

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**Desenvolvimento de sistema pneumático de
dosagem e transporte de sementes**

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Ruy Casão Junior
E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 13/08/1996



ORIENTADOR

Autor: **Ruy Casão Junior**
Orientador: **Carlos Amadeu Pallerosi**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

Desenvolvimento de sistema pneumático de dosagem e transporte de sementes

Autor: Ruy Casão Junior

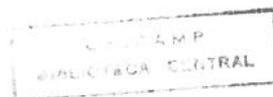
Orientador: Carlos Amadeu Pallerosi

Curso: Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Projeto Mecânico

Tese de doutorado apresentado a comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Campinas 1996
S.P. - Brasil



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	T/UNICAMP
	C263d
V.	E. 01
F.	86128892
PROG.	667/96
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	30/10/96
N.º C/D	

CM-00093806-6

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

C263d

Casão Junior, Ruy

Desenvolvimento de sistema pneumático de dosagem e transporte de sementes / Ruy Casão Junior.--Campinas, SP: [s.n.], 1996.

Orientador: Carlos Amadeu Pallerosi.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Semeadeira (Implemento agrícola). 2. Vácuo. 3. Transporte por tubo pneumático. I. Pallerosi, Carlos Amadeu. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

TESE DE DOUTORADO

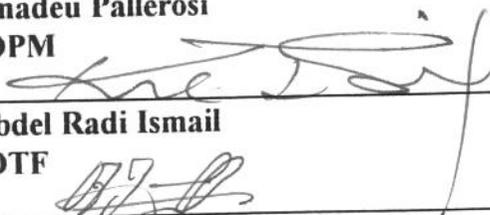
**Desenvolvimento de sistema pneumático de
dosagem e transporte de sementes**

Autor: **Ruy Casão Junior**

Orientador: **Carlos Amadeu Pallerosi**



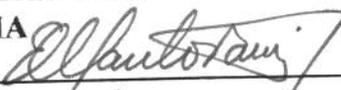
Prof. Dr. Carlos Amadeu Pallerosi
UNICAMP/FEM/DPM



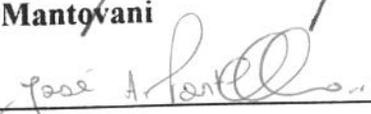
Prof. Dr. Kamal Abdel Radi Ismail
UNICAMP/FEM/DTF



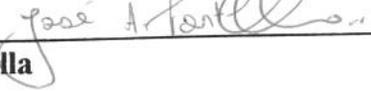
Prof. Dr. Oscar Antônio Braunbeck
UNICAMP/FEAGRI/DMA



Dr. Evandro Chartuni Mantovani
EMBRAPA/CNPMS



Dr. José Antônio Portella
EMBRAPA/CNPT



Campinas, 10 de julho de 1996

Dedicatória:

Dedico este trabalho a minha esposa Maria Helena pelo amor e companhia.

A meus filhos Carolina e Filipe pelo afeto e alegria.,
e a meus pais pela inspiração e proteção.

Agradecimentos

Ao Prf. Dr. Carlos Amadeu Pallerosi pela orientação, amizade e segurança transmitida nos conhecimentos em projeto mecânico.

Ao Instituto Agronômico do Paraná pela condição oferecida na realização desta pesquisa e treinamento.

A Universidade Estadual de Campinas pelo apoio geral na realização do treinamento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo apoio financeiro essenciais ao desempenho deste trabalho, conveniado ao Programa PADCT/CNPq.

Ao Departamento de Projeto Mecânico da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, pelo apoio as atividades realizadas.

Aos professores amigos da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, pela convivência e aprendizagem neste período de treinamento.

Ao amigo Prof. Acires Dias, pela convivência, amizade e contribuições de todas as horas durante o período do curso e na tese de doutorado.

Ao amigo pesquisador do IAPAR, Paulo Roberto Abreu de Figueiredo, pelo apoio indispensável em todas as fases de meu treinamento e na tese.

Aos professores e amigos João Plaza, Kamal, Silvia, João Maurício, Franco e Katia Dediní pelo apoio e contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos Maciel, Capelli e Antônio Mauro pelo apoio indispensável recebido neste período de treinamento.

Ao amigo José Antonio Portella pela preciosa contribuição e convivência, e pelo fato de trabalhar em continuidade ao assunto por ele iniciado.

Aos amigos do curso de Pós Graduação Geraldo Ferreti, Marcelo Pierossi, Galli, Carlos Tomioshi, Italo, Amauri, Almiro, Rosangela, Raquel, Francisco, João Fuganhole, Walter, Evaldo, Lúcia, Saramago, Paulo Sérgio, Eder, Allan, José Eduardo, Eder, Wagner, Garcia, Belisário, Khaled e Rolando pela preciosa convivência durante este curso.

Aos amigos, técnicos e funcionários da FEM, Maurício, Ferreira, Eli, João Moreli, Edmur, Zanaga, Tiago, José Luiz, Armando, Fernando, Alison, Vera, Denise, Luzia e Patrícia, pela ajuda preciosa no andamento das atividades.

Aos amigos do IAPAR, Augusto, João Henrique, Rogério, Alex, Sonia Posnik, Giovana, Cristina, Cleonice, Alechandre, Ronaldo, Jonas, Adriana, Ionice, Rafael e Célio pela contribuição em diferentes etapas do trabalho.

Aos dirigentes do IAPAR, Wilson Pan, Rafael e Florindo pelo apoio e compreensão nas dificuldades encontradas.

Aos amigos e professores da Engenharia Mecânica Itamar, Pavanello, Marco Lúcio, Auteliano, Xavier, Loir, Douglas, Iguti, Kurka, Milton e Robson pelo estímulo e convivência neste período.

"A ciência é uma paixão à semelhança da música, da arte, pois, se assim não fosse, não teríamos a matemática, a física, a biologia..."
Albert Einstein

"Para resolver um problema tecnológico deve-se lançar mão dos conhecimentos científicos disponíveis e os empíricos, pois, antes de se conhecer a mecânica dos fluidos os Fenícios já navegavam pelos mares e antes da resistência dos materiais os Romanos construíam sofisticadas edificações".
Joseph Shigley

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1	Mecanismos dosadores de sementes	4
2.1.1	Considerações gerais	4
2.1.2	Parâmetros que influem no projeto de mecanismos dosadores	6
2.1.2.a	Características das sementes	6
2.1.2.b	Densidade de semeadura e uniformidade de distribuição	6
2.1.2.c	Armazenamento e alimentação	12
2.1.2.d	Individualização e transporte	13
2.1.2.e	Raspagem	14
2.1.2.f	Ejeção	14
2.1.2.g	Descarga	14
2.1.2.h	Danos	18
2.1.3	Sistema de dosagem em fluxo contínuo	18
2.1.4	Sistema de dosagem em precisão	20
2.1.4.a	Considerações gerais	20
2.1.4.b	Dosadores de discos	20
2.1.4.b.i	Disco horizontal	20
2.1.4.b.ii	Disco inclinado	22
2.1.4.b.iii	Disco vertical	23
2.1.4.c	Dosadores de correia	24
2.1.4.d	Dosadores de hastes	25
2.1.4.e	Dosadores pneumáticos	26
2.1.4.e.i	Pneumáticos por sopro de ar	26
2.1.4.e.ii	Pneumáticos por sucção de ar	28
2.1.4.e.iii	Teoria sobre dosadores pneumáticos por sucção de ar	32
2.1.5	Desempenho de sistemas de dosagem de sementes	40
2.2	Geração de vácuo por conversão de pressão em vácuo	45
2.2.1	Princípio de funcionamento	45
2.2.2	Fundamentação teórica para escoamento em bocais	45
2.2.2.a	Estado de referência e propriedades locais isentrópicas de estagnação	45

2.2.2.b	Escoamento unidimensional isentrópico com variação de área	49
2.2.2.c	Escoamento unidimensional com adição de massa	57
2.2.3	Desempenho de um bocal convergente para condições isentrópicas	58
2.2.4	Desempenho de um bocal convergente-divergente para condições isentrópicas	61
2.3	Transporte pneumático de sementes	64
2.3.1	Teoria sobre transporte pneumático	64
2.3.2	Transporte de grãos em dutos de pequeno diâmetro	70
2.4	Técnicas de medidas e instrumentação	71
2.4.1	Determinação da vazão em tubos de pequeno diâmetro	71
3	PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA CONJUGADO DE DOSAGEM E TRANSPORTE PNEUMÁTICO DE SEMENTES	76
3.1	Análise de concepções e seleção de alternativas	76
3.1.1	Introdução	76
3.1.2	Análise das concepções	77
3.1.3	Seleção da solução alternativa	82
3.2	Projeto e construção do sistema	83
3.2.1	Projeto e desenvolvimento da válvula geradora de vácuo	83
3.2.1.a	Considerações gerais e parâmetros de entrada	83
3.2.1.b	Projeto de um bocal convergente-divergente para condições isentrópicas	84
3.2.1.c	Projeto e desenvolvimento da válvula de vácuo propriamente dito	87
3.2.2	Projeto e desenvolvimento do sistema pneumático de dosagem de sementes	90
3.2.2.a	Considerações gerais e exigências operacionais	90
3.2.2.b	Concepção geral do projeto	90
3.2.2.c	Depósito de sementes	91
3.2.2.d	Chassi do sistema dosador	92
3.2.2.e	Rotor dosador de sementes	93
3.2.2.e.i	Características construtivas	93
3.2.2.e.ii	Captura de sementes	93
3.2.2.f	Disco de vedação com entalhes para o circuito pneumático	106
3.2.2.g	Eixo de acionamento do rotor	106
3.2.2.h	Câmara de sementes	106
3.2.2.i	Sistema de acionamento do dosador	106
3.2.2.j	Sistema de controle da rotação do motor	107
3.2.2.k	Sistema de controle da contagem de células de aspiração	108
3.2.3	Construção do sistema de transporte de sementes	108
3.2.3.a	Tubulação de descarga	108
3.2.3.b	Desacelerador pneumático	109
3.2.3.c	Desacelerador cinemático	110
4	MATERIAIS E MÉTODOS	112
4.1	Determinação de parâmetros termodinâmicos do escoamento	112
4.1.1	Medida de vazão	112

4.1.1.a	Medidor de vazão do tipo placa de orifício	112
4.1.1.b	Calibração da placa de orifício	112
4.1.1.c	Método para determinação do coeficiente de vazão	114
4.1.2	Medida de temperatura	116
4.1.2.a	Termômetro de mercúrio	116
4.1.2.b	Termopares e processo de calibração	116
4.1.3	Medida de pressão	117
4.1.3.a	Pressão atmosférica	117
4.1.3.b	Pressão manométrica com manômetro	117
4.1.3.c	Pressão manométrica com tubo em "U"	117
4.1.3.d	Diferencial de pressão com tubo em "U"	117
4.1.3.e	Vácuo parcial com tubo em "U"	117
4.1.3.f	Bancada de testes desenvolvida para o controle dos parâmetros termodinâmicos	117
4.2	Sementes estudadas	120
4.3	Características físicas e aerodinâmicas das sementes	120
4.3.1	Massa específica real	120
4.3.2	Teor de umidade	121
4.3.3	Diâmetro equivalente	121
4.3.4	Velocidade terminal teórica	121
4.3.5	Velocidade terminal experimental	122
4.4	Método de seleção das células de aspiração de sementes	123
4.4.1	Estudos preliminares	123
4.4.2	Método de avaliação	123
4.5	Determinação da uniformidade de distribuição de sementes	125
4.5.1	Método de avaliação	125
4.5.2	Parâmetros estudados	127
4.5.3	Delineamento experimental	129
4.5.4	Sensores óticos	130
4.6	Determinação da velocidade média das sementes	131
4.6.1	Método de avaliação	131
4.6.2	Parâmetros estudados	131
4.6.3	Delineamento experimental	132
4.7	Determinação de danos às sementes	132
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	134
5.1	Introdução	134
5.2	Parâmetros termodinâmicos do escoamento	134
5.2.1	Coeficiente de vazão da placa de orifício	134
5.2.2	Parâmetros termodinâmicos de entrada da válvula de vácuo	136
5.3	Calculo do desempenho dos bocais convergente-divergente estudados para condições de projeto	137

5.4	Avaliação de desempenho da válvula de vácuo	140
5.4.1	Desempenho na condição não aspirada	140
5.4.2	Desempenho na condição semi aspirada	142
5.4.3	Desempenho na condição aspirada	144
5.5	Características físicas e aerodinâmicas das sementes	147
5.5.1	Massa específica real e massa das sementes	147
5.5.2	Teor de umidade	147
5.5.3	Diâmetro equivalente e área projetada	147
5.5.4	Velocidade terminal teórica	148
5.5.5	Velocidade terminal experimental	148
5.6	Seleção das células de aspiração	149
5.7	Uniformidade de distribuição de sementes	156
5.7.1	Estudo da distribuição de sementes de milho	156
5.7.1.a	Estudo na saída do sistema de dosagem de sementes	156
5.7.1.b	Estudo na saída da tubulação de descarga	161
5.7.2	Estudo da distribuição das sementes de soja	162
5.7.2.a	Estudo na saída do sistema de dosagem de sementes	162
5.7.2.b	Estudo no final do trecho reto da tubulação de descarga	166
5.7.2.c	Estudo na saída do tubo de descarga	166
5.7.3	Estudo da distribuição de sementes de trigo	167
5.8	Estudo de danos às sementes	170
5.8.1	Análise de danos em milho	170
5.8.2	Análise de danos em soja	171
5.9	Estudo da velocidade das sementes	172
5.9.1	Estudo da velocidade em milho	172
5.9.2	Estudo da velocidade em soja	175
5.9.3	Estudo da velocidade em trigo	178
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS	180
6.1	Conclusões	180
6.2	Sugestões para próximos trabalhos	183
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	185

Lista de Figuras

- 2.1.1 Efeito da densidade de semeadura e disponibilidade de água na produção de milho.
- 2.1.2 Alturas de queda em dosadores de disco vertical, inclinado e horizontal.
- 2.1.3 Rotores cilíndricos a) Dentados e b) Acanelados.
- 2.1.4 Rotor acanelado com giro horário e anti-horário.
- 2.1.5 Sistema de distribuição com discos horizontais.
- 2.1.6 Sistema dosador de sementes de discos horizontais em posição de montagem.
- 2.1.7 Sistema dosador de disco inclinado.
- 2.1.8 Sistema dosador de disco vertical.
- 2.1.9 Sistema dosador de correia.
- 2.1.10 Sistema dosador com dedos prensos.
- 2.1.11 Sistema dosador com tambor pressurizado.
- 2.1.12 Sistema dosador com disco pressurizado.
- 2.1.13 Sistema dosador com disco por sucção.
- 2.1.14 Sistema dosador pneumático da semeadora EXATA da marca Jumil.
- 2.1.15 Sistema dosador de tambor por sucção.
- 2.1.16 Forças atuantes em um corpo suspenso em um fluxo de ar.
- 2.1.17 Corpo submetido a uma corrente de ar.
- 2.1.18 Forças atuantes na semente no momento de sua liberação.
- 2.1.19 Dinâmica das sementes em um dosador de disco pneumático por sucção.

- 2.2.1 Princípio de funcionamento da válvula de vácuo por conversão de pressão em vácuo.
- 2.2.2 escoamento de fluido compressível em tubo de corrente infinitesimal.
- 2.2.3 Volume de controle para análise do escoamento isentrópico com mudança de área.
- 2.2.4 Diagrama esquemático hs ilustrando a interpretação de energia por unidade de massa no escoamento.
- 2.2.5 Variação de diferentes propriedades termodinâmica em função de Mach, em um escoamento isentrópico.
- 2.2.6 Efeito da variação no comportamento do escoamento unidimensional.
- 2.2.7 Forma do jato na saída de um bocal, com pressão ambiente igual ou acima da crítica.
- 2.2.8 Forma de um jato em fluxo submerso, desembocando no ar livre e parado.
- 2.2.9 Superfície de controle definida para um escoamento unidimensional generalizado.
- 2.2.10 Comportamento do escoamento sob condições isentrópicas em bocal convergente.
- 2.2.11 Variação do coeficiente de descarga em função de vários ângulos de bocais convergentes cônicos.
- 2.2.12 Comportamento de um escoamento isentrópico num bocal convergente-divergente.
- 2.3.1 Diagrama do corpo livre de uma partícula singularizada.
- 2.3.2 Número de Reynolds versus $C_a \cdot Re^2$ para esferas.
- 2.3.3 Coeficiente de arrasto para formas geométricas e irregulares.
- 2.4.1 Foto de um dispositivo experimental para analisar o escoamento do fluido através de uma placa de orifício.
- 2.4.2 Coeficiente de vazão em função de β para placas de orifício e de três faixas de número de Reynolds.
- 3.1.1 Concepção geral do sistema de dosagem e transporte da semeadora Uniflux.
- 3.1.2 Concepção esquemática do sistema de dosagem e transporte de controle eletrônico da semeadora Uniflux.
- 3.1.3 Fluxograma das funções dos dispositivos do sistema de dosagem e transporte de sementes.
- 3.1.4 Volume de controle constituído pelo conjunto da válvula de vácuo, sistema de dosagem e conexões.
- 3.2.1 Esquema de funcionamento da válvula de vácuo, com indicação das propriedades termodinâmicas e os parâmetros construtivos em estudo.

- 3.2.2 Válvula geradora de vácuo por conversão de pressão em vácuo.
 - 3.2.3 Bocais convergentes (injetores) e bocais de saída na válvula de vácuo.
 - 3.2.4 Esquema do sistema de distribuição de sementes em corte com ênfase ao seu funcionamento.
 - 3.2.5 Vista lateral do conjunto montado do sistema de dosagem de sementes.
 - 3.2.6 Vista frontal do conjunto montado do sistema de dosagem de sementes.
 - 3.2.7 Sistema de dosagem de sementes em operação com a cultura de milho.
 - 3.2.8 Chassi direito do dosador de sementes.
 - 3.2.9 Chassi esquerdo do dosador de sementes.
 - 3.2.10 Rotor dosador de sementes montado no sistema de dosagem.
 - 3.2.11 Dosador de sementes em corte transversal nas vistas de cima e frontal.
 - 3.2.12 Componentes internos do sistema de dosagem de sementes.
 - 3.2.13 Captura de uma semente pela célula de aspiração.
 - 3.2.14 Modelo físico de captura da semente no rotor.
 - 3.2.15 Células de aspiração construídas em PVC.
 - 3.2.16 Células de aspiração de borracha usadas no estudo do sistema de dosagem e transporte pneumático de sementes.
 - 3.2.17 Sistema elétrico para controle da rotação do rotor e passagem de células de aspiração.
 - 3.2.18 Conjunto experimental montado para o estudo do sistema de dosagem e transporte pneumático de sementes, com ênfase ao trecho reto da tubulação de descarga.
 - 3.2.19 Desacelerador pneumático.
 - 3.2.20 Desaceleradores pneumático e cinemático, seguidos pelos sensores para avaliação das sementes na saída do tubo de descarga.
- 4.1.1 Características dos medidores de vazão do tipo placa de orifício.
 - 4.1.2 Aparelhagem usada na calibração da placa de orifício.
 - 4.1.3 Painel para testes do desempenho da válvula de vácuo.
 - 4.1.4 Painel para controle dos parâmetros de entrada no sistema de dosagem e transporte de sementes.
- 4.3.1 Esquema da coluna pneumática para separação e determinação da velocidade terminal.

- 4.5.1 Esquema de montagem dos sensores e dispositivos elétricos para a determinação da uniformidade de distribuição de sementes.
- 4.5.2 Exemplo de registro de pulsos elétricos referente a passagem de sementes pelo sensor ótico.
- 4.5.3 Sensores óticos em seus alojamentos.
- 5.2.1 Porcentagem de erros do coeficiente de vazão na placa de orifício junto ao escoamento de alimentação, em função da vazão mássica.
- 5.2.2 Porcentagem de erros do coeficiente de vazão na placa de orifício junto ao escoamento de aspiração, em função da vazão mássica.
- 5.2.3 Variação dos parâmetros termodinâmicos de entrada na válvula de vácuo em função da vazão mássica.
- 5.2.4 Variação dos parâmetros de estagnação e críticos no bocal convergente-divergente para as condições de projeto.
- 5.2.5 Variação das propriedades termodinâmicas na saída do bocal divergente em função da vazão mássica.
- 5.4.1 Variação do vácuo parcial na condição bloqueada, com orifício de saída da câmara de vácuo de 5.0 mm, em função da vazão mássica, ângulo de convergência do bocal e distância da garganta à saída da câmara.
- 5.4.2 Variação do vácuo parcial na condição bloqueada, com orifício de saída da câmara de vácuo de 6.0 mm, em função da vazão mássica, ângulo de convergência do bocal e distância da garganta à saída da câmara.
- 5.4.3 Variação do vácuo parcial na condição bloqueada, com orifício de saída da câmara de vácuo de 7.0 mm, em função da vazão mássica, ângulo de convergência do bocal e distância da garganta à saída da câmara.
- 5.4.4 Variação do vácuo parcial na condição semi aspirada, com o ângulo de convergência do bocal de 20° , em função da vazão mássica, diâmetro de saída da câmara de vácuo e distância da garganta à saída da câmara.
- 5.4.5 Variação do vácuo parcial na condição semi aspirada, com orifício de saída da câmara de vácuo de 6.0 mm, em função da vazão mássica, ângulo de convergência do bocal e distância da garganta à saída da câmara.
- 5.4.6 Variação do vácuo parcial na condição aspirada, com o ângulo de convergência do bocal de 20° , em função da vazão mássica, diâmetro de saída da câmara de vácuo e distância da garganta à saída da câmara.
- 5.4.7 Variação do vácuo parcial na condição aspirada, com orifício de saída da câmara de vácuo de 6.0 mm, em função da vazão mássica, ângulo de convergência do bocal e distância da garganta à saída da câmara.
- 5.7.1 Parâmetros de avaliação dos erros de dosagem com milho em função do nível de vácuo.

5.9.1 Efeito da variação da velocidade do escoamento na tubulação de descarga, na velocidade das sementes de milho em diferentes composições dos desaceleradores.

5.9.2 Efeito da variação da velocidade do escoamento na tubulação de descarga, na velocidade das sementes de soja, no trecho reto e na saída do tubo de descarga.

5.9.2 Efeito da variação da velocidade do escoamento na tubulação de descarga, na velocidade das sementes de trigo.

Lista de Tabelas

- 2.1.1 Características físicas de sementes e parâmetros para projeto de semeadoras.
- 2.1.2 Recomendações técnicas de espaçamentos de sementes entre linhas para o estado de São Paulo.
- 2.1.3 Parâmetros de desempenho de semeadoras a nível de laboratório.
- 2.1.4 Variação do coeficiente de variação da distância entre as sementes em função da velocidade do disco dosador.
- 2.1.5 Variação da porcentagem de espaçamentos aceitáveis entre sementes e estande inicial e final, em função da velocidade de deslocamento de nove semeadoras do mercado nacional.
- 2.2.1 Formulas para a determinação de parâmetros termodinâmicos em um escoamento unidimensional, com calor específico e peso molecular constante.
- 2.3.1 Relações entre $C_a \cdot Re^2$, Re e C_a para corpos esféricos.
- 2.3.2 Parâmetros fluidodinâmicos com grãos e esfera de madeira.
- 2.3.3 Velocidade de transporte de grãos, em função da variação do diâmetro e comprimento de tubos, com fluxo de ar a 25 m/s.
- 2.4.1 Processo de cálculo da análise de variância de um delineamento inteiramente ao acaso.
- 3.2.1 Parâmetros de projeto de um bocal convergente-divergente para condições isentrópicas do escoamento.
- 3.2.2 Propriedades do escoamento unidimensional em um bocal convergente-divergente com adição de massa.
- 3.2.3 Número e distância entre as células de aspiração propostos para o rotor da semeadora Uniflux em função do tipo de semente, rotação e recomendação agrônômica.

- 3.2.4 Variação da velocidade da semente próximo a célula de aspiração (V_c), da força de sucção (F_s) e pressão de sucção (P_s) em função da velocidade do fluido no orifício da célula de aspiração.
- 3.2.5 Variação da força de sucção (F_s) e pressão de sucção (P_s) em função da velocidade periférica do rotor e magnitude de aceleração das sementes.
- 3.2.6 Rotação e velocidade periférica do rotor usadas no estudo.
- 3.2.7 Tempo de passagem entre as células de aspiração em função da rotação do rotor dosador.
- 3.2.8 Velocidade média de transporte de grãos unitários de milho e soja, em m/s, no desacelerador pneumático e cinemático, com e sem contra fluxo de ar.
- 4.4.1 Tratamentos utilizados no estudo para seleção de células de aspiração com milho e soja.
- 4.6.1 Parâmetros considerados para avaliar a velocidade das sementes no trecho reto e na saída da tubulação de descarga.
- 5.2.1 Coeficiente de vazão médio, desvio padrão e coeficiente de variação das duas placas de orifício em estudo.
- 5.2.2 Parâmetros termodinâmicos de entrada na válvula de vácuo.
- 5.5.1 Massa específica e massa real das sementes estudadas.
- 5.5.2 Porcentagem de umidade das sementes estudadas.
- 5.5.3 Dimensões características, diâmetro equivalente e área projetada das sementes estudadas.
- 5.5.4 Características físicas e aerodinâmicas das sementes.
- 5.5.5 Velocidade terminal experimental.
- 5.6.1 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração no número de sementes de milho capturadas por célula.
- 5.6.2 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração, na porcentagem de falhas na captura de sementes de milho pelas células.
- 5.6.3 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração, na porcentagem de células que capturam uma só semente de milho por vez.
- 5.6.4 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração, na porcentagem de células que capturam mais do que uma semente de milho por vez.
- 5.6.5 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração no número de sementes de soja capturadas por célula.

- 5.6.6 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração, na porcentagem de falhas na captura de sementes de soja pelas células.
- 5.6.7 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração, na porcentagem de células que capturam uma só semente de soja por vez.
- 5.6.8 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração, na porcentagem de células que capturam mais do que uma semente de soja por vez.
- 5.7.1 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na frequência de tempos considerados aceitáveis entre sementes de milho.
- 5.7.2 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na frequência de tempos múltiplos entre sementes de milho.
- 5.7.3 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na frequência de tempos falhos entre sementes de milho.
- 5.7.4 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no coeficiente de variação dos tempos entre sementes de milho.
- 5.7.5 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no número de sementes de milho capturadas por orifício das células de aspiração.
- 5.7.6 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no tempo médio de referência entre as células de aspiração.
- 5.7.7 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no tempo entre sementes de milho.
- 5.7.8 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor nos parâmetros de avaliação da uniformidade de distribuição de sementes de milho na saída do tubo de descarga.
- 5.7.9 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na frequência de tempos considerados aceitáveis entre sementes de soja.
- 5.7.10 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na frequência de tempos múltiplos entre sementes de soja.
- 5.7.11 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na frequência de tempos falhos entre sementes de soja.
- 5.7.12 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no coeficiente de variação dos tempos entre sementes de soja.
- 5.7.13 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no número de sementes de soja capturadas por orifício das células de aspiração.
- 5.7.14 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no tempo médio de referência entre as células de aspiração.
- 5.7.15 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no tempo entre sementes de soja.

- 5.7.16 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor nos parâmetros de avaliação da uniformidade de distribuição de sementes de soja no final do trecho reto da tubulação de descarga.
- 5.7.17 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor nos parâmetros de avaliação da uniformidade de distribuição de sementes de soja na saída da tubulação de descarga.
- 5.7.18 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor nos parâmetros de avaliação da uniformidade de distribuição de sementes de trigo no final do trecho reto da tubulação de descarga.
- 5.8.1 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na ocorrência de danos às sementes de milho.
- 5.8.2 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na ocorrência de danos mecânicos às sementes de soja.
- 5.8.3 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo em função do vigor das sementes de soja.
- 5.8.4 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo em função da germinação das sementes de soja.
- 5.9.1 Efeito da variação da velocidade do ar, na velocidade das sementes de milho, no trecho reto e saída do tubo de descarga, em diferentes composições dos desaceleradores.
- 5.9.2 Efeito da variação da velocidade do ar, na velocidade das sementes de soja, no trecho reto e saída do tubo de descarga.
- 5.9.3 Efeito da variação da rotação do dosador na velocidade média das sementes de soja, no trecho reto e saída do tubo de descarga.
- 5.9.4 Efeito da variação da velocidade do ar, na velocidade das sementes de trigo, no trecho reto e saída do tubo de descarga.

NOMENCLATURA

- A = área [m²]
- A^* = área crítica da seção transversal garganta do bocal [m²]
- A_c = área da seção do orifício da célula de aspiração [m²]
- a_p = aceleração da partícula [m/s²]
- A_p = área projetada da partícula [m²]
- a_s = aceleração das sementes [m/s²]
- A_2 = menor área da seção transversal da placa de orifício [m²]
- c = velocidade do som [m/s]
- C = coeficiente de vazão
- C_a = coeficiente de arrasto
- C_D = coeficiente de descarga
- C_l = coeficiente de levante
- D_2 = menor diâmetro da seção transversal da placa de orifício [m]
- D_e = diâmetro equivalente das sementes [m]
- e = energia total por unidade de massa [N.m/kg]
- E_a = imprecisão ou erro absoluto do sistema
- f = coeficiente de atrito entre a semente e a célula de aspiração
- F_a = força de arrasto [N]

- F_{ar} = força de atrito resultante [N]
- F_{at} = força de atrito entre as sementes [N]
- f_{at} = coeficiente de atrito entre as sementes
- F_{Bx} = forças de corpo [N]
- F_c = força centrífuga [N]
- F_e = força de atrito devido ao peso da semente [N]
- F_l = força de levante [N]
- F_r = força resultante [N]
- f_s = coeficiente de atrito entre a semente e o disco dosador
- F_s = força de sucção [N]
- F_{Sx} = forças de superfície [N]
- g = aceleração da gravidade [m/s^2]
- G^* = fluxo volumétrico [m^3/s]
- h = entalpia específica [N.m/kg]
- h_0 = entalpia específica de estagnação [N.m/kg]
- k = razão entre calor específico a pressão e volume constante
- L_1 = comprimento da semente [m]
- L_2 = largura da semente [m]
- L_3 = espessura da semente [m]
- m = massa [kg]
- M = número de Mach
- m_p = massa da partícula [kg]
- m_s = massa das sementes [kg]
- \dot{m} = vazão mássica [kg/s]
- \dot{m}^* = vazão mássica crítica [kg/s]
- \dot{m}_r = vazão mássica real [kg/s]

- \dot{m}_t = vazão mássica teórica [kg/s]
- $N_{R/A}$ = número de plantas recomendadas por área
- $N_{S/A}$ = número de sementes por área
- P = pressão absoluta [N/m²]
- P^* = pressão crítica [N/m²]
- P_0 = pressão de estagnação [N/m²]
- P_a = pressão ambiente [N/m²]
- P_{cf} = fator de correção da pressão
- P_e = peso da semente [N]
- P_g = pressão estática de entrada na placa de orifício [pol Hg]
- P_n = pressão média no orifício da célula de aspiração [N/m²]
- P_s = pressão na saída da câmara de vácuo [N/m²]
- P_s = peso seco de sementes [g]
- P_U = peso úmido de sementes [g]
- Q = vazão volumétrica [m³/s]
- Q_c = vazão volumétrica corrigida [m³/s]
- Q_e = vazão volumétrica de entrada [m³/s]
- Q_m = vazão volumétrica do fluido [pés³/min]
- Q_{PO} = vazão volumétrica corrigida na placa de orifício [pés³/min]
- R = raio do rotor dosador [m]
- r_c = raio do orifício da célula de aspiração [m]
- R_e = número de Reynolds
- s = entropia específica [N.m/kg]
- s_0 = entropia específica de estagnação [N.m/kg]
- t = tempo [s]
- T = temperatura [K]
- T_0 = temperatura de estagnação [K]

- T_{cf} = fator de correção da temperatura
 T_g = temperatura de entrada na placa de orifício [$^{\circ}\text{R}$]
 T_R = tempo médio de referência [s]
 T_S = tempo médio entre sementes [s]
 T_T = tempo total de cada parcela experimental [s]
 u = energia interna específica [N.m/kg]
 v = volume específico [m^3/kg]
 \bar{V} = velocidade média [m/s]
 V_0 = velocidade inicial [m/s]
 V_c = velocidade da semente ao encostar na célula de aspiração [m/s]
 V_d = volume deslocado de água [m^3]
 V_f = velocidade do fluido [m/s]
 V_p = velocidade periférica do rotor [m/s]
 V_t = velocidade terminal [m/s]
 V_x = velocidade do escoamento na direção x [m/s]
 x = distância da semente à célula de aspiração [m]
 X_{ref} = distância de referência entre sementes ou grupo de sementes definida a partir da recomendação agrônômica [m]
 w = velocidade angular [rad/s]
 W = força peso [N]
 \dot{W}_s = trabalho de eixo por unidade de tempo [N.m/s]
 $\dot{W}_{\text{tangencial}}$ = trabalho por unidade de tempo realizado por forças que atuam tangencialmente [N.m/s]
 \dot{W}_{outros} = outros tipos de trabalho por unidade de tempo [N.m/s]
 z = distância entre cotas [m]
 β = razão entre diâmetros no medidor de vazão
 χ_i = intervalo entre sementes [m]

- ΔP = diferencial de pressão [N/m²]
- Δ_{u_i} = imprecisão de cada variável independente
- δ = peso específico [N/m³]
- ε = fator de expansão dos gases
- μ_f = viscosidade do fluido [N.s/m²]
- θ = ângulo de inclinação do duto [graus]
- ρ = massa específica [kg/m³]
- ρ_a = massa específica do ar [kg/m³]
- ρ_f = massa específica do fluido [kg/m³]
- ρ_0 = massa específica de estagnação [kg/m³]
- ρ_p = massa específica da partícula [kg/m³]
- ρ_r = massa específica real [kg/m³]
- ρ^* = massa específica crítica [kg/m³]
- \mathfrak{R} = constante universal dos gases [J/kg.K]
- %G = porcentagem de germinação [%]
- %P = porcentagem de pureza [%]
- %S = porcentagem de sobrevivência [%]
- CV = coeficiente de variação [%]
- FA = frequência de intervalos de tempos aceitáveis entre sementes [%]
- FF = frequência de intervalos de tempos entre sementes considerados falhos [%]
- FM = frequência de intervalos de tempos entre sementes considerados múltiplos [%]
- NA = número de intervalos de tempos entre sementes considerados aceitáveis
- NC = número de células em uma parcela experimental disponíveis para a captura de sementes
- NE_c = NC - 1
- NE_s = NS - 1
- NF = número de intervalos de tempos entre sementes considerados com falhas

- NM* = número de intervalos de tempos entre sementes considerados múltiplos
- NP* = número de pulsos elétricos acusados na passagem de sementes pelo sensor ótico
- NS* = número de sementes em uma parcela experimental
- SC* = superfície de controle
- S/C* = número de sementes capturadas por célula de aspiração
- TA* = intervalo de tempo entre sementes considerado aceitável, visando a uniformidade de distribuição
- TF* = intervalo de tempo entre sementes que caracteriza a ocorrência de falhas
- TM* = intervalo de tempo entre sementes que caracteriza a ocorrência de sementes múltiplas
- VC* = volume de controle

Resumo

CASÃO JUNIOR, Ruy, *Desenvolvimento de sistema pneumático de dosagem e transporte de sementes*, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. 1996. 191 p. Tese (Doutorado)

A distribuição longitudinal apropriada de sementes, com baixa ocorrência de danos, no sulco de semeadura, é um fator de competitividade entre as indústrias de implementos agrícolas, assim como, requisito para o aumento da produtividade das culturas. Não menos importante, é a semeadura em precisão e em fluxo contínuo, realizada somente por um equipamento, constituindo-se como demanda real dos produtores, visando a redução de despesas. Com intuito de contribuir na solução dessas necessidades, desenvolveu-se a nível de laboratório, um sistema pneumático de dosagem e transporte de sementes em precisão, que poderá ser adaptado para o uso em fluxo contínuo. Este sistema é constituído por uma válvula conversora de pressão em vácuo, um sistema de dosagem pneumático, acoplado ao transporte das sementes até a saída da tubulação de descarga, liberando-as a velocidade igual e em sentido contrário da semeadora, procurando com isso, evitar os erros de dosagem e deposição. O estudo de distribuição de sementes foi realizado usando-se sensores óticos, determinando-se a uniformidade do tempo de passagem entre elas. Inicialmente desenvolveu-se uma válvula de vácuo para a alimentação do sistema de dosagem e transporte. Posteriormente, a avaliação deu-se com o estudo da seleção das células de aspiração, seguido pelo desempenho do sistema conjugado de dosagem e transporte de sementes, em função da variação da rotação do rotor dosador e nível de vácuo. Dos resultados obtidos, observou-se a possibilidade de capturar e transportar pneumaticamente sementes com diferentes características, como é o caso do milho, da soja e do trigo. Os resultados indicaram que as células de aspiração devem ser construídas com material flexível, para evitar entrada de ar, selecionando-se diâmetros dos orifícios de 4.4,

3.3 e 1.5 mm para milho, soja e trigo respectivamente. O sistema de distribuição de sementes apresentou resultados de até 78.3% de tempos aceitáveis entre sementes de milho, 88.4% com soja e 58.4% com trigo, havendo efeito significativo com a variação da rotação e nível de vácuo. No estudo feito na saída da tubulação de descarga, observou-se a redução da uniformidade obtida no dosador, principalmente pela presença do desacelerador cinemático em espiral. Sendo que, os melhores resultados conseguidos com milho e soja, foram de 65.9% e 66.6% respectivamente. A ocorrência média de danos em milho foi de 0.2%, e em soja de 3.2%. O estudo da velocidade das sementes na tubulação de descarga mostrou a importância de se atingir a velocidade terminal, para a manutenção da uniformidade da distância entre elas. O uso dos desaceleradores, por sua vez, permitiu a redução da velocidade à níveis compatíveis ao da semeadora. Conclui-se que é possível usar o princípio pneumático para dosagem e transporte de sementes, mantendo-se a uniformidade de distribuição, sendo necessário aprofundar estudos com o uso de desaceleradores, a introdução de sistema eficiente de raspagem de sementes junto ao dosador e avaliação do equipamento construído em tamanho definitivo, com fluxo de sementes compatível as condições de campo.

