pi(19,1)}} = 0,258 \text{ m}$$

Será adotado  $D_a = 200$  mm para ter o diâmetro igual a tubulação.

### 5.7.5-Diâmetro do Bordo de Entrada das Pás ( $D_1$ ).

De acordo com a tabela 5.1, para que haja estabilidade perfeita do escoamento através do rotor, são aconselháveis as seguintes relações  $D_2/D_1$  entre os diâmetros.

Tipo de Ventiladores	$D_2/D_1$
Ventiladores de baixa pressão	1,1 a 1,3
Ventiladores de média pressão	1,3 a 1,6
Ventiladores de alta pressão	1,6 a 2,8
Compressores centrífugos	2,8 a 4,0

**Tabela 5.1** - Tipo de Ventiladores em função dos diâmetros<sup>(11)</sup>

Como trata-se de uma máquina de média pressão ( $\Delta p = 700$  mmH<sub>2</sub>O)<sup>(19)</sup>, pela tabela 5.1, tem-se:

$$1,3 \leq \frac{D_2}{D_1} \leq 1,6 \quad (m) \quad (5.12)$$

tomando-se  $D_2/D_1 = 1,4$ .

$$D_1 = \frac{D_2}{1,4} = \frac{0,49}{1,4} = 0,35 \text{ m.}$$

### 5.7.6-Largura das pás ( $b_1$ e $b_2$ ).

Para a velocidade meridional radial ( $V_{m1}$ ), mostrada na figura.5.3, na entrada do rotor, é adotada um valor inferior ao da velocidade na boca de entrada da caixa da máquina, ou seja,  $V_{m1} < V_a$  assim sendo, toma-se  $V_{m1} = 10 \text{ m/s}$ . Através da equação 4.14, a largura das pás serão:

$$b_1 = \frac{1}{\pi(0,35 \times 10)} = 0,09 \text{ m}$$

Para simplificar a operação de fabricação e reduzir os custos das pás, adota-se:

$$b_1 = b_2 = 0,09 \text{ m}$$

### 5.7.7-Diagrama das Velocidades

#### 5.6.7.1-Velocidade meridiana de saída ( $V_{m2}$ ).

A velocidade meridional será calculada através da equação 4.15, logo:

$$V_{m2} = \frac{1}{\pi(0,49 \times 0,09)} = 7,22 \text{ m/s}$$

#### 5.7.7.2 - Velocidade relativa à saída da Pá ( $W_2$ ).

Observando a fig.5.3, a velocidade relativa ( $W_2$ ) é igual a velocidade meridional ( $V_{m2}$ ), logo:

$$W_2 = V_{m2} = 7,22 \text{ m}$$

### 5.7.7.3-Velocidade absoluta à saída da Pá ( $V_2$ ).

Com os valores da velocidade de arrastamento ( $U_2$ ) e velocidade relativa ( $W_2$ ) são conhecidos,  $V_2$  e aplicando a equação 4.16, encontra-se:

$$V_2 = \sqrt{(31,1^2 + 7,22^2)} = 31,9 \text{ m/s}$$

### 5.7.7.4-Velocidade Periférica à entrada da Pá ( $U_1$ ).

Como os valores de  $U_2$ ,  $D_1$  e  $D_2$  são conhecidos, calcula-se a velocidade periférica ( $U_1$ ) na entrada das pás, aplicando-se a equação 4.17, encontra-se:

$$U_1 = 31,1 \cdot \frac{0,35}{0,49} = 22,21 \text{ m/s}$$

### 5.7.7.5- Dimensões da Boca de Saída da Máquina.

A boca de saída da máquina é retangular, pelo fato da voluta da mesma ser retangular, tendo como comprimento da boca da saída da máquina  $H_c = 0,35$  m e largura  $b_s = 0,1$  m, assim sendo, a área da boca de saída da máquina será:

$$A_s = H_c \cdot b_s \quad (\text{m}^2) \quad (5.13)$$

logo,



$$A_s = H_c \cdot b_s = 0,35 \times 0,1 = 0,035 \text{ m}^2.$$

#### 5.7.7.6-Número de Pás (z).

Para o cálculo do número de pás de um rotor utiliza-se a equação 4.18, logo:

$$z = 10(\pi 0,49) = 15 \text{ pas} \quad (\text{satisfaz a tabela 4.1})$$

#### 5.7.8-Potência do Motor do Ventilador (N).

Para ventilador centrífugo o rendimento global para fins de projeto varia de 60 a 70%<sup>(8)</sup> e como já são conhecidos os valores de Q e H, adotando-se 70% no rendimento a potência será calculada pela equação 4.19, logo:

$$N = \frac{9,43.174,15}{75.0,70} = 13,32 \text{ cv}$$

#### 5.7.9-Diâmetro do Eixo (d<sub>e</sub>).

Través da equação 4.20, o diâmetro do eixo será:

$$d_2 = 12 \left( \sqrt[3]{\frac{13,33}{1200}} \right) = 2,68 \text{ cm} = 1''$$

#### 5.7.10.-Traçado do Difusor.

Um processo bastante eficaz para traçado de uma caixa coletora retangular é o de Arquimedes<sup>(11)</sup>, efetuado com 4 arcos de círculos (Figura 5.13).

Para isso a área de saída do difusor ( $A_s$ ) deve ser aproximadamente igual à de entrada da máquina ( $A_e$ ). logo:

$$A_v \cong A_s \quad (m^2) \quad (5.14)$$

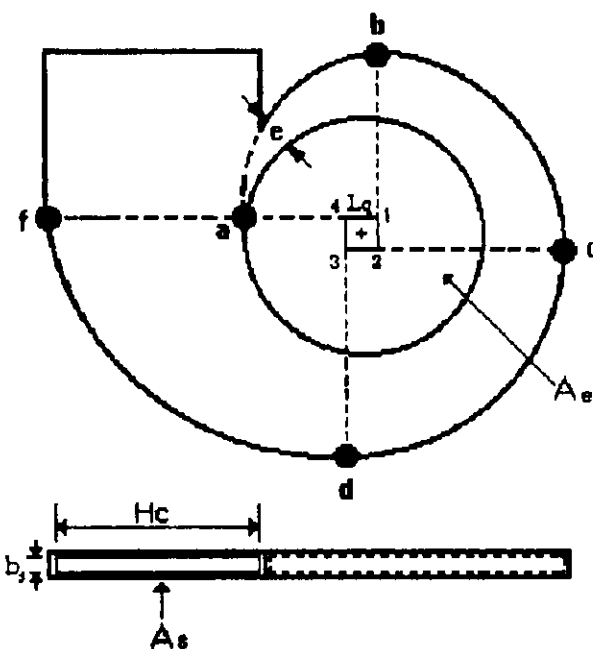


Figura 5.5 - Vista do procedimento da construção da Voluta

Como a área de entrada da máquina é circular, onde o diâmetro da seção é 200 mm, obtem-se:

$$A_v = \frac{\pi \cdot D_e}{4} = \frac{\pi(0,2^2)}{4} = 0,031 m^2 .$$

O valor da área de saída do difusor  $A_s$ , foi calculada e seu valor é  $A_s = 0,035 \text{ m}^2$ , logo a condição imposta satisfaz, ou seja,  $A_4 \cong A_s$ .

Analisando a figura 5.5, o lado  $L_q$  do quadrado auxiliar de construção 1,2,3 e 4 da figura, varia de 0,5 a 1 de  $H_c/4^{(1)}$ , assim sendo, optou-se por:

$$L_q = 0,7 \frac{H_c}{4} = 0,7 \frac{0,35}{4} = 0,06 \text{ m} \quad (5.15)$$

O estrangulamento da voluta (beco da voluta), e que, teoricamente, deveria ser tangente ao rotor, geralmente produz um silvo característico, que obriga na prática, a escolher uma das condições abaixo:

- para baixa pressões,  $e = 1/12$  de  $D_2$
- para médias pressões,  $e = 1/16$  de  $D_2$   $\leftarrow^{(3)}$
- altas pressões,  $e = 1/20$  de  $D_2$

Para o caso específico, que trata de uma máquina de *média pressão* a equação será:

$$e = \frac{1}{16} D_2 \quad (\text{m}) \quad (5.16)$$

logo,

$$e = \frac{1}{16} (0,49) = 0,03 \text{ m}$$

## 5.8-Dimensionamento do Captor.

Nos captores, as partículas de acordo com sua natureza, deverão ser induzidas a deslocarem-se para o captor com uma certa velocidade  $V_c$ , denominada velocidade de captura. Esta velocidade  $V_c$  irá depender da velocidade de deslocamento do ar no sentido do captor, e portanto, da velocidade  $V_0$  à entrada do captor e  $v$  no duto que se segue no captor, conforme estão representadas na figura 5.5.

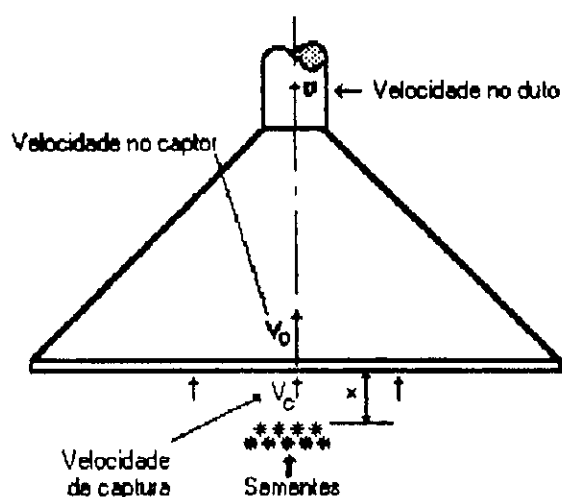


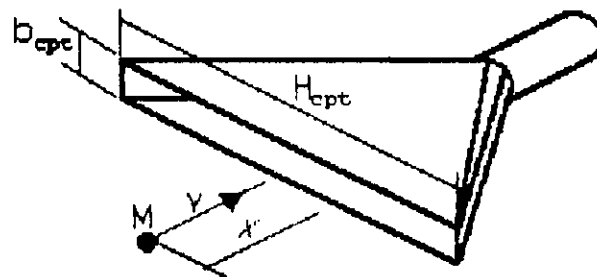
Figura 5.6 - Captor tipo Bico de Pato

É preciso, no início de um projeto de exaustão mecânica, determinar-se a velocidade de captura, pois a partir da mesma e do tipo de captor, aplicável ao caso, é que se procede ao dimensionamento da instalação.

### 5.8.1-Captor em Forma de "Bico de Pato". (Cônico)

É um equipamento que forma uma concordância entre a seção retangular de entrada e seção circular do duto.

Deve-se colocar o captor o mais próximo possível do penacho do capim a ser succionado, pois a vazão do ar para succionar o capim, varia com o quadrado da distância do captor à fonte ( $x$ ) (Figura 5.7), onde, os valores de  $b_{cpt}$  e  $H_{cpt}$  são respectivamente, 0,01m e 2,8m. A largura do captor corresponde a 2,8 m, por considerar que as porteiras tem 3 m.



**Figura 5.7 -** (Captor de Bico de Pato para distância  $x$ )

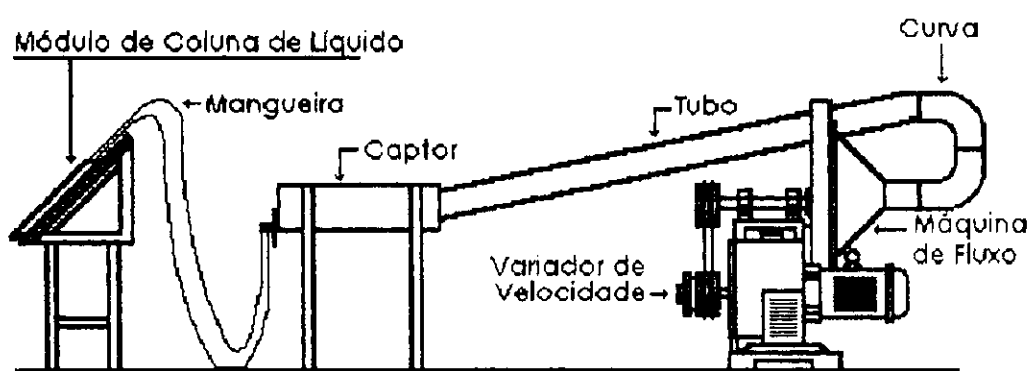
## CAPÍTULO - 6

### MÉTODOS E MATERIAIS.

#### 6.1-Metodologia Usada nos Ensaios dos Captores

Na Figura 6.1 está ilustrada o circuito da colheitadeira para testes de Laboratório. Foram realizados os testes com o propósito de catalogar dados sobre a máquina de fluxo. Os testes realizados são para as rotações de 1200, 1300, 1400 e 1500 rpm, através do variador de velocidade, onde estas rotações foram utilizadas nos três tipos de captores, com o propósito de especificar o melhor entre eles.

Foram realizados 48 testes no Laboratório de Térmica e Fluidos com os captores 1,2, e 3 que estão ilustrados nas Figuras 6.4, 6.5 e 6.6, com o propósito de identificar o poder de sucção dos captores.



**Figura 6.1** - Montagem da Colheitadeira no Laboratório Térmica e Fluido

Nos testes foram tomadas as pressões estáticas nos 30 pontos de medição que estão situados na entrada dos captores. Para estes

testes foram estabelecidas as rotações de trabalho experimental para cada um dos captores.

A colheitadeira para a realização dos testes com os captores está ilustrada na Figura 6.1, a qual é constituída de um variador de velocidade que está acoplado à máquina de fluxo por meio de 2 correias, enquanto que a máquina se encontra ligada ao captor através de duas curvas de PVC de 90° C e uma tubo também de PVC com 6 m de comprimento e, o captor comunica-se com o módulo de manômetro<sup>4</sup> por meio de 30 mangueiras, onde serão tomadas as pressões em toda extensão dos captores.

#### 6.1.1-Teste no Captor 1.

A metodologia utilizada para a realização dos ensaios neste captor é a seguinte: inicialmente colocou-se o variador de velocidade em funcionamento com uma rotação específica de 1200 rpm e, em seguida foram realizadas várias leituras no eixo da máquina com auxílio do tacômetro de contato, com o propósito de saber se a rotação não sofreu nenhuma alteração num determinado intervalo de tempo, ou seja, se não apresentava uma rotação superior ou inferior a 1200 rpm. Constatada que a rotação se mantinha estabilizada, foram feitas as leituras das pressões nos 30 pontos na entrada do captor através das colunas de líquido.

Foram realizados 4 ensaios no captor 1, com rotação de 1200 rpm.

Após o término do teste para 1200 rpm iniciou-se, os testes para 1300, em seguida para 1400 e finalmente para 1500 rpm, obedecendo o mesmo procedimento descrito anteriormente.

Os resultados destes ensaios, estão catalogados na Tabela 7.1 e no Gráfico 7.1.

#### 6.1.2-Teste no Captor 2.

Foi utilizada a mesma metodologia do captor 1 na coleta dos dados do captor 2.

Os resultados desses ensaios estão registrados na Tabela 7.2 e no Gráfico 7.2.

#### 6.1.3-Teste no Captor 3.

Foi utilizada a mesma metodologia do captor 1 na coleta dos dados relativo ao captor 3.

Os resultados desses ensaios estão registrados na Tabela 7.3 e no Gráfico 7.3.

### 6.2 - Materiais.

Serão descritos todos os materiais necessários, os quais foram tomados como elementos essenciais na obtenção de dados relativo à máquina de fluxo nos testes de laboratório.

#### 6.2.1- Tacômetro de Contato.

O Tacômetro de contato foi utilizado para medir a rotação no eixo da máquina de fluxo e tem as seguintes características:



- Marca: *Venture*
- Escala: *500 a 50.000 rpm*
- Fabricante: *Smiths Industries Limited*

### 6.2.2-Anemômetro Tipo Ventoinha.

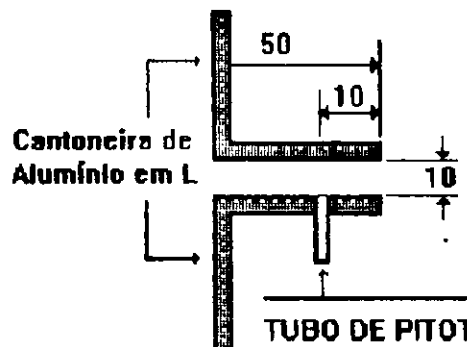
Foi utilizado anemômetro tipo ventoinha para a medição da velocidade do ar na saída do ventilador, com as seguintes características:

- Marca: *Wilh Lambrechtj GmbH*
- Escala de Medição: *0 a 35 m/s*

### 6.2.3-Tubo Medidor de Pressão Estática.

Este medidor foi confeccionado no Laboratório de Térmica e Fluido e é constituído de 30 tubos e 2 cantoneiras de alumínio em forma de "L" com 2800 mm de comprimento, sendo que, em uma das cantoneiras estão os tubos de pitot, distante um do outro no comprimento da cantoneira de 99 mm.

A Figura 6.2 ilustra uma visão lateral do medidor de vazão, conforme discriminação relatada.



**Figura 6.2** (Vista da cantoneira com o tubo de pitot)

#### 6.2.4-Módulos de Manômetros "U".

Foram construídos 30 tubos de vidro em forma de "U", que estão distribuídos em 6 módulos de madeira também construídos no Laboratório de Térmica e Fluidos. Cada módulo contém 5 tubos de vidro que está ilustrado na Figura 6.3. O objetivo dos módulos é medir as pressões em toda extensão na entrada do captor.

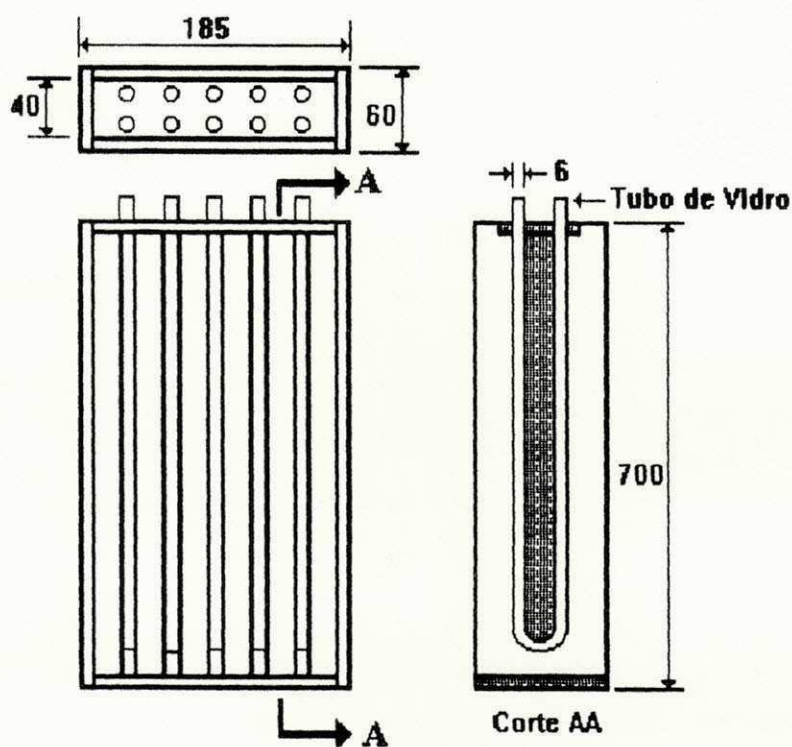


Figura 6.3 - Módulo de Coluna de Líquido

#### 6.2.5-Variador de Velocidade.

Foi utilizado com objetivo de variar as rotações de testes na máquina de fluxo. O variador de velocidade utilizado é de controle eletromagnético, com as seguintes características:

- Marca: *VARIMOT S/A Eq. Industriais*

- Rotação: *0 - 1600 rpm*
- Potência: *30 CV*

#### 6.2.6-Barômetro.

Foi utilizado um barômetro de coluna de mercúrio pertencente ao Laboratório de Térmica e Fluido, com o propósito de medir a temperatura durante os ensaios.

#### 6.2.7-Tacômetro de Estroboscópio.

Foi utilizado um tacômetro estroboscópio para medir a rotação no eixo da máquina de fluxo, com as seguintes características:

- Marca: *Frata*
- Escalas: *150 a 500 rpm,*  
*1000 a 5000 rpm e*  
*4500 a 180000 rpm.*

#### 6.2.8-Capttores.

Foram construídos 3 tipos de capttores, sendo 2 em forma de "bico de pato", confeccionados em madeira, e o outro em tubo PVC de 200 mm de diâmetro, tendo todos eles 2,8 m de largura, com as seguintes descrições:

##### 6.2.8.1-Captor 1.

Na confecção do captor 1 foi utilizada madeira e na parte frontal foi feito uma abertura de 10 mm de altura em toda sua

extensão. Entre a abertura introduziu-se 2 cantoneiras de alumínio do tipo "L", onde em uma delas estão instalados os 30 tubos de pitot. O captor tem o formato de um "bico de pato", onde o tubo de sucção fica acoplado na parte posterior à entrada da massa fluida, Figura 6.4.

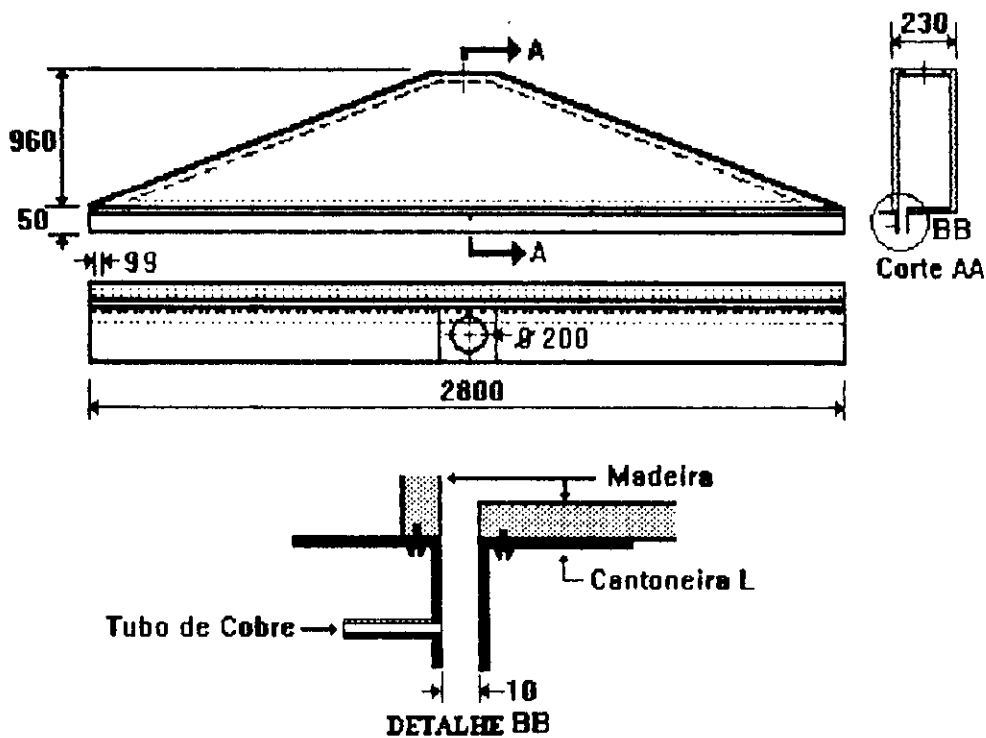


Figura 6.4 - Captor 1

#### 6.2.8.2-Captor 2.

Este captor foi confeccionado em madeira e é semelhante ao anterior, diferenciando apenas no ângulo formado pela parte superior em relação a parte inferior do captor. O tubo de sucção fica acoplado ao captor, na parte posterior à entrada da cantoneira, Figura 6.5.

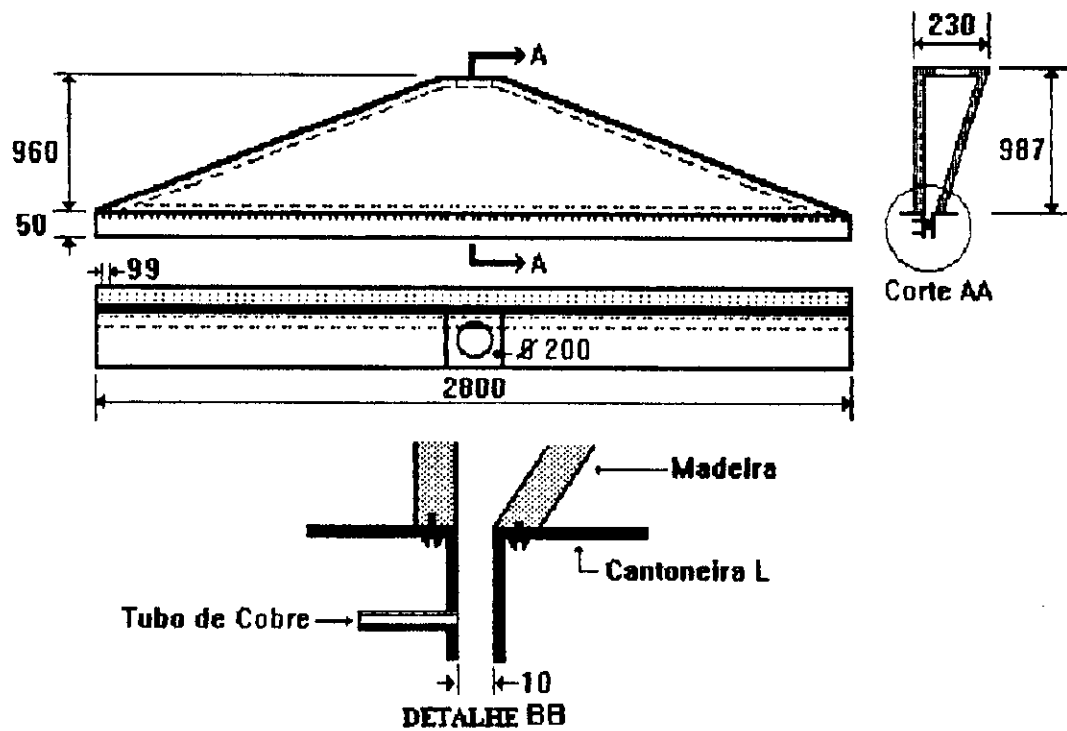


Figura 6.6 - Captor 2

### 6.2.8.3-Captor 3.

Este captor foi confeccionado em tubo PVC de 200 mm de diâmetro. Nele foi usinado em toda a sua extensão uma abertura de 10 mm de altura por onde a massa fluida vai penetrar. Nesta abertura foram colocadas 2 cantoneiras de alumínio tipo "L" semelhantes aos captos anteriores. Este tipo de captor possui duas tomadas de sucção de 200 mm de diâmetro na parte posterior à entrada da massa fluida, equidistante dos extremos com ângulo de  $45^\circ$ . A Figura 6.6 ilustre este captor.

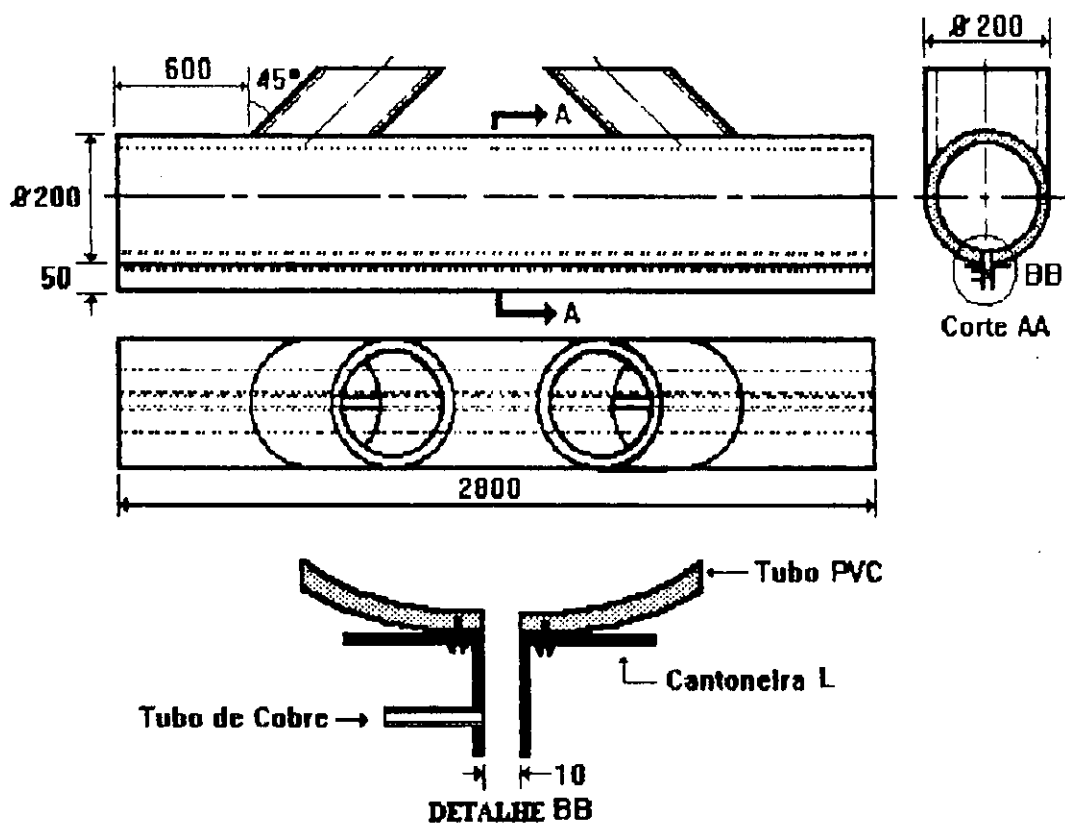


Figura 6.6 - Captor 3

### 6.2.9-Mangueiras.

Foram adquiridos 90 m de mangueiras de 4 mm de diâmetro. Os 90 m de mangueiras foram divididas em 30 partes de 3 m de comprimento cada uma. Estas 30 partes fazem a conexão entre os módulos e o tubo de medição de pressão estática no captor.