Abstract

CASÃO JUNIOR, Ruy, *Desenvolvimento de sistema pneumático de dosagem e transporte de sementes*, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. 1996. 191 p. (Doutorado).

A low damage and appropriated linear seed distribution in sowing furrow is a competing factor for agricultural machinery and a requisite for increasing crop yield. Not less important is the cost reduction coming from a single device doing both precision drilling and planting. In attempt to contribute to solve such a problem, a precision pneumatic metering and transport system for seeds was developed. This system can be adapted for continuous flow. It includes a valve for conversion of pressure to vacuum and a pneumatic metering system coupled to a seed transport device to an outlet tube. The system was built to release the seed in at the same speed but in opposite direction to seeder motion. This would allow precise on seed metering and ground deposition. Seed distribution was assessed using optical sensors by determining the time between released seeds. Initially, a vacuum valve for implementation of the metering and transport system was constructed. Then, suction cells were selected for different crops, followed by the evaluation of the combined metering-transport seed system for several rotation and vacuum levels. The system showed the capability to capture and transport seeds with different characteristics, such as maize, soybeans and wheat. The results indicated also that suction cells should be constructed using a flexible material in order to avoid air linkage. The appropriate diameters are 4.4, 3.3 and 1.5 for maize, soybeans and wheat, respectively. The system performed up to 78.3% of accepted time of seed distribution for

maize, 88.4% for soybeans, and 58.4% for wheat. A significant effect due to variation of vacuum was observed. A reduction in the metering uniformity was observed, in an evaluation on the outlet tube, mostly due to presence of a kinematic spiral acceleration detainment device. As a result, the highest values obtained for maize and soybeans were 65.0% and 66.6%, respectively. The mean seed damage for maize was 0.2% and 3.2% for soybeans equal. Terminal velocity of seeds in outlet tube is required to achieve the best uniformity on seed distribution. The acceleration detainment device helped to reduce seed velocity to near to seeder speed. As a conclusion, the pneumatic principle is suitable for seed metering and transport, allowing good uniformities of distribution. There is a need of further studies on the acceleration detainment devices and cleaning systems in the metering apparatus. The system should be also evaluated using a real scale prototype with compatible seed flux in field conditions.

Capítulo 1

1. Introdução

A distribuição apropriada de sementes no solo, mantendo uniformidade entre a distância longitudinal das mesmas, sempre foi um dos mais importantes parâmetros para o aperfeiçoamento das semeadoras, visando a otimização da produtividade das culturas.

A ocorrência de falhas ou acúmulo de sementes na linha de semeadura pode promover redução na produtividade, deficiência no aproveitamento da fertilidade do solo, aumento da ocorrência de infestantes, acamamento das plantas, maior dificuldade nas práticas culturais subsequentes e perdas na colheita. Conduz, também, à irregularidade da cobertura vegetal colhida sobre o solo, expondo o mesmo a erosão.

Em levantamentos diagnósticos realizados no estado do Paraná, segundo CAVIGLIONE *et al* (1991a, 1991b, 1991c, 1991d, 1991e), identificou-se problemas de danos e má distribuição de sementes por 14,2% e 9,4% dos produtores de soja e trigo do norte e oeste do Estado. Para pequenos produtores de milho e feijão os problemas de danos e má distribuição foi de 6,4% para os da região central, de 41,4% para os do sudoeste e de 13,8% para os do nordeste do Paraná.

Apesar de não se constituir hoje em uma das maiores exigências desses produtores na operação de implantação de culturas, a boa distribuição de sementes, sem danificações, é um dos pontos essenciais na manutenção da competitividade das semeadoras.

As indústrias de implementos agrícolas, apesar do distanciamento de seus produtos em relação ao padrão tecnológico internacional, afirmado por COUTINHO *et al* (1994), tem nas semeadoras pneumáticas e nas de plantio direto, o melhor nível entre os implementos nacionais, atribuindo-se a isso, a integração entre as indústrias e instituições de pesquisa, assim como, a demanda dos produtores para implantação correta das culturas.

KURACHI *et al* (1993), em estudo com diferentes mecanismos dosadores de sementes, evidencia o uso do sistema pneumático na redução dos danos às sementes. CHINNAN *et al* (1975), afirma que a má distribuição longitudinal de sementes na linha de semeadura, são oriundos de dois tipos de erros, os de dosagem e deposição. O erro de dosagem é resultante da captura múltipla ou nula de sementes pelas células do elemento dosador. Já o erro de deposição é resultante de variações na trajetória da semente, desde sua liberação do dosador, até atingir o solo pelo rolamento e ricocheteamento da semente no tubo de descarga, assim como, após seu impacto com o solo.

Muitas vezes o desempenho conquistado na unidade dosadora é perdido na tubulação de descarga, acarretando desuniformidade. Para reduzir este efeito as semeadoras de precisão posicionam os sistemas de dosagem o mais próximo possível do solo. Com isto, o dosador é montado sobre cada carrinho da semeadora, impedindo o uso de culturas com espaçamento inferiores a 35 cm. Este fato impede que uma semeadora com um único tipo de dispositivo dosador atenda as necessidades dos cereais produzidos no país, exigindo do produtor a aquisição de dois equipamentos, ou um que troque o conjunto do mecanismo dosador. Este fator é importante, pois, as dificuldades de viabilização econômica da agricultura são evidentes no Brasil, onde a idade média das máquinas e implementos agrícolas gira em torno de 10 anos (CASÃO JUNIOR *et al* 1991).

Com o objetivo de evitar erros, MONTEIRO (1989) desenvolveu um protótipo de semeadora pneumática que lança sementes do dosador bem próximo do solo, em velocidade semelhante e em sentido contrário ao deslocamento do implemento, com o objetivo das mesmas atingirem o terreno a velocidade praticamente igual a zero. Com isso, conseguiu minimizar os erros de dosagem e deposição.

PORTELLA (1991), estudando o transporte unitário de grãos em tubulações de pequeno diâmetro, chegou a levantar parâmetros importantes para a redução dos erros de deposição.

Conseguiu transportar pneumaticamente mantendo certa uniformidade da velocidade dos grãos na tubulação e liberando-os à velocidade compatível ao deslocamento da máquina.

Após este estudo, PALLEROSI e PORTELLA (1992) apresentaram proposta de desenvolvimento de uma semeadora pneumática eletrônica, cujo processo de transporte de sementes do sistema de distribuição ao solo é realizado com fluxo forçado de ar. Desta forma, este trabalho de tese insere-se num contexto maior de desenvolvimento da semeadora denominada Uniflux, no qual será projetado, desenvolvido e avaliado, a nível de laboratório, um sistema de dosagem de sementes em precisão, podendo ser adaptado para semeadura em fluxo contínuo, conjugado ao transporte pneumático das mesmas.

A viabilidade do sistema permitirá o dimensionamento posterior da unidade de dosagem e transporte de sementes do protótipo da semeadora Uniflux.

Este estudo fundamenta-se na hipótese da existência de conhecimentos científicos que permitam o uso de componentes pneumáticos para a captura e transporte de materiais, possibilitando, assim, desenvolver um sistema pneumático conjugado de dosagem e transporte de sementes para ser utilizado apropriadamente em uma semeadora de precisão e fluxo contínuo.

Para verificar a hipótese, estabeleceu-se um conjunto de objetivos citados abaixo:

- a) Projeto, desenvolvimento e avaliação de uma válvula de vácuo, por conversão de pressão em vácuo, visando a captura de sementes por aspiração, no sistema de dosagem, e vazão do escoamento em regime permanente, necessária ao transporte das mesmas.
- b) Projeto e desenvolvimento de um sistema pneumático de dosagem e transporte de sementes, visando a colocação uniforme das mesmas no solo, permitindo a semeadura com espaçamentos estreitos entre linhas e a distribuição em precisão de sementes com diferentes características.
- c) Avaliação do desempenho do sistema pneumático de dosagem e transporte de sementes visando a manutenção da uniformidade de distribuição longitudinal de sementes.

Capítulo 2

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MECANISMOS DOSADORES DE SEMENTES.

2.1.1 Considerações gerais.

Segundo BERNACKI *et al* (1972), a idéia de semear mecanicamente data da antigüidade. Crônicas Persas e Hindus, falam do uso desses equipamentos. Historiadores contam que os romanos semeavam com o mesmo cuidado que treinavam suas tropas (BREECE *et al*, 1975). Na Europa, a semeadura era realizada manualmente até o final do século XVII, quando a idéia espalhou-se para praticamente todos os países.

A primeira semeadora desenvolvida na Europa, foi em 1636, por Joseph Locateli de Corinto. Denominada de "semeadore" pelo seu criador. Possuía conchas rotativas que pegavam as sementes num depósito cilíndrico e conduziam-nas por tubos até o solo (BERNACKI *et al*, 1972).

Em 1785, James Cook desenvolveu uma semeadora que tem sobrevivido até nossos dias, sendo na época extremamente utilizada na Inglaterra (BERNACKI *et al*, 1972).

A partir de 1879, 53% da semeadura de trigo nos Estados Unidos era realizada com semeadoras. Posteriormente, surgiram inúmeras semeadoras no mercado mundial, apropriadas para diferentes culturas, tais como as semeadoras pneumáticas cuja utilização em larga escala iniciou-se em 1974 (BALASTREIRE, 1987).

PORTELLA (1991) cita, por sua vez, que os primeiros modelos de semeadoras pneumáticas foram desenvolvidas a partir dos anos 60, derivados do protótipo original desenvolvido pela BECKER, na Alemanha. Como é o caso da semeadora FAUSE MINIAIR, também Alemã.

Surgiram na Itália as semeadoras GASPARDO e CALIGNANI, e na França a NODET-GOUGIS e MONOSEM. Nos Estados Unidos, a aceitação foi principalmente para as culturas de milho, soja e girassol, cujos modelos mais conhecidos eram a ALLIS-CHALMERS INTERNATIONAL, WHITE e JOHN DEERE.

No Brasil a primeira a surgir foi a semeadora TURBO-MAX, pelos irmãos Thonnings e Cia Ltda, em Carazinho, no Rio Grande do Sul, a qual possuía discos pressurizados, muito semelhante à WHITE ou JOHN DEERE. Posteriormente os fabricantes Jumil, Marchezan, Baldan e Semeato com a EXATA, SUPREMA, SOLOMATIC e PAR-TURBO respectivamente, ofereceram ao mercado, modelos de semeadoras pneumáticas com disco por sucção.

Além das semeadoras pneumáticas, tem surgido no mercado nacional semeadoras de precisão e fluxo contínuo conjuntamente. Bastando efetuar a troca de um Kit apropriado para cada caso. Como exemplos, podem ser citadas as semeadoras da Semeato, modelos SHM 13, 15 e 17, da Fankhauser 3011, 3013, 3015, 3019 e MST-A, da Lavrale versão SD-819 e da Imasa modelo MP 2000, MP 1600 e MP 1000. Todas, com exceção das semeadoras da Imasa, usam como dosadores, rotores acanelados para distribuição em fluxo contínuo e discos perfurados horizontais para a distribuição em precisão. As da Imasa usam somente discos horizontais, mas com 1 ou 2 platôs para raspagem e ejeção das sementes, correspondendo a distribuição em precisão e fluxo contínuo respectivamente.

Segundo BREECE *et al* (1975) e KEPNER *et al* (1978), para a realização da semeadura de grãos, o equipamento deve cumprir as etapas seguintes:

- a) Efetuar a abertura de um sulco no solo.
- b) Promover a dosagem apropriada de sementes.
- c) Colocar à distâncias uniformes e profundidade adequada as sementes no sulco de semeadura.
- d) Cobrir as sementes com solo.

e) Compactar o solo junto a semente, permitindo maior contato entre ambos, no sentido de facilitar a absorção de umidade.

Com a prática do plantio direto passou a ser essencial o corte da vegetação exposta na superfície do solo, antes da abertura do sulco inicial.

A distância entre as sementes na linha, individualmente ou em grupos, juntamente com a profundidade de semeadura, depende de vários fatores, como por exemplo: o tipo e a variedade das culturas; o tipo de solo e sua fertilidade; o preparo do solo e as condições ambientais. Por esta razão, BERNACKI *et al* (1972) afirma que a distribuição mecânica e o espaçamento entre as sementes por meio de semeadoras, não se constitui, isoladamente, em fator decisivo para a boa produção mas, ao contrário, representa um pré-requisito.

A grande maioria das semeadoras depositam as sementes em fileiras, dependendo do tipo das sementes, da densidade e do espaçamento entre as linhas. Quanto a forma de distribuição, destacam-se as semeadoras de precisão e em fluxo contínuo.

As semeadoras de precisão, segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994), são máquinas que distribuem sementes uma a uma ou em grupos, enterrando-as em sulcos, a distâncias regulares, segundo a densidade de semeadura pré-estabelecida.

As semeadoras em fluxo contínuo distribuem as sementes em sulcos, mas não uma a uma, apresentando variações no número e posição das sementes (BALASTREIRE, 1987). São mais apropriadas para sementes miúdas com espaçamento muito estreito entre as sementes na linha. A norma NBR 9743 determina inclusive que as sementes sejam avaliadas por seções de 5 cm ao longo do comprimento da linha (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987).

2.1.2 Parâmetros que influem no projeto de mecanismos dosadores.

2.1.2.a Características das sementes.

As sementes das culturas, independentemente da família botânica a que pertencem, variam muito de espécie para espécie. De um modo geral, as sementes das gramíneas são miúdas, com exceção do milho, e a das leguminosas são graúdas (BALASTREIRE, 1987).

Isto dificulta sobremaneira no projeto dos dispositivos dosadores exigindo, na maioria das vezes, muitos componentes alternativos para regulagens, quando não, semeadoras diferentes. Como são as de precisão e fluxo contínuo.

BERNACKI *et al* (1972) apresenta parâmetros de sementes de algumas culturas que podem ser observados na tabela 2.1.1.

Um dos requisitos para dosagem de sementes é que estas tenham uniformidade quanto ao tamanho e forma, principalmente para o caso dos dosadores mecânicos. Nestes casos, quando as sementes forem miúdas, pode ocorrer que mais de uma se aloje em cada célula e quando graúdas, podem permanecer expostas e serem danificadas pelo dispositivo raspador.

Outra característica das sementes está associado ao seu poder germinativo. No milho, a emergência das plantas no campo, variam de 80 a 90%. Sementes de hortaliças e de algodão, por exemplo, devido a suscetibilidade do ataque de pragas, doenças e condições de manejo, necessitam de maior quantidade na semeadura para posterior arranquio manual.

Tabela 2.1.1 Características físicas de sementes e parâmetros para projeto de semeadoras.

Tipo de semente	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso de 1000 sementes (g)	Densidade aparente (kg/dm ³)	Ângulo de repouso (graus)	Número de grãos por cm ³	Densidade de semeadura (kg/ha)
Trigo	5.0-8.6	1.6-4.6	1.5-3.5	25-50	0.72-0.80	30-38	20	100-200
Centeio	5.0-10.0	1.5-3.5	1.5-3.0	26-50	0.68-0.74	32-36	21	100-180
Cevada	7.0-13.5	2.5-5.0	1.5-3.0	24-48	0.58-0.68	34-40	16	110-160
Aveia	8.5-20.0	2.0-3.5	1.0-2.6	14-34	0.4-0.5	34-43	17-20	140-180
Ervilha	6.6-8.6	5.6-7.9	4.7-7.3	78-560	0.74-0.84	28-34	8-12	120-280
Milho	10.0-20.0	5.0-12.0	2.0-5.0	100-200	0.65-0.75	31	4.3	50-80
Beterraba	6.5-8.5	5.5-8.0	5.0-7.0	15-30	0.65	45	5-10	20-30

Fonte: BERNACKI *et al* (1972)

Algumas sementes muito miúdas e irregulares, podem sofrer um processamento com material inerte, como a peletização, dando forma e tamanho apropriado para a distribuição.

Um dos pré-requisitos para que as sementes possam apresentar boa germinação no campo, é que não sejam danificadas ao passar pelos componentes da semeadora.

2.1.2.b Densidade de semeadura e uniformidade de distribuição.

A densidade de plantas é obtida através da conjugação do espaçamento entre fileiras de semeadura e o número de plantas nas fileiras, tendo uma relação direta com o dimensionamento e regulagem dos mecanismos dosadores.

A variação da densidade é função de fatores tais como a cultura, a variedade, a fertilidade do solo, as condições ambientais, etc.. Na cultura de milho, por exemplo, CARNEIRO & GERAGE (1991) apresentam o efeito da produção em função da variação da densidade de semeadura e disponibilidade de água para as plantas figura 2.1.1.

Viana *et al* citado por MANTOVANI *et al* (1992) mostram nas pesquisas, que o estande ideal na colheita de milho para as diversas regiões brasileiras, situa-se entre 40 e 60 mil plantas por hectare, com espaçamentos entre linhas de 0,8 a 1,1 metro.

A tabela 2.1.2 apresenta recomendações do INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (1986) para o estande de algumas culturas típicas do estado de São Paulo.

A população obtida após a semeadura de uma determinada cultura é função da viabilidade, da pureza e da porcentagem de sobrevivência das sementes germinadas até atingir a idade de produção (BALASTREIRE, 1987).

A viabilidade das sementes é indicada através da porcentagem de germinação, normalmente determinada em condições de laboratório.

A pureza nos indica a porcentagem mínima de sementes, no lote a ser semeado, que pertencem a variedade desejada.

Para o estande final permanecer no padrão recomendado agronomicamente deve-se considerar a porcentagem de sobrevivência das sementes germinadas e que emergiram no campo. Vários fatores irão interferir na variação do estande, tais como: os fatores climáticos, ataque de pragas, moléstias, bem como outros fatores como os tratos culturais e práticas de conservação do solo.

Assim, o índice de sobrevivência vem a ser a relação entre o número de plantas que chegaram a produzir e o de plantas que germinaram.

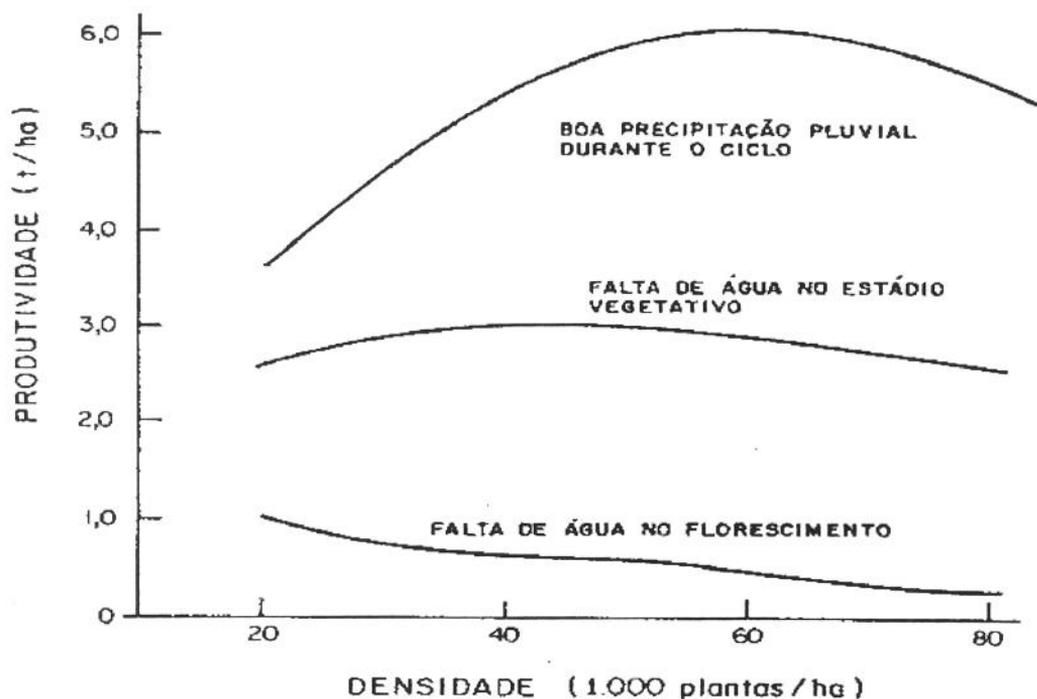


Figura 2.1. 1 Efeito da densidade de semeadura e disponibilidade de água na produção de milho. Fonte: CARNEIRO & GERAGE (1991).

Desta forma, segundo BALASTEIRE (1987), a previsão da quantidade de sementes necessária por unidade de área poderá ser feita da seguinte maneira:

$$N_{S/A} = \frac{N_{R/A}}{\left(\frac{\%G}{100}\right) \cdot \left(\frac{\%S}{100}\right) \cdot \left(\frac{\%P}{100}\right)} \quad 2.1.1$$

Sendo:

$N_{S/A}$ = número de sementes por área

$N_{R/A}$ = número de plantas recomendadas por área

$\%G$ = porcentagem de germinação

$\%S$ = porcentagem de sobrevivência

$\%P$ = porcentagem de pureza

Outro fator a ser ressaltado é a uniformidade de distribuição de sementes na linha de semeadura. Esta deve ser a mais regular possível, evitando falhas ou acúmulo de sementes.

Tabela 2.1. 2 Recomendações técnicas de espaçamento de sementes entre linhas para o estado de São Paulo.

CULTURA	Espaçamento entre linhas (cm)	Espaçamento na linha (sementes/m)
Algodão	70 a 110	5 a 15
Amendoim	60	15 a 20
Arroz	40 a 70	50 a 70
Aveia	20	40
Cevada	17 a 20	40 a 50
Ervilhaca	50 a 70	10 a 15
Feijão	40 a 60	10 a 15
Feijão de porco	50	7
Feijão guandu	50	10 a 15
Milho	100	8 a 9
Mucuna preta	50 a 70	7
Soja	60	16 a 20
Sorgo forrageiro	80 a 100	20
Tremoço	50 a 70	12 a 15
Trigo	20	70 a 80
Triticale	20	70 a 80

TOURINO (1993) cita estudos realizados em diferentes regiões, afirmando que a cultura de soja suporta uma certa variação na densidade de semeadura, sem que o rendimento seja afetado significativamente.

KEPNER *et al* (1978) cita que algumas culturas, como o milho, apresenta um estreito intervalo de população de plantas em que a produtividade é máxima. Ao passo que o algodão e outras culturas de grãos, esta faixa se amplia, sendo importante manter uma densidade mínima de semeadura.

Wanjura, citado por TOURINO (1993), estudando a influência da uniformidade de espaçamentos entre sementes na linha de semeadura de algodão, identificou que as maiores produtividades foram obtidas por tratamentos com coeficientes de variação inferiores a 70%.

Delafosse citado por TOURINO (1993), relata que "a distribuição de sementes no sulco de semeadura possui uma influência direta sobre o rendimento da cultura, seja pela competitividade entre plantas por água, nutrientes, luz ou espaço vital. Estudos realizados mostram que a falta de uniformidade entre plantas pode determinar perdas de 15% ou mais na cultura de milho, 35% ou mais na de girassol e 10% ou mais na de soja".

RIZZARDI *et al* (1994) por sua vez, estudando a desuniformidade de distribuição de milho na linha de semeadura, não obteve diferenças na produtividade e nos componentes de produção, independente dos dois espaçamentos usados (0,7 e 0,9 metros). Concluiu neste estudo que o milho foi capaz de compensar os espaços deixados pela desuniformidade de semeadura, desde que mantida a mesma população de plantas.

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994) padronizou, através do projeto de norma 04 : 015.06 - 004, as formas de coleta de dados em bancadas para avaliação da distribuição longitudinal de semeadoras de precisão. O projeto indica o uso de correia transportadora com o dispositivo dosador estático. As sementes são depositadas na correia com material adesivo ou outro dispositivo que seja capaz de coletar e fixar as sementes, devendo haver 250 sementes por amostra no mínimo e com três repetições.

A análise dos dados deve ser realizada considerando os diferentes intervalos entre as sementes (χ_i) e subdividi-los em classes de frequência correspondente a 1/10 da distância de referência ($0,1 \cdot X_{ref}$).

Entende-se como distância de referência (X_{ref}), a distância entre sementes ou grupos de sementes definida à partir da recomendação agronômica.

Com estes dados deve ser elaborado uma tabela de frequência e esta ser subdividida em três faixas que caracterizam os espaçamentos múltiplos, aceitáveis e falhos.

Os espaçamentos múltiplos, caracterizam a ocorrência de distância entre sementes menores que $0,5 \cdot X_{ref}$. Os aceitáveis encontram-se no intervalo de $0,5$ a $1,5 \cdot X_{ref}$ e os falhos à espaçamentos superiores que $1,5 \cdot X_{ref}$.

O coeficiente de variação deve ser calculado, como indicador da uniformidade de distribuição de sementes.

No caso das semeadoras de fluxo contínuo, a norma NBR-9743 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987) preconiza, também, a coleta das sementes em fita adesiva ou outro dispositivo que fixa as sementes em um espaço percorrido equivalente a 30 metros de uma linha de semeadura, devendo haver três repetições no mínimo.

A contagem das sementes distribuídas é feita dividindo-se a fita em seções de 5 cm ao longo de seu comprimento. A avaliação se dá pela determinação da razão de distribuição, que vem a ser a massa ou número de sementes por unidade de comprimento ou área. Estes parâmetros são comparados com as recomendações agronômicas.

A norma ISO/DIS 7255 - 1 (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, 1983) explica que podem ser utilizados não somente os métodos estáticos, como o da correia transportadora, mas também, outros métodos de medição, tais como, os óticos ou acústicos.

MONTEIRO (1989) afirma que os processos que existem e podem ser utilizados para medir a variabilidade causada pelo sistema dosador são:

- a) Espaçamento entre sementes no sulco, medindo diretamente no campo, ou laboratório.
- b) Tempo entre sementes dentro de tubulações, a partir do ponto de liberação, até o fundo do sulco. Também chamado de tempo de condução.
- c) Tempo entre sementes obtido eletronicamente

2.1.2.c . Armazenamento e alimentação.

As sementes devem estar acondicionadas em um reservatório, de onde são direcionadas ao elemento dosador para individualização. OGLIARI (1990) cita que estes elementos devem apresentar volume adequado, considerando a área a ser semeada e o número de reabastecimentos necessários para cada tipo de cultura.

A forma dos reservatórios deve ser tal que permita uma alimentação contínua ao dosador evitando, assim, bloqueios no fluxo de sementes. BERNACKI *et al* (1972) afirma que o depósito de sementes deve possuir uma inclinação superior ao maior ângulo de repouso das sementes, tabela 2.1.1.

Para não interromper a operação de semeadura deve-se prever métodos de controle do nível de sementes. Em depósitos grandes deve-se colocar uma chapa defletora com a finalidade de redução dos danos às sementes, devido ao peso e atrito das mesmas com o dosador (OGLIARI, 1990).

2.1.2.d Individualização e transporte.

Pode ser considerada a mais importante função do mecanismo dosador de precisão (OGLIARI, 1990), pois, a escolha do tipo do individualizador, sua velocidade periférica, a forma e dimensão das células ou alvéolos de captura influenciam, diretamente, nas características básicas que um dosador deve possuir, ou seja, adequada vazão de descarga, baixo danos às sementes e regularidade de distribuição, minimizando os erros de dosagem, como explicado no capítulo 1.

A individualização e o transporte consistem em capturar as sementes na câmara de alimentação e transportá-las, uma a uma, até a abertura de saída onde serão descarregadas. Podendo ser realizada mecânica ou pneumaticamente. Os mecanismos podem ser do tipo discos, correias ou hastes.

O número de células ou hastes desses elementos está relacionado com o espaçamento entre as sementes na linha de semeadura e com a relação de transmissão entre a roda motora da máquina e o elemento individualizador.

KEPNER *et al* (1978) apresentam os principais requisitos para uma semeadora de precisão com dispositivo distribuidor com células de captura de sementes:

- a) As sementes devem ser uniformes quanto a forma e tamanho, preferencialmente esféricas.
- b) As células devem possuir dimensão apropriada para cada tipo de semente. Os discos e outras partes do dosador devem ser acuradamente construídos.
- c) As sementes devem entrar adequadamente no interior das células. A velocidade dos discos e a distância de exposição das células no alimentador são parâmetros importantes de projeto.
- d) Um bom dispositivo limitador é necessário para evitar o preenchimento das células com mais de uma semente, sem causar danos excessivos.
- e) A descarga de sementes das células deve ser facilitada.
- f) As sementes não devem ser danificadas a ponto de comprometer a germinação.

- g) As sementes devem ser transportadas da unidade dosadora para o fundo do sulco, de tal maneira que a uniformidade do espaçamento entre as sementes promovido pelo dosador seja mantida.

As sementes devem ser depositadas à profundidade apropriada no fundo do sulco, com mínimo ricocheteamento e rolamento.

2.1.2.e Raspagem

O dispositivo raspador ou limitador de sementes, tem a função de fazer com que somente uma semente se aloje junto a célula ou alvéolo. Sua função é eliminar as que estão em excesso. Desta forma, argumenta OGLIARI (1990), mesmo que as dimensões dos alvéolos estejam de acordo com as das sementes, podem ocorrer casos em que duas ou mais sementes pequenas sejam capturadas. Nas semeadoras pneumáticas a forma, o tamanho e o nível de vácuo promovido pela célula de aspiração pode capturar mais do que uma semente.

Vários são os tipos de dispositivos raspadores, existindo os de hastes, rolete, escova ou pela própria ação da força da gravidade, devendo-se tomar o cuidado para que o raspador não promova danos às sementes.

2.1.2.f Ejeção

A semente capturada pelas células ou alvéolos são transportadas até a entrada da região de descarga e aí liberadas. Esta liberação é realizada por dispositivos de ejeção, podendo ser elementos de punção, roletes ou pela força da gravidade.

Com o aumento da velocidade periférica dos dosadores, a ação dos dispositivos de ejeção são mais necessárias, pois, a semente não possui tempo suficiente para sair do alvéolo, ocasionando falhas e sofrendo danificações. Estes elementos também são mais uma fonte de danos às sementes (OGLIARI, 1990).

2.1.2.g Descarga

Após a liberação das sementes do dispositivo de dosagem, elas devem ser conduzidas até o fundo do sulco aberto no solo. As variações de velocidade das sementes promovidas neste trajeto, dão origem aos erros de deposição, citados no capítulo 1.

As semeadoras em fluxo contínuo possuem seus sistemas dosadores localizados de 600 a 800 mm de altura em relação ao solo (BERNACKI *et al*, 1972), devendo atender duas condições:

- a) Acompanhar as ondulações do terreno e a posição na condição de transporte, variando seu comprimento em torno de 220 mm.
- b) Permitir desvio lateral, acompanhando o abridor de sulco.

Essas condições são obtidas através de tubos do tipo espiral, telescópico, de plástico, de borracha lisa ou sanfonada. Estes tubos de descarga não devem em seu movimento apresentar desvio superior a 15° .

BREECE *et al* (1975) afirma que as sementes podem ricochetear no interior do tubo de descarga e, ao saírem, movimentam-se no interior do sulco aberto, prejudicando a uniformidade de distribuição. BUFTON (1978) verificou que 10% das sementes lançadas sobre o solo movimentam-se em relação ao ponto de impacto inicial de 4 mm do alvo, dependendo do ângulo e da velocidade com que são lançadas. Sua posição final pode variar devido ao rolamento e o saltitamento da semente no interior do sulco. Concluiu que o mínimo deslocamento ocorre quando as sementes são lançadas dentro de uma faixa de 75 a 85 graus e a uma velocidade de impacto menor que 1,25 m/s.

MONTEIRO (1989) propõe que a semente deve ser depositada no solo com a componente de velocidade longitudinal igual a zero. Para isso, a mesma deve ser liberada do sistema de descarga à velocidade igual e em sentido contrário ao deslocamento da semeadora. O protótipo, fruto do seu estudo, obteve sucesso sobre este aspecto e boa uniformidade de distribuição na linha. A semente capturada pneumáticamente pelo mecanismo dosador, foi lançada por este diretamente no interior do abre sulco, exigindo que o mesmo fosse do tipo sapata.

WANJURA & HUDSPETH (1968) estudando uma semeadora de algodão mostraram o efeito do diâmetro dos alvéolos dos discos dosadores, assim como, o diâmetro e orientação dos tubos de descarga na distribuição longitudinal das sementes. A menor desuniformidade na distância entre sementes no solo foi obtida quando os tubos distribuidores foram de pequeno comprimento, diâmetro em torno de 20 mm e constituição interna de parede lisa.

BREECE *et al* (1978) classifica os mecanismos de descarga de sementes em queda por gravidade e por acionamento. A descarga por gravidade é mais simples mas causa maior desuniformidade, prejudicando ainda mais os erros de dosagem promovidos pelo sistema dosador. Neste sistema a altura de queda deve ser a menor possível para reduzir os erros de deposição (OGLIARI, 1990).

CAÑAVATE (1984) apresenta algumas alturas de queda em dosadores de disco vertical, inclinado e horizontal em relação ao plano do terreno figura 2.1.2.

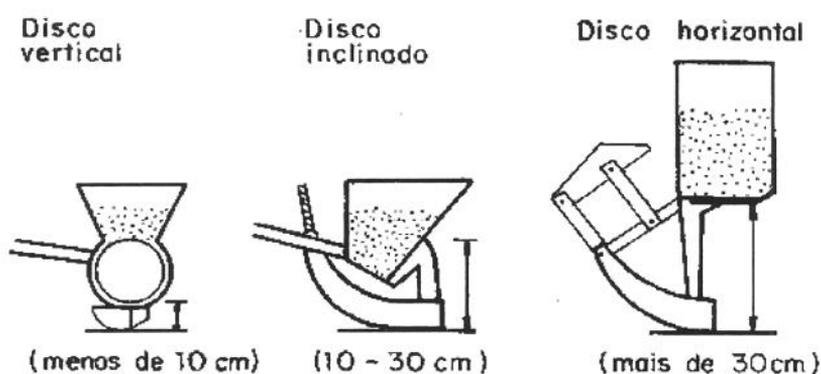


Figura 2.1. 2 Alturas de queda em dosadores de disco vertical, inclinado e horizontal. Fonte: CAÑAVATE (1984).

BREECE *et al* (1978) descreve quatro sistemas de descarga por acionamento:

- a) Queda por correia dentada.
- b) Queda por válvula rotativa.
- c) Queda por corrente.
- d) Queda por fluxo de ar.

O sistema de queda por correia dentada é utilizado juntamente com o sistema dosador do tipo dedos prensores. A correia entrega as sementes a uma distância bem próxima ao solo num pequeno tubo inclinado para trás, no sentido de reduzir o efeito de avanço da semeadora.

O sistema de válvula rotativa é apropriado para a semeadura de sementes agrupadas. Já o sistema de queda por corrente consegue levar a semente do dosador até bem próximo do solo, liberando-a para trás evitando seu rolamento.

O sistema de queda pneumática apresentado por BREECE *et al* (1975), conduz a semente do dosador ao solo, conseguindo diminuir a desuniformidade de distribuição quando o sulco é bem definido e o solo macio, para evitar o rolamento da semente.

BERNACKI *et al* (1972) descreve a semeadora pneumática "Weist", cuja dosagem de sementes é realizada por um rotor acanelado e as sementes são transportadas pneumaticamente até o solo. O fabricante, neste caso, afirma que a regularidade transversal é de 5% entre as linhas. É possível realizar, neste caso, mistura de sementes ou adicionar adubo à semente.

2.1.2.h Danos

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994) cita que a danificação total das sementes pode ser subdividida em danificação física, constituída de danos visíveis e fisiológicos, ou não visíveis, cuja identificação e quantificação exige o emprego de métodos laboratoriais.

Vários são os trabalhos que identificam a ocorrência de danos às sementes ao passarem pelos mecanismos dosadores das semeadoras.

BUTIERRES (1980), estudando três semeadoras com semente de soja, concluiu haver redução no poder germinativo das sementes com reservatórios cheios, melhor desempenho da semeadora de discos horizontais com orifícios oblongos, em relação aos de orifícios redondos e a semeadora com rotor acanelado. A variação da velocidade da semeadora e o tamanho das sementes não promoveram variações na germinação das sementes.

BOLLER *et al* (1991) avaliaram a porcentagem de sementes quebradas e o vigor de soja em laboratório, a porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência em campo de três mecanismos dosadores, submetidos a duas velocidades de deslocamento das semeadoras. Observou o acréscimo da quebra e perda de vigor das sementes com o aumento da velocidade de 6,0 para 9,0 km/h e a não diferença na emergência e índice de velocidade.

TOURINO (1993) estudando o efeito da velocidade tangencial dos discos de distribuição e dos condutores de sementes de soja, concluiu que os danos físicos às sementes

aumentaram com o acréscimo da velocidade tangencial, mas não observou efeitos no poder germinativo das sementes.

MANTOVANI *et al* (1992), estudando nove semeadoras com milho a nível de campo, concluiu que apesar do efeito de máquina ter sido significativo, a qualidade das sementes ficou dentro de limites aceitáveis de germinação e vigor.

KURACHI *et al* (1993) estudando nove semeadoras com milho a nível de laboratório, sendo sete de discos horizontais, uma de disco inclinado e uma pneumática pressurizada, observou a não ocorrência de valores elevados de danos mecânicos nas sementes. Os valores médios referentes aos danos causados pelos três tipos de mecanismos dosadores ensaiados: disco horizontal, inclinada e pneumático, foram respectivamente 2.1, 0.8 e 0.8%, detalhados na tabela 2.1.3.

No caso específico da produção de sementes o investimento é alto, visando a melhor qualidade, trabalhando-se aí com padrões até mais rígidos que os estabelecidos nas normas de produção dos estados brasileiros (DIAS & BARROS, 1995).

O teste de tetrazólio é um método rápido que estima a viabilidade das sementes com base na alteração da coloração dos tecidos vivos em presença de uma solução de sal de tetrazólio. Pode informar a viabilidade das sementes em algumas horas. Com este teste é possível diagnosticar a causa do dano ocorrido às sementes (FRANÇA NETO *et al*, 1988).

Outro teste, muito apropriado para a identificação de injúrias mecânicas nas sementes de milho, é o teste do verde rápido. Estas, em contato com a solução de verde rápido tem as regiões injuriadas coloridas possibilitando a sua identificação (DIAS & BARROS, 1995). Danos no pericarpo das sementes de milho entre 30 e 50% devem ser preocupantes e acima de 50% o produtor deve tomar medidas necessárias para reduzi-los durante a colheita e processamento das sementes.

2.1.3 Sistema de dosagem em fluxo contínuo.

Este sistema, definido no item 2.1.1 é utilizado, normalmente, nas semeadoras para grãos miúdos como o trigo, arroz, cevada, centeio, pastagens, etc.. Caracterizam-se, também, por operar com taxas de alimentação elevadas, com um grande número de sementes por comprimento de sulco, conforme apresentado na tabela 2.1.2.

KEPNER *et al* (1978) e BALASTREIRE (1987) citam, principalmente, os rotores cilíndricos acanelados e os discos alveolados. BERNACKI *et al* (1972) descrevem, principalmente, os rotores cilíndricos que podem ser acanelados retos, helicoidais ou dentados figura 2.1.3.

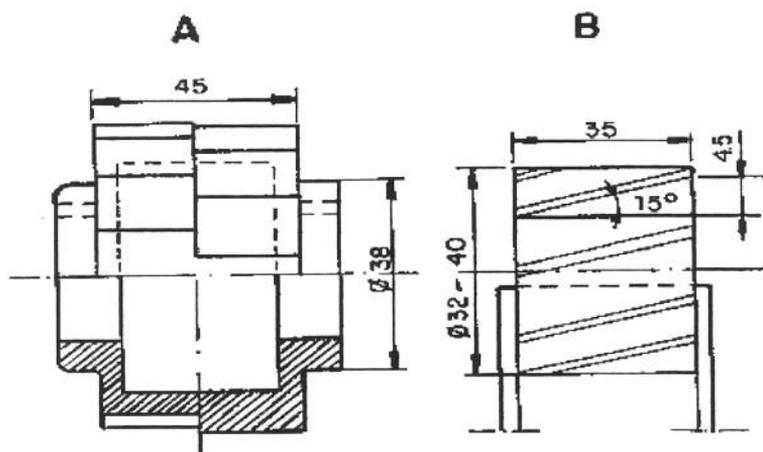


Figura 2.1.3 Rotores cilíndricos a) Dentados e b) Acanelados. Fonte: BERNACKI (1972).

O rotor pode girar nos dois sentidos, horário e anti-horário (figura 2.1.4). No sentido horário as sementes fluem por cima do rotor sendo mais apropriado para sementes maiores, como soja, e as de difícil escorregamento como o arroz. No sentido anti-horário, as sementes passam por baixo do rotor, sendo apropriados, por exemplo, para trigo. Após a saída do rotor, as sementes são despejadas na tubulação de descarga e conduzidas ao solo.

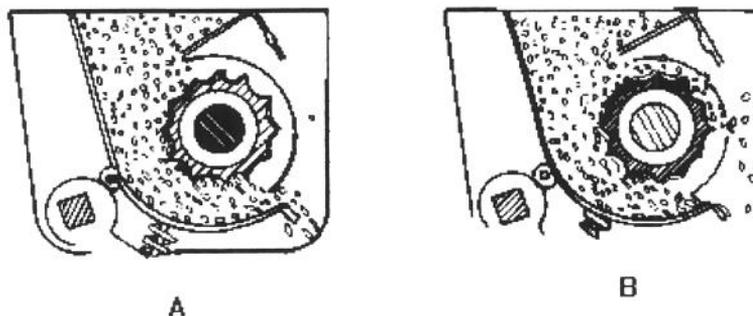


Figura 2.1.4 Rotor acanelado com anti-horário (A) e horário (B). Fonte: DOMINGUES *et al* (1984).

BERNACKI *et al* (1972) citam outros mecanismos que não serão motivo de análise neste trabalho.

2.1.4 Sistema de dosagem em precisão.

2.1.4.a Considerações gerais.

Os dosadores de precisão como definido no item 2.1.1, podem ser subdivididos em mecânicos e pneumáticos. Os pneumáticos, além dos princípios mecânicos, associam-se os efeitos de sucção ou pressurização de ar (OGLIARI, 1990).

Os mecânicos, geralmente, são constituídos de discos, rotores ou correias com alvéolos ou até hastes (dedos prensos), que capturam e transportam as sementes, até uma abertura de saída, onde são liberadas para serem depositadas no solo.

Os pneumáticos constituem-se de discos, tambores e rotores perfurados (células de aspiração) onde atuam os efeitos de pressurização ou sucção do ar. Assim, quando as sementes entram em contato com os orifícios, são capturadas pelo diferencial de pressão criado e transportadas até uma abertura de saída. Neste ponto, o diferencial de pressão é eliminado e as sementes caem em componentes que as conduzem até o solo.

Os dosadores de precisão são, normalmente, empregados para sementes maiores (BALASTREIRE, 1987) como as de milho, soja, feijão, amendoim, algodão e até menores, tal como sorgo, que possam ser individualizadas e distribuídas a espaçamentos não inferiores a 5 cm entre sementes no sulco (BERNACKI, 1972).

Os dosadores serão descritos de acordo com a forma de captura. Os primeiros a serem apresentados são os dosadores cuja captura é realizada através de alvéolos (discos e correias), posteriormente, as que são capturadas por hastes e finalmente a captura pneumática.

2.1.4.b Dosadores de discos.

2.1.4.b.i Discos horizontais.

A maioria das máquinas semeadoras de precisão nacionais, de tração mecânica e animal, utilizam esse sistema de dosagem, descritas por BERNACKI *et al* (1972), BREECE *et al* (1975), KEPNER *et al* (1978), BALASTREIRE (1987) e OGLIARI (1990). A concepção

básica pode ser observada na figura 2.1.5. Aí são apresentados os principais elementos do conjunto.

Possui um depósito de sementes (1), geralmente cilíndrico, suportado por uma base (2). As sementes acomodam-se sobre um disco perfurado (3) posicionado horizontalmente a superfície do solo e com seu eixo vertical ao mesmo, possuindo raio e espessura constantes. Contem alvéolos em uma linha circunferencial ou mais, dispostos em sua superfície e expostos à coluna de sementes.

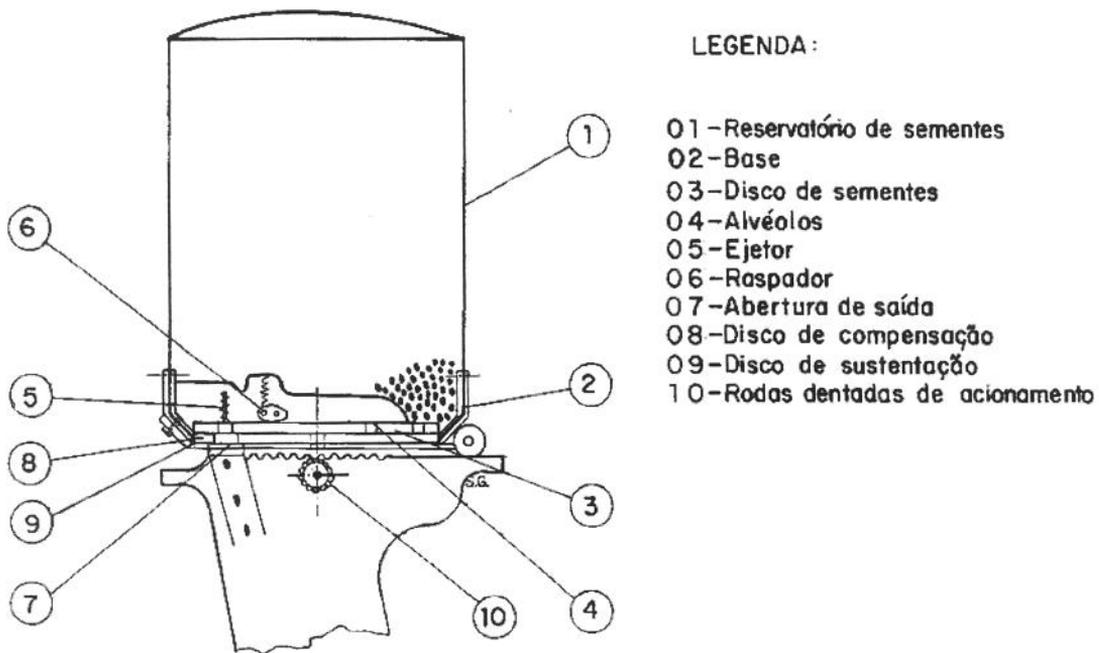


Figura 2.1. 5 Sistema de distribuição com discos horizontais. Fonte: OGLIARI (1990).

Sobre o disco de sementes, existe um platô (4) formando uma câmara com a finalidade de abrigar os elementos raspador e ejetor de sementes. Movimentando-se o disco, as sementes alojam-se no seus alvéolos e são conduzidas até a abertura de saída (7). Durante o percurso, os alvéolos carregados passam pelo elemento raspador, constituído por uma haste forçada contra o disco através de uma mola. Sua função é evitar que o excesso de sementes entre no interior do platô e somente uma semente permaneça em cada alvéolo.

No platô, acima da abertura de saída, encontra-se o elemento ejetor (5) de diferentes formatos, que acionado por uma mola, penetra no interior do alvéolo forçando a saída das

sementes. Na abertura de saída é colocado o tubo de descarga que conduz as sementes no solo.

A figura 2.1.6 mostra em maior detalhe a montagem do sistema dosador, com ênfase ao platô, disco de sementes, disco inferior e base.

2.1.4.b.ii Disco inclinado.

Segundo a descrição de BREECE *et al* (1975), KEPNER *et al* (1978), BALASTREIRE (1987) e OGLIARI (1990) este sistema é constituído por um disco de sementes inclinado em relação a superfície do solo, eliminando com isso o elemento raspador.

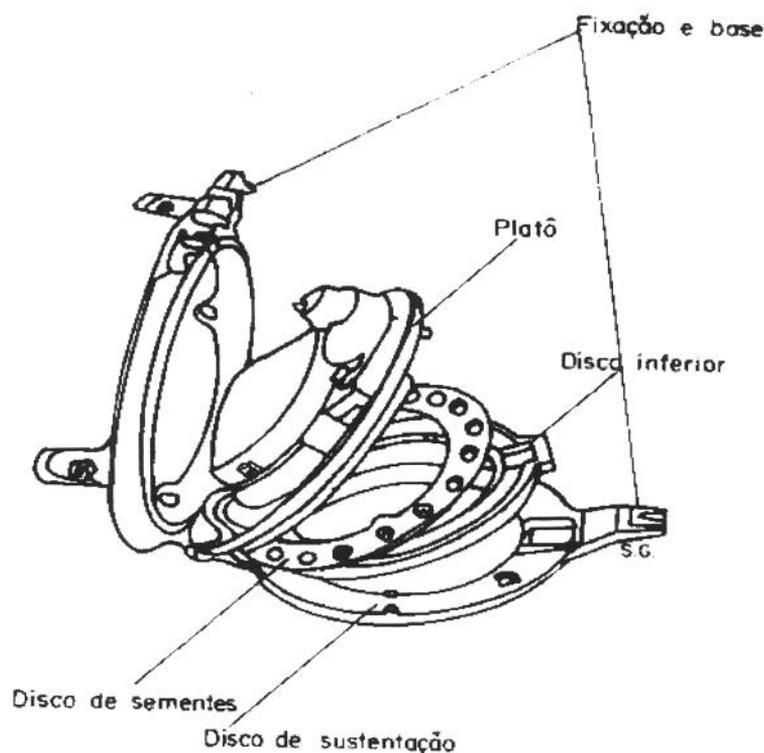


Figura 2.1. 6 Sistema dosador de sementes de discos horizontais em posição de montagem. Fonte OGLIARI (1990).

A concepção básica é apresentada na figura 2.1.7.

As sementes são capturadas pelos alvéolos no fundo do depósito e com o giro do disco são transportadas à parte superior do plano inclinado, onde localiza-se a abertura de saída. Logo abaixo desta, localiza-se o tubo de descarga. Na parte superior localiza-se um elemento

ejetor.. Uma das principais vantagens desse sistema em relação ao de discos horizontais é quanto a redução dos danos às sementes.

Frutal citado por MONTEIRO (1989) trabalhando com este sistema, concluiu que ocorria desuniformidade de distribuição em velocidades mais altas. Nesta condição, os discos não capturavam sementes com regularidade. A inércia do mecanismo ejetor dificulta sua função e quando se aumenta a tensão da mola, aumenta-se também a danificação das sementes. As sementes por sua vez, sendo lançadas inclinadas em relação ao tubo de descarga, executavam uma trajetória em espiral no seu interior, atrasando a queda das mesmas e causando uma desuniformidade em sua distribuição.

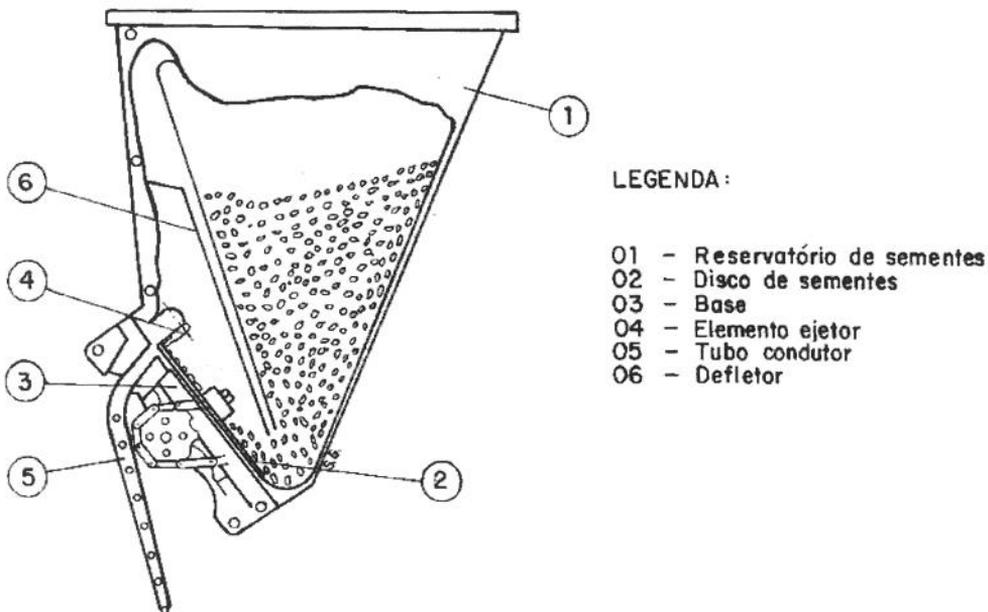


Figura 2.1. 7 Sistema dosador de disco inclinado. Fonte: OGLIARI (1990)

2.1.4.b.iii Disco vertical.

KEPNER *et al* (1978), BALASTREIRE (1987) e OGLIARI (1990) descrevem o sistema constituído por um disco vertical (4), cujo eixo é horizontal ao solo, possuindo alvéolos em sua superfície para individualização e transporte das sementes até o ponto de descarga. Sua concepção básica é apresentada na figura 2.1.8.

As sementes do reservatório (1), são capturadas pelos alvéolos (2) e com o movimento do disco são transportadas até a saída (5), caindo bem próximo do solo. Durante o percurso, os alvéolos carregados passam pelo sistema raspador (3) que elimina o excesso de sementes.

Após o raspador, as sementes ficam encerradas dentro de uma carcaça (7), que impede a queda de sementes durante o percurso, até a parte inferior do mecanismo, onde caem no orifício de saída. Um ejetor é posicionado junto a saída, para garantir a liberação das sementes.

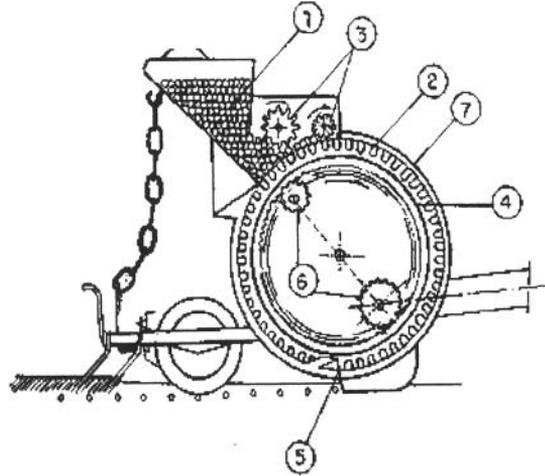


Figura 2.1. 8 Sistema dosador de disco vertical. BALASTREIRE (1987).

2.1.4.c Dosadores de correia.

Descritos por KEPNER *et al* (1978), BALASTREIRE (1987), GAZZOLA (1989) e OGLIARI (1990) caracterizam-se por possuir uma correia plana, que possui alvéolos em sua superfície, com a vantagem da correia se movimentar no sentido contrário deslocamento da semeadora, conseguindo com isso a redução da velocidade relativa das sementes em relação ao solo. Esse efeito diminui o rolamento e ricocheteamento das mesmas no interior do sulco aberto no solo.

Na concepção apresentada na figura 2.1.9 observa-se uma carcaça (1), onde encerra uma correia plana sem-fim (2), que possui uma série de alvéolos (3), dispostos em linha com dimensões apropriadas ao tipo de sementes a ser dosado. A correia movimenta-se sobre a polia acionadora (4), envolvendo as polias esticadora (6) e posicionadora (5), internamente à carcaça.

A alimentação das sementes, a partir do reservatório (7), localizado na parte superior da carcaça, é realizada através de uma abertura lateral (8), de forma que as sementes penetrem no interior de uma câmara onde são capturadas. No ponto de saída, há um rolete raspador (5),

que gira no sentido contrário ao da correia e cuja função é retirar o excesso de sementes que possa ocorrer nos alvéolos.

Na região de captura, em função dos alvéolos serem passantes na correia, há uma superfície deslizante (9) localizada logo abaixo da correia, para evitar a queda das sementes antes da abertura de saída. Após a passagem pela superfície de deslizamento e pelo rolete raspador, os alvéolos liberam as sementes que caem ao solo.

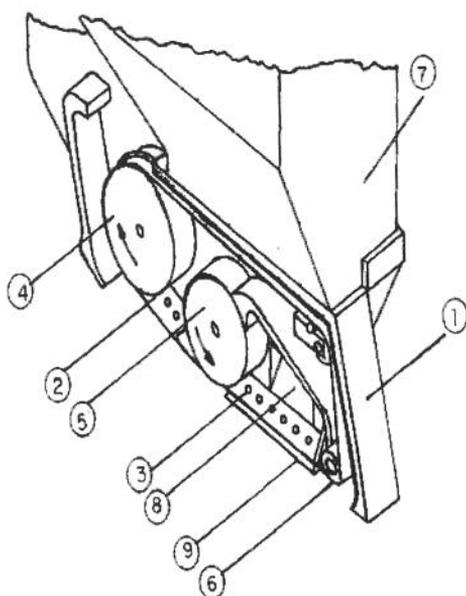


Figura 2.1. 9 Sistema dosador de correia. Fonte: BALSTREIRE (1987)

2.1.4.d Dosadores de hastes.

Este sistema descrito por CERA *et al* (1973), BREECE *et al* (1975), KEPNER *et al* (1978), BALASTREIRE (1987) e OGLIARI (1990) é popularmente chamado de dedos prensores. Foi desenvolvido mais especificamente para a semente de milho, a qual, exige troca frequente dos discos perfurados, em função das variações do tamanho das sementes. Sua concepção é apresentada figura 2.1.10.

As sementes provenientes do depósito são conduzidas a uma câmara junto ao disco (1) provido, em sua superfície de dedos prensores (2), dispostos na extremidade de hastes móveis (3). Estas são radialmente distribuídas no disco. As hastes ligam-se entre si por molas (5) que retêm as sementes junto ao disco.

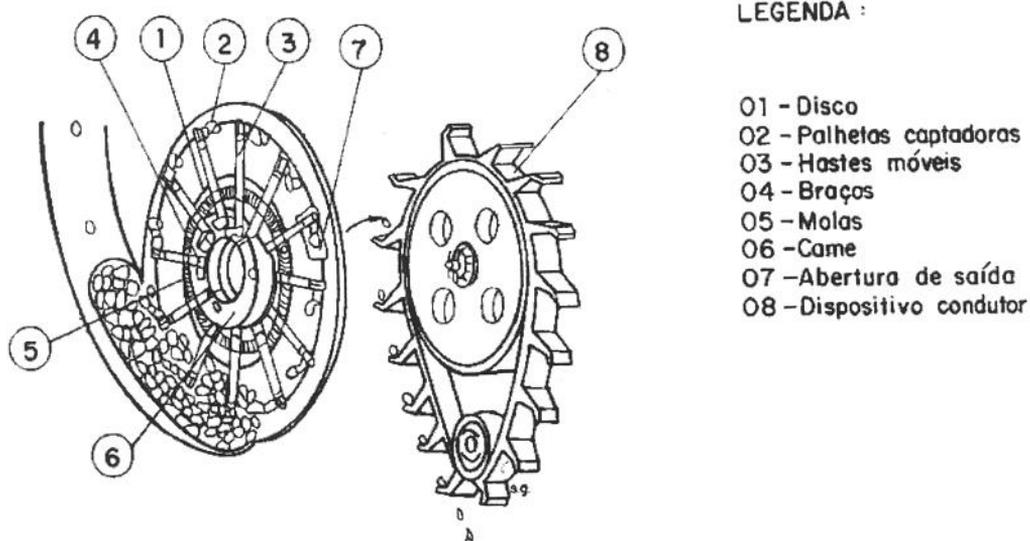


Figura 2.1. 10 Sistema dosador com dedos prensadores. Fonte: OGLIARI (1990).

Na extremidade inferior da haste, próximo ao centro do disco, encontra-se um braço (4) que tem a finalidade de acionar os dedos na região de captação. Quando o disco gira, os braços das hastes passam por um setor interno de um came (6), disposto no centro do disco. De forma que, os dedos aí se afastam da parede do disco, indo em direção a região de captura de sementes. Neste ponto, cessando o efeito do came, os dedos retornam, devido a ação das molas, segurando a semente contra a parede e transportando-as até a parte superior, onde são lançadas, por uma abertura de saída (7), no interior de um dispositivo condutor (8).

O dispositivo é composto por uma correia, estendida por duas polias, que possui vários compartimentos que recebem e conduzem as sementes ao ponto de descarga. Com isso evita o ricocheteamento de sementes no tubo de descarga, assegurando o espaçamento correto entre sementes e permite reduzir a altura de queda das sementes no solo.

2.1.4.e Dosadores pneumáticos.

2.1.4.e.i Pneumáticos por sopro de ar.

Dosador com tambor pressurizado.

Este modelo é descrito por BRAUNBECK (1972), BREECE *et al* (1975), KEPNER *et al* (1978) e OGLIARI (1990). Sua concepção consiste de um dosador único, que distribui sementes simultaneamente em várias linhas de semeadura figura 2.1.11.

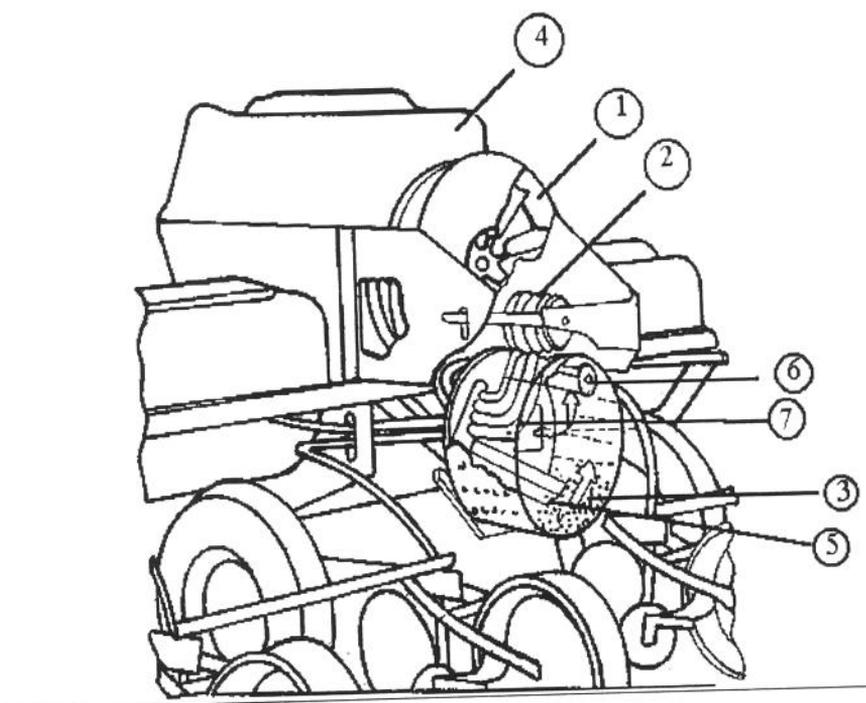


Figura 2.1. 11 Sistema dosador com tambor pressurizado. Fonte: OGLIARI (1990).

Um ventilador (1), acionado pela TDP do trator, fornece uma corrente de ar, no interior do tambor de sementes (3). Este, por sua vez, possui várias linhas de células (orifícios) em sua superfície, onde as sementes se aderem durante o processo de dosagem. Cada linha de orifício alimenta um tubo de descarga, que direciona as sementes dosadas até o solo.

As sementes, provenientes do reservatório (4), ingressam na parte interna do tambor através de um condutor (5). Devido ao fluxo de ar forma-se uma diferença de pressão entre a parte interna e externa do tambor. O ar flui desta maneira através das células até que uma semente o cubra, ficando aderida ao mesmo. A medida que o tambor gira, os orifícios carregados transportam as sementes até a parte superior, passando durante o percurso por um elemento raspador (6), do tipo escova, que elimina o possível excesso de sementes.

Quando os orifícios alcançam a parte superior do tambor, um conjunto de roletes (2), girando sobre a parte externa, obstrui as células cancelando a diferença de pressão, fazendo com que as sementes caiam pelo peso próprio no interior de tubos de descarga (7). Estes tubos condutores estão dispostos logo abaixo dos roletes ejetores, na parte interna do tambor e servem para conduzir as sementes do dosador até o solo. Como o ar escapa pelos tubos de descarga, efetua a condução das sementes ao solo.

Dosador com disco pressurizado.

Segundo as descrições de BREECE *et al* (1975), KEPNER *et al* (1978), BALASTREIRE (1987) o elemento dosador é um disco posicionado verticalmente ao solo com eixo horizontalmente ao mesmo e transversal a direção de deslocamento da máquina. A figura 2.1.12 apresenta sua concepção.

As sementes são conduzidas de um depósito (1) a uma câmara de alimentação (2) oferecendo-as para captura na região inferior do disco dosador (3). Um fluxo de ar, soprando na câmara, faz com que o escoamento flua para o interior dos orifícios (células) do disco (4) e este ao girar passa pela câmara de sementes as quais, se prendem as células por diferencial de pressão. Com isto, são conduzidas para uma região (5) onde é eliminado o diferencial de pressão, liberando as sementes que caem em uma tubulação de descarga.

As principais regulagens estão associadas ao controle de rotação e troca dos discos, com células de dimensão apropriada para cada tipo de sementes, como milho, feijão, beterraba e sorgo (BREECE *et al* 1975 e KEPNER *et al* 1978).

2.1.4.e.ii Pneumáticos por sucção de ar.

Dosador de disco por sucção.

Este sistema foi descrito por BERNACKI *et al* (1972), BARALDI & DE ZANCHE (1972), BREECE *et al* (1975), RUDAKOV *et al* (1978), BALASTREIRE (1987) e OGLIARI (1990). Utiliza um sistema de aspiração que possui a finalidade de capturar as sementes nas células, as quais, devem possuir dimensões inferiores à semente. Segundo SHORT & HUBER (1970) o diâmetro do orifício de sucção obedece uma relação com a área exposta da semente, sendo que, em seu estudo o melhor desempenho foi obtido quando esteve próximo de 40%. A figura 2.1.13 apresenta a concepção do dosador.

PORTELLA (1991) cita que, no final da década de 50, Sweetman desenvolveu uma semeadora de precisão por sucção. Descobriu aí que os fatores que afetaram a captura de mais do que uma semente por célula eram:

- a) Tamanho do orifício de sucção.
- b) Nível de vácuo aplicado.
- c) Tamanho e peso da semente em relação a a) e b).