### 6.2.10- Colheitadeira.

A colheitadeira foi montada e testada no Laboratório de Térmica e Fluidos e é constituída dos seguintes componentes:

#### 6.2.10.1-Variador de Velocidade.

O variador de velocidade com rotações que variam de 0 a 1.600 rpm, foi acoplado à máquina de fluxo, com o objetivo de transmitir as várias faixas de rotações específicas de funcionamento da máquina, Figura 6.7.



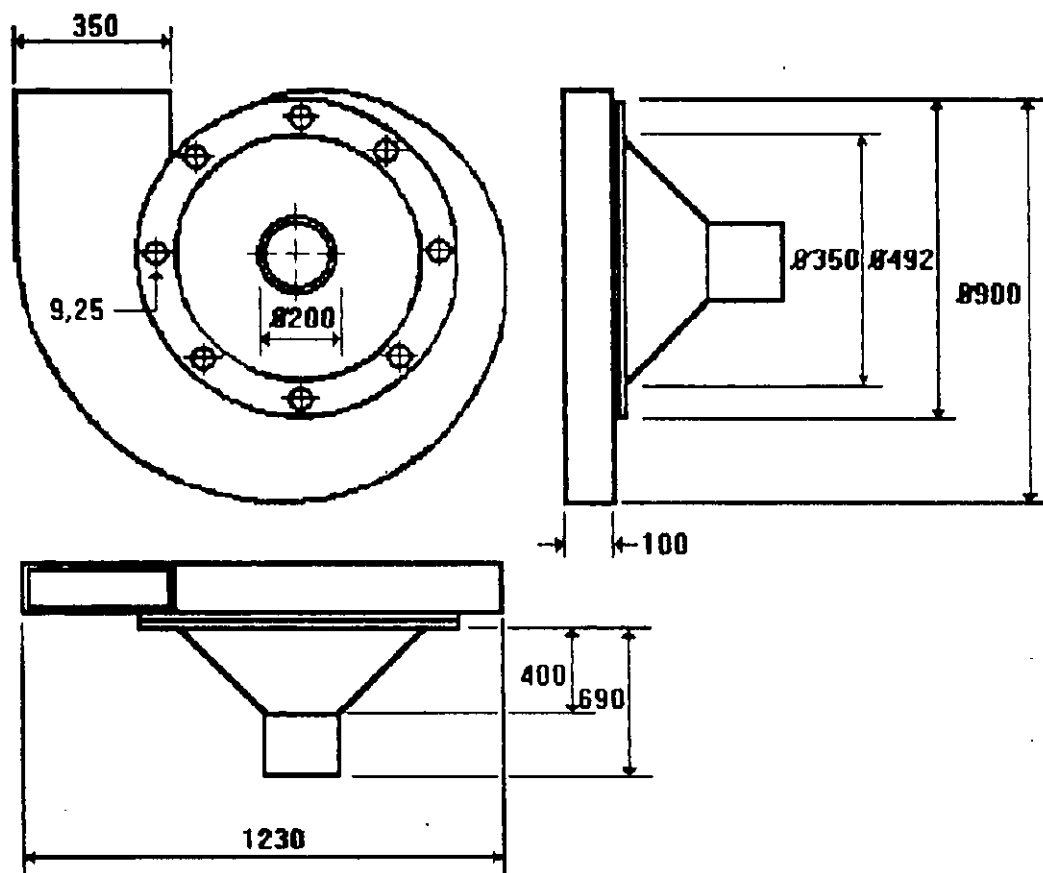
**Figura 6.7** - Variador de Velocidade

#### 6.2.10.2-Máquina de Fluxo.

A máquina foi idealizada, dimensionada e confeccionada no Laboratório de Térmica e Fluidos, sendo constituída dos seguintes componentes:

##### 6.2.10.2.1-Carçaça.

A carçaça é a parte estacionária da máquina de fluxo e foi confeccionada em chapa de aço de 1,588mm de espessura. A Figura 6.8 ilustra as três vistas ortogonais do modelo da carçaça da máquina de fluxo, que foi confeccionada no laboratório.



**Figura 6.8** - Carcaça

#### 6.2.10.2.2-Rotor.

É o órgão principal da máquina de fluxo em razão de ser o agente fornecedor de energia à massa fluida. Foi confeccionado em chapa de aço de 6,350 mm de espessura na sua base. O rotor possui 15 pás confeccionadas em chapa de aço de 3,175 mm de espessura, Figura 6.9.



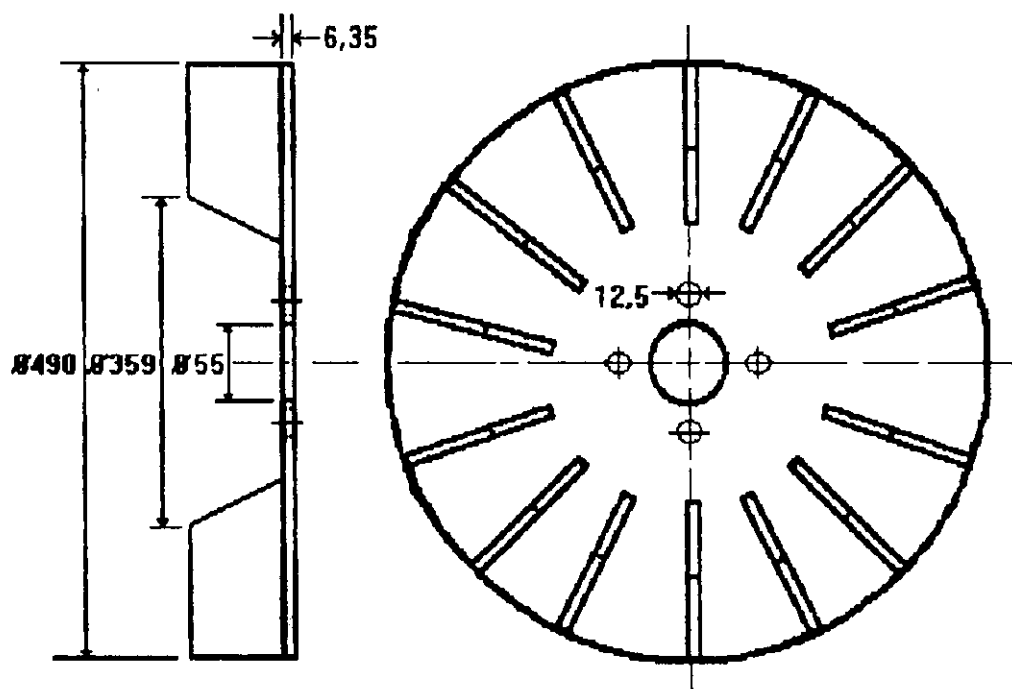


Figura 6.9 - Rotor

### 6.2.10.2.3-Eixo.

Foi usinado no Laboratório da Oficina Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica, e o material utilizado para sua confecção foi o aço 1020. A Figura 6.10 ilustra o eixo com seu formato e suas respectivas cotas.

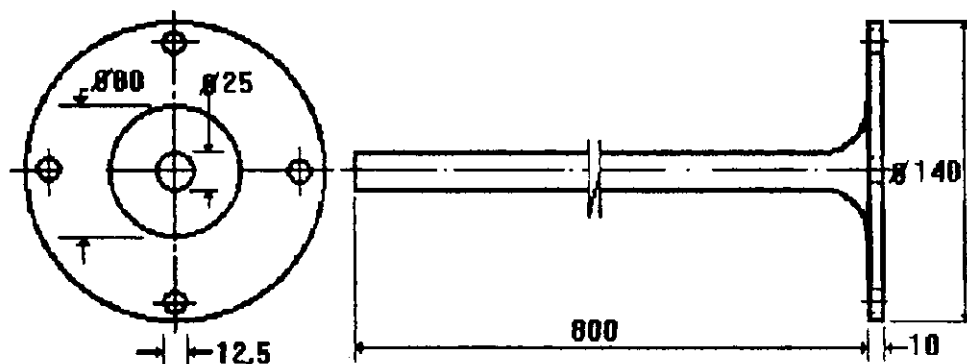


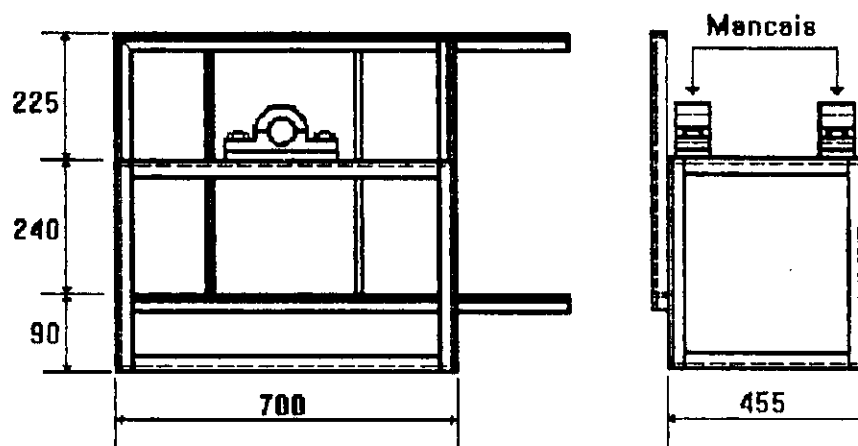
Figura 6.10 - Eixo.

#### 6.1.10.2.4-Mancais.

São 2 os mancais utilizados como elementos de sustentação do eixo. Eles foram adquiridos no comércio local.

#### 6.1.10.2.5-Base da Máquina de Fluxo.

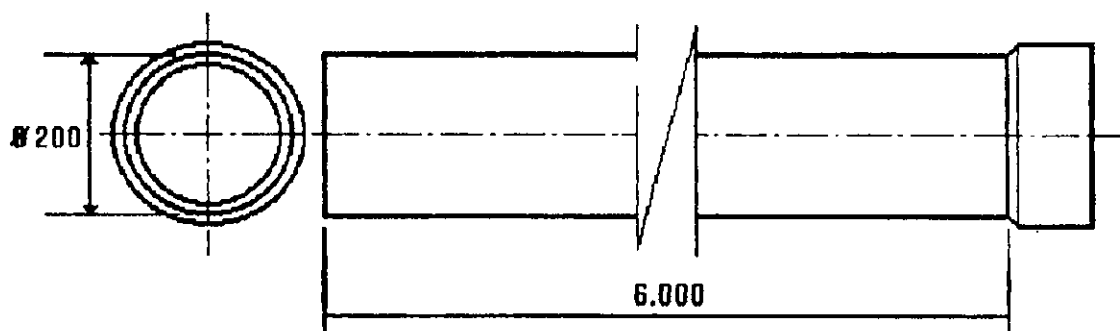
A base da máquina foi confeccionada com cantoneira em "L" de 2.1/8", que tem como finalidade sustentar a máquina de fluxo, Figura 6.11.



**Figura 6.11** - Base da Máquina de Fluxo.

#### 6.1.10.2.6-Tubulação

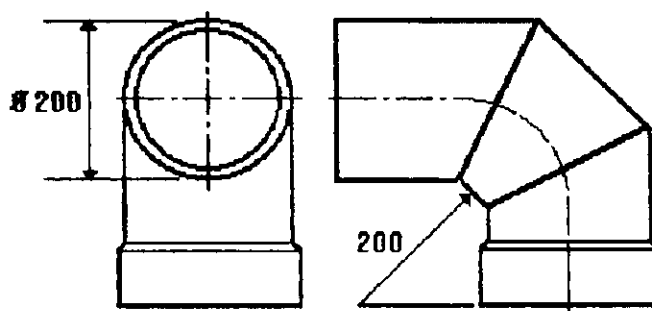
A tubulação de PVC, com 200 mm de diâmetro e 6 m de comprimento. No circuito, esta tubulação fica instalada entre o captor e as curvas. O tubo está ilustrado na Figura 6.12.



**Figura 6.12** - Tubo de 200 mm

#### 6.1.10.2.7-Curvas

São 4 curvas de 90° de PVC de 200 mm de diâmetro utilizadas no sistema. A Figura 6.13 ilustra o tipo de curva utilizada no sistema.



**Figura 6.13** - Curva

## CAPÍTULO - 7

### RESULTADOS

---

#### 7.1 - Resultados dos Testes nos Captores.

##### 7.1.1-Análise do Captor 1.

Os dados obtidos nos ensaios do captor 1 estão catalogados na Tabela 7.1. O Gráfico 7.1 foi plotado em função da tabela 7.1, onde analisando o gráfico conclui-se que:

1. A capacidade de sucção cresce com a rotação.
2. Existe uma deficiência de aspiração nas extremidades do mesmo. Tal fato pode ser explicado, visto que:
  - O captor tem apenas uma via central de aspiração na sua parte traseira.
  - Por não haver concordância entre a área de entrada e saída de sucção no captor.
3. Foram realizados ensaios para 4 faixas de rotação, com o propósito de se verificar o sistema e seu comportamento para as diversas rotações de trabalho.
4. No ensaio de 1200 rpm, observa-se o menor desempenho do sistema.
5. No ensaio de 1300 rpm, observa-se o que já era esperado, um crescimento na capacidade de sucção, esse crescimento foi em média 15% em relação ao ensaio de 1200 rpm.

6. No ensaio de 1400 rpm, observa-se um aumento na capacidade de sucção, esse aumento foi em média de 19% superior ao ensaio para 1300 rpm.
7. No ensaio de 1500 rpm, observa-se que o sistema apresenta a melhor condição de captura, tendo em média um aumento de captura em relação ao ensaio de 1400 rpm de 21%.

#### 7.1.1.1-Conclusão.

O captor 1 colherá sementes nas quatro rotações. Observou-se que a capacidade de captura para as rotações é satisfatória, pois em testes experimentais usando-se pó de serra e fragmentos de isopor a uma distância de 50 mm, obteve-se uma excelente captura em toda extensão do captor. A rotação 1500 rpm sobressaiu, pois a vazão aumenta proporcional ao aumento da rotação.

O sistema deverá apresentar melhora de captura nas extremidades se for alterado o ângulo formado pelas laterais do captor que atualmente é de 103°.

Também terá aumento de captura em toda sua extensão, se for feito um ângulo entre a parte superior do captor com a parte inferior do mesmo, fazendo uma concordância entre a área de entrada (retangular) e saída (circunferencial) do captor.