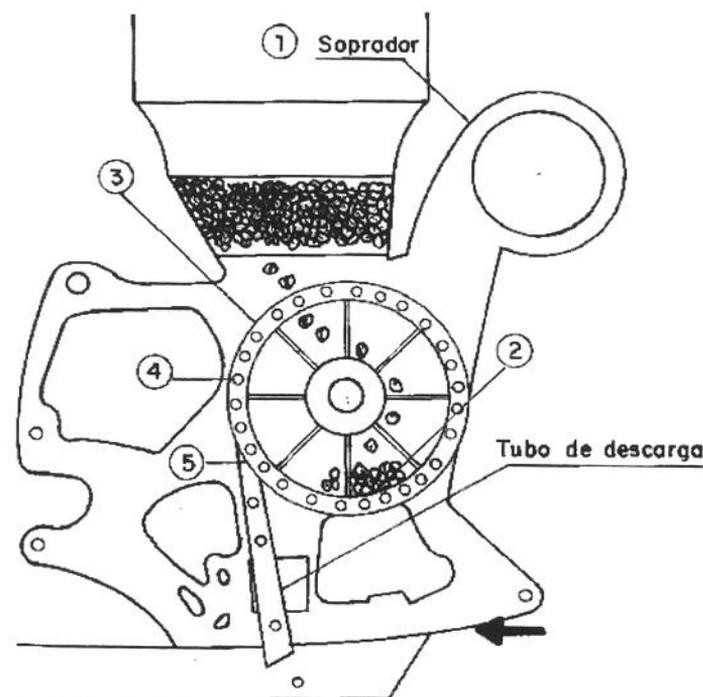


Figura 2.1. 12 Sistema dosador com disco pressurizado. Fonte: BREECE *et al* (1975).

Harmond citado por PORTELLA (1991), observou que para capturar sementes pequenas como couve, cenoura e alface, foi necessário 30 mbar de vácuo parcial e 150 mbar para milho e feijão. GOMES & BALASTREIRE (1989) trabalhando com soja, milho e feijão identificaram a exigência de níveis de vácuo em torno de 31 a 167 mbar com rotações de 20 a 50 rpm. Observaram que com o aumento do vácuo e redução da rotação melhora o preenchimento das células com sementes.

As sementes dirigem-se por gravidade do depósito (1) para a câmara de alimentação (2), posicionando-se na parte inferior do disco de sementes (7), e ficando aí disponíveis para serem capturadas pelas células de sucção (5). Um dispositivo agitador (3) fica conjugado ao disco, movimentando as sementes, para facilitar sua captura.

O disco de sementes é posicionado no sentido vertical, com seu eixo horizontal ao solo e transversal a direção de deslocamento da máquina. Do lado oposto à câmara de alimentação, há um duto (4) disposto na parte externa da carcaça, por onde o ar é aspirado. A sucção é realizada através de um ventilador acionado pela tomada de potência do trator, criando um vácuo parcial no interior da câmara, promovendo a aderência das sementes nas células.

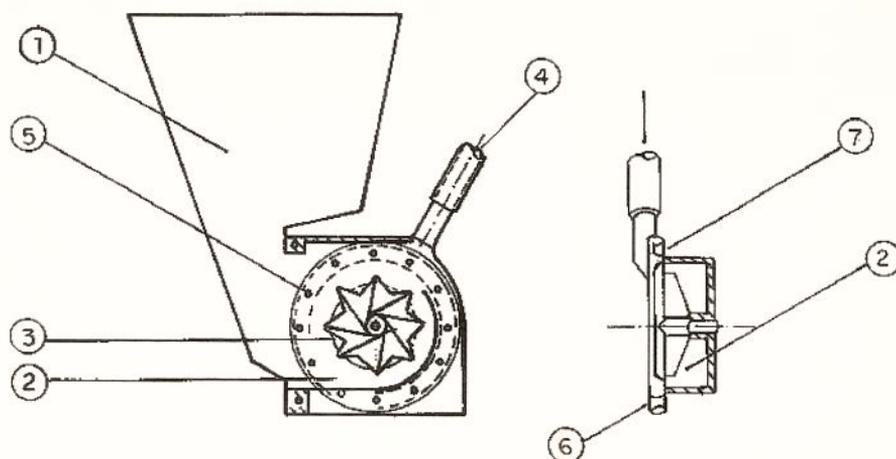


Figura 2.1. 13 Sistema dosador com disco por sucção. Fonte: OGLIARI (1990)

As sementes capturadas nas células giram juntamente com o disco até chegarem na posição de descarga. A figura 2.1.14 apresenta este efeito.

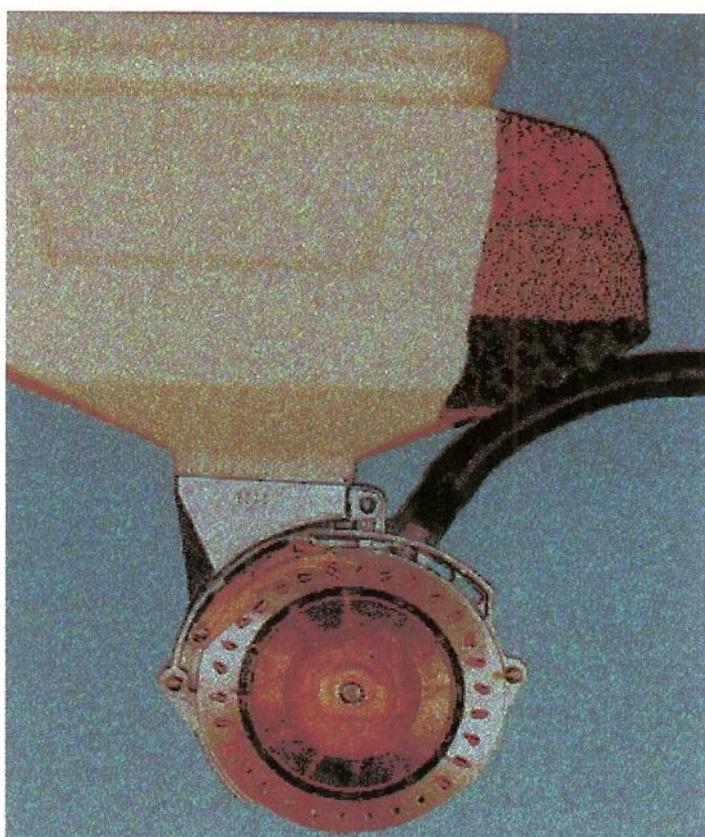


Figura 2.1. 14 Sistema dosador pneumático da semeadora EXATA da marca Jumil. Fonte: catálogo da Jumil.

Neste ponto, as células carregadas deixam a região de vácuo, entrando em contato com uma abertura (6), eliminando o diferencial de pressão. Liberando assim, as sementes para serem conduzidas ao solo por gravidade no tubo de descarga.

Uma das dificuldades desse sistema é que, sementes quebradas e com cantos vivos podem obstruir as células de sucção, causando falhas na dosagem.

Dosador de sucção por tambor.

MONTEIRO (1989) desenvolveu um elemento dosador constituído de um cilindro ôco de alumínio, com 30 cm de diâmetro e 4 cm de espessura. O objetivo desse dosador, como explicado no capítulo 1, era reduzir os erros de dosagem e deposição de sementes.

A figura 2.1.15 mostra a concepção do protótipo, onde o cilindro (1) abriga células de aspiração (2) em sua superfície externa, que capturam as sementes na câmara de alimentação (3).

Como a proposta é lançar a semente à velocidade igual e contrária ao deslocamento da máquina, o cilindro deve girar a alta velocidade. Para isso, foi necessário acoplar um dispositivo acelerador de sementes (4) na câmara de alimentação, que lança as sementes na direção das células, com velocidade semelhante a velocidade periférica do disco.

Um dispositivo raspador (5) é incorporado na parte elevada da câmara de alimentação, visando que somente uma semente permaneça capturada pela célula de aspiração. A semente trafega com a célula durante a rotação do cilindro, e é liberada na posição inferior do mesmo, onde uma roda de aço recoberta de borracha (6), gira internamente ao cilindro dosador, sobre os orifícios dos canais por onde se efetua a sucção das sementes. As sementes aí são liberadas e lançadas com uma componente horizontal de sua velocidade equivalente a do deslocamento da semeadora, caindo no interior de um abridor de sulco do tipo sapata a velocidade praticamente zero.

Com uma proposta parecida a de MONTEIRO, GIANNINI *et al* (1967) construíram uma semeadora a vácuo para pequenas sementes. Em um tambor rotativo, células de pequeno diâmetro capturam as sementes, as quais são previamente aceleradas à velocidade tangencial semelhante à célula, por uma pequena roda no interior de uma câmara de alimentação.

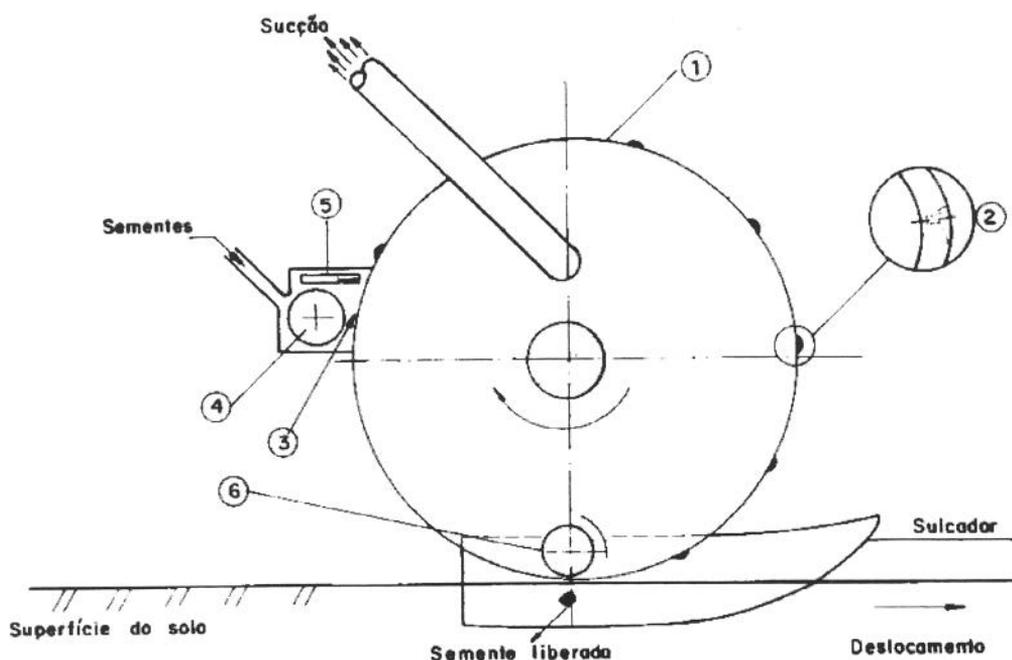


Figura 2.1. 15 Sistema dosador de tambor por sucção. Fonte: MONTEIRO (1989).

Os autores conseguiram redução de 90% na quantidade média de sementes de alface em relação as semeadoras convencionais. Além de que, apenas uma semente por célula foi capturada em 77% durante o estudo realizado.

2.1.4.e.iii Teoria sobre dosadores pneumáticos por sucção de ar.

O fluxo de ar provoca alterações no comportamento aerodinâmico dos corpos imersos na sua trajetória. Segundo MOHSENIN (1965), ocorrem, na superfície do corpo em suspensão, forças de corte que agem tangencialmente e na direção do fluxo, resultando em efeitos friccionais.

Na parte superior do corpo a pressão é inferior a da zona não perturbável do fluxo e, na inferior, ocorre uma pressão superior. A resultante dessas forças (F_r) pode ser decomposta em duas componentes ortogonais, quais sejam, a força de arraste (F_a), e força de levante (F_l). A figura 2.1.16 apresenta este efeito.

As equações das forças de arraste e levante podem ser determinadas com o auxílio da análise dimensional, assumindo que a semente tenha uma área projetada A_p , movendo-se

através de um fluido com massa específica ρ_f , viscosidade μ_f , velocidade V_f e módulo de elasticidade E .

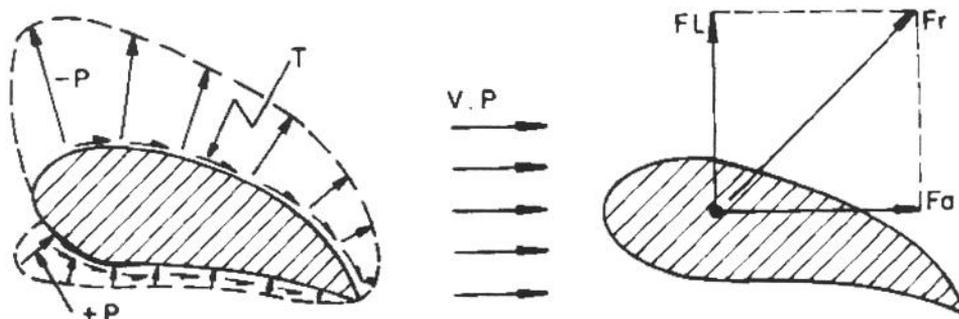


Figura 2.1. 16 Forças atuantes em um corpo suspenso num fluxo de ar. Fonte: MOHSENIN (1965).

$$F_a = f(A_p, \rho_f, \mu_f, E, V_f, C_a) \quad 2.1.2$$

$$F_l = f(A_p, \rho_f, \mu_f, E, V_f, C_l) \quad 2.1.3$$

em que:

C_a = coeficiente de arraste

C_l = coeficiente de levante

Um objeto movimentando-se imerso num fluxo de ar, é livre para assumir posição aleatória (MOHSENIN, 1965). Por essa razão a força resultante F_r , pode ser dada em termos do coeficiente de arraste.

$$F_r = f(A_p, \rho_f, \mu_f, E, V_f, C_a) \quad 2.1.4$$

MOHSENIN (1965) propõe um modelo matemático, o qual, considera as sementes como esferas rígidas de mesmo volume. Cita o autor, que em ensaios realizados com grãos de soja e esferas rígidas de plástico, não encontrou diferenças significativas nos resultados obtidos para o coeficiente de arraste e de levante. A figura 2.1.17 mostra um corpo submetido a uma corrente de ar influenciada pelas forças de arraste e levante.

As forças de arraste e levante podem ser equacionadas segundo MOHSENIN (1965), através da análise dimensional, como:

$$F_a = C_a \cdot A_p \cdot \frac{\rho_f \cdot V_f}{2} \quad 2.1.5$$

$$F_l = C_l \cdot A_p \cdot \frac{\rho_f \cdot V_f}{2} \quad 2.1.6$$

A resultante dessas forças será dada por:

$$F_r = \sqrt{F_a^2 + F_l^2} \quad 2.1.7$$

A força de sucção acelera as sementes a uma determinada velocidade no momento da captura. MONTEIRO (1989) propõe o seguinte equacionamento para a determinação da velocidade da semente no momento da captura.

Considerando-se a origem do movimento da semente localizado a distância x da célula de aspiração e sabendo-se que x a qualquer tempo t de um ponto material móvel que se encontra na origem, quando $t_0 = 0$, é igual a:

$$x = \bar{V} \cdot t \quad \text{ou} \quad x = \frac{(V_0 + V_c) \cdot t}{2} \quad 2.1.8$$

sendo:

\bar{V} = velocidade média da semente (m/s)

V_0 = velocidade inicial (m/s)

V_c = velocidade final (na célula em m/s)

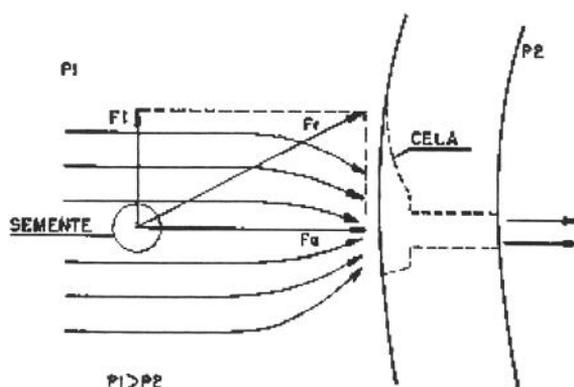


Figura 2.1. 17 Corpo submetido a uma corrente de ar. Fonte: MONTEIRO (1989).

Sabendo-se que:

$$V_c = V_0 + a_s \cdot t \quad 2.1.9$$

a_s = aceleração das sementes (m/s^2)

substituindo-se 2.1.9 em 2.1.8 obtém-se:

$$x = V_0 \cdot t + \frac{a_s \cdot t^2}{2} \quad 2.1.10$$

Substituindo-se o tempo da equação 2.1.9 em 2.1.8, tem-se que:

$$V_c^2 = 2 \cdot a_s \cdot x + V_0^2 \quad 2.1.11$$

Representando a velocidade da semente ao chegar na célula com aceleração constante, para o caso específico em que a semente saiu do repouso ($t = 0$), tem-se pela segunda lei de Newton:

$$a_s = \frac{F_r}{m_s} \quad 2.1.12$$

Como $V_0 = 0$, substituindo a equação 2.1.12 em 2.1.11, obtém-se:

$$V_c^2 = 2 \cdot x \cdot \frac{F_r}{m_s} \quad 2.1.13$$

Considerando que MOHSENIN (1965) propõe que a força resultante (F_r), pode ser expressa em termos somente do coeficiente de arraste (C_a), tem-se que:

$$F_r = F_a = C_a \cdot A_p \cdot \frac{\rho_f \cdot V_f}{2} \quad 2.1.14$$

Assim, é possível a determinação da velocidade da semente ao encostar na célula de aspiração (V_c) com parâmetros que possam ser obtidos experimentalmente ou tabelados.

$$V_c^2 = \frac{x \cdot C_a \cdot A_p \cdot \rho_f \cdot V_f}{m_s} \quad 2.1.15$$

MONTEIRO (1989) analisa a força da semente sobre a célula de aspiração na posição crítica de seu protótipo, que vem a ser o momento de liberação da semente do dosador. Ver figura 2.1.18.

A semente, presa na borda do cilindro dosador, está sujeita a uma força de sucção (F_s) que age na direção do centro da trajetória circular, denominada de força centrípeta. Esta, que atua sobre a semente presa na célula, possui uma componente oposta e normal a superfície do cilindro, fugindo do centro de curvatura, composta pela força centrífuga (F_c) e o peso da semente (P_e). Assim tem-se que:

$$F_s = F_c + P_e \quad 2.1.16$$

como:

$$F_c = \frac{m_s \cdot V_p^2}{R} \quad 2.1.17$$

$$P_e = m_s \cdot g \quad 2.1.18$$

sendo:

V_p = velocidade periférica do rotor (m/s)

R = raio do rotor (m)

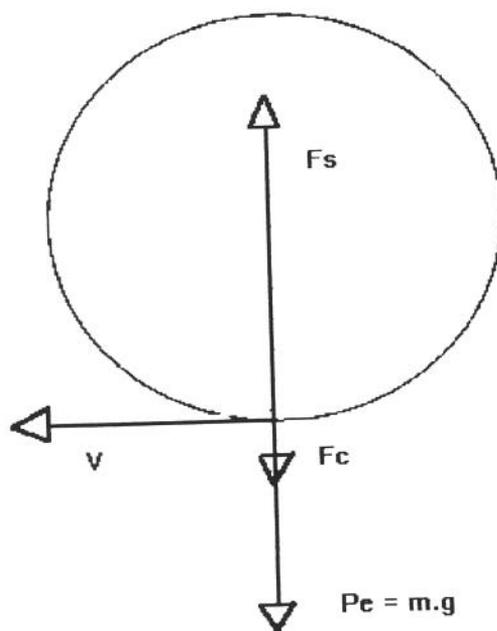


Figura 2.1. 18 Forças atuantes na semente no momento de sua liberação.

Substituindo 2.1.17 e 2.1.18 em 2.1.16 obtém-se:

$$F_s = \frac{m_s \cdot V_p^2}{R} + m_s \cdot g = m_s \left(\frac{V_p^2}{R} + g \right) \quad 2.1.19$$

A pressão para aprisionar as sementes nesta posição, será:

$$P_s = \frac{F_s}{A_c} \quad 2.1.20$$

sendo:

A_c = área do orifício da célula (m^2)

Nas condições de campo, sobre terreno irregular, o sistema de dosagem está sujeito a vibrações, os quais promovem acelerações que, transmitidas às sementes, podem provocar sua liberação da célula em um momento pré-determinado. Huang, citado por MONTEIRO (1989), obteve para tratores em operação de gradagem a velocidade de 6,5 km/h, uma aceleração vertical do chassi de "2.g", que pode ser usado também para a condição de semeadura e o cálculo da força de sucção (F_s). Da equação 2.1.19, obtém-se substituindo-se "g" por "2.g".

BARALDI & DE ZANCHE (1972), analisaram a dinâmica das sementes em um disco de dosagem pneumática como é apresentado na figura 2.1. 19.

Quando a célula de sucção passa pela região da câmara de sementes. Na parte inferior do disco, a sucção deve vencer a inércia da semente parada, para iniciar seu movimento, em função de seu peso próprio e da velocidade do disco dosador.

Assim, as forças que atuam sobre a semente correspondem ao seu peso (P_e), a força centrífuga (F_c) e a resistência ao atrito (F_{at}) que, sobre a semente capturada, exercem as demais sementes da câmara de alimentação. A direção desta última pode ser considerada verticalmente para baixo ou outra, dependendo da posição da semente na sua trajetória dada pela equação:

sendo:

f_{at} = coeficiente de atrito entre as sementes.

P_i = peso das sementes sobre a semente capturada (N)

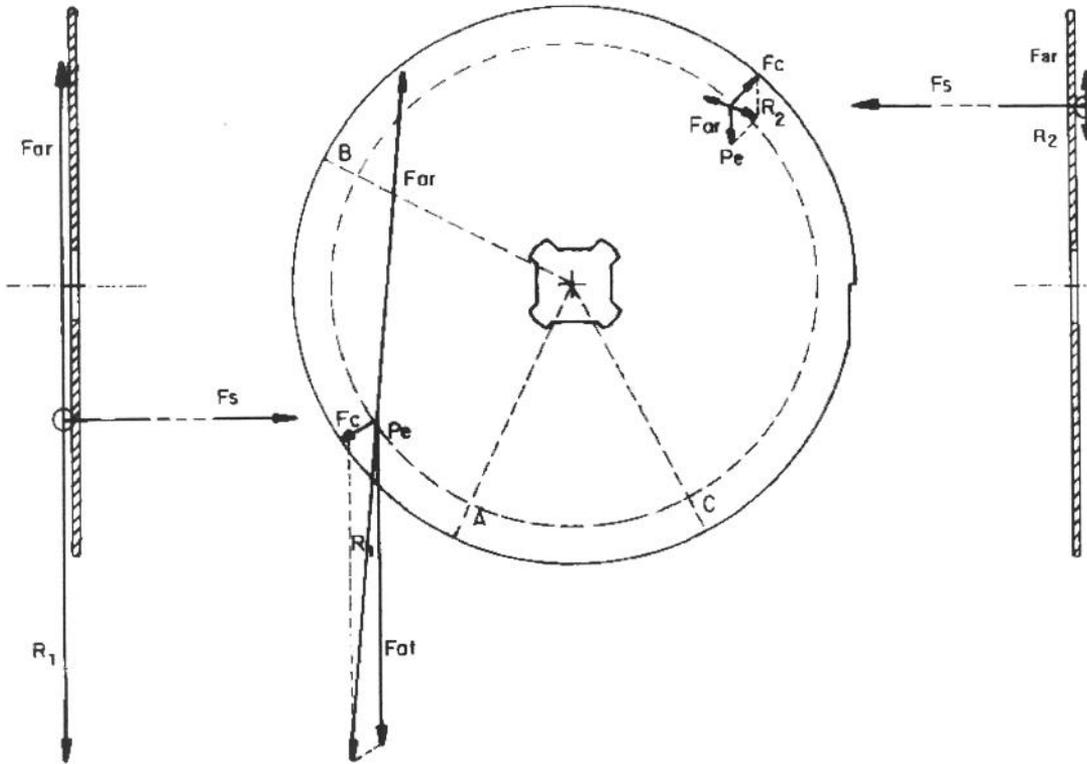


Figura 2.1 19 Dinâmica das sementes em um dosador de disco pneumático por sucção. Fonte: BARALDI & DE ZANCHE (1972).

A força de atrito F_{at} diminuirá durante a trajetória, anulando-se quando a semente capturada sair da câmara de alimentação. A força resultante (R_1) dessas três forças, se opõe a uma força de atrito resultante (F_{ar}) dada por:

$$F_{ar} = f_s \cdot F_s \quad 2.1.21$$

a qual corresponde a força de sucção F_s que o fluxo de ar promove na célula com o coeficiente de atrito entre a semente e o disco (f_s).

$$F_{at} = f_{at} \cdot P_i \quad 2.1.22$$

Na fase de simples transporte da semente, não havendo a força F_{at} , a resistência ao atrito (F_{ar}) deve vencer a força resultante (R_2) composta pelo peso da semente (P_e) e a força centrífuga (F_c), como pode ser visto na Figura 2.1 1. Assim, a pressão de sucção (P_s) nesta condição, segundo BARALDI & DE ZANCHE (1972), fica:

$$P_s \geq \frac{m_s}{f_s \cdot A_c} \cdot (g - w^2 \cdot r) \quad 2.1.23$$

em que:

A_c = área da seção da célula (m^2)

w = velocidade angular do disco (rad/s)

r = raio até o centro de cada célula (m)

SHORT & HUBER (1970) procuraram estabelecer qual seria a altura máxima na qual a célula poderia capturar uma semente e qual a velocidade mínima do ar necessária para segurar uma semente. Supondo que a semente preencha completamente a célula, a equação de equilíbrio da semente será:

$$m_s \cdot g = \pi \cdot r^2 (P_a - P_n) \quad 2.1.24$$

para um fluido incompressível:

$$P_a - P_n = \frac{\delta_f \cdot V_f^2}{2 \cdot g} \quad 2.1.25$$

$$V_f = \frac{g}{r_c} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m_s}{\pi \cdot \delta_f}} \quad 2.1.26$$

sendo:

P_a = pressão absoluta do ar (N/m^2)

P_n = pressão média saindo do orifício da célula (N/m^2)

r_c = raio do orifício (m)

δ_f = densidade do ar (N/m^3)

m_s = massa da semente (kg)

V_f = Velocidade do ar (m/s)

Descobriu-se que o fator velocidade do ar foi muito crítico na captura de apenas uma semente por célula. Com velocidades superiores a 23 m/s a célula poderia pegar apenas uma semente se o orifício permanecesse acoplado à parte plana da semente. Para capturar apenas

uma semente, cada célula tem de ser operada na velocidade mínima do ar ou pouco acima desta.

2.1.5 Desempenho de sistemas de dosagem de sementes.

O conjunto de parâmetros a serem analisados no desempenho de semeadoras é definido por normas nacionais e internacionais, como apresentado pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994) para semeadoras de precisão e ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987), para semeadoras de fluxo contínuo. Os ensaios considerados obrigatórios segundo projeto de norma 04.015.06-004 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994), são:

- a) Avaliação da regularidade de distribuição transversal de sementes, procurando estudar a uniformidade das diferentes linhas de semeadura.
- b) Avaliação da regularidade de distribuição longitudinal de sementes, que visa a análise da uniformidade das distâncias entre sementes na linha
- c) Avaliação da danificação mecânica das sementes.

Os dois primeiros indicam a necessidade do estudo quanto ao nível de sementes no reservatório, a velocidade de deslocamento e regulagens básicas do mecanismo dosador. O item "b" também deve ser avaliado quanto a posição de inclinação lateral da semeadora.

Ensaio facultativos sugerem a avaliação sob condições de vibração induzida, inclinação longitudinal da semeadora, segregação de sementes tratadas com produtos fitossanitários, inoculantes e lubrificantes.

KURACHI (1986) apresenta um código de avaliação que, além dos parâmetros definidos pelas normas, propõe mais, pois a avaliação tecnológica adentra o campo de definição de padrões, os quais além de possibilitar o certificado de qualidade, permite a composição de cenários identificadores do perfil evolutivo dessas máquinas. Acrescenta ensaios para a determinação de potência exigida pelos diferentes mecanismos da semeadora e ensaios de semeadoras no campo.

Um dos estudos mais recentes de ensaio de semeadoras em laboratório foi o de KURACHI *et al* (1993) avaliando-se, sob vários aspectos, sete semeadoras com sistema de dosagem mecânica com discos horizontais, uma com disco inclinado e uma pneumática com disco pressurizado, cujos resultados médios são apresentados na tabela 2.1.3.

O estudo foi realizado com milho e o melhor desempenho foi obtido com a semeadora pneumática com 26 furos no disco de sementes. Observou-se que de maneira geral a distribuição piorou com o aumento da velocidade e redução do nível do depósito.

Tabela 2.1. 3 Parâmetros de desempenho de semeadoras a nível de laboratório.

SEMEADORAS	% de espaçamentos aceitáveis						Coeficiente de variação (%)						Danos físicos
	Veloc. deslocam.				Nível do		Veloc. deslocam.				Nível do		
	(km/h)				depósito		(km/h)				depósito		%
JUMIL/J-2 S-4	54.9	45.9	43.0	41.1	46.5	46.3	65.8	76.8	83.5	77.9	81.5	85.5	2.6
MENEGAZ PA-1250	79.3	68.5	65.0	51.7	65.6	66.4	46.0	53.8	56.5	66.5	55.4	55.2	3.9
SANS-4 linhas	27.4	29.4	29.2	27.5	29.8	27.5	59.4	59.1	58.6	59.3	55.6	65.2	1.4
BALDAN PAA-2	44.3	39.7	39.0	39.9	41.0	40.4	80.5	85.9	86.9	85.5	84.0	85.4	2.4
MARCHESAN STP-21	50.2	44.4	42.1	41.3	43.6	45.6	84.4	85.9	88.6	86.7	86.5	86.3	1.9
MARCHESAN PTH	-	49.4	-	-	51.8	50.5	-	68.5	-	-	67.9	66.3	0.9
SEMEATO-2700	88.7	81.7	60.6	54.1	71.5	70.9	30.2	41.4	61.2	71.0	51.5	50.3	1.4
BALDAN PAH inclinado	72.1	73.9	71.0	59.1	69.2	68.8	48.9	48.1	50.0	58.2	50.9	51.6	0.7
TURBO MAX TM-605 pneumática	90.1	89.1	88.6	89.1	90.6	87.6	33.5	33.4	34.8	33.4	32.6	34.9	0.8

Fonte: KURACHI *et al* (1993).

BUTIERRES (1980), estudando três semeadoras para soja (de cilindro acanelado, disco horizontal, com orifícios oblongos e orifícios redondos), observou que os fatores que mais influenciaram na uniformidade de distribuição das sementes foram, em ordem decrescente: o

tamanho da semente, o tipo de semeadora, a altura no reservatório, a inclinação e por último a velocidade da máquina.

Quanto a porcentagem de germinação, as maiores variações foram obtidas alterando-se o tamanho da semente e a semeadora.

BERNACKI *et al* (1972), estudando várias semeadoras, inclusive uma pneumática, obteve o melhor desempenho (91.6% de espaçamentos aceitáveis) com uma semeadora de discos horizontais, seguida do sistema com rotor vertical, correia e pneumático (75,5% de aceitáveis), sendo que todos atenderam a exigência agrônômica de distribuição superior a 75% de aceitáveis.

DOMINGUES *et al* (1984), estudando quatro semeadoras, sendo três com dosador acanelado (reto, helicoidal e dentado) e uma pneumática pressurizada de disco, e usando semente de milho, constatou o melhor desempenho do sistema pneumático, a piora da distribuição geral com o aumento da velocidade e redução do nível do depósito.

ALLAN & WIENS (1982) estudaram o desempenho de três semeadoras adubadoras pneumáticas para trigo, cevada e aveia. Usaram como referência os critérios do Prairie Agriculture Machinery Institute, que define como taxas de uniformidade de distribuição os seguintes valores: coeficiente de variação (CV) maior do que 15% são considerados inaceitáveis; entre 10 e 15% aceitáveis e inferiores a 10% considerados bons.

Obteve diferenças expressivas entre os equipamentos estudados como:

A semeadora Friggstad PAI-40 apresentou CV inaceitável a partir de vazões de alimentação de 130 kg/ha para trigo, 110 para cevada e 80 para a aveia. Já o modelo Prasco Super Seeder 75-55 obteve distribuição aceitável para todas vazões, com tendência de melhor desempenho com o aumento da vazão de alimentação para três tipos de sementes.

A semeadora Wil-Rich 4150 foi ainda melhor apresentando uma distribuição boa para as três culturas, com CV abaixo de 5%.

AMADUCCI *et al* (1973) estudou a distribuição de acelga com semeadora pneumática no laboratório e a campo. Os resultados do coeficiente de variação em função da velocidade periférica do disco dosador, estão apresentados na tabela 2.1.4.

Tabela 2.1. 4 Variação do coeficiente de variação da distância entre as sementes em função da velocidade do disco dosador pneumático.

Velocidade periférica (m/s)	Teste em laboratório CV (%)	Velocidade periférica (m/s)	Teste de campo CV (%)
0.1	12.97	0.09	8.47
0.2	12.89	0.17	17.49
0.3	18.01	0.27	21.7
0.4	20.25	0.34	36.27
0.5	26.90	0.62	48.64

A maior irregularidade de distribuição das sementes, no estudo a nível de campo em relação ao de laboratório, deveu-se, em grande parte, às variações na trajetória das sementes no tubo de descarga e ao rolamento das mesmas no solo após o impacto, além do efeito vibratório que ocorre no de campo.

O mais recente trabalho nacional publicado sobre avaliação de semeadoras a nível de campo, realizado por MANTOVANI *et al* (1992) envolveu nove equipamentos com a cultura de milho e três diferentes velocidades de deslocamento. Alguns resultados são apresentados na tabela 2.1.5.

A percentagem de espaçamentos aceitáveis variou de 44 a 78%. Os resultados mostraram que tanto a semeadora pneumática quanto as que utilizam discos perfurados podem apresentar a mesma precisão.

Observou-se um efeito significativo na redução do estande inicial para a velocidade superior a 7.5 km/h em relação às demais. Apesar de todas as semeadoras apresentarem estande inicial em torno de 50000 sementes/ha, o estande final ficou abaixo desse valor, salvo algumas exceções.

Tabela 2.1. 5 Variação da porcentagem de espaçamentos aceitáveis entre sementes e estande inicial e final em função da velocidade de deslocamento de nove semeadoras do mercado nacional.