#### 7.1.2-Análise do Captor 2.

Os dados obtidos nos ensaios do captor 2 estão catalogados na Tabela 7.2. O Gráfico 7.2 foi plotado em função da tabela 7.1, onde analisando o gráfico conclui-se que:

1. A sucção cresce em relação ao captor 1.
2. A sucção cresceu com o aumento da rotação.
3. Foram feitos ensaios para 4 faixas de rotação, com intuito de se verificar a eficiência e seu comportamento para as diversas rotações de trabalho.
4. Verificou-se uma deficiência de aspiração nos pontos extremos do captor, com relação aos demais pontos para cada rotação. Tal fato pode ser explicado, visto que:
  - Este captor é possuidor do mesmo número de vias de captura e mesmo ângulo formado pelas laterais do captor
5. Nos ensaios de 1200, 1300, 1400 e 1500 rpm, observam-se os mesmos parâmetros no desempenho do sistema do captor 1, teve um aumento média na sucção de 50, 44, 44 e 34% respectivamente, com relação ao captor 1.

#### 7.1.2.1-Conclusão.

O captor 2, é superior ao captor 1 em sucção. Fato esse acontecido pelo ângulo de 13° formado entre as partes superior e inferior do captor, o que implica em linhas de fluxo mais alinhadas no interior do captor em direção à saída.

O sistema deverá apresentar melhora de sucção nas extremidades do captor, se for alterada para menor o ângulo formado pelas laterais do captor. Mas, isto implica na

diminuição da área de varredura do mesmo. Também pode-se aumentar o comprimento do mesmo, introduzindo guias no seu interior.

### 7.1.3-Análise do Captor 3.

Os dados obtidos nos ensaios do captor 3 estão catalogados na Tabela 7.3. O Gráfico 7.3 foi plotado em função da tabela 7.3, onde analisando o gráfico conclui-se que:

A capacidade de sucção cresce com relação ao captor 1.

1. A capacidade de sucção cresce com relação ao captor
2. A capacidade de sucção cresce com o aumento da rotação.
3. Os extremos apresentam uma sucção superior aos demais pontos de medição do captor. Essa sucção diminui ao passo que se distancia dos extremos e se aproxima do centro.
4. No ensaio de 1200, 1300, 1400 e 1500 rpm, observa-se um aumento média de 41, 44, 53 e 46% respectivamente superior ao captor 1.

#### 7.1.3.1-Conclusão

Pelos dados analisados o captor 3 é superior em médio 46% em relação ao captor 1 em toda a sua extensão, e é inferior ao captor 2 na rotação de 1200 rpm.

Se introduzir mais uma via de aspiração, na parte traseira do captor, passando para um total de três o número de vias, espera-se uma melhora de sucção em toda sua extensão.

TABELA - 7.1

Média das leituras de quatro experimentos das pressões estáticas, realizadas em 30 ptos. distribuídos ao longo da entrada do CAPTOR 1, para as rotações de 1200; 1300; 1400 e 1500 rpm, respectivamente, com temperatura de 26 graus Celsius

Ptos	PRESSÕES ESTÁTICAS (cmH <sub>2</sub> O)			
	1200 rpm Vazão - 1,00 m <sup>3</sup> /s	1300 rpm Vazão - 1,08 m <sup>3</sup> /s	1400 rpm Vazão - 1,17 m <sup>3</sup> /s	1500 rpm Vazão - 1,25 m <sup>3</sup> /s
1	0,42	0,50	0,64	0,85
2	1,06	1,20	1,48	1,77
3	1,20	1,40	1,70	1,98
4	1,30	1,50	1,84	2,19
5	1,40	1,60	1,91	2,33
6	1,40	1,60	1,91	2,33
7	1,40	1,60	1,91	2,33
8	1,40	1,60	1,91	2,33
9	1,40	1,60	1,91	2,33
10	1,40	1,60	1,91	2,33
11	1,40	1,60	1,91	2,33
12	1,40	1,60	1,91	2,33
13	1,40	1,60	1,91	2,33
14	1,40	1,60	1,91	2,33
15	1,40	1,60	1,91	2,33
16	1,40	1,60	1,91	2,33
17	1,40	1,60	1,91	2,33
18	1,40	1,60	1,91	2,33
19	1,40	1,60	1,91	2,33
20	1,40	1,60	1,91	2,33
21	1,40	1,60	1,91	2,33
22	1,40	1,60	1,91	2,33
23	1,40	1,60	1,91	2,33
24	1,40	1,60	1,91	2,33
25	1,40	1,60	1,91	2,33
26	1,40	1,60	1,91	2,26
27	1,30	1,60	1,84	2,12
28	1,20	1,50	1,77	2,05
29	1,10	1,30	1,56	1,70
30	0,40	0,50	0,49	0,64



**Gráfico 7.1**

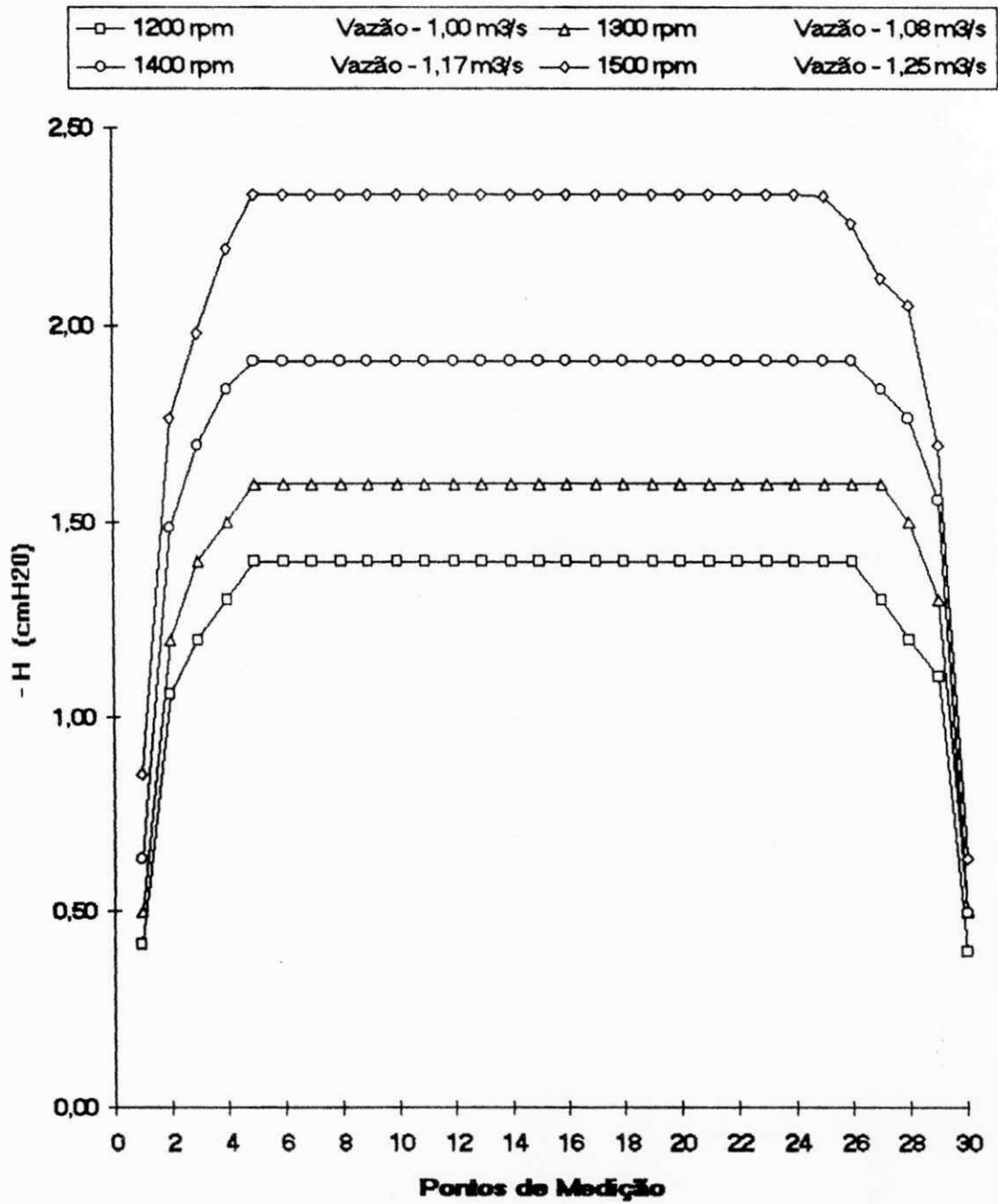


TABELA - 7.2

Média das leituras de quatro experimentos das pressões estáticas, realizadas em 30 ptos. distribuídos ao longo da entrada do CAPTOR 2, para as rotações de 1200; 1300; 1400 e 1500 rpm, respectivamente, com temperatura de 25 graus Celsius

Ptos	PRESSÕES ESTÁTICAS (cmH <sub>2</sub> O)			
	1200 rpm Vazão - 1,00 m <sup>3</sup> /s	1300 rpm Vazão - 1,08 m <sup>3</sup> /s	1400 rpm Vazão - 1,17 m <sup>3</sup> /s	1500 rpm Vazão - 1,25 m <sup>3</sup> /s
1	0,42	0,56	0,71	1,06
2	1,20	1,52	1,77	2,05
3	1,48	1,77	2,05	2,26
4	1,73	2,05	2,26	2,69
5	1,91	2,16	2,55	2,83
6	1,98	2,33	2,76	3,11
7	2,19	2,33	2,76	3,11
8	2,19	2,33	2,76	3,11
9	2,19	2,33	2,76	3,11
10	2,19	2,33	2,76	3,11
11	2,19	2,33	2,76	3,11
12	2,19	2,33	2,76	3,11
13	2,19	2,33	2,76	3,11
14	2,19	2,33	2,76	3,11
15	2,19	2,33	2,76	3,11
16	2,19	2,33	2,76	3,11
17	2,19	2,33	2,76	3,11
18	2,19	2,33	2,76	3,11
19	2,19	2,33	2,76	3,11
20	2,19	2,33	2,76	3,11
21	2,19	2,33	2,76	3,11
22	2,19	2,33	2,76	3,11
23	2,19	2,33	2,76	3,11
24	1,98	2,33	2,76	3,11
25	1,98	2,33	2,70	3,11
26	1,84	2,16	2,62	3,11
27	1,84	2,12	2,56	2,69
28	1,70	1,87	2,47	2,47
29	1,48	1,75	1,98	2,26
30	0,99	1,13	1,34	1,41

Gráfico 7.2

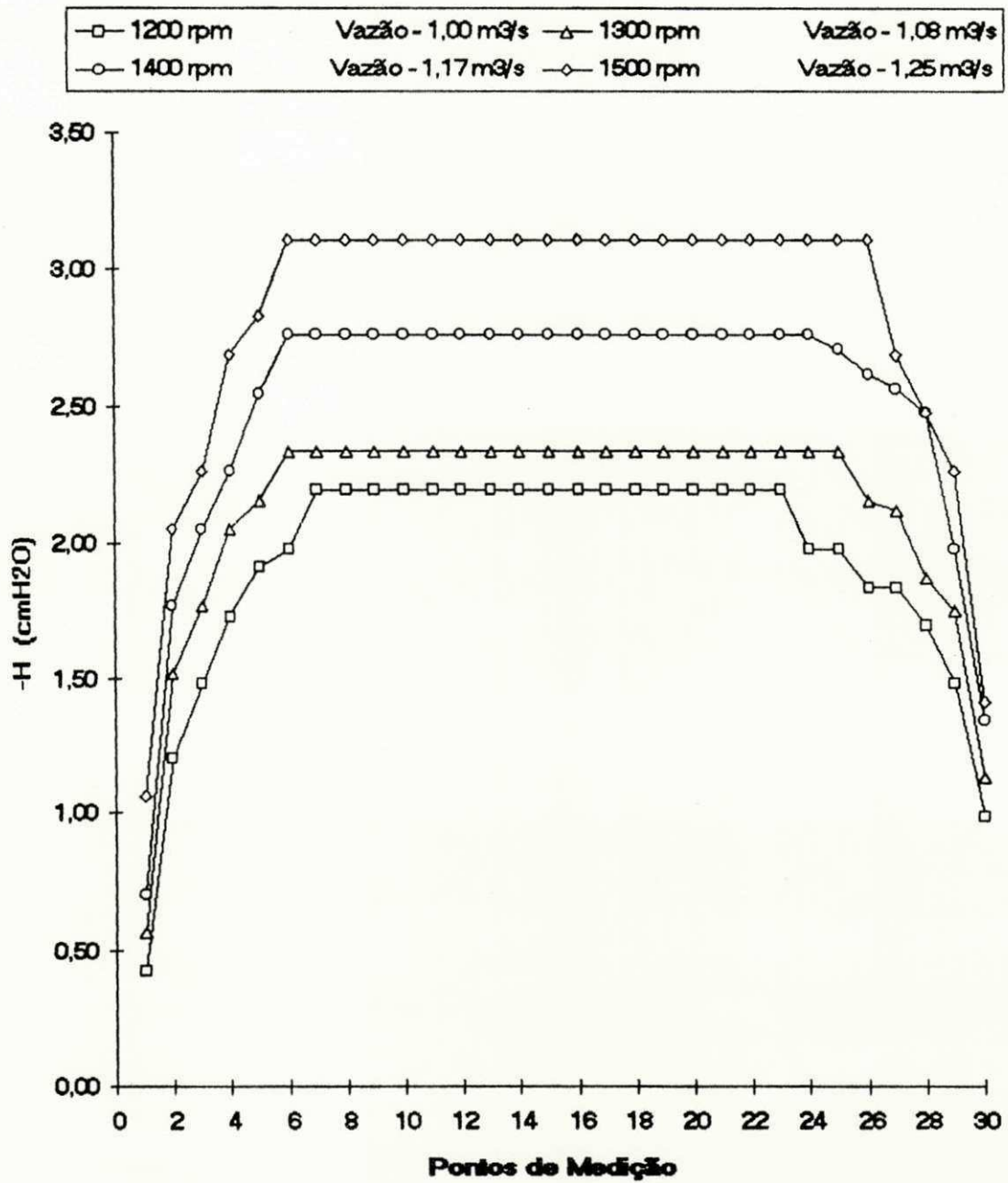
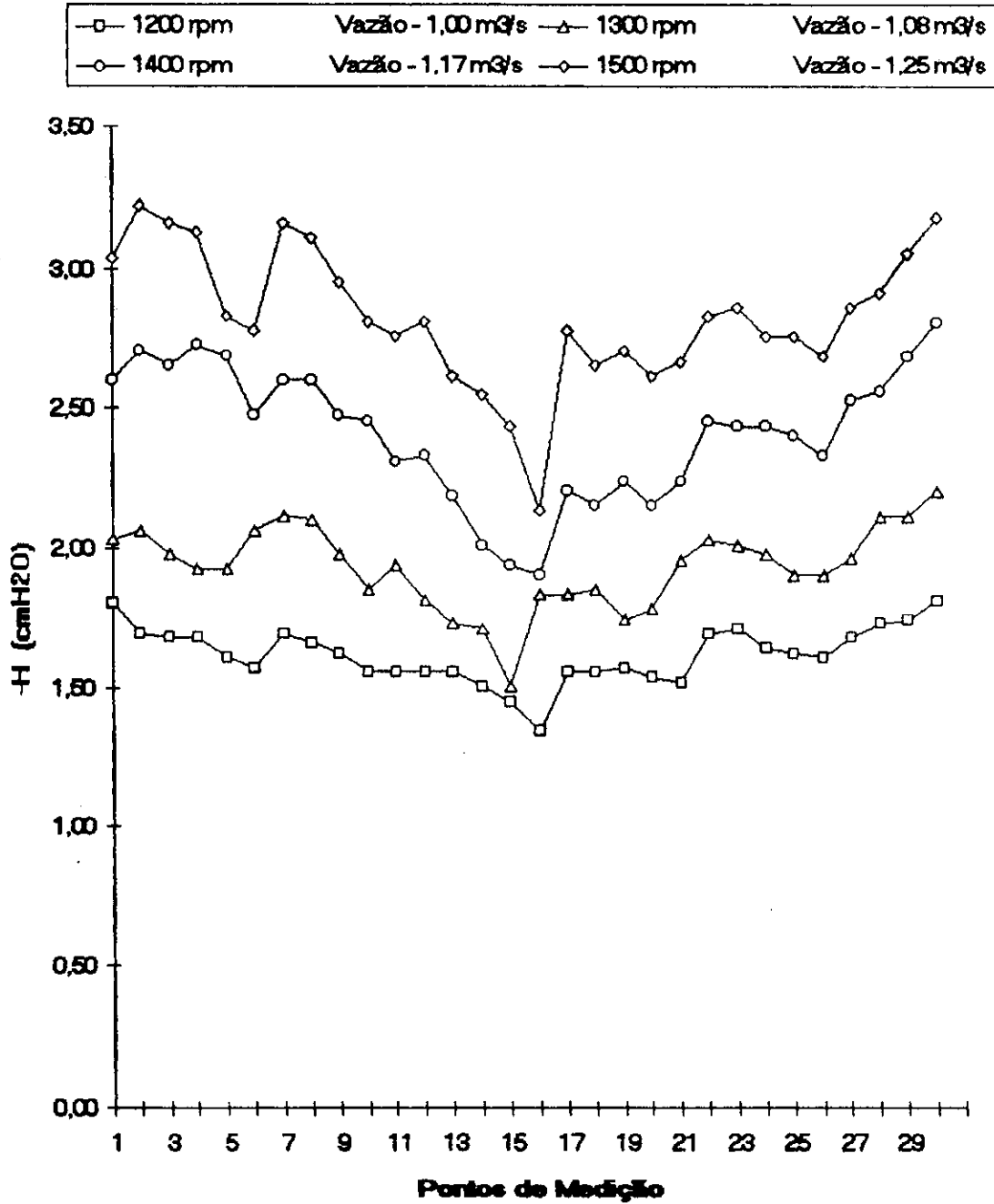


TABELA - 7.3

Média das leituras de quatro experimentos das pressões estáticas, realizadas em 30 pto. distribuídas ao longo da entrada do CAPTOR 3, para as rotações de 1200; 1300; 1400 e 1500 rpm, respectivamente, com temperatura de 25 graus Celsius

Ptos	PRESSÕES ESTÁTICAS (cmH <sub>2</sub> O)			
	1200 rpm Vazão - 1,00 m <sup>3</sup> /s	1300 rpm Vazão - 1,08 m <sup>3</sup> /s	1400 rpm Vazão - 1,17 m <sup>3</sup> /s	1500 rpm Vazão - 1,25 m <sup>3</sup> /s
1	1,80	2,03	2,60	3,04
2	1,70	2,07	2,70	3,22
3	1,68	1,98	2,65	3,16
4	1,68	1,93	2,72	3,13
5	1,61	1,93	2,69	2,83
6	1,57	2,07	2,47	2,77
7	1,70	2,12	2,60	3,16
8	1,66	2,10	2,60	3,11
9	1,63	1,98	2,47	2,95
10	1,56	1,86	2,46	2,81
11	1,56	1,94	2,32	2,76
12	1,56	1,82	2,33	2,81
13	1,56	1,73	2,19	2,62
14	1,50	1,71	2,01	2,55
15	1,45	1,50	1,94	2,44
16	1,34	1,84	1,91	2,14
17	1,56	1,84	2,21	2,77
18	1,56	1,86	2,16	2,65
19	1,57	1,75	2,24	2,70
20	1,54	1,79	2,16	2,62
21	1,52	1,96	2,24	2,67
22	1,70	2,03	2,46	2,83
23	1,71	2,01	2,44	2,86
24	1,64	1,98	2,44	2,76
25	1,63	1,91	2,40	2,76
26	1,61	1,91	2,33	2,69
27	1,68	1,97	2,53	2,86
28	1,73	2,12	2,56	2,92
29	1,75	2,12	2,69	3,06
30	1,82	2,21	2,81	3,18

**Gráfico 7.3**



## 7.2- Análises dos Resultados

Analisando os dados das Tabelas 7.1, 7.2 e 7.3, foi montada a Tabela 7.4 que relaciona o comparativo entre os captores com o propósito de definir o melhor entres eles. Os dados catalogados nesta tabela estão em porcentagem, referem-se aos captores para cada uma das rotações de ensaios.

### 7.2.1-Tabela 7.4

Esta tabela foi construída conforme o layout descrito abaixo:

1. Na área que tem como coluna "Pto", estão registrados os trintas pontos de medições nos captores.
2. Na área que tem como coluna "CAPTOR 2-1", esta coluna representa o comparativo entre os dados da Tabela 7.2, do captor 2, com relação aos dados da Tabela 7.1, do captor 1. Esta coluna subdivide em 4 outras colunas com "1200", "1300", "1400" e "1500" que são as rotações de ensaios em rpm.
3. Na área que tem como coluna "CAPTOR 3-1", esta coluna representa o comparativo entre os dados da Tabela 7.3, do captor 3, com relação aos dados da Tabela 7.1, do captor 1. Esta coluna subdivide em 4 outras colunas semelhante ao anterior.

4. Na área que tem como coluna "CAPTOR 3-2", esta coluna representa o comparativo entre os dados da Tabela 7.3, do captor 3, com relação aos dados da Tabela 7.2, do captor 2. Esta coluna subdivide em 4 outras colunas semelhante ao anterior.
5. Na última linha desta tabela, estão catalogados os dados referente a média dos 30 pontos também porcentagem.

#### 7.2.1.1-Quanto à Coluna de CAPTOR 2-1.

Os trintas dados registrados nas colunas de 1200, 1300, 1400 e 1500 rpm, são oriundos da relação comparativa entre os dados das Tabelas 7.2 e 7.1, e representam quanto os 30 dados obtidos no captor 2 são superiores ao captor 1 em porcentagem.

#### 7.2.1.2 -Quanto à Coluna de CAPTOR 3-1.

Esta coluna segue a mesma metodologia do item 7.2.1.1, diferenciando apenas quanto o comparativa do captor 3 com relação ao captor 1.

#### 7.2.1.3-Quanto à Coluna de CAPTOR 3-2.

Esta coluna segue a mesma metodologia do item 7.2.1.1, diferenciando apenas quanto o comparativa do captor 3 com relação ao captor 2.

### 7.2.2 - Análise da Tabela 7.4

Analisando a tabela 7.4 quanto às colunas que referem-se as médias dos 30 pontos para cada rotação, conclui-se:

O Captor 2 é superior em todas as faixas de rotações que o captor 1 e, também, superior ao captor 3, na rotação de 1200 rpm (rotação de projeto).

O CAPTOR 3 é superior em todas as faixas de rotações que o captor 1 e, também, superior ao captor 2, quanto as rotações de 1300, 1400 e 1500 rpm.

### 7.2.3 - Conclusão.

Levando em consideração as conclusões anteriores, o CAPTOR 2, em primeira análise, é o melhor dos captores, pelo fato do mesmo ter apresentado os melhores resultados nos experimentos realizados no Laboratório de Térmica e Fluidos.

Quando a pastagem do capim-búfel for suficiente para colheita mecânica, serão realizados experimentos no campo. O captor será acoplado à parte dianteira do trator, no dispositivo de acionamento do hidráulico da plaina. Por isso deve-se levar em consideração a forma e peso do mesmo.

O Captor 1 é um equipamento de captação que será construído em chapa de aço, para os testes de campo, com as seguintes



dimensões: 2,8 m de comprimento, altura de 2,45 m e largura de 9,45 m.

O Captor 2 é um equipamento de captação semelhante ao captor 1, diferenciando apenas na parte frontal que tem apenas 0,012 m de altura.

O Captor 3, é um equipamento de captação construído em tubo de PVC, com as seguintes dimensões: 2,8 m de frente e com 0,2 m de diâmetro.

Como o captor 1 e o captor 2 são de chapa de aço e possuem 945 mm de largura e peso elevado, isso necessitará de uma articulação de sustentação muito sofisticada na parte dianteira do trator, enquanto que, o captor 3 é tubo de PVC, possui apenas 200 mm de largura e, seu peso, é muito inferior em relação aos demais, com isso, necessita apenas de uma simples articulação de sustentação, no hidráulico da plaina do trator. Diante disso, fica caracterizado que:

O CAPTOR 3 é superior em sucção ao Captor 1, nas 4 faixas de rotações e, principalmente, ao captor 2 nas rotações de 1300, 1400 e 1500 rpm, pois, também é possuidor de peso e forma bastante inferiores, necessitando apenas de uma simples articulação no hidráulico da plaina.

### TABELA - 7.4

Varição da pressão estática entre os captores em (%)  
com relação aos dados das tabelas 7.1, 2 e 3.

Pto.	CAPTOR 2 - 1				CAPTOR 3 - 1				CAPTOR 3 - 2			
	1200	1300	1400	1500	1200	1300	1400	1500	1200	1300	1400	1500
1	0	12	11	25	329	307	308	258	325	262	268	187
2	13	27	19	16	60	72	82	82	41	36	53	57
3	24	26	21	14	40	41	56	60	13	12	29	40
4	33	37	23	23	29	28	48	43	-3	-6	20	16
5	36	35	33	21	15	20	41	21	-16	-11	6	0
6	41	46	44	33	12	29	30	19	-21	-11	-10	-11
7	57	46	44	33	21	33	36	36	-23	-9	-6	2
8	57	46	44	33	19	31	36	33	-24	-10	-6	0
9	57	46	44	33	16	24	30	27	-26	-15	-10	-5
10	57	46	44	33	11	16	29	20	-29	-20	-11	-10
11	57	46	44	33	11	22	21	18	-29	-17	-16	-11
12	57	46	44	33	11	14	22	20	-29	-22	-15	-10
13	57	46	44	33	11	8	15	12	-29	-26	-21	-16
14	57	46	44	33	7	7	6	9	-31	-27	-27	-18
15	57	46	44	33	4	-6	2	5	-34	-36	-29	-22
16	57	46	44	33	-4	15	0	-8	-39	-21	-31	-31
17	57	46	44	33	11	15	16	19	-29	-21	-20	-11
18	57	46	44	33	11	16	13	14	-29	-20	-22	-15
19	57	46	44	33	12	9	18	16	-28	-25	-19	-13
20	57	46	44	33	10	12	13	12	-30	-23	-22	-16
21	57	46	44	33	9	23	18	14	-31	-16	-19	-14
22	57	46	44	33	21	27	29	21	-23	-13	-11	-9
23	57	46	44	33	22	26	28	23	-22	-14	-12	-8
24	41	46	44	33	17	24	28	18	-17	-15	-12	-11
25	41	46	42	34	16	19	26	18	-18	-18	-11	-11
26	31	35	37	38	15	19	22	19	-13	-11	-11	-14
27	41	33	39	27	29	23	38	35	-9	-7	-1	7
28	41	25	40	21	44	41	45	42	2	13	4	18
29	35	35	27	33	59	63	73	80	18	21	36	35
30	147	126	171	122	355	342	468	400	84	95	109	125
	50	44	44	34	41	44	53	46	-3	1	6	8
	Média dos 30 pontos para cada rotação				Média dos 30 pontos para cada rotação				Média dos 30 pontos para cada rotação			

## CAPÍTULO - 8

### VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

#### 8.1 - Dados Técnicos do Trator MF 265.

A opção por este modelo de trator, baseia-se em que nas regiões semi-áridas os produtores rurais possuem tratores com potência semelhante ao MF 265. Tratores deste porte suprem todas as necessidades de trabalho no meio rural.

Os dados técnicos, foram obtidos através do catálogo técnico da MASSEY FERGUSON, dados estes que serão listados a seguir:

- Motor: Perkins D4.203A
- Potência: 65 cv
- Torque máximo do motor: 24,2 kgfm
- Pneu: 14.9.28 - Diâmetro: 1290 mm
- Redução do motor para a caixa de marcha: 2,71:1
- Redução da caixa de marcha:

Marcha	SIMPLES	REDUZIDA
<b>1</b>	2,93:1	11,72:1
<b>2</b>	2,00:1	8,00:1
<b>3</b>	1,091:1	4,364:1
<b>4</b>	0,889:1	3,556:1

- Redução do diferencial para a roda: 6,17:1
- Redução do motor para a tomada de força: 3,117:1
- Consumo médio: 5 l/h

#### 8.1.1-Cálculo da Velocidade do Trator.

A velocidade do trator dependerá das várias rotações de giro do motor. As velocidades estão catalogadas nas tabelas 8.1 e 8.2, para as marchas simples e marchas reduzidas respectivamente.

Estes dados foram obtidos em função dos fatores de reduções e do perímetro do pneu do trator.

**TABELA - 8.1**

**Velocidade do trator para marcha simples**

Velocidade do Trator - km/h					
R.M.T	1 - S	2 - S	3 - S	4 - S	S.T.F
1400	6,9	10,2	18,7	22,9	449
1500	7,4	10,9	20,0	24,5	481
1600	7,9	11,6	21,3	26,2	513
1700	8,4	12,4	22,7	27,8	545
1800	8,9	13,1	24,0	29,4	577
1900	9,4	13,8	25,3	31,1	610
2000	9,9	14,5	26,7	32,7	642

( R.M.T ) - Rotação do Motor no Trator ( rpm )

1, 2, 3, e 4 - S ) - Primeira, segunda, terceira e quarta marcha simple

( S.T.F ) - Saída da Tomada de Força ( rpm )

**TABELA - 8.2**

**Velocidade do trator para marcha reduzida**

Velocidade do Trator - km/h					
R.M.T	1 - R	2 - R	3 - R	4 - R	S.T.F
1400	1,7	2,5	4,7	5,7	449
1500	1,9	2,7	5,0	6,1	481
1600	2,0	2,9	5,3	6,5	513
1700	2,1	3,1	5,7	7,0	545
1800	2,2	3,3	6,0	7,4	577
1900	2,4	3,5	6,3	7,8	610
2000	2,5	3,6	6,7	8,2	642

( R.M.T ) - Rotação do Motor no Trator ( rpm )

1, 2, 3, e 4 - R ) - Primeira, segunda, terceira e quarta marcha reduzid

( S.T.F ) - Saída da Tomada de Força ( rpm )

A seguir serão ilustrados os gráficos 8.1 e 8.2, onde fica caracterizado o comportamento das velocidades do trator em função da rotação de giro do motor do trator.