SEMEADORA	% Espaçam. aceitáveis			Estande inicial			Estande final		
	5 km/h	6.5 km/h	>7.5 km/h	5 km/h	6.5 km/h	> 7.5 km/h	5 km/h	6.5 km/h	> 7.5 km/h
SEMEATO PSM	78	75	75	57167	55875	55708	42785	41561	41592
SEMEATO PAR	78	76	74	48917	49292	47208	36622	36873	34969
SEMEATO PL 2000	72	68	67	42958	43583	41042	43092	43500	40959
JUMIL JM 2000	74	65	50	52125	50375	47167	39060	36436	35279
JUMIL JM 2040	66	61	50	56000	55500	50416	55958	55292	50500
MAX TM 656 *	59	57	54	53583	55208	53208	40248	41466	39904
MARCHESAN PST	68	69	71	49458	51458	47458	37217	38529	35343
MARCHESAN STP	70	71	72	57250	53667	51417	42937	40565	39937
BALDAN PP-F/A-	53	45	44	59541	56750	56750	44810	42343	41811

Fonte: MANTOVANI *et al* (1992)

* semeadora pneumática

2.2 GERAÇÃO DE VÁCUO POR CONVERSÃO DE PRESSÃO EM VÁCUO.

2.2.1 Princípio de funcionamento.

O princípio básico de funcionamento do conversor de pressão é apresentado na figura 2.2.1, onde um fluxo de ar sob pressão é expandido após estrangulamento no bocal convergente, dentro de uma câmara de vácuo e, a seguir, é descarregado na atmosfera. A lógica fluidica é baseada no estrangulamento de fluidos em bocais convergente-divergente, onde o fluxo é acelerado, promovendo queda acentuada de pressão e produzindo vácuo. Sendo de interesse, a análise de casos particulares como, o vácuo produzido com bloqueio de fluxo e sem bloqueio, ou seja, com aspiração ou adição de massa ao escoamento principal.

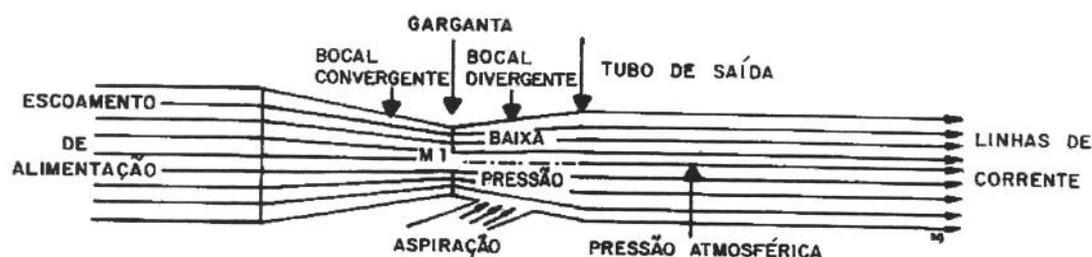


Figura 2.2.1 Princípio básico de funcionamento da válvula de vácuo por conversão de pressão em vácuo.

2.2.2 Fundamentação teórica para escoamento em bocais.

2.2.2.a Estado de referência e propriedades locais isentrópicas de estagnação.

Para descrever o estado de um fluido em qualquer ponto de um escoamento, deve-se especificar duas propriedades intensivas termodinâmicas independentes (geralmente a pressão e a temperatura) e a velocidade do escoamento no ponto em estudo (FOX & McDONALD, 1985).

Na discussão de fluidos compressíveis é conveniente usar o estado de estagnação como o de referência. Este estado é caracterizado pela condição de velocidade nula.

As propriedades locais isentrópicas de estagnação são aquelas que seriam obtidas em um ponto do campo de escoamento se o fluido aí fosse desacelerado à velocidade zero segundo um processo adiabático sem atrito (reversível) denominado de processo isentrópico de escoamento. Desenvolve-se inicialmente uma expressão sob a forma diferencial para descrever o relacionamento entre as propriedades do fluido durante um processo, considerando-se que as propriedades iniciais e finais são especificadas, assim como, a relação entre elas. Posteriormente, através da integração, obtém-se as expressões nas condições de estagnação em função das condições iniciais.

O processo de desaceleração é apresentado esquematicamente na figura 2.2.2, onde é de interesse determinar as propriedades de estagnação do escoamento no ponto 1. Aplicando-se as equações da continuidade e quantidade de movimento ao volume de controle diferencial formado pelo tubo de corrente mostrado nesta figura tem-se:

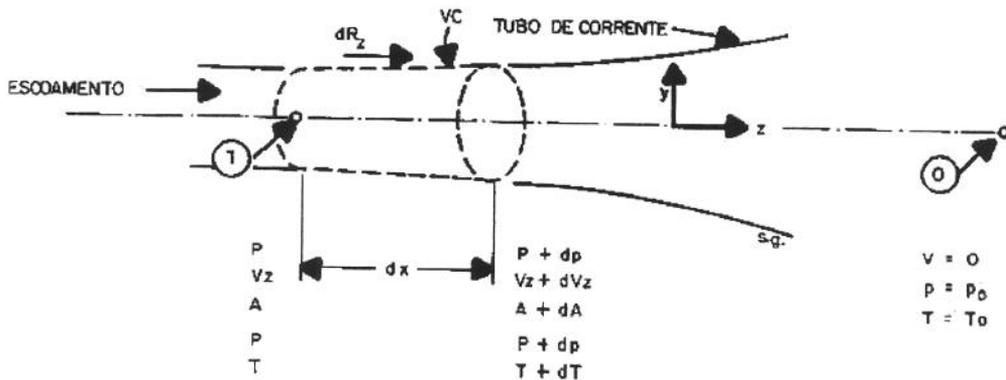


Figura 2.2.2 Escoamento de fluido compressível em tubo de corrente infinitesimal. Fonte: FOX & McDONALD, 1985.

a. Equação da continuidade:

Equação básica segundo FOX & McDONALD (1985) é:

$$0 = \underbrace{\frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \rho \cdot dV}_{I} + \underbrace{\int_{SC} \rho \cdot \vec{V} \cdot d\vec{A}}_{II} \quad 2.2.1$$

I - Variação da massa no interior do volume de controle.

II - Fluxo de massa através da superfície de controle.

Hipóteses:

(1) Escoamento permanente, logo $I = 0$

(2) Escoamento unidimensional, uniforme em cada seção.

VC = volume de controle

SC = superfície de controle

ρ = massa específica (kg/m^3)

\forall = volume do VC (m^3)

\vec{V} = vetor velocidade do escoamento

\vec{A} = vetor área da superfície de controle

b. Equação da quantidade de movimento:

Equação básica segundo FOX & McDONALD (1985) é:

$$\underbrace{F_{Sx}}_I + \underbrace{F_{Bx}}_{II} - \underbrace{\int_{VC} a_{rx} \cdot \rho \cdot d\forall}_{III} = \frac{\partial}{\partial t} \underbrace{\int_{VC} V_x \cdot \rho \cdot d\forall}_{IV} + \underbrace{\int_{SC} V_x \cdot \rho \cdot \vec{V}_{xvz} \bullet d\vec{A}}_V \quad 2.2.2$$

I - Forças de superfície.

II - Forças de corpo.

III - Forças devido a aceleração em relação a um sistema inercial de referência "x".

IV - Variação da quantidade de movimento no volume de controle.

V - Fluxo da quantidade de movimento através da superfície de controle.

Hipóteses:

(1) Forças de corpo igual a zero.

(2) Aceleração igual a zero.

(3) Escoamento em regime permanente.

(4) Escoamento sem atrito.

Após os cálculos propostos por FOX & McDONALD (1985), as equações para a determinação das propriedades isentrópicas do gás ideal resumem-se nas seguintes:

$$\frac{P_0}{P} = \left[1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right]^{\frac{k}{k-1}} \quad 2.2.3$$

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{k-1}{2} M^2 \quad 2.2.4$$

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \left[1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right]^{\frac{1}{k-1}} \quad 2.2.5$$

sendo:

$k = c_p / c_v$ razão entre os calores específico à pressão e volume constante

$M = V / c$ número de Mach

$c = \sqrt{k \cdot \mathfrak{R} \cdot T}$ velocidade do som (m/s)

$\mathfrak{R} = 286.9$ constante da ar (J/kg.K)

$P, T, \rho =$ Pressão, temperatura e massa específica do escoamento

$P_0, T_0, \rho_0 =$ Pressão, temperatura e massa específica de estagnação

Nas equações 2.2.3 a 2.2.5 a razão entre cada propriedade isentrópica de estagnação para a correspondente propriedade estática, em qualquer ponto do escoamento do gás ideal, pode ser determinada se o número de Mach local for conhecido.

Para determinar a velocidade do escoamento, o valor de referência útil é a velocidade crítica, quando $M=1$. Mesmo que em um escoamento não haja nenhum ponto em que o número de Mach seja unitário, esta condição hipotética é, assim mesmo, condição útil de referência. Para definir o estado crítico de escoamento, as propriedades são representadas com um asterisco. Então nas condições críticas as propriedades de estagnação tornam-se (para $k=1,4$):

$$\frac{P_0}{P^*} = \left[1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right]^{\frac{k}{k-1}} = 1,893 \quad 2.2.6$$

$$\frac{T_0}{T^*} = 1 + \frac{k-1}{2} M^2 = 1,2 \quad 2.2.7$$

$$\frac{\rho_0}{\rho^*} = \left[1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right]^{\frac{1}{k-1}} = 1,577 \quad 2.2.8$$

$$V^* = c^* = \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k+1} \cdot \mathcal{R} \cdot T_0} \quad 2.2.9$$

2.2.2.b Escoamento unidimensional isentrópico com variação de área.

As propriedades dos fluidos compressíveis nos escoamentos são afetadas pela mudança da seção, pelo atrito, pela transmissão do calor e choques normais.

No escoamento isentrópico, para o qual a área é variável independente, o atrito e a transmissão de calor são considerados desprezíveis. Assim, num escoamento permanente unidimensional e isentrópico de um fluido compressível através de um canal de seção arbitrária, como mostrado na figura 2.2.3, as equações básicas que regem o fenômeno com volume de controle finito e fixo, são apresentadas a seguir:

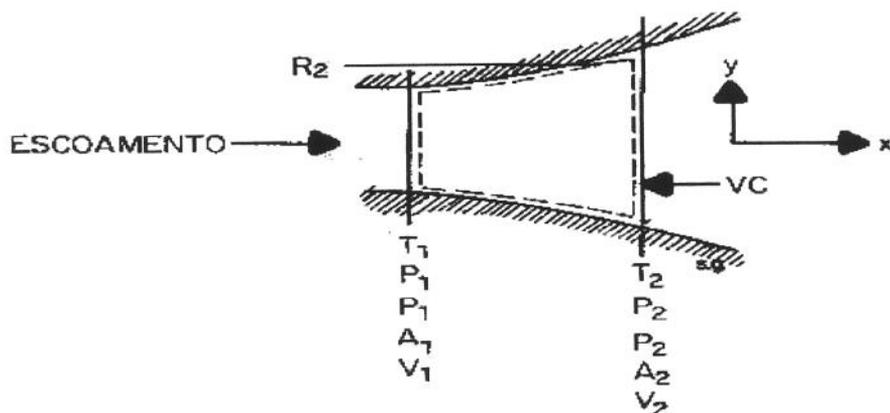


Figura 2.2.3 Volume de controle para análise do escoamento isentrópico com mudança de área. Fonte: FOX McDONALD, 1985.

a. Equação da continuidade:

Da equação 2.2.1 da continuidade resulta nas seções 1 e 2 na:

$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2 = \rho \cdot V \cdot A = \dot{m} = \text{constante} \quad 2.2.10$$

b. Equação da quantidade de movimento:

Equação básica segundo FOX & McDONALD (1985) é:

$$F_{Sx} + F_{Bx} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} V_x \cdot \rho \cdot dV + \int_{SC} V_x \cdot \rho \cdot \vec{V}_{xyz} \cdot d\vec{A} \quad 2.2.11$$

A força de superfície será devida as forças de pressão atuando nas faces 1 e 2 e a distribuição das forças de pressão, R_x , ao longo das paredes. Resultando, assim, na equação 2.2.12 em grandezas escalares:

$$R_x + P_1 \cdot A_1 - P_2 \cdot A_2 = \dot{m} \cdot V_2 - \dot{m} \cdot V_1 \quad 2.2.12$$

c. Primeira lei da termodinâmica:

Equação básica segundo FOX & McDONALD (1985) é:

$$\dot{Q} + \dot{W}_s + \dot{W}_{\text{tan gencial}} + \dot{W}_{\text{outros}} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} e \cdot \rho \cdot dV + \int_{SC} (e + P \cdot v) \cdot \rho \cdot \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad 2.2.13$$

na qual:

$$e = u + \frac{V^2}{2} + g \cdot z \quad 2.2.14$$

Hipóteses:

$\dot{Q} = 0$ pois o escoamento é adiabático

$\dot{W}_s = 0$ não há trabalho de eixo

$\dot{W}_{\text{tan gencial}} = \dot{W}_{\text{outros}} = 0$

$z = 0$ efeitos desprezíveis da gravidade

e = energia total por unidade de massa (N.m/kg)

u = energia interna por unidade de massa (N.m/kg)

v = volume específico (m³/kg)

Como $h = u + P.v$, o resultado da equação 2.2.13 será:

$$h_0 = h + \frac{V^2}{2} \quad 2.2.15$$

h = entalpia por unidade de massa (N.m/kg)

h_0 = entalpia de estagnação por unidade de massa (N.m/kg)

Observa-se que a entalpia de estagnação é constante em todo campo adiabático de escoamento.

d. Segunda lei da termodinâmica:

Equação básica segundo FOX & McDONALD (1985) é:

$$\int_{sc} \frac{1}{T} \cdot \frac{\dot{Q}}{A} dA \leq \frac{\partial}{\partial t} \int_{vc} s \cdot \rho \cdot dV + \int_{sc} s \cdot \rho \cdot \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad 2.2.16$$

Resultando para um processo adiabático reversível (isentrópico):

$$s_1 = s_2 = s = \text{constante} \quad 2.2.17$$

e. Equação do estado.

As equações do estado são as relações entre propriedades termodinâmicas intensivas, podendo-se escrever:

$$h = h(s, P) \quad 2.2.18$$

$$\rho = \rho(s, P) \quad 2.2.19$$

Como pela análise da primeira lei para o escoamento isentrópico h_0 não varia, assim como também a entropia (s) e a entropia de estagnação (s_0). Conclui-se que no estado de estagnação, todas as propriedades termodinâmicas de estagnação são constantes em todos os pontos de um escoamento isentrópico.

Na ausência de energia potencial, h_0 representa a energia total por unidade de massa. A energia cinética por unidade de massa do escoamento é representada pela diferença de entalpia ($h_0 - h$), como pode ser visto na figura 2.2.4.

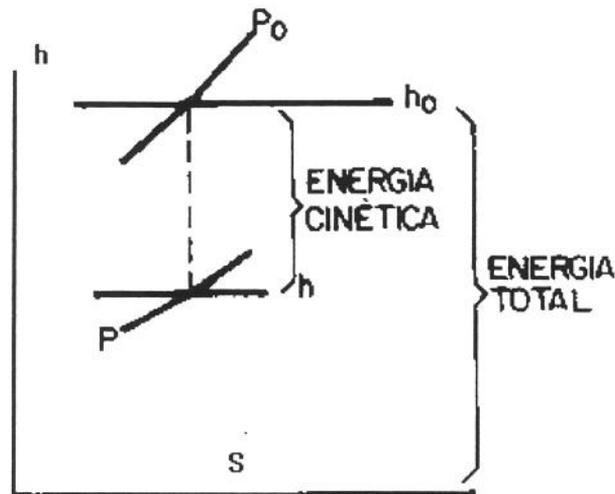


Figura 2.2. 4 Diagrama esquemático hs ilustrando a interpretação de energia por unidade de massa no escoamento. Fonte: FOX & McDONALD, 1985.

A influência da área (dA/A) sobre as variáveis dependentes dM/M , dP/P , dT/T , $d\rho/\rho$, dV/V , dc/c e $d\mathfrak{S}/\mathfrak{S}$ podem ser estudadas usando-se as equações básicas nos seus formatos diferenciais. Resolvendo-se estas equações básicas em função de dA/A (ZUCROW & HOFFMAN 1976 e ISMAIL 1992), pode-se obter as variáveis dependentes.

Como estas equações são lineares nos derivados de escoamento, qualquer variação em uma destas oito variáveis, as outras sete podem ser determinadas em função desta variação, através da solução das sete equações. Assim, as sete equações podem ser colocadas de forma matricial:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & kM^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & (k-1)M^2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1/2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-2 \cdot k \cdot M^2}{1+k \cdot M^2} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{dP}{P} \\ \frac{dT}{T} \\ \frac{d\rho}{\rho} \\ \frac{dV}{V} \\ \frac{dc}{c} \\ \frac{dM}{M} \\ \frac{d\mathfrak{I}}{\mathfrak{I}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{dA}{A} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{dA}{A} \end{bmatrix} \quad 2.2.20$$

sendo:

\mathfrak{I} = função impulso

Resolvendo-se para as sete propriedades, os resultados obtidos são apresentados abaixo.

Os coeficientes de dA/A são chamados de *coeficientes de influência*.

$$\frac{dM}{M} = -\frac{1 + \frac{k-1}{2}M^2}{1-M^2} \cdot \frac{dA}{A} \quad 2.2.21$$

$$\frac{dP}{P} = \frac{k \cdot M^2}{1-M^2} \cdot \frac{dA}{A} \quad 2.2.22$$

$$\frac{dT}{T} = \frac{(k-1) \cdot M^2}{1+M^2} \cdot \frac{dA}{A} \quad 2.2.23$$

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{M^2}{1+M^2} \cdot \frac{dA}{A} \quad 2.2.24$$

$$\frac{dV}{V} = -\frac{1}{1-M^2} \cdot \frac{dA}{A} \quad 2.2.25$$

$$\frac{dc}{c} = \frac{(k-1) \cdot M^2}{2 \cdot (1-M^2)} \cdot \frac{dA}{A} \quad 2.2.26$$

$$\frac{d\mathfrak{Z}}{\mathfrak{Z}} = -\frac{1}{1-k.M^2} \cdot \frac{dA}{A} \quad 2.2.27$$

As equações 2.2.3 a 2.2.8 definem condições importantes de referência do escoamento isentrópico do gás ideal, tanto para a condição de estagnação como para a crítica. A seguir serão apresentados mais algumas equações úteis:

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M} \left(\frac{1 + \frac{k-1}{2} M^2}{1 + \frac{k-1}{2}} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \quad 2.2.28$$

$$\frac{\dot{m}}{A} = \sqrt{\frac{k}{\mathfrak{R}}} \cdot \frac{P}{\sqrt{T_0}} \cdot M \cdot \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right)^{1/2} \quad 2.2.29$$

As várias equações obtidas de P_0/P , T_0/T , ρ_0/ρ , A/A^* , V^* e $\mathfrak{Z}/\mathfrak{Z}^*$ poderão ser tabelados e graficados para vários gases e valores de número de Mach. A figura 2.2.5 apresenta o comportamento destas propriedades.

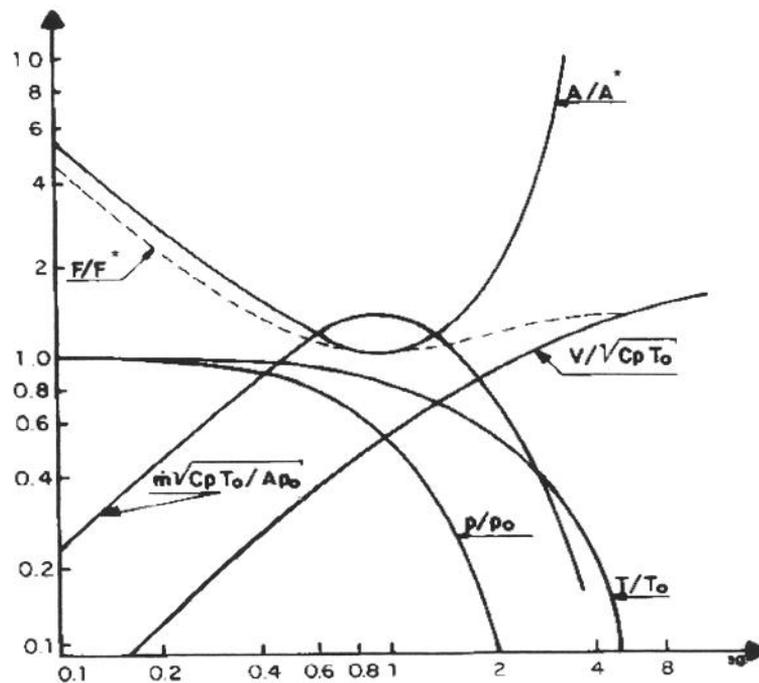


Figura 2.2.5 Variação de diferentes propriedades termodinâmicas em função do número de Mach, em um escoamento isentrópico. Fonte: ISMAIL, 1992.

Na análise do comportamento do escoamento em bocais, observa-se que na condição subsônica ($M < 1$) o escoamento é acelerado e a pressão cai quando a área do bocal é convergente (figura 2.2.6). Ocorrendo o inverso num difusor subsônico onde a área diverge.

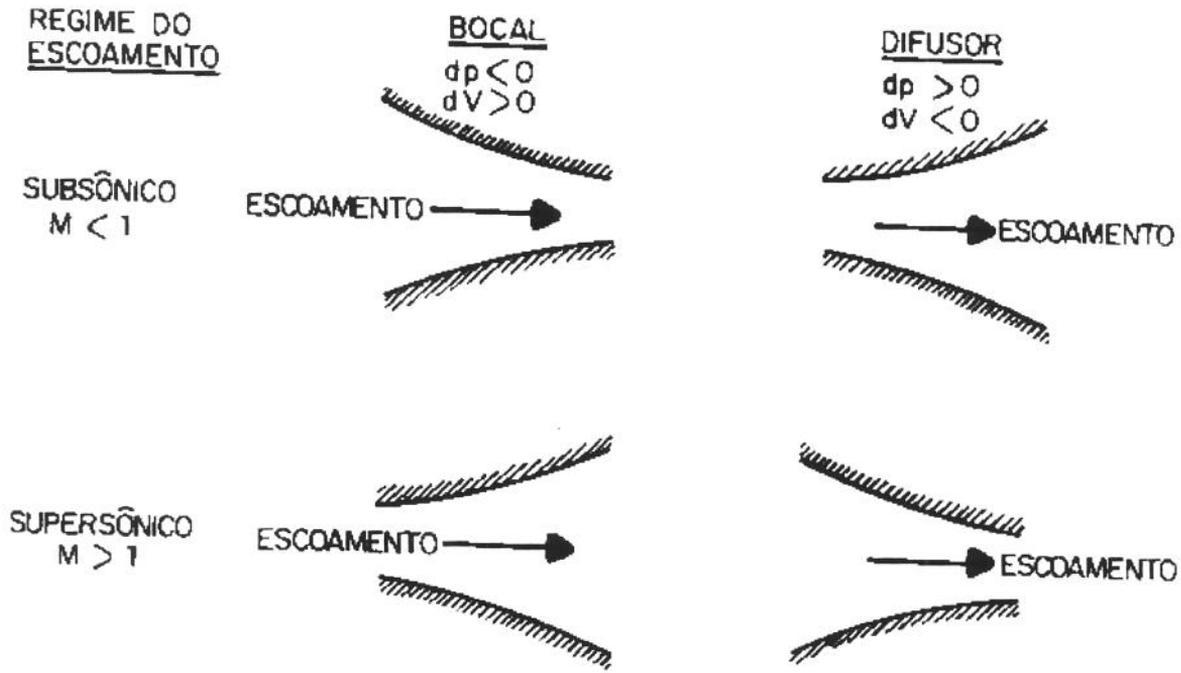


Figura 2.2.6 Efeito da variação da área no comportamento do escoamento unidimensional.
 Fonte: ISMAIL, 1992.

Nos escoamentos supersônicos o fluido é acelerado e a pressão diminui no bocal, que neste caso tem área divergente. O difusor supersônico é convergente. Quando $M=1$, $dA/dV = 0$, significando que a área do fluxo é mínima denominada de *garganta*.

Para acelerar o fluxo do repouso à velocidade supersônica ($M > 1$), é necessário inicialmente um bocal convergente subsônico, atingindo $M=1$ em uma garganta e posteriormente um bocal divergente supersônico a jusante da garganta.

A forma do jato na descarga de um bocal convergente depende da condição de pressão do ambiente (P_a) ser menor ou maior que a pressão crítica, conforme ZUCROW & HOFFMAN (1971) e ISMAIL (1992). Quando for igual ou maior que a crítica, isto é, $P_a \geq P^*$, o jato sai paralelo (figura 2.2.7) e sua superfície é gradualmente retardada pelo meio externo,

resultando em uma região de mistura onde a velocidade do jato atinge finalmente o valor do meio de descarga.

Na análise do fluxo submerso, o jato de ar que sai do bocal e desemboca em um ambiente com ar livre e parado, sem um duto para delimitar seu escoamento, como mostrado na figura 2.2.8, por sua viscosidade interage com o ar adjacente, produzindo uma redistribuição de energia entre as partículas do jato de ar.

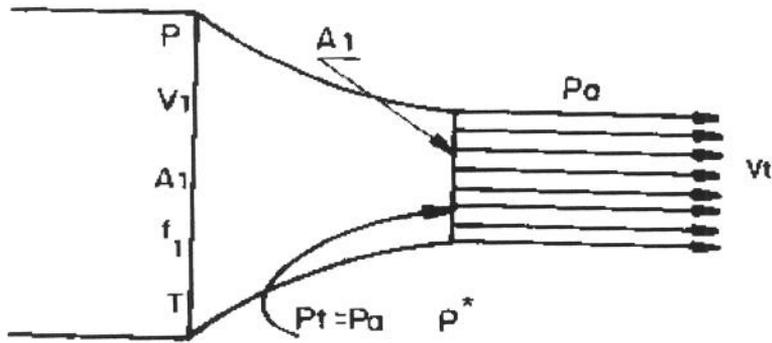


Figura 2.2.7 Forma do jato na saída de um bocal, com pressão ambiente igual ou acima da crítica. Fonte: ISMAIL, 1992.

A variação da velocidade ao longo do jato é mostrada na figura 2.2.8, onde nota-se uma redução de seu valor a partir da seção de descarga 1 até a seção 5, ou seja $V_5 < V_4 < \dots < V_1$. Na seção 1 o perfil da variação da velocidade é igual ao perfil do duto, assemelhando-se a forma de uma bacia, e ao longo do fluxo de descarga o perfil vai sendo reduzido até possuir uma forma de prato. A velocidade da linha de centro é mantida igual a do tubo até o ponto A.

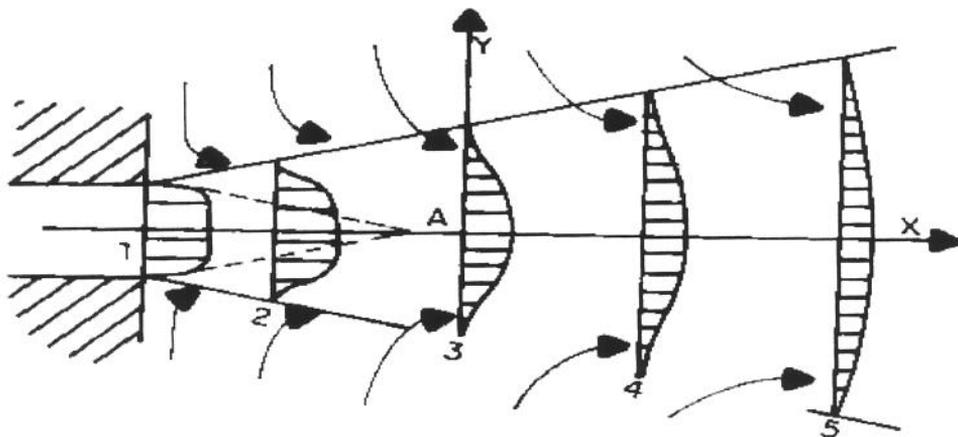


Figura 2.2.8 Forma de um jato em fluxo submerso, desembocando no ar livre e parado. Fonte: PALLEROSI & PORTELLA (1992).

2.2.2.c *Escoamento unidimensional com adição de massa.*

Na maioria dos problemas práticos pode ocorrer mais de um efeito atuando de forma simultânea no escoamento, como uma reação química, a mudança de fase, a injeção de massa, troca de calor, mudança de peso molecular e calor específico. Como exemplos ISMAIL (1992) cita bocais de foguetes, ram-jet, câmara de combustão, injetores e ejetores.

Os fenômenos a serem incluídos na análise são:

- a) Mudança de área.
- b) Atrito de parede.
- c) Arrasto de corpos internos.
- d) Troca de calor.
- e) Reação química.
- f) Mudança de fase, evaporação, condensação de água ou combustível.
- g) Mudanças no peso molecular e calor específico por causa de combustão, evaporação ou injeção de gás.

Na análise, ISMAIL (1992) assume que:

- a) O escoamento é unidimensional e em regime.
- b) As mudanças nas propriedades são contínuas.
- c) O gás é semi perfeito, isto é, obedece as leis de Boyles e Charles, mas tem calor específico que varia somente com a temperatura e a composição.

A figura 2.2.9 apresenta esses efeitos ocorrendo de forma simultânea.

A tabela 2.2.1 apresenta a forma integrada das equações diferenciais que determinam as variações termodinâmicas em um escoamento unidimensional generalizado sem mudanças de calor específico e peso molecular.

Para o caso de variação somente da área e adição de massa ao bocal as propriedades termodinâmicas poderão ser determinadas diretamente pelos parâmetros apresentados na tabela 2.2.1.

Como, por exemplo, para determinar a área da seção transversal em qualquer posição do bocal, considerando a condição de projeto, ficará:

$$A = A^* \left\{ \frac{1}{M} \left[\frac{2}{k+1} \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right) \right]^{\frac{k+1}{2(k-1)}} + 1 \right\} \quad 2.2.33$$

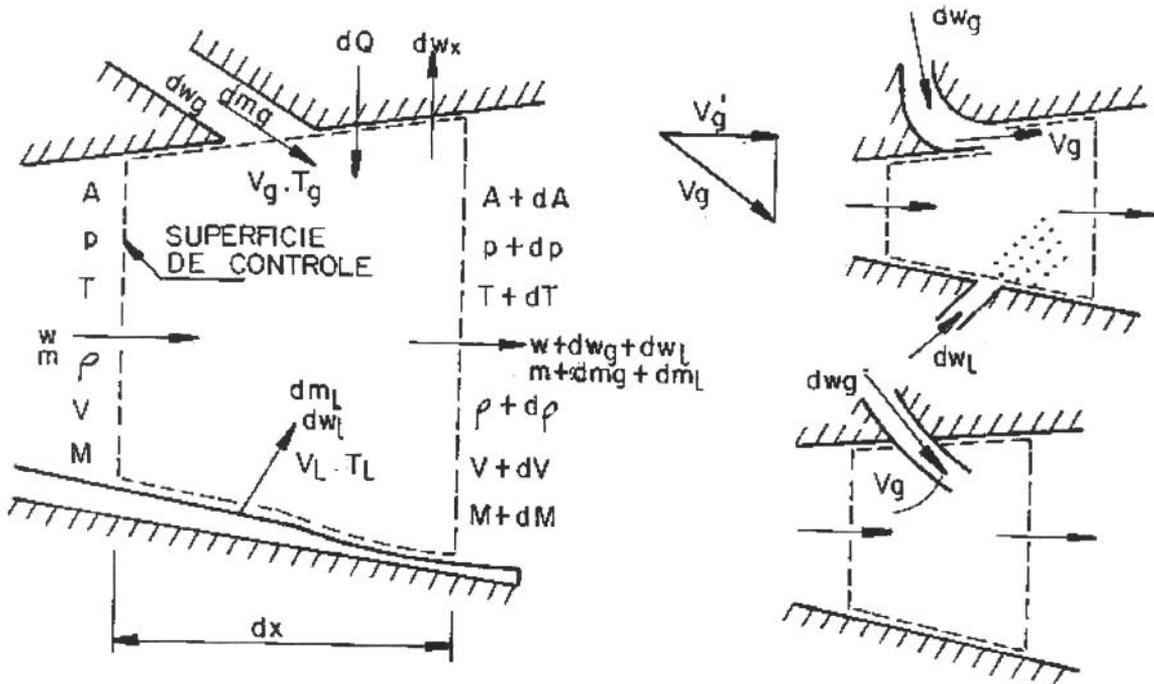


Figura 2.2.9 Superfície de controle definida para um escoamento unidimensional generalizado. Fonte: ISMAIL, 1992.

2.2.3 Desempenho de um bocal convergente para condições isentrópicas.

Na análise do comportamento de um escoamento em um bocal convergente como apresentado na figura 2.2.10, onde as condições iniciais de estagnação (P_0 e T_0) são mantidas constantes e a pressão ambiente (P_a) é variável. A pressão de saída do bocal é P_s . Interessa investigar o efeito da variação de P_a no comportamento do escoamento do bocal.

Na condição I não há escoamento, pois, a pressão em todo bocal e fora dele é igual P_a (FOX & McDONALD, 1985 e ISMAIL, 1992).

Diminuindo-se P_a , o escoamento inicia no bocal numa condição subsônica, sendo a pressão $P_s = P_a$, correspondendo ao caso II.

No caso III, P_a diminui mais ainda aumentando-se o fluxo. Reduzindo-se P_a até que o número de Mach atinja a unidade na garganta, chega-se a vazão mássica máxima, onde $P^*/P_0 = 0,528$, correspondendo ao caso IV, onde a velocidade é sônica.

Tabela 2.2.1 Fórmulas para a determinação de parâmetros termodinâmicos em um escoamento unidimensional, com calor específico e peso molecular constante.