Gráfico - 8.1

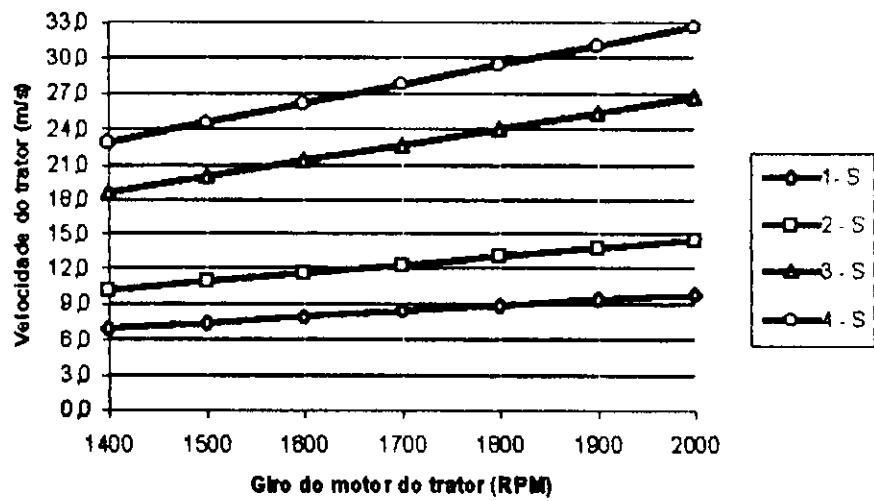
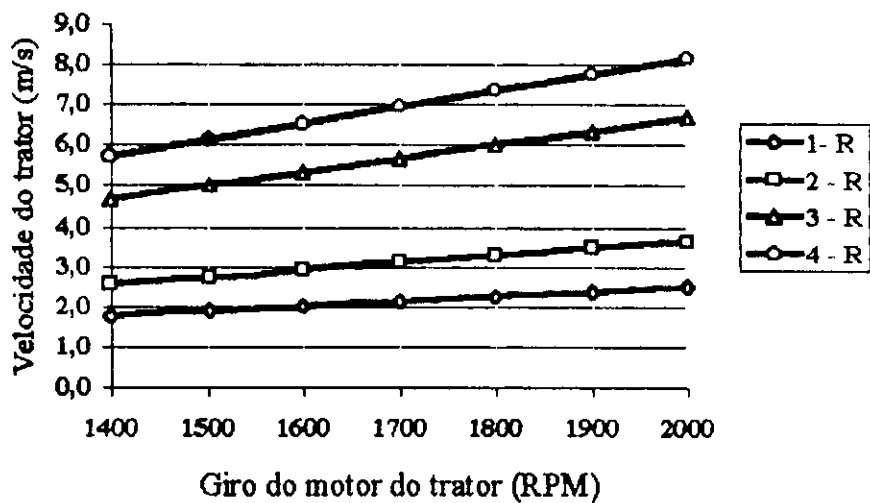


Gráfico-82



### 8.1.2-Conclusão.

Conforme mostra a tabela 8.2, a rotação do giro do motor do trator está entre 1500 rpm para 4ª marcha reduzida e 1800 rpm para 3ª marcha reduzida, com 481 e 577 rpm na tomada de força do trator.

O motor do trator, com giro de 1800 rpm, terá uma velocidade de 6,0 km/h que é a velocidade de colheita de semente de capim-búfel pelo trator.

O motor do trator, com giro de 1500 rpm, terá uma velocidade de 6,1 km/h que é uma velocidade muito próxima da velocidade do trator para colheita de semente de capim-búfel.

O trator deverá funcionar com 1500 rpm de giro do motor, em 4ª marcha reduzida, pois nestas condições, o trator terá consumo de combustível inferior à 1800 rpm com 3ª marcha reduzida.

Diante disto, como o ventilador trabalhará com uma rotação constante de 1200 rpm (rotação de projeto), deverá ser acoplado na tomada de força do trator uma caixa de redução. O motor do trator à 1500 rpm de giro, terá na tomada de força 481 rpm, e conseqüentemente, a caixa de redução terá um fator multiplicador de 1:2,5 para transmitir no eixo do ventilador uma rotação de 1200 rpm.

## CAPÍTULO - 9

### COMPARATIVO DOS CUSTOS ENTRE A COLHEITA MECANIZADA E A MANUAL

---

Trata-se do comparativo de custo de colheita entre a colheitadeira mecanizada e a colheitadeira manual confeccionada pela EMBRAPA. Serão levantados parâmetros entre as colheitadeiras com o propósito de se comparar os custos de produção entre os dois sistemas.

#### 9.1 - Colheitadeira Mecanizada.

##### 59.1.1-Tempo para o Trator Varrer um Hectare. (T)

Considerando-se o captor com 2800 mm, à velocidade de 6 km/h, tem-se:

##### a) Tempo (t) para o trator percorrer 100 m.

Será a profundidade da área ( $L_n$ ) dividido pela velocidade ( $V_{\text{trator}}$ ) do trator.

$$t = \frac{L_n}{V_{\text{trator}}} = \frac{100 \text{ m}}{6100 \frac{\text{m}}{\text{h}}} = 0,016 \text{ h}$$

##### b) Número de voltas ( $n_v$ ) para o trator varrer 1 hectare.

Este número de voltas para o trator varrer 1 hectare foi calculado no item 5.1.1, e é igual a 36 voltas.

O tempo (T) para o trator varrer 1 hectare será:

$$T = t.n_t = (0,016)(36) = 0,6 \frac{h}{ha}$$

### 9.1.2-Consumo de Combustível pelo Trator para Varrer um Hectare (CCT)

Será o produto entre o tempo que o trator precisa para varrer um hectare e o consumo médio horário, logo

$$CCT = \left(0,6 \frac{h}{ha}\right) \left(5 \frac{l}{h}\right) = 3 \frac{l}{ha}$$

### 9.1.3-Custo de Hora Máquina (Trator). (CHM)

#### 9.1.3.1-Depreciação (Dep).

A depreciação é função do valor nominal (VN), valor residual (VR) e da vida útil (VU) do trator. A fórmula para obtenção da depreciação será:

$$Dep = \frac{VN - VR}{VU} \quad (17)$$

O valor residual é estimado em 30% do valor nominal.

Na COMAG, concessionária da Massey Ferguson, foram conseguidos os seguintes dados:

- Custo do trator, R\$ 20.000,00
- Vida útil do trator, 10 anos (estimado)



Será considerado como período de trabalho do trabalhador como sendo, 52 semanas por ano, 5 dias por semana e 10 h por dia.

$$Dep = \frac{R\$ 20.000,00 - 03(R\$ 26.000,00)}{10} = R\$ 1.820,00 \text{ anual}$$

$$Dep = R\$ 0,70 \text{ por hora}$$

Como o trator necessita de 0,6 horas para varrer um hectare, a depreciação será:

$$Dep = \frac{R\$ 0,70}{h} \times 0,6 \frac{h}{ha} = R\$ 0,42 \text{ por hectare}$$

#### 9.1.3.2-Custo de Manutenção. (CM)

Considera-se o custo de manutenção igual ao custo de depreciação, ou seja:

$$CM = Dep = R\$ 0,42 \text{ por hectare}$$

#### 9.1.3.3-Custo Homem Hora Máquina. (CHHM)

O trator necessitará 1 motorista com um salário de R\$ 140,00 mensal (2 salários mínimos atuais), e 2 ajudantes com salário de R\$ 70,00 (1 salário mínimo atual) por pessoa, mensal, para trabalhar 10 horas por dia e 5 dias por semana. O custo será:

$$CHHM = \left( \frac{R\$ 280,00}{200 h} \right) \left( 0,6 \frac{h}{ha} \right) = R\$ 0,84 \text{ por hectare}$$

#### 9.1.3.4-Custo de Encargos Sociais. (CES)

O encargo social será igual a 60% do custo homem hora máquina, logo:

$$CES = 0,6(R\$ 0,84) = R\$ 0,50 \text{ por hectare}$$

#### 9.1.3.5-Custo do Consumo de Combustível pelo Trator. (CCC)

Sendo o preço do óleo diesel igual R\$ 0,354 e sabendo que o trator consome 3 litros por hectare, logo:

$$CCC = 3 \frac{l}{ha} \times \frac{R\$ 0,354}{l} = R\$ 1,06 \text{ por hectare}$$

O custo hora máquina será a soma da depreciação, do custo de manutenção, do custo homem hora máquina, do custo de encargos sociais e do custo do consumo de combustível do trator, logo:

$$\begin{aligned} CHM &= Dep + CM + CHHM + CES + CCC \\ &= R\$ 0,42 + R\$ 0,42 + R\$ 0,84 + R\$ 0,50 + R\$ 1,06 \\ &= R\$ 3,24 \text{ por hectare} \end{aligned}$$

#### 9.1.4-Valor Estimado da Semente de Capim-búfel por Hectare.

(VESCH)

A produção estimada de sementes é 38 kg/ha<sup>(6)</sup>. O preço da semente é de R\$ 1,20 por quilo, valor esse conseguido no comércio de Campina Grande, assim sendo:

$$VESCH = 38 \frac{kg}{ha} \times \frac{R\$ 1,20}{kg} = R\$ 45,60 \text{ por hectare}$$

#### 9.1.5-Valor Líquido Estimado da Semente do Capim-búfel por Hectare.

(VLESCH)

Será igual a diferença entre o valor estimado do capim-búfel por hectare (VECH), menos o custo homem hora máquina (CHM).

$$\begin{aligned} VLESCH &= VESCH - CHM \\ &= R\$ 45,60 - R\$ 3,24 \\ &= R\$ 42,36 \text{ por hectare} \end{aligned}$$

## 9.2 - Colheitadeira Manual.

Esta colheitadeira foi construída pela EMBRAPA, na cidade de Petrolina - Pe, onde foram obtidos os seguintes dados:

- Produção de 6,6 kg/h
- A colheitadeira necessita de 2 homens para colher as sementes no campo.

### 9.2.1-Tempo para Varrer um Hectare. ( $T_{cm}$ )

Como a produção de sementes por hectare é de 38 kg/ha, e como a colheitadeira manual colhe em média 6,6 kg/h, o tempo para varrer um hectare será

$$T_{cm} = \frac{38}{6,6} = 5,8 \frac{h}{ha}$$

### 9.2.2-Custo Homem Hora Colheitadeira. (CHHC)

O salário pago aos dois operários da colheitadeira manual é de R\$ 70,00 para cada um mensal, logo

$$CHHC = \left( \frac{R\$ 140,00}{200 h} \right) \cdot \left( 5,8 \frac{h}{ha} \right) = R\$ 4,06 \text{ por hectare}$$

#### 9.2.2.1-Custo de Encargos Sociais. (CES)

O custo de encargo social será igual a 60% do valor do custo homem hora colheitadeira (CHC), logo:

$$CES = 0,6(CHHC) = 0,6 \times R\$ 4,06 = R\$ 2,44 \text{ por hectare}$$

### 9.2.3 -Valor da Semente do Capim-búfel por Hectare (VESCH<sub>i</sub>)

A produção estimada de sementes é 38 kg/ha<sup>(2)</sup>. O preço da semente é R\$ 1,20 o quilo, valor esse conseguido no comércio de Campina Grande, assim sendo:

$$VESCH_1 = 38 \frac{kg}{ha} \times \frac{R\$ 1,20}{kg} = R\$ 45,60 \text{ por hectare}$$

#### 9.2.4- Valor Líquido da Semente do Capim-búfel por Hectare. (VLESCH<sub>1</sub>)

O valor estimado da semente do capim-búfel por hectare será:

$$\begin{aligned} VLESCH_1 &= VESCH_1 - (CHHC + CES) \\ &= R\$ 45,60 - (R\$ 4,06 - R\$ 2,44) \\ &= R\$ 39,10 \text{ por hectare} \end{aligned}$$

### 9.3 - Conclusão.

A colheitadeira de sementes de capim-búfel mecanizada, apresenta uma produção superior à colheitadeira manual, podendo-se destacar:

- Valor monetário na colheitadeira mecanizada por hectare de R\$ 42,36;
- Valor monetário na colheitadeira manual por hectare de R\$ 39,10;
- Tempo necessário para colher um hectare pela colheitadeira mecanizada é de apenas 0,6 horas;
- Tempo necessário para colher um hectare pela colheitadeira manual é de 5,8 horas;

Diante destes dados fica caracterizado que num período de um dia, ou seja, 10 horas diárias, a colheitadeira mecanizada terá:

- Produção aproximada de 17 hectares, enquanto que, a colheitadeira manual, proporcionará aproximadamente 2 hectares, tendo a colheitadeira mecanizada uma produção 8,5 vezes maior que a colheitadeira manual;
- Produzirá R\$ 720,12 por dia, enquanto que a colheitadeira manual produzirá apenas R\$ 78,20.
- Lucro de R\$ 641,92 a mais que a colheitadeira manual num período de um dia de colheita.
- Na colheitadeira mecanizada os operários não terão um trabalho braçal muito intenso, enquanto que, na colheitadeira manual, os dois operários que vão conduzir a colheitadeira necessitarão de uma razoável resistência física para colher as sementes no campo, não só pelo peso do equipamento, como também, pelo peso das sementes que serão depositadas no saco da colheitadeira durante a colheita.

## CAPÍTULO - 10

### CONCLUSÃO

As conclusões que serão apresentadas, são frutos dos resultados obtidos e definidos nos capítulos 7, 8 e 9.

Apesar de não ter sido levantada a eficiência da máquina, fica caracterizada que o ventilador apresenta eficiência conforme demonstra os dados coletados nos captores. A comprovação da eficiência só será possível através do levantamento das curvas características do ventilador.

O captor 3 é o melhor entre os captores, e será acoplado no trator para realizar os testes de campo, pois ele apresentou as seguintes características:

- Captação superior ao captor 1 nos testes de 1200 à 1500 rpm.
- Captação superior ao captor 2, nos testes de 1300, 1400 e 1500 rpm de rotação do ventilador.
- No teste referente à rotação de projeto (1200 rpm), apresentou uma deficiência de captação em relação ao captor 2, mas, essa deficiência é muito pequena em torno de 3% em média, nos pontos de captação.
- Peso reduzido e forma racional bastante pequena em relação aos demais captores. Por isto apresenta-se como o captor ideal, proporcionando uma articulação simples na plaina do hidráulico do trator.

O trator trabalhará num regime de 1500 rpm na 4<sup>a</sup> marcha reduzida, proporcionando uma velocidade 6,1 km/h, para consumir menos combustível que à 1800 rpm em 3<sup>a</sup> marcha reduzida com

velocidade de 6 km/h. Será necessário utilizar um redutor de velocidade na tomada de força do trator, com fator de multiplicação de 1:2,5, para proporcionar uma rotação de 1200 rpm na saída do redutor.