PROP.	Mudança de área	Escoamento com atrito	Escoamento com troca de calor	Escoamento com injeção de massa
$\frac{A}{A^*}$	$\frac{1}{M} \left[\frac{2}{(k+1)} \psi \right]^{\frac{k+1}{2(k-1)}}$	1	1	1
$\frac{T_0}{T_0^*}$	1	1	$\frac{2(k+1)M^2}{(1+k.M^2)^2} \psi$	1
$\frac{4.f.L^*}{D}$	0	$\frac{1-M^2}{k.M^2} + \frac{k+1}{2.k} \ln \left\{ M^2 \left[\frac{2}{k+1} \psi \right]^{-1} \right\}$	0	0
$\frac{\dot{m}}{\dot{m}^*}$	1	1	1	$\frac{M \sqrt{2.(k+1). \psi}}{1+k.M^2}$
$\frac{P}{P^*}$	$\left[\frac{2}{(k+1)} \psi \right]^{\frac{k}{(k-1)}}$	$\frac{1}{M} \left[\frac{2}{(k+1)} \psi \right]^{\frac{-1}{2}}$	$\frac{(k+1)}{(1+k.M^2)}$	$\frac{(k+1)}{(1+k.M^2)}$
$\frac{\rho}{\rho^*}$	$\left[\frac{2}{(k+1)} \psi \right]^{\frac{-1}{(k-1)}}$	$\frac{1}{M} \left[\frac{2}{(k+1)} \psi \right]^{\frac{1}{2}}$	$\frac{(1+k.M^2)}{(k+1).M^2}$	$\frac{2.\psi}{(1+k.M^2)}$
$\frac{T}{T^*}$	$\left[\frac{2}{(k+1)} \psi \right]^{-1}$	$\left[\frac{2}{(k+1)} \psi \right]^{-1}$	$\frac{(k+1)^2.M^2}{(1+k.M^2)^2}$	$\left[\frac{2}{(k+1)} \psi \right]^{-1}$
$\frac{V}{V^*}$	$M \left[\frac{2}{(k+1)} \psi \right]^{\frac{-1}{2}}$	$M \left[\frac{2}{(k+1)} \psi \right]^{\frac{-1}{2}}$	$\frac{(k+1).M^2}{(1+k.M^2)}$	$M \left[\frac{2}{(k+1)} \psi \right]^{\frac{-1}{2}}$
$\frac{P_0}{P_0^*}$	1	$\frac{1}{M} \left[\left(\frac{2}{k+1} \right) \psi \right]^{\frac{k+1}{2(k-1)}}$	$\frac{(k+1)}{(1+k.M^2)} \cdot \left[\left(\frac{2}{k+1} \right) \psi \right]^{\frac{k}{k-1}}$	$\frac{(k+1)}{(1+k.M^2)} \cdot \left[\left(\frac{2}{k+1} \right) \psi \right]^{\frac{k}{k-1}}$
$\frac{\mathfrak{S}}{\mathfrak{S}^*}$	$\frac{1+k.M^2}{M \sqrt{2.(k+1). \psi}}$	$\frac{1+k.M^2}{M \sqrt{2.(k+1). \psi}}$	1	1
$\frac{s-s^*}{c_p}$	0	$\ln \left\{ M^{\frac{k-1}{k}} \left[\frac{2}{k+1} \psi \right]^{\frac{-k+1}{2k}} \right\}$	$\ln \left\{ M^2 \left(\frac{k+1}{1+k.M^2} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right\}$	$\ln \left\{ \left[\left(\frac{2}{k+1} \right) \psi \right]^{-1} \left(\frac{1+k.M^2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right\}$

$$\psi = 1 + \frac{k-1}{2} . M^2$$

No caso V, P_a é menor que P^* . Neste caso a redução de P_a não influenciará na pressão do interior do bocal e no fluxo mássico, que permanece sob condições isentrópicas. Nestas

condições $P_s = P^*$ e o bocal é chamado *engasgado*. O fluxo deixando o bocal, expandirá brusquemente para se equilibrar com a pressão no ambiente de descarga. Esse processo de expansão brusca não é isentrópico.

Em algumas situações, como no caso de bocais convergentes com inclinações maiores, visando reduzir seu comprimento, o escoamento não é unidimensional, pois as suas propriedades não são uniformes através de todas as seções perpendiculares à direção média do escoamento. Neste caso, o momentum radial do fluxo causa a formação de uma veia contraída após o plano de saída do bocal. Esta veia contraída é usualmente chamada de garganta aerodinâmica do bocal, segundo ISMAIL (1992). A combinação da não uniformidade do escoamento e a veia contraída, reduz o fluxo mássico para valores abaixo do escoamento unidimensional. Este efeito pode ser considerado como um coeficiente de descarga (C_D), definido por:

$$C_D = \frac{\dot{m}_{real}}{\dot{m}_{unidimensional}} \quad 2.2.33$$

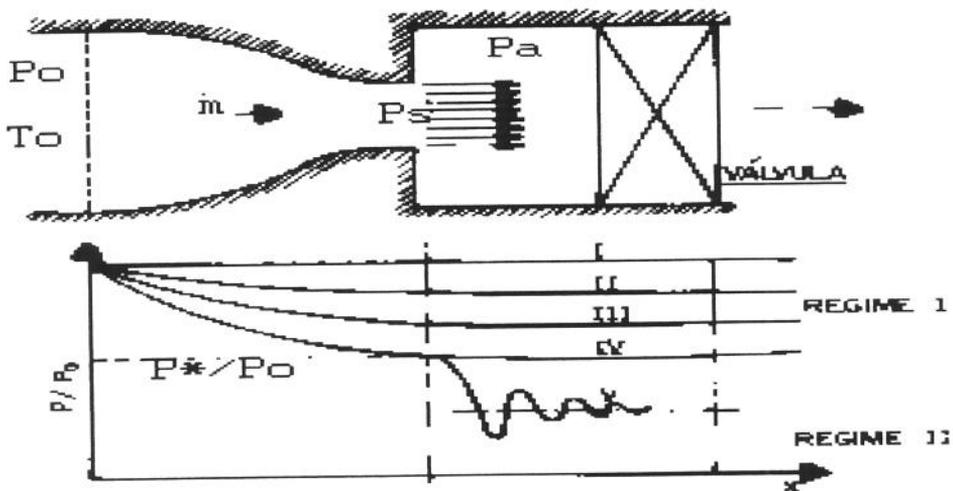


Figura 2.2.10 Comportamento do escoamento sob condições isentrópicas em bocal convergente. Fonte: ISMAIL, 1992)

A figura 2.2.11 apresenta valores medidos de coeficiente de descarga para vários ângulos de bocais. Verifica-se que C_D aumenta com P_0/P_a até a razão para o fluxo crítico em torno de 4.

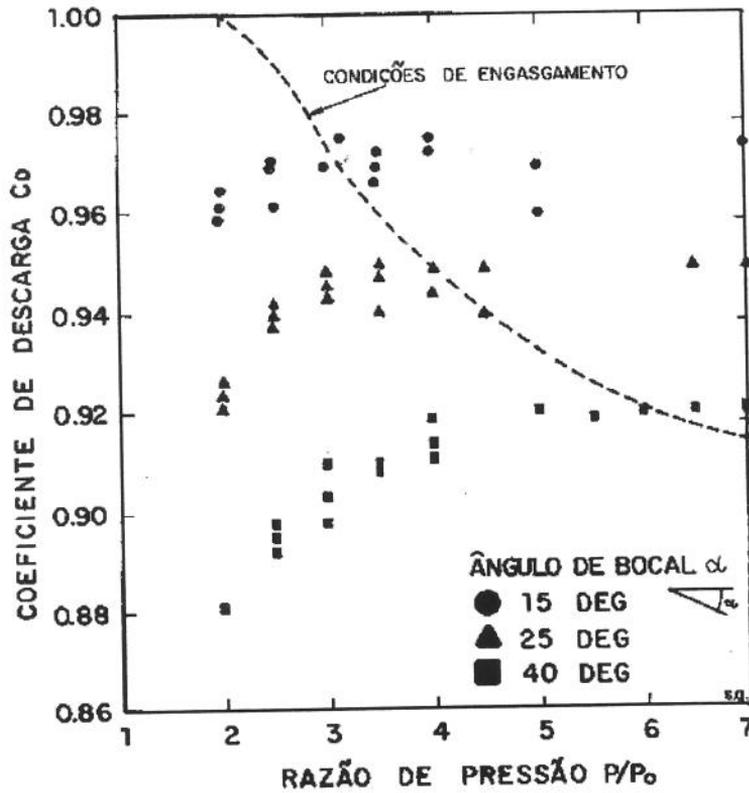


Figura 2.2.11 Variação do coeficiente de descarga em função de vários ângulos de bocais convergentes cônicos. Fonte: ISMAIL, 1992.

2.2.4 Desempenho de um bocal convergente-divergente para condições isentrópicas.

De forma semelhante ao caso anterior, deseja-se investigar o efeito da variação de P_a no comportamento do escoamento no bocal C-D (figura 2.2.12). Quando a pressão ao longo do bocal é constante, não há escoamento, correspondendo ao caso 0.

Diminuindo-se um pouco P_a em relação a P_0 a distribuição fica como o caso 1, onde o fluido se comporta como incompressível, a velocidade é subsônica e $P_a = P_s$. No caso 1a, com P_a ainda menor, a velocidade ainda é subsônica e o fluido já é afetado pelos efeitos da compressibilidade e também $P_a = P_s$.

No caso 2, o escoamento na garganta é à velocidade sônica $P_g = P^*$, resultando em um fluxo mássico máximo, mas o escoamento volta ao regime subsônico no trecho divergente do duto com $P_a > P^*$. Se P_a é reduzida até o valor do caso 6, o escoamento continuará acelerando na seção divergente com $P_s < P^*$. A razão P_s / P^* neste caso é chamada de razão de pressão de *projeto*, onde o bocal está na forma construtiva otimizada. Em ambos os casos, 2 e 6, $M = 1$ na garganta, e com o mesmo fluxo mássico. Tanto no caso 2 como no caso 6, o fluxo mássico é máximo e com comportamento isentrópico ao longo do bocal.

Entre os casos 2 e 6 (regime II), o fluxo pode expandir-se isentropicamente até P_a . Nestas condições ocorre um choque (que pode ser tratado como uma irreversível descontinuidade envolvendo aumento da entropia) em algum lugar do interior do escoamento. Os bocais operando nesta faixa de pressão são denominados *superexpandidos*, porque a pressão em alguns pontos do bocal é menor que P_a . Obviamente um bocal com superexpansão pode ser levado a operar em outras condições de projeto, cortando-se o trecho divergente (FOX & McDONALD, 1985).

A medida que P_a diminui do caso 2 ao 6, a onda de choque se distancia da garganta como no caso 3 até o 4, onde o choque parece inexistente na saída e o escoamento é totalmente supersônico na seção divergente. No regime II, $P_s = P_a$ e o fluxo mássico é máximo. Reduzindo-se $P_a < P_4$ à pressão de saída $P_s = P_6$ o escoamento é supersônico na seção divergente do duto. O aumento da pressão P_s para P_a ocorre através de ondas de choques oblíquos formados no reservatório e o escoamento nesta região é unidimensional como está na figura 2.2.12 para o caso 5.

Quando $P_a = P_6$ como no caso 7, ou regime IV, ondas de expansão oblíquas são formadas no reservatório. Nos regimes III e IV, o escoamento no duto é independente da pressão P_a e são os mesmos do caso 6 da condição de projeto.

Os ajustes para a pressão P_a são feitos fora do reservatório. Portanto, a razão da pressão P_s / P_0 nos regimes III e IV depende somente da razão (A_g / A_s) do duto.

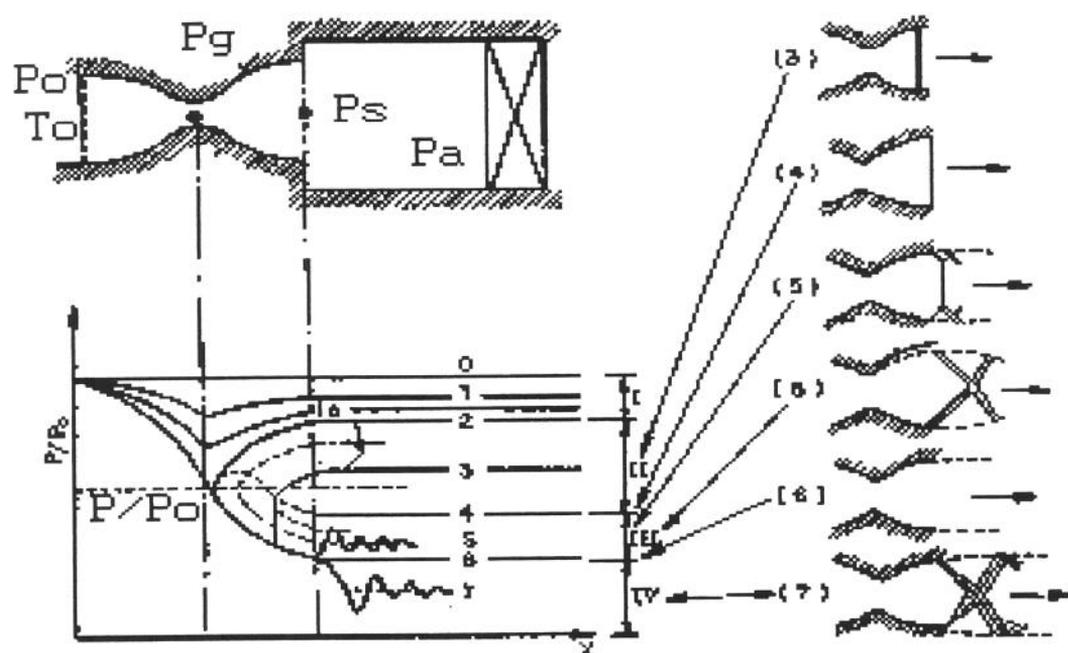


Figura 2.2.12 Comportamento de um escoamento isentrópico num bocal convergente-divergente. Fonte: ISMAIL, 1992.

2.3 TRANSPORTE PNEUMÁTICO DE SEMENTES.

2.3.1 Teoria sobre transporte pneumático.

Crane & Carleton citados por PORTELLA (1991) apresentaram uma análise teórica fornecendo equações que podem ser usadas para prever a perda de pressão numa tubulação. Levaram em conta fatores como:

- Material a ser transportado.
- Taxa de fluxo de sólidos.
- Velocidade do ar.
- Diâmetro do duto.
- Comprimento da tubulação.
- Inclinação da tubulação.

A equação do movimento é desenvolvida a partir do diagrama do corpo livre de uma partícula singularizada, como mostra a figura 2.3.1.

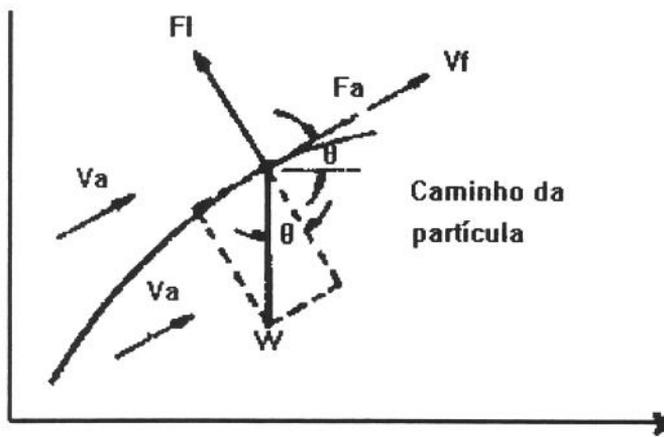


Figura 2.3.1 Diagrama do corpo livre de uma partícula singularizada. Fonte: PORTELLA, 1991.

Aplicando-se a 2^o lei de Newton ao sistema, e considerando as forças na direção tangencial à trajetória da partícula, têm-se:

$$\sum F = F_a - W \cdot \frac{\rho_p - \rho_a}{\rho_p} \cdot \text{sen} \theta = m_p \cdot a_p \quad 2.3.1$$

em que:

F_a = força de arrasto (N)

W = força peso (N)

ρ_p = massa específica da partícula (kg/m^3)

ρ_a = massa específica do ar (kg/m^3)

θ = ângulo de inclinação do duto em relação a horizontal (graus)

m_p = massa da partícula (kg)

α_p = aceleração da partícula (m/s^2)

A força de arrasto já foi abordada no item 2.1.4.e.iii.

Considerando então uma partícula em queda livre em uma corrente de ar ascendente, esta ficará sujeita às forças gravitacionais, a de empuxo e a de arrasto. O peso da partícula atua para baixo, enquanto o empuxo e a força resistente ou de arrasto atuam para cima. Quando estas forças estiverem em equilíbrio a partícula permanecerá suspensa no escoamento, com pequeno ou nenhum movimento vertical. Nesta condição a velocidade do ar é igual a velocidade terminal da partícula. Assim, a equação de equilíbrio das forças segundo MOHSENIN (1965), será:

$$m_p \cdot g \cdot \left[\frac{\rho_p - \rho_a}{\rho_p} \right] = \frac{C_a \cdot A_p \cdot \rho_a \cdot V_t^2}{2} \quad 2.3.2$$

em que:

m_p = massa da partícula (kg)

g = aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$)

A_p = área projetada da partícula (m^2)

V_t = velocidade terminal (m/s)

Isolando-se a velocidade terminal, obtém-se:

$$V_t = \sqrt{\frac{2 \cdot m_p \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_a)}{\rho_p \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot A_p}} \quad 2.3.3$$

Mas o cálculo teórico da velocidade terminal de uma partícula é possível desde que se conheçam os parâmetros envolvidos.

Tanto o coeficiente aerodinâmico de arrasto (C_a), quanto a velocidade terminal (V_t) são funções da forma da partícula e do número de Reynolds (R_e). Segundo MOHSENIN (1965):

$$R_e = \frac{D_{eq} \cdot V_t \cdot \rho_a}{\mu_f} \quad 2.3.4$$

sendo:

D_{eq} = diâmetro equivalente (m)

μ_f = viscosidade dinâmica do fluido (N.s/m²)

deste modo:

$$V_t = \frac{R_e \cdot \mu_f}{D_{eq} \cdot \rho_a} \quad 2.3.5$$

Combinando-se as equações 2.3.3 e 2.3.5, encontra-se:

$$C_a \cdot R_e^2 = \frac{2 \cdot m_p \cdot g \cdot D_{eq}^2 \cdot \rho_a \cdot (\rho_p - \rho_a)}{\mu_f^2 \cdot A_p \cdot \rho_p} \quad 2.3.6$$

Desta forma para determinar a velocidade terminal através da relação entre o coeficiente de arrasto e número de Reynolds, exige-se uma solução de tentativa e erro. MOHSENIN (1965) propõe a figura 2.3.2 e PORTELLA (1991) a tabela 2.3.1 que permite a obtenção de R_e em função da relação $C_a \cdot R_e^2$.

Como existe uma discrepância entre os valores teóricos da velocidade terminal e dos dados experimentais, FLEMMER & BANKS (1986) propuseram uma aproximação matemática dos dados experimentais até então obtidos sobre o coeficiente de arrasto de uma esfera. A expressão proposta foi:

$$C_{a-corrigido} = \frac{24}{R_e} \cdot 10^E \quad 2.3.7$$

sendo:

$$E = 0.261.R_e^{0.369} - 0.105.R_e^{0.431} - \frac{0.124}{1 + (\log_{10} R_e)^2} \quad 2.3.8$$

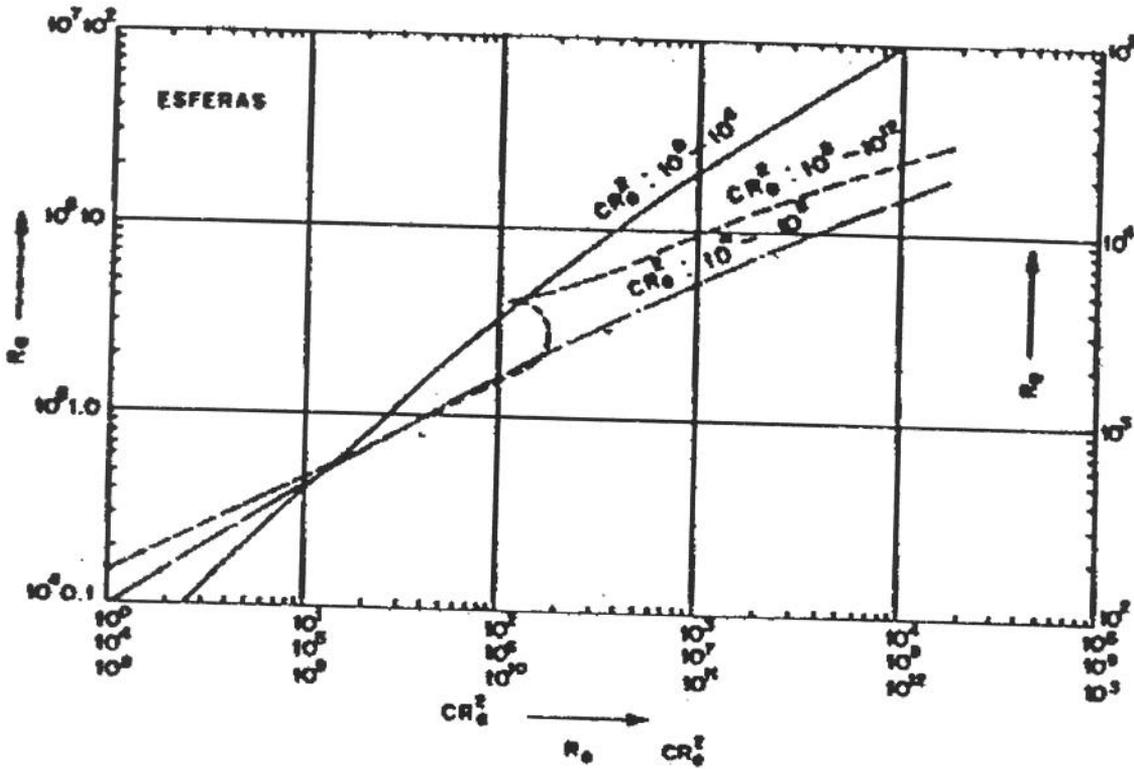


Figura 2.3.2 Número de Reynolds versus $C_a \cdot R_e^2$ para esferas. Fonte: MOHSENIN (1965).

Esta equação propiciará uma precisão muito boa para $R_e < 10^5$. Com o novo valor de C_a determina-se o novo valor de V_t (equação 2.3.3) e conseqüentemente um valor novo de R_e como propõe MOHSENIN (1965).

2.3.1

$$R_{e\text{-corrigida}} = R_{e\text{-teorico}} \cdot \frac{V_{t\text{-corrigida}}}{V_{t\text{-teorico}}}$$

Através da figura 2.3.3, dada por MOHSENIN (1965), a qual, sintetiza trabalhos de muitos pesquisadores é possível identificar aproximadamente o formato do corpo e verificar sua concordância com a semente em estudo. O formato do corpo em particular pode ser comparado numericamente em relação a uma esfera, através da equação 2.3.10.

$$\text{Esfericidade} = \sqrt[3]{\frac{L_2 \cdot L_3}{L_1^2}} \quad 2.3.10$$

sendo:

L_1 = comprimento do corpo

L_2 = largura do corpo

L_3 = espessura do corpo

Tabela 2.3.1 Relações entre $C_a \cdot R_e^2$, R_e e C_a para corpos esféricos.

R_e	C_a	$C_a \cdot R_e^2$
1	26.5	26.5
2	14.4	57.6
5	6.9	173
10	4.1	410
20	2.55	$1,02 \cdot 10^2$
50	1.5	$3,75 \cdot 10^2$
100	1.07	$1,07 \cdot 10^3$
1000	0.46	$4,60 \cdot 10^4$
2000	0.42	$1,68 \cdot 10^6$
3000	0.4	$3,60 \cdot 10^6$
5000	0.385	$9,60 \cdot 10^6$
7000	0.39	$1,91 \cdot 10^7$
10000	0.405	$4,05 \cdot 10^7$
20000	0.45	$1,80 \cdot 10^8$

Fonte: PORTELLA (1991).

HAWK *et al* (1966) obtiveram valores da velocidade terminal para trigo, soja e milho. Os valores obtidos foram:

Trigo de 6,49 a 7,96 m/s

Soja de 12,07 a 13,50 m/s

Milho de 8,17 a 9,91 m/s

Observaram a tendência dos grãos não aderirem à parede do duto e, devido ao seu formato irregular, os grãos vez por outra, batem na parede e giram sobre si, voltando para o centro do duto.

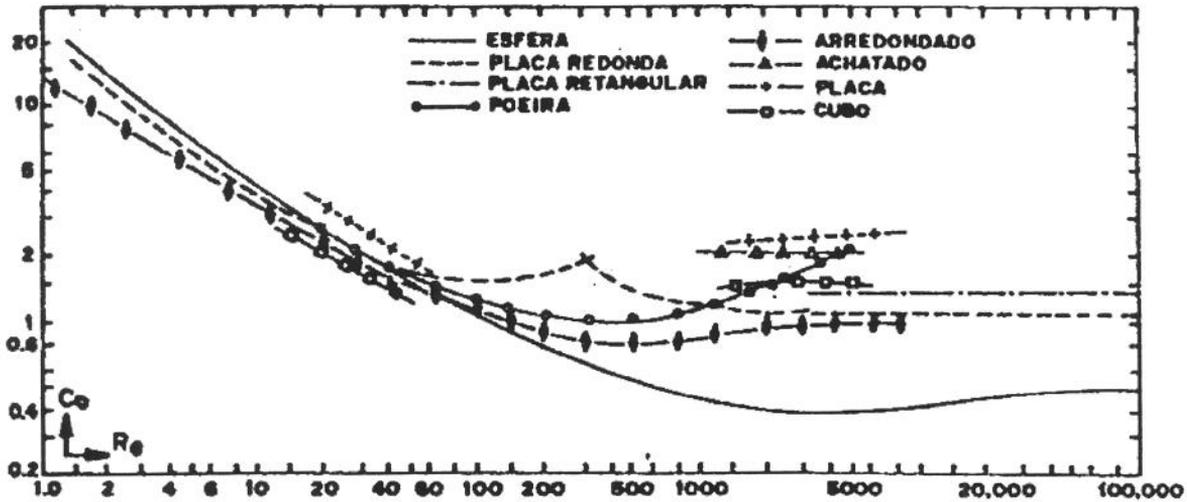


Figura 2.3.2 Coeficiente de arrasto para formas geométricas e irregulares. Fonte: MOHSENIN, 1965.

Os grãos de trigo e soja, na maioria das vezes, assumiram uma posição, com a sua maior dimensão perpendicular a corrente de ar. Já o milho assumiu posição com seu eixo longo perpendicular a corrente de ar, mas com o turbilhonamento maior do que o notado com trigo e soja.

PORTELLA (1991) estudando a velocidade terminal de grãos e esfera de madeira obteve os resultados apresentados na tabela 2.3.2.

Os parâmetros de C_a , V_t , R_e teóricos foram determinados segundo equacionamento para corpos esféricos. O coeficiente de arrasto corrigido foi obtido com a equação 2.3.7, a velocidade terminal experimental foi medida e R_e corrigido foi calculado pela equação 2.3.1. Utilizando-se a figura 2.3.3, identificou-se pelos valores de C_a corrigido e R_e corrigido, que todos os produtos aproximavam-se do formato de uma esfera.

Tabela 2.3.2 Parâmetros fluidodinâmicos com grãos e esfera de madeira.

Produtos	C_a teórico	C_a corrigido	V_t teórico	V_t experim.	R_e teórico	R_e experim.	Esferici- dade %
Bolas	0.410	0.430	14.64	12.45	114500	9737	98
Soja	0.387	0.399	14.11	10.72	6100	4694	90
Feijão	0.388	0.402	15.20	10.41	6700	4588	69
Milho- AG162	0.395	0.407	16.16	10.26	7850	4984	71
Milho- AG401	0.398	0.412	16.58	10.32	8850	5541	65

Fonte: PORTELLA (1991).

2.3.2 Transporte de grãos em dutos de pequeno diâmetro.

PORTELLA (1991) cita que desde 1940 vem sendo estudado o transporte de grãos. As pesquisas visavam transportar uma massa de grãos, farelos ou farinhas, de um ponto a outro, com um mínimo de perdas e um máximo de eficiência.

No seu estudo de transporte unitário de grãos, considerou, da mesma forma que se considera no transporte de elevadas taxas de carga mássica, as propriedades físicas dos produtos transportados, como o diâmetro dos dutos, a vazão mássica, a velocidade do fluido, a densidade do produto transportado, entre outros parâmetros.

Estudou o comportamento de esferas de madeira, soja, feijão e duas variedades de milho. Alguns resultados sobre a velocidade experimental dos grãos são apresentados na tabela 2.3.3.

Observou-se a redução da velocidade dos grãos com o aumento do diâmetro do duto e o aumento da velocidade com a distância, indicando que os grãos estavam em processo de aceleração.

Houve adequada concordância entre os dados experimentais e os obtidos na análise dimensional, sendo que, os melhores ajustes da equação ocorreram no duto de 15 mm, exatamente pelo regime turbulento imposto no seu interior, e pela ação da camada limite que forçou o deslocamento retilíneo dos grãos ao longo do duto.

Tabela 2.3.3 Velocidade de transporte de grãos, em função da variação do diâmetro e comprimento de tubos, com fluxo de ar a 25 m/s.

Produtos	∅ 15 mm			∅ 20 mm			∅ 25 mm		
	1.0 m	2.0 m	3.0 m	1.0 m	2.0 m	3.0 m	1.0 m	2.0 m	3.0 m
Soja	2.0	2.2	2.3	1.1	1.2	1.3	0.9	1.0	1.2
Feijão	2.5	3.0	3.3	1.2	1.4	1.5	1.0	1.1	1.3
Milho	2.9	3.4	3.8	1.4	1.7	1.8	1.1	1.3	1.4

Fonte: PORTELLA & PALLEROSI (1993).

Observou-se também que quanto menor foi a área projetada do grão, menor foi a velocidade de transporte.

No duto de 25 mm de diâmetro, para se manter o transporte dentro de limites aceitáveis (1.2 m/s), foi necessário a utilização de fluxo de ar consideravelmente grande, optando-se por uma velocidade do escoamento de 25 m/s.

2.4 TÉCNICAS DE MEDIDAS E INSTRUMENTAÇÃO.

2.4.1 Determinação da vazão em tubos de pequeno diâmetro.

A medida da vazão de um escoamento de fluido é realizada com a finalidade de se obter informações sobre o fluxo mássico, volumétrico, volume total ou até a velocidade em pontos do escoamento.

Uma das alternativas para medida de vazão é a utilização de aparelhos que obstruam o fluxo, provocando uma variação da pressão estática do escoamento, mediante alguma perturbação. Os dispositivos existentes que produzem perturbação em toda seção da tubulação são o tubo de venturi, os bocais e as placas de orifício.

Segundo BEAN (1971), a placa de orifício, provavelmente, é um dos mais antigos dispositivos para medir e regular o fluxo de fluidos. Caracterizam-se por serem os de maior facilidade construtiva e baixo custo, apesar de promoverem maior perda de carga.

DELMÉE (1982) e FOX & McDONALD (1985) citam que o deslocamento do fluido nas bordas vivas da garganta da placa de orifício ou do bocal (figura 2.4.1), provoca a formação de uma zona de recirculação a sua jusante. A corrente principal continua a acelerar-se a partir da garganta para formar a *veia contraída*, e depois volta a desacelerar-se e encher o duto. Na veia contraída, a seção do escoamento passa por seu valor mínimo. As linhas de corrente são essencialmente retas e a pressão é uniforme em todos os pontos da corrente.

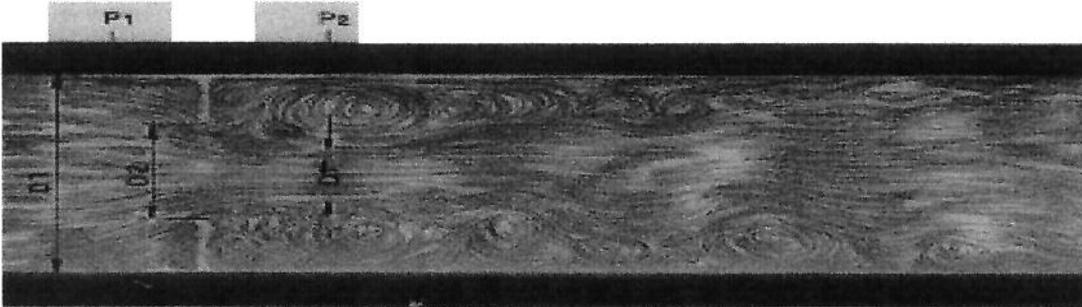


Figura 2.4.1 Foto de um dispositivo experimental para analisar o escoamento do fluido através de uma placa de orifício. Fonte: DELMÉE (1982).

O escoamento teórico pode ser relacionado com a diferença de pressão entre as seções 1 e 2, pela equação da continuidade (eq. 2.2.1 e 2.2.10) e a equação de Bernoulli, derivada da lei da conservação da energia (eq. 2.2.13), correspondendo a :

$$0 = \frac{\partial}{\partial t} \int_{vc} \rho \cdot dV + \int_{sc} \rho \cdot \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad = 0 \quad (1) \quad 2.4.1$$

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g \cdot z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g \cdot z_2 \quad 2.4.2$$

Hipóteses:

- (1) Escoamento permanente.
- (2) Escoamento do fluido incompressível.
- (3) Escoamento ao longo de uma linha de corrente.
- (4) Ausência de atrito.

(5) Velocidades uniformes nas seções 1 e 2.

(6) Linhas de corrente retas nas seções 1 e 2 de modo que a pressão é uniforme nestas seções.

(7) $z_1 = z_2$

Resolvendo estas equações, determina-se a vazão mássica teórica dada por:

$$\dot{m}_t = \frac{A_2}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot [2 \cdot \rho_1 \cdot (P_1 - P_2)]^{1/2} \quad 2.4.3$$

sendo:

$$\beta = \frac{D_2}{D_1} = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

A_2 = menor área da seção transversal da placa de orifício.

D_2 = menor diâmetro da seção transversal da placa de orifício.

O primeiro termo da equação 2.4.3 depende somente das características geométricas do aparelho, e o segundo termo dependa da variação de pressão e densidade do fluido. O fator

$\frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}$ é denominado por FOX & McDONALD (1985) de fator de velocidade de aproximação.

Para o caso de fluidos compressíveis com o escoamento a velocidade subsônica, BEAN (1971) propõe o uso do fator de expansão de gases (ε). Sendo:

$$\varepsilon = \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/k} \cdot \frac{k}{k+1} \cdot \frac{1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1/k}}{1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)} \cdot \frac{1 - \beta^4}{1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/k} \cdot \beta^4} \right]^{1/2} \quad 2.4.4$$

A relação entre calores específicos (k) é constante e igual a 1,4 para o ar. Assim, a equação 2.4.3, com o fator de expansão (ε) ficará:

$$\dot{m}_t = \frac{\varepsilon \cdot A_2}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot [2 \cdot \rho_1 \cdot (P_1 - P_2)]^{1/2} \quad 2.4.5$$

A vazão mássica é proporcional a raiz quadrada da diferença de pressões entre as tomadas do medidor.