A colheitadeira de sementes de capim-búfel mecanizada, apresenta produção superior à colheitadeira manual, conforme os dados obtidos e apresentados no capítulo anterior:

1. Valores em reais superiores por hectare.
2. Tempo de colheita muito inferior para varrer um hectare, ou seja 0,6 h, enquanto que a colheitadeira manual levará 5,8 h.
3. Produção de 8,5 vezes maior por dia de trabalho.
4. Ganho efetivo de R\$ 641,92 por dia de trabalho.
5. Por proporcionar trabalho de colheita menos cansativo.
6. Por não expor os operários ao contato direto com a pastagem do campo.

Diante dos fatos relatados, fica caracterizado que o trator deverá desenvolver uma velocidade de varredura no campo de 6,1 km/h, tendo na frente, acoplado no hidráulico da plaina o captor 3, e entre a tomada de força e a colheitadeira um redutor de velocidade, com a finalidade de proporcionar as 1200 rpm de rotação do ventilador.



## CAPÍTULO - 11

### SUGESTÕES

---

Os resultados conseguidos no desenvolvimento do presente trabalho, tornam possível que se apresentem as seguintes sugestões:

1. Que seja realizado o levantamento das curvas características do ventilador para constatar, com mais exatidão, a eficiência da máquina.
2. Realizar teste de campo para melhor comprovação da eficiência do sistema.
3. Fazer estudos do sistema sobre a colheita de outras gramíneas.
4. Fazer modificação quanto ao número de tomada de sucção na parte traseira do captor, para que se tenha uma idéia mais precisa da eficiência do projeto deste equipamento.
5. Fazer testes nos captores 1 e 2, modificando o ângulo formado de 13° pelas laterais, para um ângulo menor, para certificar-se de que há uma melhora acentuada na captação nos extremos dos captores.
6. Fazer testes do sistema utilizando diâmetros menores de tubulação, para constatar se realmente haverá estrangulamento da tubulação pelas possíveis espiguetas que venham penetrar no sistema.
7. Fazer modificações na colheitadeira quanto ao tipo de rotor e forma das pás, para registrar o comportamento da mesma.

**8. Testar também a colheitadeira trabalhando nos regimes de 1300, 1400 e 1500 rpm acoplada ao trator, com a finalidade obter resultados de colheita de sementes do capim-búfel.**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- 1-ALCÂNTARA, Paulo Bordauil e BUFARAH Gilberto. *Plantas Forrageiras. "Gramineas & Leguminosas"*. Livraria Nobel S/A
- 2-ALVES, A. Q. & ARAÚJO, B. F. *O Capim-búfel e seu consórcio com leguminosas nativas*. João Pessoa, EMATER, 1979, p.25.
- 3-ALVIES & HUTTON. *Pastagens Melhoradas*. Inf. Agropecuária, Belo Horizonte, 1980, p.11
- 4- ANJOS, José Barbosa de e BARON Vicent. *Avaliação de uma Semeadura de Capim-búfel, a Tração Animal*. Embrapa, Petrolina, 1988, pp. 1-7
- 5-RAUJO, Etevaldo C. *Curso Técnico de Tubulação Industrial*. Hemus Editora Ltda. 1980, pp 54-55.
- 6-YERZA, Ricardo. *O Capim-búfel: Utilidade e manejo de uma gramínea promissora*. Oficina Gráfica da A União, João Pessoa, p.44
- 7-BODGAN, A. V. *Tropical Pasture And Fodder Planta* New York, Londgman, 1977, p.475
- 8-BRAN, Ricardo & Zulcy Souza. *Máquinas de Fluxo*. Ao Livro Técnico do Brasil S.A. 1969. pp, 231-237

9-Catálogo de Produtos CANDE Tubos e Conexões

10-Circular Técnica nº 5. *O capim-búfel nas Regiões Secas do Nordeste*. EMBRAPA, 1981, p.19

11-COSTA, Êonio Cruz da. *Compressores*. Editora Edgard Blücher Ltda, 1978, 62-65 p

12-DAVIES, J. G. & HUTTON, R. M. *Australian Gransslands Cam* berra, Australian National. Univ. Press. 1970, pp.172-302.

13-DELMÉE, GÉRARD J. *Manual de Medição de Vazão* Editora Edgard Blücher Ltda. 1987, p.474

14-DENCKER, M. H. *Manual de Técnica Agrícola*. Barcelana, Omega. 1966, pp. 26-50

15-DÚBBERN, Francisco Humberto de Souza. *Colheita de Sementes de Pastagem* Embrapa, Campo Grande,RS, 1988.

16-HERKASSEY, V. M. *Bombas, Ventiladores e Compressores* . Editora Mir. Moseú, 1986

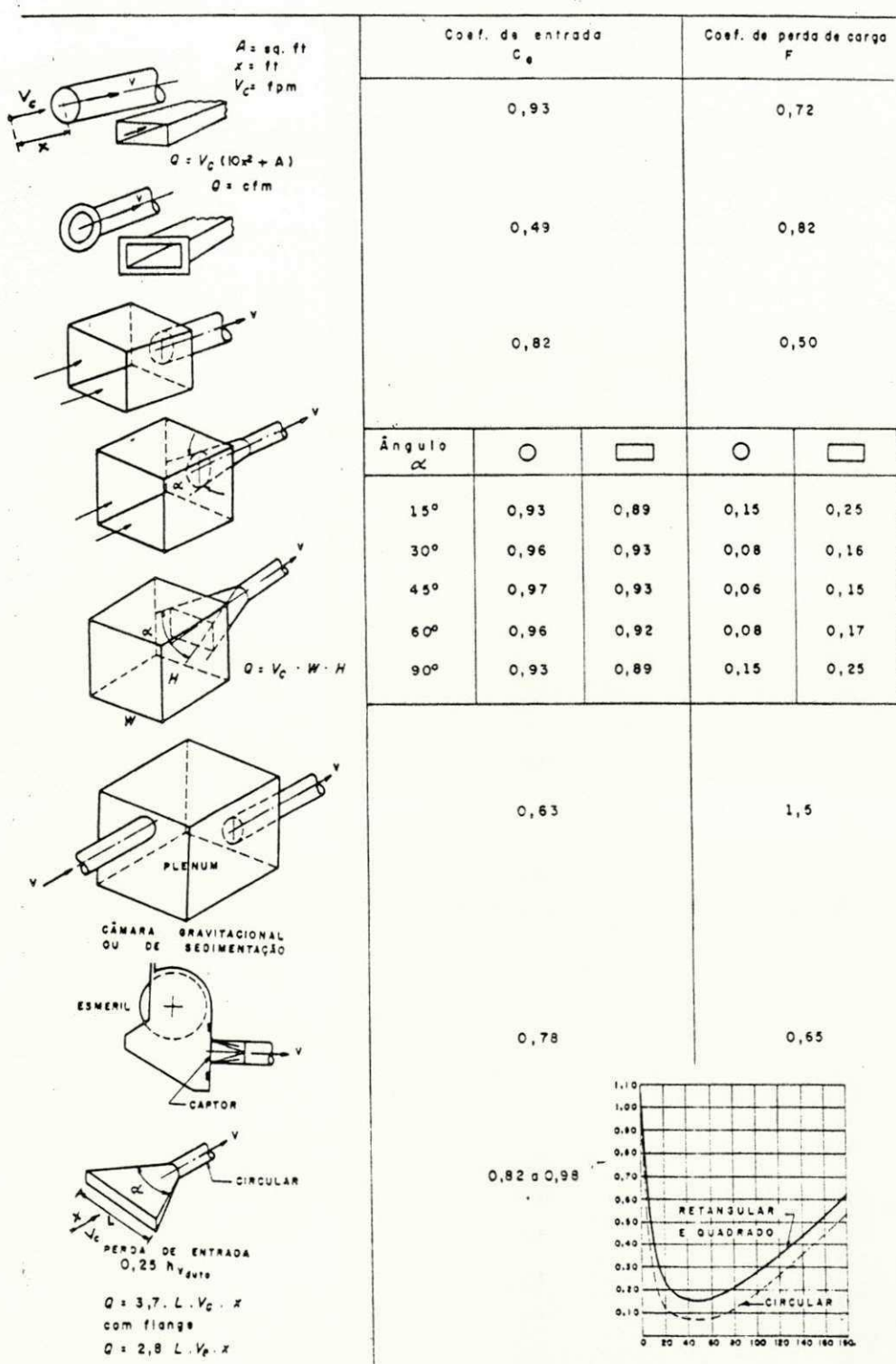
17-HESS, Geraldo; José Luiz Marque, L. P. Rocha Paes \$ Abelardo Puccini. *Engenharia Econômica* Círculo do Livro S.a. 1977, pp.97-102

18-MACINTYRE, Joseph Archibald. *Bomba e Instalações de Bombeamento*. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois, 1980, pp.667

- 19-MACINTYRE, Joseph Archibald. *Ventilação Industrial e Controle da Poluição*. Rio de Janeiro, Editora Guanabara, 1988, p.398
- 20- *Controle da Poluição*. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois, 1988, p.170
- 21-MESQUITA, A. L., GUIMARÃES, F. S & NEFUSSI, N. *Engenharia de Ventilação Industrial*. CETESB e ASCETESB, 1985.
- 22-OLIVEIRA, Martiano Cavalcante, José B. dos Anjos & FRANCISCO Ataíde Bernardino. *Colheita Manual de Sementes de Capim-búfel* Embrapa, Comunicação Técnica 2ª edição, 1987
- 23- OLIVEIRA, M. C. de. *O Capim-búfel nas regiões secas do Nordeste*. Petrolina-Pe. EMBRAPA-CPATSA, 1981, p.19
- 24-PFLEIDERER, CARL & Hartwing Peterman. *Máquinas de Fluxo* Livro Técnico e Científico Editora S/A. 1979, p.452
- 25-PIMENTA, C. F. *Curso de Hidráulica Geral - Volume 1*. Centro de Tecnologia de Hidráulica. 1977, pp.142-145.
- 26-DESENHISTA DE MÁQUINAS, Escola Pro-tec. São Paulo. 1972. 405.p
- 26-PROJETISTA DE MÁQUINAS, Escola Pro-tec. São Paulo. 1972. 465.p

- 27-Regra para Análise de Sementes. Publicação do Ministerio da Agricultura e Reforma Agrária. Brasília, 1992
- 28-Revista Técnica Zulzer, nº 1, 1953. A recente Evolução na Construção de Ventiladores.
- 29-ROYO, E. Carnicer. *Aire Comprimido*. Editora Gusta Gilli S.A, Barcelona, 1977, pp.69-76.
- 30-SISSON, L. E. & PITTS, D. R. *Fenômenos de Transporte*. Rio de Janeiro. Editora Guanabara S/A, 1988.
- 31-SOUZA, Humberto Dübbern de. *A colheita de Sementes de Pastagem em Pequenas Propriedade: O método de pilha e o método de varredura*. Embrapa-CNPQC, 1988, pp.1-9
- 32-TARDÁ, José Massana. *Ventiladores Y Turbocompressores* Marcombo, S.A - Ediciones Técnicas. 1966
- 33-WINKWORTH, R. E. *Longevit of Bufel grass seed sown in an arid Australian range* Journal of Range Mangament, 1971
- 34-XAVIER, E. Augusto. *Bombas Hidráulicas*. ABM. Édile Serviços Gráficos e Editora Ltda. 1987. p.99
- 35-ZULCY de Souza. *Dimensionamento de Máquinas de Fluxo* Editora Edgard Blücher. 1991, p.265

# ANEXO - 1



Valores do coeficiente de entrada  $C_e$

## ANEXO - 2

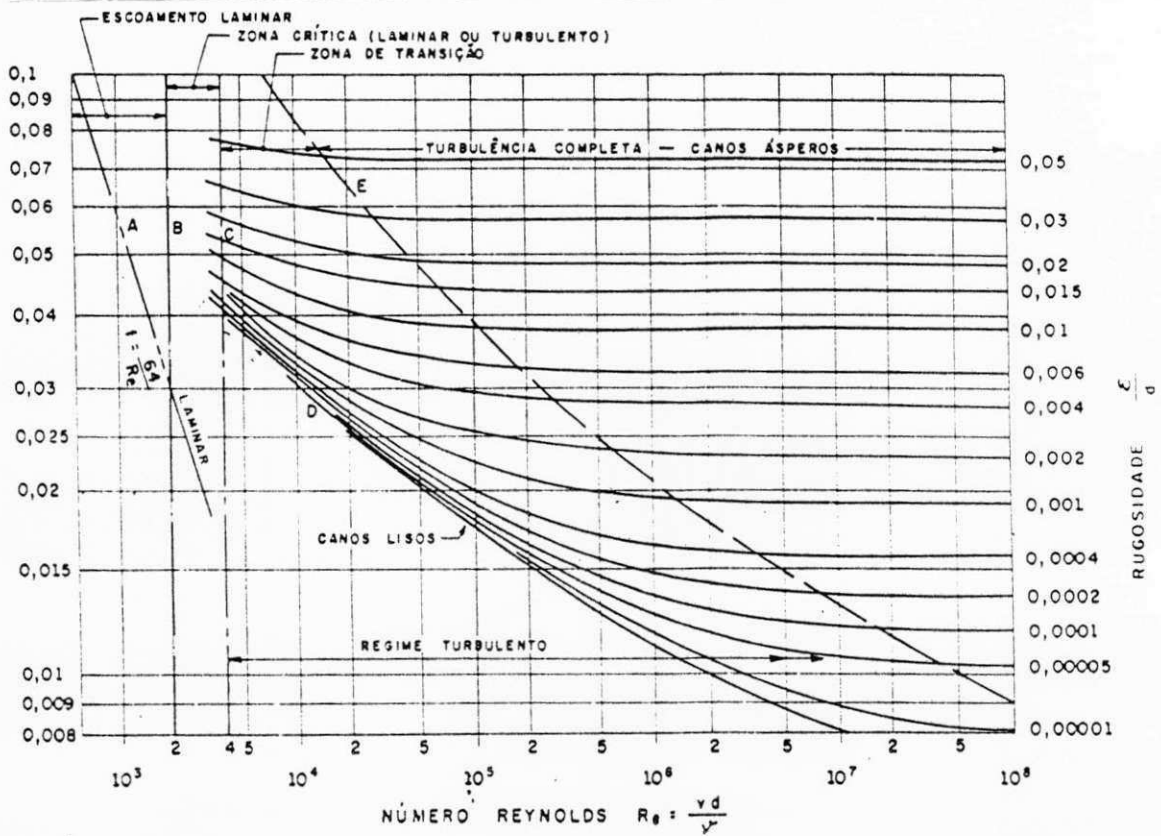
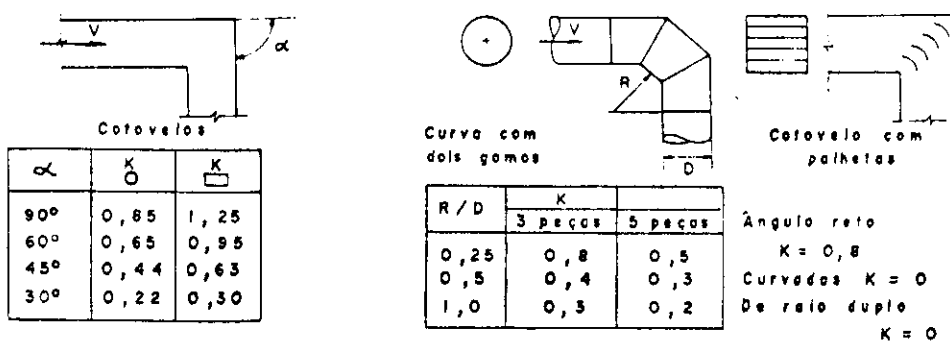
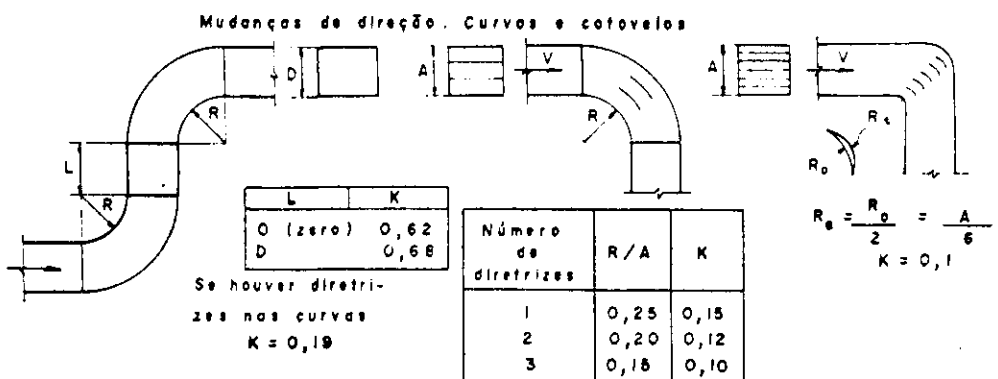
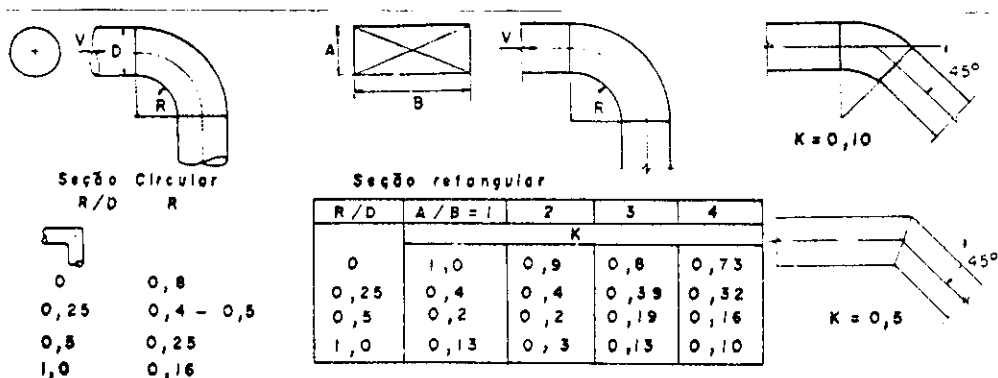


Diagrama de Moody para determinação do coeficiente  $f$  de perda de carga

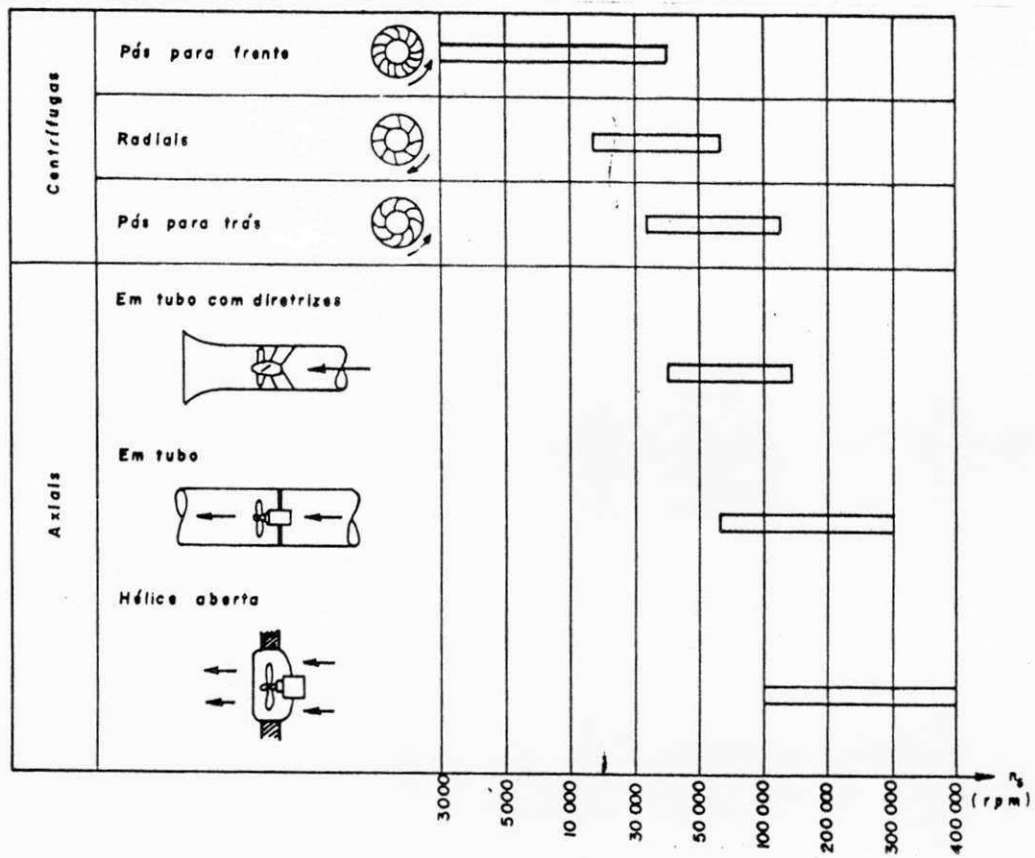


## ANEXO - 3



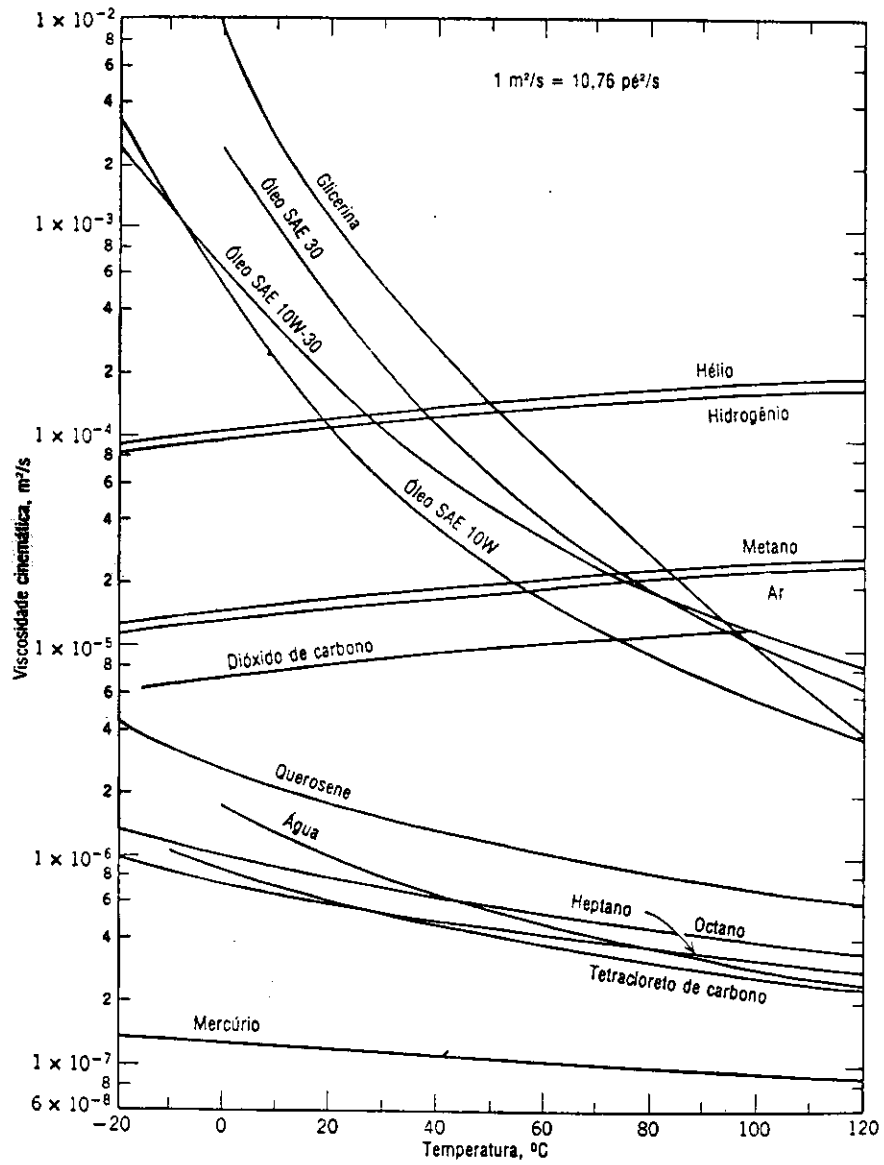
Valores de K para curvas e cotovelos

## ANEXOS - 4



**Valores específicos para os diversos tipos de ventiladores**

## ANEXO - 5



**Viscosidade cinemática de fluidos em função da temperatura.**

## APÊNDICE - A

---

### A.1 - Obtenção do Peso Específico do Capim-búfel.

Para calcular a *densidade* ( $\rho$ ) das sementes do capim-búfel foi utilizada a seguinte metodologia:

a) Tomou-se um Becker de 900 ml.

b) Pesou-se 3 sacos de plástico numerados de 1 a 3, numa balança de precisão, sendo um de cada vez, onde os pesos obtidos são:

- Saco 1 (vazio) igual à 10,92 g
- Saco 2 (vazio) igual à 11,29 g
- Saco 3 (vazio) igual à 11,03 g

c) Encheu-se três vezes o becker (900 ml) com sementes de capim-búfel sem nenhuma compactação do mesmo, reproduzindo as condições similares do seu estado natural do campo, e colocou-se as três amostras dentro dos três sacos numerados. Em seguida levou-se os três sacos para numa balança de precisão, pesando-se distintamente cada um dos três sacos, tendo-se obtidos os seguintes pesos:

- Saco 1 (com sementes) igual à 30,24 g
- Saco 2 (com sementes) igual à 30,81g
- Saco 3 (com sementes) igual à 31,13 g

Como ficou conhecido o peso do saco vazio e também o peso do saco com sementes de capim-búfel, as massas do capim-búfel são:

$$\begin{aligned} m_1 &= \text{saco 1 (com sementes) - saco 1 (sem sementes)} \\ &= 30,24 - 10,92 \\ &= 19,32 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_2 &= \text{saco 2 (com sementes) - saco 2 (sem sementes)} \\ &= 30,81 - 11,29 \\ &= 19,52 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_3 &= \text{saco 3 (com sementes) - saco 3 (sem sementes)} \\ &= 31,13 - 11,03 \\ &= 20,10 \text{ g} \end{aligned}$$

Estabelecidos os valores das massas  $m_1$ ,  $m_2$  e  $m_3$ , a densidade média será:

$$\rho_{\text{m\u00e9dio}} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{3},$$

onde,

$$\rho_1 = \frac{m_1}{900} = \frac{19,32}{900} = 0,0215 \text{ g/ml} = 21,5 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_2 = \frac{m_2}{900} = \frac{19,52}{900} = 0,0217 \text{ g/ml} = 21,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_3 = \frac{m_3}{900} = \frac{20,10}{900} = 0,0223 \text{ g/ml} = 22,3 \text{ kg/m}^3$$

logo,

$$\rho_{\text{m\u00e9dio}} = \frac{21,5 + 21,7 + 22,3}{3} = 21,8 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{médio}} = 21,8 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Como foi calculada a densidade média, o valor do *peso específico das sementes do Capim-búfel* será:

$$\gamma_{\text{cap}} = \rho_{\text{médio}} \cdot g = 21,8 \times 9,8 = 213,64 \text{ N} / \text{m}^3 = 21,8 \text{ kgf} / \text{m}^3$$

## APÊNDICE - B

---

### B.1 - Determinação do Grau de Umidade das Sementes do Capim-búfel.

Para determinar o teor de umidade das sementes do capim-búfel (*Cenchrus Ciliaries*L.) utilizou-se o método de estufa à 105° C durante 24 horas, proposto pela professor Msc. Luiza Eugênia da Mata Rocha Lima, coordenadora do Laboratório de Armazenamento de Processo de Produtos, UFPb, conforme Regras para Análise de Sementes (RAS, 1992).

#### B.1.1-Método de Estufa à 105° C.

- Regulou-se a temperatura da estufa à 105°C, admitindo-se uma variação de  $\pm 3^\circ$  C.

Pesou-se três recipientes e suas tampas em balança de precisão. Os pesos dos três recipiente são:

Recipiente 1, 36,36 g

Recipiente 2, 31,34 g

Recipiente 3, 34,31 g

- Distribuiu-se uniformemente as subamostras de sementes nos recipientes.

- Pesou-se novamente os recipientes que contêm as subamostras de sementes, juntamente com as respectivas tampas.

Os pesos obtidos foram:

Recipiente 1 com sementes, 38,42 g

Recipiente 2 com sementes, 33,06 g

Recipiente 3 com sementes, 36,22 g

- Colocou-se os recipientes na estufa de 105° C por um período de 24 horas

- Após o período de 24 horas, retirou-se os recipientes da estufa tampando-se rapidamente os mesmos e em seguida colocou-se em um dessecador para esfriar por 15 minutos.

- Após os 15 minutos no dessecador, retirou-se os três recipientes e efetuou-se as pesagens obtendo-se os pesos secos das amostras. Os pesos encontrados são:

Recipiente 1, 38,23 g

Recipiente 2, 32,91 g

Recipiente 3, 36,05 g

- Cálculo do Teor de Umidade

$$\% \text{ de Umidade. } \xi = \frac{100(\delta - \phi)}{\delta - \tau}$$

A percentagem de umidade para as três amostras das sementes do capim-búfel são:

$$\xi_1 = \frac{100(\delta_1 - \phi_1)}{\delta_1 - \tau_1} = \frac{100(38,42 - 38,23)}{38,42 - 36,36} = 9,22\%$$

$$\xi_2 = \frac{100(\delta_2 - \phi_2)}{\delta_2 - \tau_2} = \frac{100(33,06 - 32,91)}{33,06 - 31,34} = 8,72\%$$

$$\xi_3 = \frac{100(\delta_3 - \phi_3)}{\delta_3 - \tau_3} = \frac{100(36,22 - 36,05)}{36,22 - 34,31} = 8,90\%$$



O percentual de umidade do capim-búfel é:

$$\xi = \frac{\xi_1 + \xi_2 + \xi_3}{3} = \frac{9,22 + 8,72 + 8,90}{3} = 8,95 \%$$