Vários fatores limitam a utilidade da equação 2.4.5. A área efetiva do escoamento da seção 2 é desconhecida quando a veia contraída é pronunciada. Desta maneira, a equação teórica é ajustada para números de Reynolds e para razões de diâmetro por um coeficiente empírico de vazão (C), dado por:

$$C = \frac{\dot{m}_r}{\dot{m}_t} \quad 2.4.6$$

sendo:

\dot{m}_r = vazão mássica real (kg/s)

\dot{m}_t = vazão mássica teórica (kg/s)

O coeficiente de vazão está associado a irreversibilidades que ocorrem nos estrangulamentos da placa de orifício, reduzindo a vazão que deveria existir caso o escoamento fosse reversível. A figura 2.4.2 apresenta a variação de C em função da variação do número de Reynolds (Re) da relação entre diâmetros (β). Assim, a equação final do fluxo mássico real será:

$$\dot{m}_r = \frac{C \cdot \epsilon \cdot A_2}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot [2 \cdot \rho_1 \cdot (P_1 - P_2)]^{1/2} \quad 2.4.7$$

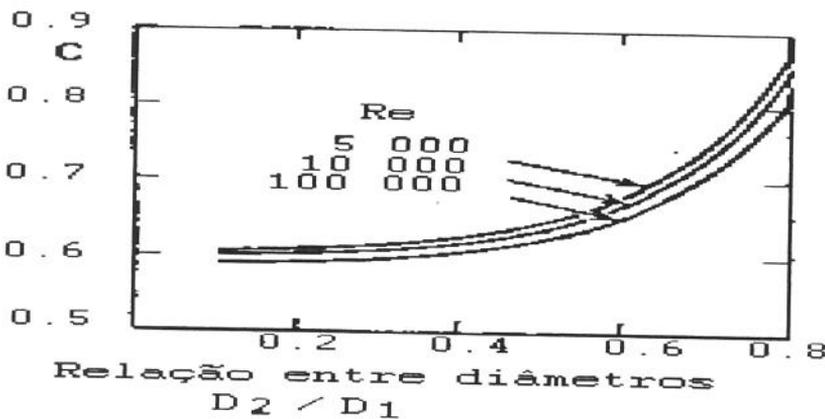


Figura 2.4.2 Coeficiente de vazão (C) em função de β para placas de orifício e de três faixas de número de Reynolds. Fonte: NEBRA & ROSA, 1993.

Conhecendo-se a vazão mássica e a massa específica do escoamento, é possível a determinação da vazão volumétrica (Q), e desta, juntamente com a área da seção transversal da tubulação (A) é possível determinar a velocidade do escoamento.

É importante lembrar que para valores do número de Mach inferior a 0,3 o fluido pode ser considerado como incompressível, apresentando ρ constante. Assim:

$$\dot{m}_r = \rho \cdot Q \quad 2.4.8$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad 2.4.9$$

Como conhecendo-se duas propriedades intensivas do escoamento é possível determinar o estado do mesmo. Como para as aplicações estudo, o gás é considerado ideal, vale a equação do estado, permitindo o cálculo de ρ em função da pressão e temperatura que são fáceis de serem obtidas experimentalmente. Ficando:

$$\rho = \frac{P}{\mathfrak{R} \cdot T} \quad 2.4.10$$

sendo:

$$\rho = \text{kg/m}^3$$

$$P = \text{N/m}^2$$

$$T = \text{K}$$

$$\mathfrak{R} = 286,9$$

Capítulo 3

3. PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA CONJUGADO DE DOSAGEM E TRANSPORTE PNEUMÁTICO DE SEMENTES.

3.1 ANÁLISE DE CONCEPÇÕES E SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS.

3.1.1 Introdução.

O problema da uniformidade de distribuição associado a não geração de danos as sementes ainda não foi equacionado totalmente. Embora as recomendações considerem que a ocorrência superior a 75% de espaçamentos aceitáveis entre sementes seja considerado um bom desempenho, a procura da perfeição é um constante ponto de competitividade entre as indústrias e produtores, os quais tem, como pré-requisito, a adequada implantação das culturas.

As semeadoras pneumáticas existentes apresentam o princípio que melhor associa a dosagem adequada com o menor dano às sementes, necessitando ainda aperfeiçoamentos para ajustar-se às condições de campo, pois, nem sempre apresentam melhor desempenho que as tradicionais. Além disso, os modelos existentes somente efetuam a semeadura em precisão, ao passo que vários fabricantes, como citado no item 2.1.1, já vendem semeadoras com dosadores mecânicos que implantam sementes em precisão e fluxo contínuo, através da troca de kit apropriado.

Dentro deste contexto optou-se desenvolver um sistema de dosagem e transporte pneumático de sementes, que permita sua liberação à velocidade igual e contrária ao deslocamento da semeadora e, com isso, minimizar os erros de dosagem e deposição.

Este sistema, como citado no capítulo 1, está inserido no projeto e desenvolvimento da semeadora Uniflux, cuja concepção básica é apresentada por PALLEROSI & PORTELLA (1992) é mostrada nas figuras 3.1.1 e 3.1.2.

3.1.2 Análise das concepções.

Será efetuada uma análise descritiva das concepções de soluções que atendam com eficiência o processo de dosagem e transporte de sementes, de precisão e fluxo contínuo, e satisfaçam os requisitos de projeto.

O fluxograma da figura 3.1.3 apresenta as diferentes funções que devem efetuar os dispositivos de dosagem e transporte de sementes proposto por OGLIARI (1990).

No processo de desenvolvimento do projeto procurou-se utilizar conceitos dos métodos conhecidos como "Morfológico" e "Brainstorming" citados por BACK (1983) e DEDINI (1996).

O objetivo principal foi desenvolver um sistema de dosagem e transporte que consiga distribuir uniformemente as sementes no solo, sem danificações, liberando-as no solo à velocidade igual e contrária ao deslocamento da semeadora. Ao mesmo tempo, deseja-se que as sementes também possam ser distribuídas em fluxo contínuo e a espaçamentos estreitos entre linhas de semeadura, como é o caso do trigo e outros cereais de inverno.

Neste sentido, o sistema de distribuição deve ser compacto para que cada unidade, uma ao lado da outra, não supere a largura de trabalho da semeadora, e pelo fato das sementes serem conduzidas em uma mangueira, possibilita a montagem dos abridores de sulco a espaçamentos estreitos

Para que o dispositivo dosador e de transporte não agregue valor a semeadora, os mesmos devem ter uma concepção que facilite o processo de fabricação e utilize materiais de baixo custo.

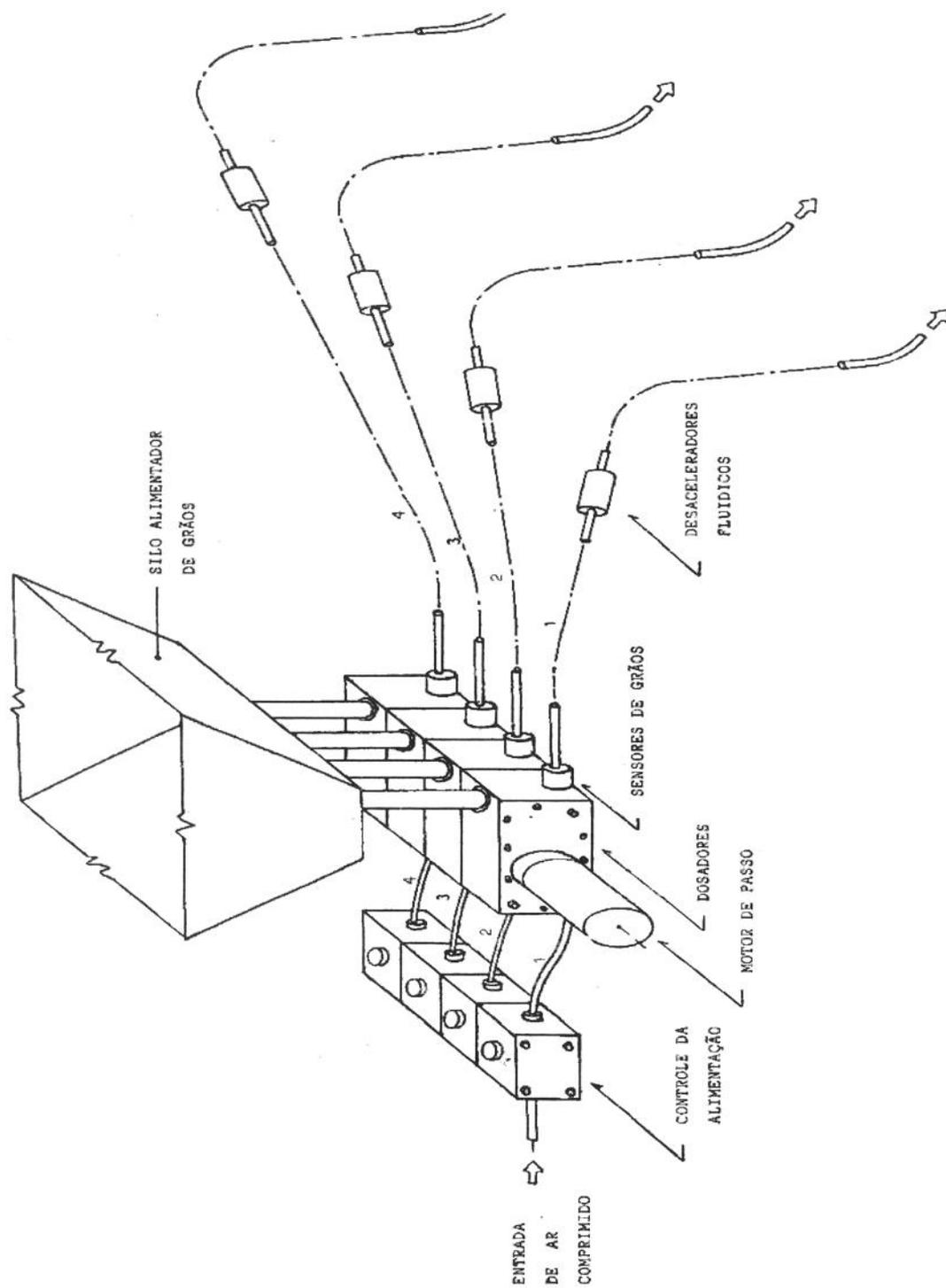


Figura 3.1.1 Concepção geral do sistema de dosagem e transporte da semeadora Uniflux.
 Fonte: PALLEROSI & PORTELLA (1992).

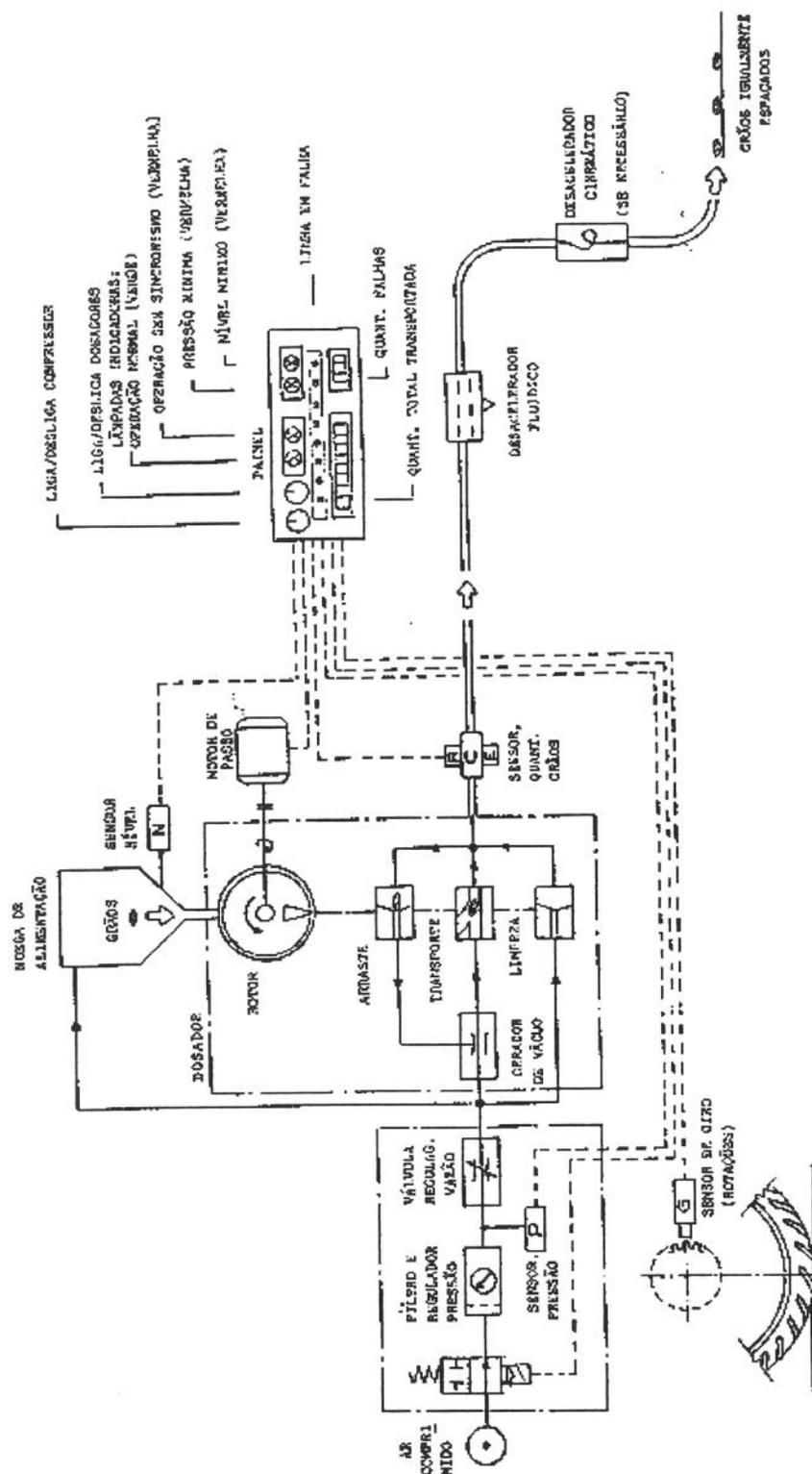


Figura 3.1.2 Concepção esquemática do sistema de dosagem e transporte de controle eletrônico da semeadora Uniflux. Fonte: PALLEROSI & PORTELLA (1992).

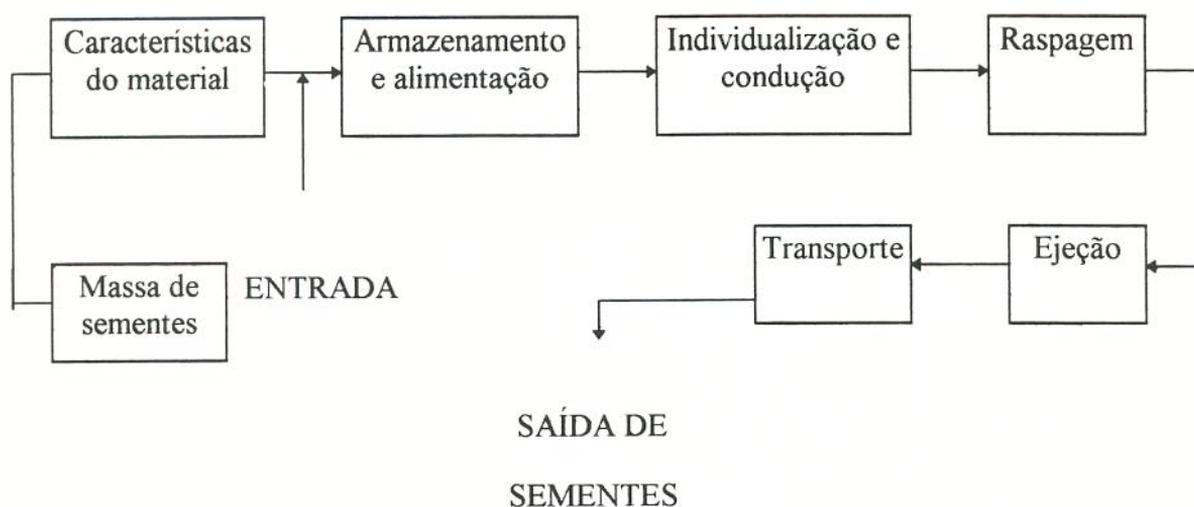


Figura 3.1.3 Fluxograma das funções dos dispositivos do sistema de dosagem e transporte de sementes.

Com a finalidade de apresentar grande disponibilidade em sua utilização, os componentes da semeadora além de apresentarem alta confiabilidade, devem permitir uma construção que viabilize baixa manutenção, destacando-se pelo prático intercâmbio de suas peças ou sistemas.

Dos sistemas de dosagem mecânicos apresentados no item 2.1, os de fluxo contínuo do tipo rotores acanelados não se prestam para a distribuição em precisão DOMINGUES *et al* (1984). Os de discos (horizontais, inclinados e verticais), assim como os de correia e hastes, não são apropriados para a semeadura em fluxo contínuo, além de apresentarem mecanismos de raspagem e ejeção (menos os de hastes) que facilitam a ocorrência de danos às sementes.

Dos pneumáticos do tipo disco, tanto os pressurizados como os por sucção, apresentam exigência maior de pressão de sucção ou sopro, pois, as células capturam as sementes na câmara de alimentação na posição inferior do disco e o atrito da semente capturada com as demais, resulta numa força (F_{at}) que aumenta a força de atrito (F_{ar}) responsável pela captura, conforme explicado por BARALDI & ZANCHE (1972) e apresentado no item 2.1.4.e.iii. Além disso, as sementes permanecem capturadas na circunferência quase completa do disco, possibilitando vazamentos e com isso, perda de pressão.

Outro fator, não menos importante, é a qualidade e sofisticação dos componentes fabricados, pois a superfície de contato do disco com os retentores é grande, promovendo também desgaste dos retentores, exigindo por isso precisão dimensional. Além disso, as

alterações no projeto para a captura de sementes à serem distribuídas em fluxo contínuo seria problemática.

O sistema de tambor pressurizado também apresenta problemas para a alteração do projeto em distribuição a fluxo contínuo. Já o sistema de tambor ou rotor por sucção, captura as sementes com intensidade de vácuo inferior (pois não possui a componente F_{at}), reduz a região em que a semente permanece capturada na circunferência do rotor e, com isso, diminui os problemas com retentores e baixa exigência na qualidade de fabricação de quase todos os componentes.

O depósito de sementes pode ser unificado para toda a semeadora, respeitando o ângulo de inclinação de suas paredes, o qual deve ser superior ao maior ângulo de repouso das sementes (tabela 2.1.1). As sementes podem ser conduzidas ao dosador por tubulações que permitam a descida livre das mesmas.

Junto ao rotor, as sementes devem ser capturadas em uma câmara onde o vácuo inicie próximo do final da câmara de sementes, para que a força de atrito (F_{at}), citada por BARALDI & ZANCHE (1972) seja a menor possível. A semente aí capturada é carregada pela célula até a posição mais alta do rotor, onde é liberada por gravidade, sem a necessidade de ejetores. Caso alguma semente fique presa à célula, deve haver um contra fluxo de ar soprando a semente para fora, promovendo uma auto limpeza da célula.

O sistema de raspagem é facilitado, pois as sementes ao serem conduzidas para cima, periféricamente com a superfície do rotor, fora da área de ação da célula de aspiração, devem cair de volta na câmara de alimentação e as que ficarem presas às células, em excesso, podem ser liberadas com um sopro controlado de ar, que parece ser o mais apropriado para esta configuração. Para o transporte de sementes do dosador ao solo, face aos problemas de ricocheteamento na tubulação de descarga e rolamento no sulco de semeadura, devido ao movimento, propõe-se o uso de um fluxo de ar, o qual, de acordo com PORTELLA (1991), deve ser em regime permanente para que as distâncias entre as sementes permaneçam iguais. Além disso, pelo fato das sementes serem aceleradas pelo fluxo de ar, as mesmas devem sair da tubulação à velocidade próxima e contrária ao deslocamento da semeadora. Portanto, o uso de desaceleradores é essencial, optando-se pelos pneumáticos e cinemáticos.

O circuito pneumático, como visto, deve promover um fluxo de ar em regime, vácuo parcial para a captura de sementes, sopro para auto limpeza das células e sopro para eliminação do excesso de sementes. Optando-se pelo uso de uma válvula de vácuo por conversão de pressão acima da atmosférica em vácuo parcial, constituída de um bocal compacto e construído de PVC, promovendo, assim, o vácuo parcial exigido para a captura de sementes e um fluxo de ar turbulento na sua saída, mas sem vórtices, nem pulsações como poderia ocorrer com outros sistemas pneumáticos existentes

3.1.3 Seleção da solução alternativa.

Para atingir os objetivos propostos no capítulo 1, foi desenvolvido em primeiro lugar uma válvula de vácuo para atender as condições de entrada do sistema de distribuição e transporte de sementes. Esta válvula foi obtida a partir da proposta de construção de um bocal convergente-divergente para condições ótimas de projeto, no sentido de encontrar parâmetros termodinâmicos à nível experimental que otimizem seu desempenho.

Posteriormente foi projetado e construído um protótipo do sistema de dosagem pneumática de sementes, com dimensões inferiores ao que será usado na semeadora Uniflux, principalmente quanto ao diâmetro, largura do rotor e número de células de aspiração de sementes, mas, permitindo-se avaliar o desempenho do equipamento quanto a variação da rotação do rotor, o nível de vácuo e tipo de célula de aspiração que apresente melhor comportamento para diferentes tipos de sementes. A figura 3.1.4 mostra a válvula de vácuo com o sistema dosador de sementes.

Para que o fluxo de ar permaneça em regime na saída do dosador, é importante considerar os componentes da figura 3.1.4 como um volume de controle (VC), onde as variações das propriedades termodinâmicas que ocorrem no seu interior não afetem a lei da continuidade (conservação da massa), que determina que o fluxo mássico que entra e sai do VC é constante.

O sistema de transporte pneumático de sementes é constituído de uma mangueira plástica de parede interna lisa e pequeno diâmetro, como recomenda PORTELLA (1991). O desacelerador pneumático é posicionado no final do trecho reto da mangueira e o cinemático,

depois do pneumático. Os detalhes de projeto e construção da solução proposta serão apresentados nos itens a seguir.

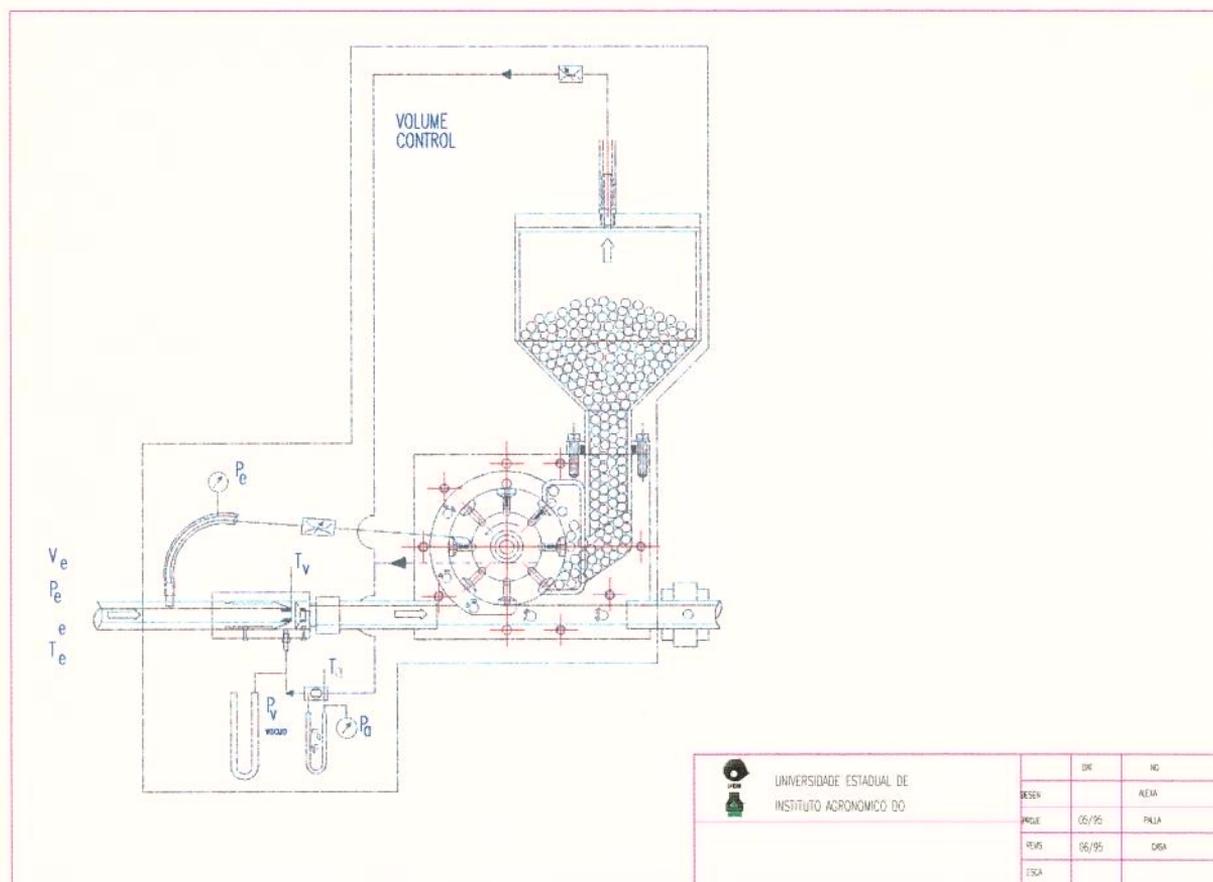


Figura 3.1.4 Volume de controle constituído pelo conjunto da válvula de vácuo e sistema de dosagem e conexões.

3.2 PROJETO E CONSTRUÇÃO DO SISTEMA.

3.2.1 Projeto e desenvolvimento da válvula geradora de vácuo.

3.2.1.a Considerações gerais e parâmetros de entrada.

O princípio de funcionamento da válvula de vácuo foi apresentado no item 2.2.1. Com o objetivo de variar as dimensões do bocal convergente-divergente e analisar o protótipo sob possíveis irreversibilidades que ocorreriam no escoamento, construiu-se uma válvula, possibilitando variar o ângulo do bocal convergente, o diâmetro de sua garganta e o ângulo e diâmetro de saída do bocal divergente.

Quanto aos parâmetros de entrada, PORTELLA (1991) cita que o diâmetro da tubulação de descarga de sementes que apresentou melhor eficiência no transporte unitário de grãos, foi o de 15 mm (item 2.3.2), sendo selecionada uma tubulação de alimentação com 16 mm de diâmetro interno.

A velocidade do escoamento recomendada na tubulação de descarga deve ser de 25 a 30 m/s, para que as sementes possam ser devidamente transportadas.

Quando todas as sementes estão obstruindo as células de aspiração, não deve haver adição de massa na válvula de vácuo, mas na eminência da captura de uma semente, o fluxo ocorre. Conforme citado no item 2.1.4.e.iii, a velocidade máxima do escoamento no orifício da célula de aspiração, para capturar apenas uma semente, é de 23 m/s. Assim, a vazão volumétrica, dada pela equação 2.4.9, com orifícios de 2, 3, 4, 5 e 6 mm de diâmetro, deve chegar a $0,117 \cdot 10^{-3}$, $0,162 \cdot 10^{-3}$, $0,289 \cdot 10^{-3}$, $0,451 \cdot 10^{-3}$ e $0,6510 \cdot 10^{-3}$ m³/s, respectivamente, e, a mássica para pressões próximas da atmosférica deve ser de $0,140 \cdot 10^{-3}$, $0,194 \cdot 10^{-3}$, $0,347 \cdot 10^{-3}$, $0,542 \cdot 10^{-3}$ e $0,78 \cdot 10^{-3}$ kg/s.

Os valores de vácuo parcial para captura pneumática de sementes variam de 30 a 170 mbar (item 2.1.4.e.ii) correspondendo a uma força de sucção, segundo a equação 2.1.20, para orifícios com diâmetro de 2, 3, 4, 5 e 6 mm de 86 mN, 120 mN, 214 mN, 334 mN e 481 mN, respectivamente, para o vácuo de 170 mbar.

3.2.1.b Projeto de um bocal convergente-divergente para condições isentrópicas.

Nesta etapa deseja-se projetar um bocal utilizando-se a teoria da mecânica dos fluidos compressíveis para bocais convergente-divergente, apresentada no item 2.2.2.a e, posteriormente, dimensionar a válvula de vácuo que será avaliada experimentalmente.

Será apresentado, passo a passo, o processo de cálculo do bocal selecionado para condições isentrópicas.

A velocidade de escoamento (V_c) do fluido na tubulação de descarga para efeito de cálculo é de 26,11 m/s, no sentido de aproveitar e confrontar os resultados experimentais no estudo da válvula de vácuo, que usa este parâmetro na alimentação do sistema.

O diâmetro da tubulação de descarga (D_d) é de 16 mm. A pressão estática absoluta (P_d) é bem próxima da atmosférica, correspondendo a 92 937 (N/m²) e a temperatura (T_d) de trabalho de 286,67 K. Assim, pela equação do estado (2.4.10), a massa específica (ρ_d) será de 1,13 kg/m³.

Com as equações 2.4.8 e 2.4.9 determina-se a vazão volumétrica (Q_d) e a vazão mássica (\dot{m}), correspondendo a 5,25.10⁻³ (m³/s) e 5,93.10⁻³ (kg/s), respectivamente.

Após o cálculo da vazão mássica, é possível determinar as propriedades do fluido na tubulação de entrada do bocal convergente (figura 2.2.1). Considerando-se uma pressão absoluta de entrada (P_e) do bocal convergente de 208701 (N/m²) e uma temperatura (T_e) de 286,67 K, obtém-se, pela equação do estado, o valor da massa específica de entrada (ρ_e), sendo igual a 2,52 kg/m³.

Pela equação 2.4.8 a vazão volumétrica de entrada (Q_e) é de 2,35.10⁻³ (m³/s).

Selecionando-se a área de entrada do bocal convergente de 50,27.10⁻⁶ m² ($D_e = 8$ mm), a velocidade do escoamento na entrada do bocal pode ser calculada pela equação 2.4.9, resultando em 46,83 m/s. Definindo-se os parâmetros de entrada do bocal convergente, através das equações 2.2.3, 2.2.4 e 2.2.5, é possível determinar as propriedades de estagnação (P_0 , T_0 e ρ_0) e daí, pelas equações 2.2.6, 2.2.7 e 2.2.8 as propriedades críticas do escoamento (P^* , T^* e ρ^*), ou seja, na condição onde o número de Mach é igual a 1.

Enfim, pela equação 2.2.28 encontra-se a área crítica do bocal convergente (garganta), cujo diâmetro é de 3,88 mm, definindo-se assim as características geométricas mais importantes do bocal.

Para que o fluido continue sendo acelerado e a pressão reduzindo, é necessário a presença de um bocal divergente. Para o nosso projeto, selecionando-se um bocal com 6 mm de diâmetro de saída, pela equação 2.2.28 novamente, determina-se o número de Mach na saída do divergente e pelas equações 2.2.3, 2.2.4 e 2.2.5, as propriedades do escoamento nesta posição. A tabela 3.2.1 apresenta estes resultados.

Este bocal, propositadamente apresentado, foi uma das melhores opções encontrada no dimensionamento para condições isentrópicas.

Utilizando-se a equação 2.2.34, obtem-se a área crítica e conseqüentemente o diâmetro crítico nas condições de projeto do bocal, considerando a possibilidade de adição de massa juntamente com a sua variação geométrica, encontrando-se o valor de 3,49 mm.

Com as fórmulas da tabela 2.2.1 é possível determinar as propriedades do escoamento unidimensional para um bocal convergente-divergente com adição de massa nas suas condições de projeto. A tabela 3.2.2 mostra as propriedades para a condição crítica na garganta do bocal e na saída do bocal divergente.

Tabela 3.2.1 Parâmetros de projeto de um bocal convergente-divergente para condições isentrópicas do escoamento.

Parâmetros no tubo de descarga e dimensões do bocal		Parâmetros de entrada do bocal		Propriedades termodinâmicas no bocal C-D	
Veloc. descar.	26.11 m/s	Vel. entrada	46.83 m/s	P. estagnação	211476 N/m ²
Pres. descar.	92937 N/m ²	Pres. entrada	208701 N/m ²	T. estagnação	289.76 K
Temp. descar.	286.67 K	Temp. entrada	288.67 K	M. Esp. estag.	2.544 kg/m ³
Diâm. descar.	16 mm	M.esp.entrada	2.52 kg/m ³	P. crítica	111715 N/m ²
Diâm. entrada	8 mm	Vazão mássic.	5.93 g/s	T. crítica	241.47 K
Diâm. saída	6 mm			M. Esp. crít.	1.613 kg/m ³
				Diâm. crítico	3.88 mm
				P. saída	14588 N/m ²
				T. saída	134.89 K
				M. Esp. saída	0.376 kg/m ³

Dos resultados obtidos observa-se que a pressão na saída do bocal divergente é bem abaixo da atmosférica, que é o parâmetro que mais interessa para o gerador de vácuo. A pressão absoluta de alimentação não é muito elevada (208701 N/m²) podendo ser suprida com um compressor de baixa potência.

Tabela 3.2.2 Propriedades do escoamento unidimensional em um bocal convergente-divergente com adição de massa.

Parâmetros de entrada		Parâm. na garganta do bocal		Parâm. na saída do bocal	
Pressão	208701 N/m ²	Pres. crítica	104350 N/m ²	Pressão	23695 N/m ²
Temperatura	288.07 K	Temp. crítica	144.33 K	Temperatura	123.45 K
Massa espec.	2.52 kg/m ³	M. esp. crítica	1.26 kg/m ³	Massa espec.	0.669 kg/m ³
Vazão máss.	5.93 g/s	Diâm. crítico	3.49 mm	Vazão máss.	10.73 g/s
				Mach na saída	3.005

3.2.1.c Projeto e desenvolvimento da válvula de vácuo propriamente dita.

O dimensionamento do bocal convergente-divergente para as condições de projeto (isentrópicas) desenvolvido no item 3.2.1.b, não garante o desempenho, pois as características construtivas da válvula de vácuo e do escoamento podem promover irreversibilidades e choques normais no bocal, reduzindo sua eficiência. Desta forma, apesar de manter-se o princípio de funcionamento citado no item 2.2.1, promoveu-se alterações construtivas ao bocal, como visto nas figuras 3.2.1 e 3.2.2. Assim, após a garganta do bocal convergente, há uma câmara de vácuo que permite alterar a distância da mesma à saída, que corresponde a um bocal divergente, e com isto definindo o ângulo apropriado do mesmo.

Este arranjo permite a variação do diâmetro da garganta, do ângulo do bocal convergente, ângulo do bocal divergente e o diâmetro de saída do mesmo, e com isto, realizar avaliações experimentais.

Como o conversor será utilizado junto a um dosador de sementes, quando as mesmas estiverem fechando todos os orifícios de aspiração ter-se-á a condição bloqueada. Mas, se as sementes não vedarem totalmente, e também, no instante em que um orifício iniciar a captura de mais uma semente, estarão na condição aspirada.

Considerando o conjunto constituído pela válvula e o sistema de distribuição com seu depósito de sementes como um volume de controle (figura 3.1.4), sem dúvida haverão

oscilações no fluxo, pela aspiração intermitente nos orifícios como explicado acima. Mas, como a vazão de alimentação e a de saída do sistema de distribuição para a tubulação de descarga é em regime, conforme determina a lei da continuidade, desconsideram-se as variações internas no volume de controle. Assim, pode haver oscilações do fluxo mássico no interior do volume de controle que não afetarão a vazão mássica do escoamento disponível para o transporte de sementes no tubo de descarga.

A análise da adição de massa (aspiração) na câmara de vácuo, a qual opera como um bocal divergente, interessa para se conhecer a vazão e a velocidade do escoamento em cada célula de aspiração.

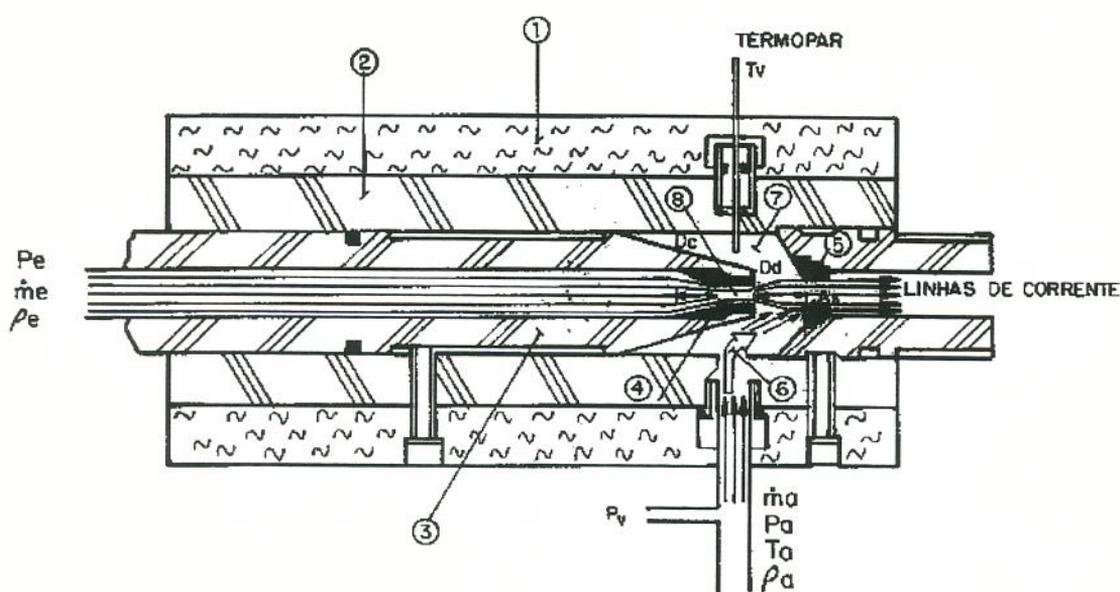


Figura 3.2.1 Esquema de funcionamento da válvula de vácuo, com as propriedades termodinâmicas e os parâmetros construtivos em estudo.

Como pode ser visto nas figuras 3.2.1e 3.2.2, a válvula de vácuo é constituída por um corpo cilíndrico de PVC (2), revestido de lã de vidro (1), no sentido de promover o isolamento de calor, procurando a condição adiabática. No interior do cilindro há um pistão regulável (3) com o objetivo de variar a distância da garganta (8) do bocal convergente à saída da câmara de vácuo (7), através de um orifício

O bocal convergente (4) é encaixado na ponta do pistão, podendo ser removido e trocado para efeito de testes de desempenho. Na extremidade oposta do corpo cilíndrico, posiciona-se o suporte do orifício de saída (5), o qual também pode ser trocado para os testes.

A figura 3.2.3 mostra o desenho dos bocais convergentes e orifícios de saída usados no estudo, sendo que, preliminarmente, construiu-se bocais convergentes com diâmetro de 3,5, 4,0 e 4,5 e orifícios de saída com 3 a 8 mm, permanecendo para os testes os apresentados na figura 3.2.3.

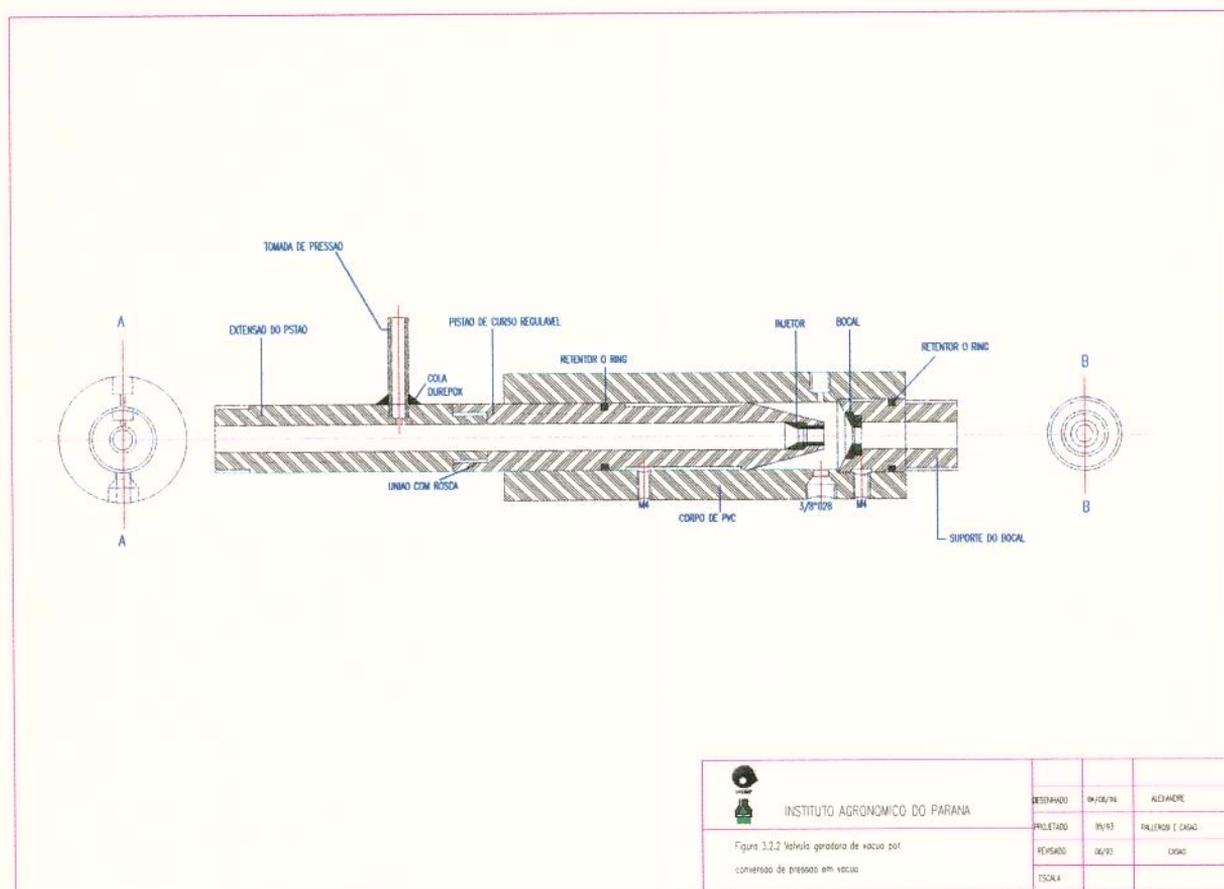


Figura 3.2.2 Válvula geradora de vácuo por conversão de pressão em vácuo.

No item 2.2.3, figura 2.2.11 salienta-se as variações do coeficiente de descarga do bocal convergente em função do seu ângulo de convergência, que justifica o estudo de sua variação. No mesmo item, ISMAIL (1992) fala da formação de uma veia contraída na garganta do bocal convergente reduzindo o fluxo mássico em relação a condição de escoamento unidimensional reversível, sendo este o motivo de se trabalhar com uma garganta com diâmetro de 4 mm,

correspondendo a um valor pouco superior ao diâmetro crítico, obtido no item 3.2.1.b, de 3,88 mm para o escoamento isentrópico (tabela 3.2.1) e 3,49 mm para escoamento com adição de massa (tabela 3.2.2).

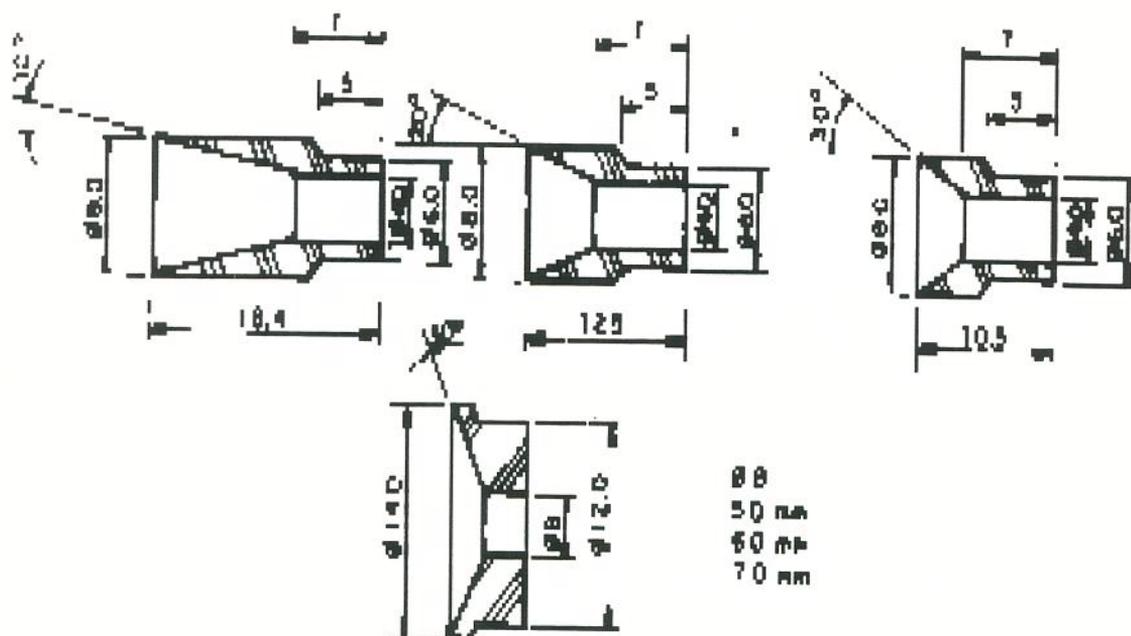


Figura 3.2.3 Bocais convergentes (injetores) e bocais de saída na válvula de vácuo.

3.2.2 Projeto e desenvolvimento do sistema pneumático de dosagem de sementes.

3.2.2.a Considerações gerais e exigências operacionais.

Para confirmar a hipótese e atingir os objetivos *b* e *c* propostos no capítulo 1 e desenvolvido no item 3.1.2, construiu-se um sistema de dosagem reduzido como justificado no item 3.1.3, cujas limitações deveram-se, também, à sensibilidade do registrador de sinais analógicos utilizado, o qual, não apresenta velocidade do papel de impressão suficiente para o registro da passagem de sementes com a proximidade desejada. A opção de uso de um sistema de aquisição de sinais não se concretizou em função dos equipamentos laboratoriais disponíveis e o tempo para a realização deste trabalho de tese.

3.2.2.b Concepção geral do projeto.

O sistema de dosagem foi construído quase que totalmente de acrílico, com o objetivo da visualização do desempenho dos seus componentes e dispositivos. As figuras 3.2.4, 3.2.5 e

3.2.6 apresentam vistas em corte, lateral e frontal do dosador, juntamente com os componentes eletrônicos de controle de rotação e contagem de células de aspiração. A figura 3.2.7 mostra uma foto do sistema operando com a semente de milho.

De acordo com a proposta de uso do sistema de dosagem com rotor por sucção apresentado no item 3.1.2, agora pode-se visualizar na figuras 3.2.4 e 3.2.7, que as sementes são capturadas pelas células de aspiração no final da câmara de alimentação (1), sendo conduzidas ao topo do rotor onde termina a aspiração, liberando a semente que cai, por gravidade, em direção ao tubo de descarga. Há, aí, um fluxo de ar em regime para conduzir as sementes "uniformemente" até sua saída.

Para efetuar a limpeza do excesso de sementes que são conduzidas na superfície do rotor, principalmente para o milho, introduziu-se um elemento limitador constituído de uma pequena folha plástica recortada (figura 3.2.10).

Um sopro de ar é fornecido a célula na posição (2) que promove uma auto limpeza do sistema, caso alguma semente ou resíduo permaneça preso a mesma.

As sementes descem do depósito à câmara de alimentação por gravidade acomodando-se aí em função do ângulo de repouso das mesmas, podendo-se regular a altura da tubulação de alimentação de sementes, pelo simples posicionamento da altura apropriada do depósito de sementes.

O sistema é vedado para que o volume de controle apresentado na figura 3.1.4 não tenha vazamentos e cumpra sua função.

Os detalhes construtivos, assim como, a teoria de captura das sementes pelas células de aspiração serão apresentados nos itens seguintes.

3.2.2.c Depósito de sementes.

O depósito de sementes foi construído com chapa de acrílico com 3 mm na face trapezoidal e 4 mm na retangular. Seu volume é de 1,36 litros, sendo o suficiente para trabalhar com todas as sementes estudadas em cada parcela experimental, sem que o nível de sementes fique inferior à metade do depósito.

Suas paredes são inclinadas, com ângulos maiores que os de repouso das sementes, para que as mesmas fluam com facilidade. As figuras 3.2.4 e 3.2.7 mostram detalhes do depósito que possui a tampa com vedação de borracha, para evitar vazamentos.

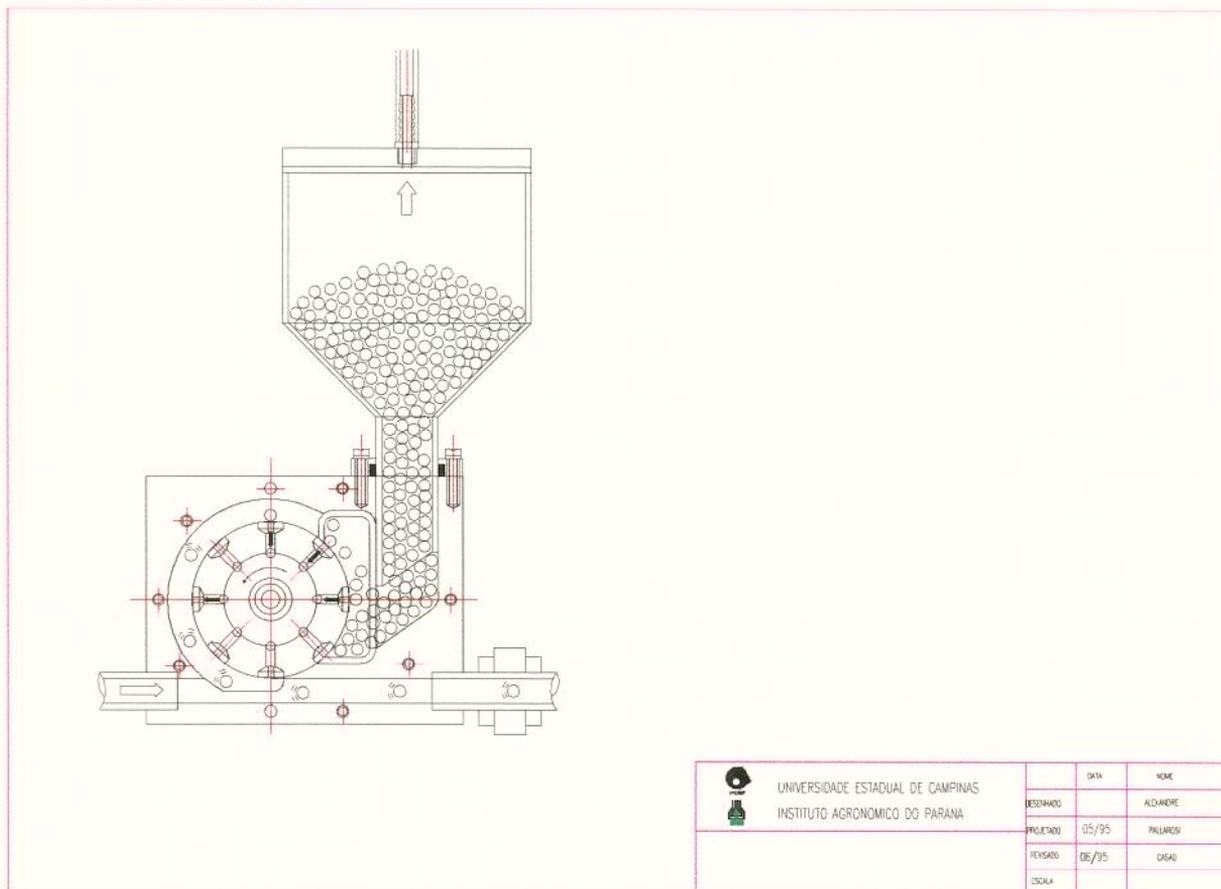


Figura 3.2.4 Esquema do sistema de distribuição e depósito de sementes em corte com ênfase de seu funcionamento.

Um suspiro na parte superior da tampa tem a função de efetuar a variação do nível de vácuo parcial que será explicado posteriormente.

Conectado ao depósito, há um tubo de condução das sementes à câmara de alimentação, com entalhes para vedação em relação ao chassi do dosador.

3.2.2.d Chassi do sistema dosador.

O chassi do dosador é construído em acrílico, conforme apresentado nas figura 3.2.8 e figura 3.2.9, todo usinado, com um entalhe para colocação de vidros na sua lateral para

melhorar a visualização da captura das sementes. Há um orifício superior para o encaixe do tubo de alimentação, e as faces direita e esquerda são unidas através de 10 parafusos.

Esta constituição é específica para os estudos laboratoriais, necessariamente sofisticada quanto os processos de fabricação, mas que serão totalmente alteradas na semeadora Uniflux, de maneira que, a proposta é de usar somente uma superfície usinada. Esta superfície corresponde ao encaixe do disco de teflon, onde se apoia e gira o rotor. O restante poderá ser fabricado com plástico injetado e as uniões feitas com engate rápido.

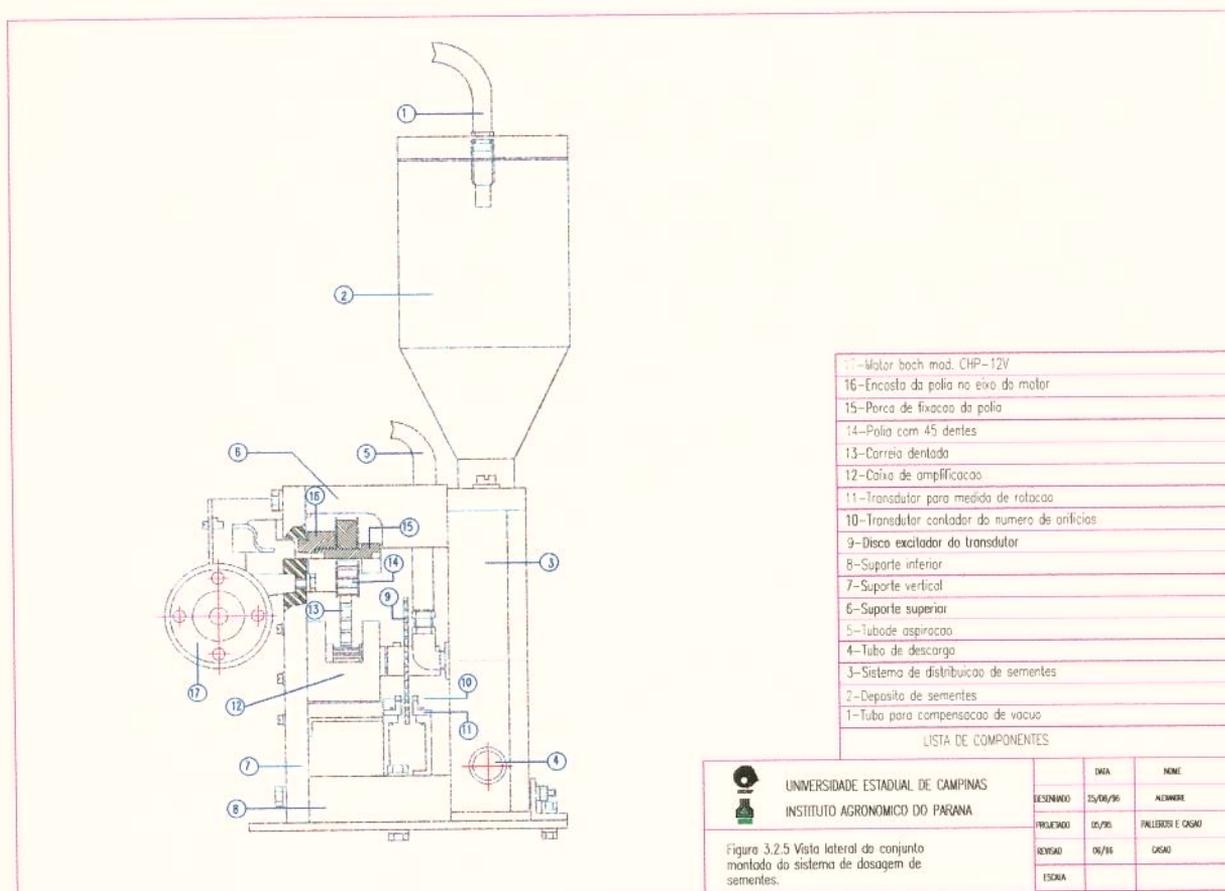


Figura 3.2.5 Vista lateral do conjunto montado do sistema de dosagem de sementes

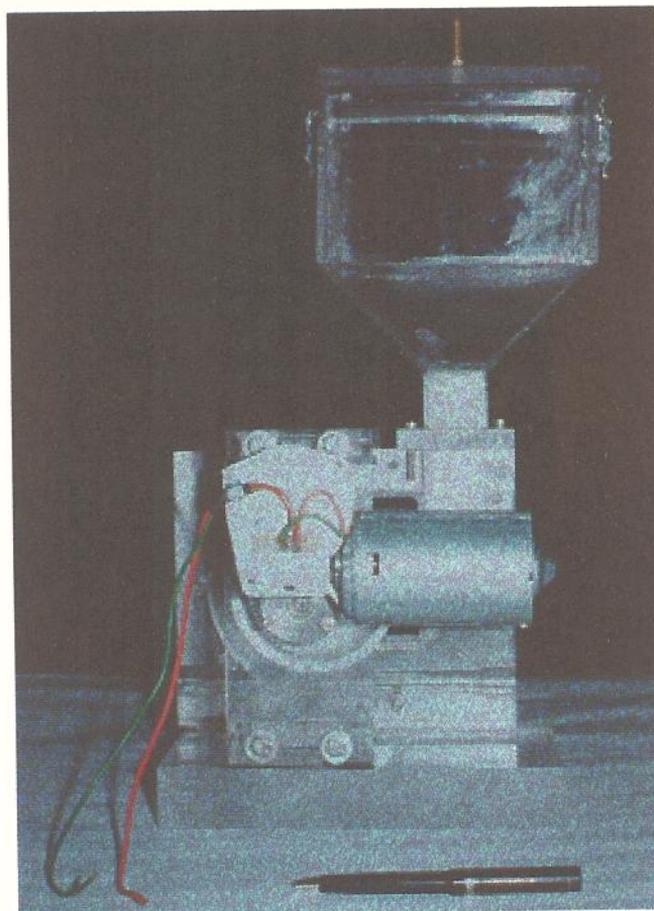


Figura 3.2.6 Vista frontal do conjunto montado do sistema de dosagem de sementes.

3.2.2.e Rotor dosador de sementes.

3.2.2.e.i Características construtivas.

A figura 3.2.10 mostra a montagem do rotor de dosagem de sementes montado no chassi esquerdo do sistema de dosagem utilizado no estudo. O rotor foi construído com dimensões reduzidas, não possibilitando que o fluxo de sementes correspondesse as exigências agronômicas, como justificado no item 3.1.3.

Para atender essas exigências, propõe-se construí-lo na semeadora Uniflux, com um diâmetro de 300 mm, correspondendo a 942,5 mm de comprimento periférico, o qual na regulagem com trigo a 10 rpm, terá 4 fileiras com 216 células de aspiração e 2,0 mm de diâmetro cada. Cada célula estaria espaçada de 4,4 mm da seguinte no sentido da linha circunferencial periférica do rotor e 10 mm no sentido transversal. Esta é a regulagem que exige maior número de células de todas combinações.

No caso do milho, trabalhando a 10 rpm, corresponderá a uma fileira de 96 células com 3,5 mm de diâmetro. Cada célula estará espaçada de 9,8 mm da seguinte. Estas combinações podem ser visualizadas na tabela 3.2.3. A largura do rotor nesta composição deverá ser de 40 mm.

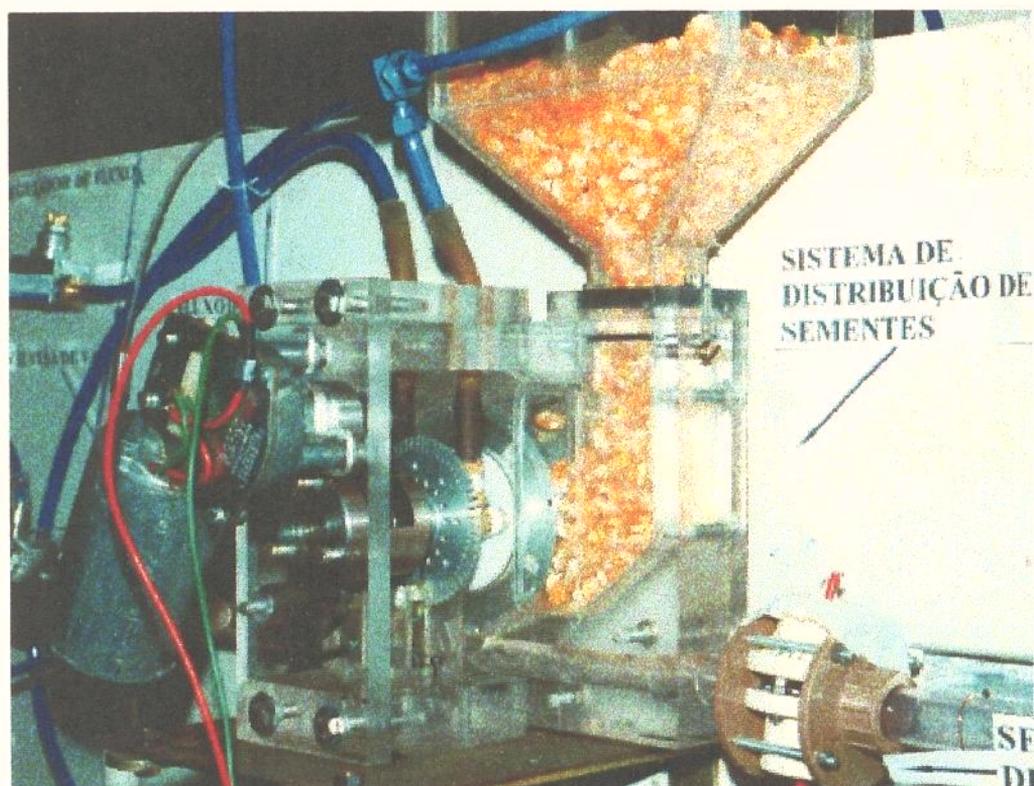


Figura 3.2.7 Sistema de dosagem de sementes em operação com a cultura de milho.

No caso da semeadora Uniflux, deverá ser usado uma cinta elástica, perfurada, com o número e diâmetro apropriado das células de aspiração, efetuando-se sua troca com diferentes regulagens.

O rotor (4) construído para este estudo é apresentado na figura 3.2.11, com 100 mm de diâmetro externo e oito células de aspiração (7). A cada célula corresponde um canal (11) que se comunica com o entalhe (10) do disco de vedação onde forma uma região de baixa pressão (vácuo parcial) e um orifício (9) para limpeza, com uma pressão acima da atmosférica.

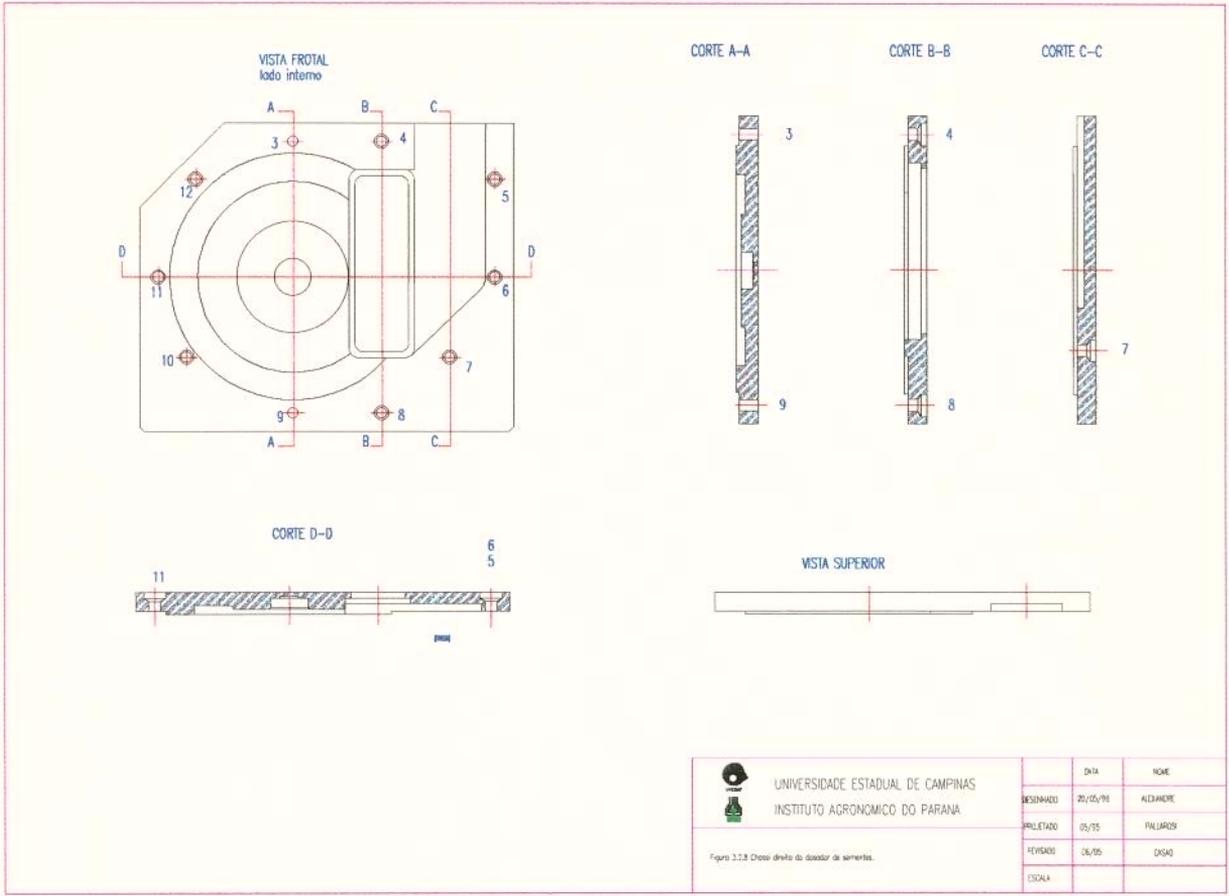


Figura 3.2.8 Chassi direito do dosador de sementes.

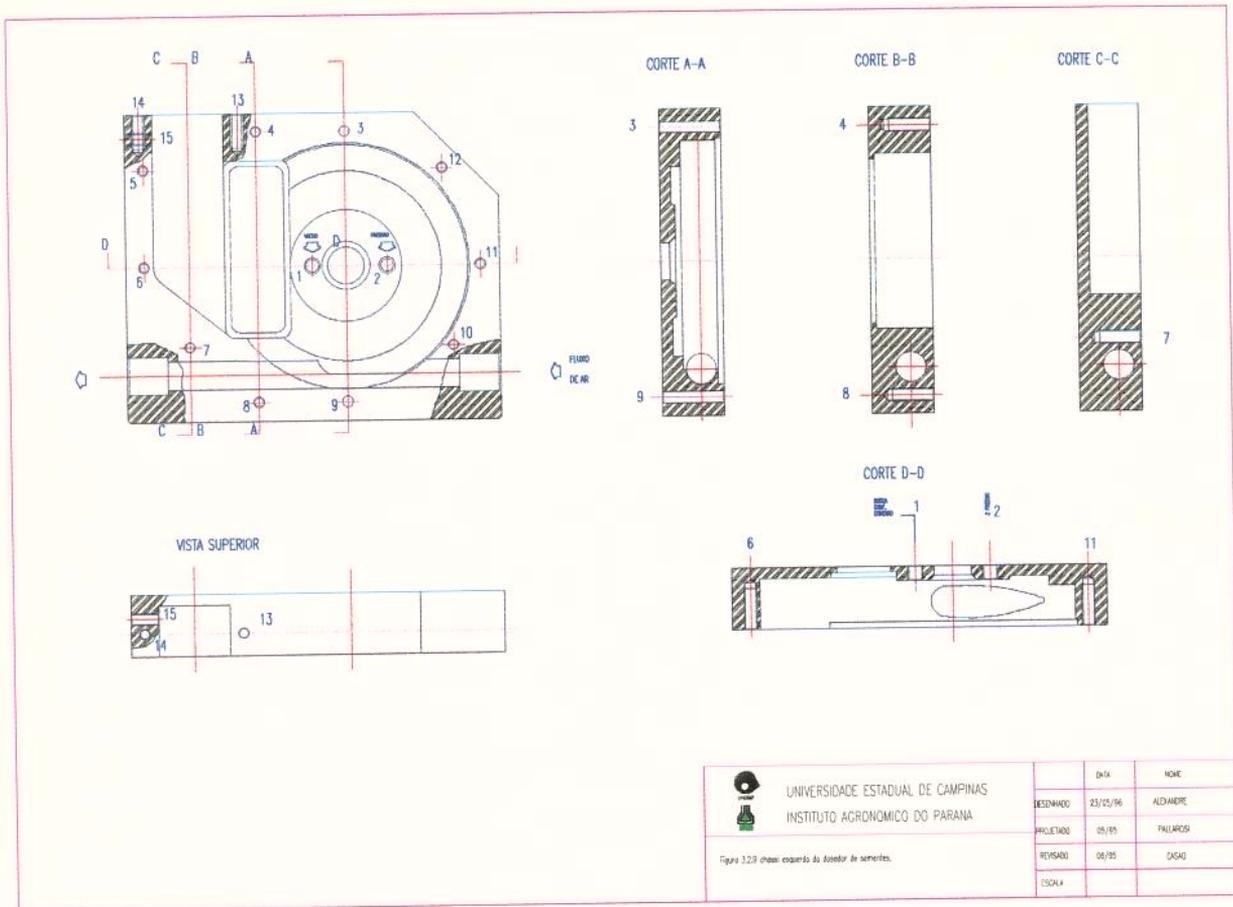


Figura 3.2.9 Chassi esquerdo do dosador de sementes.

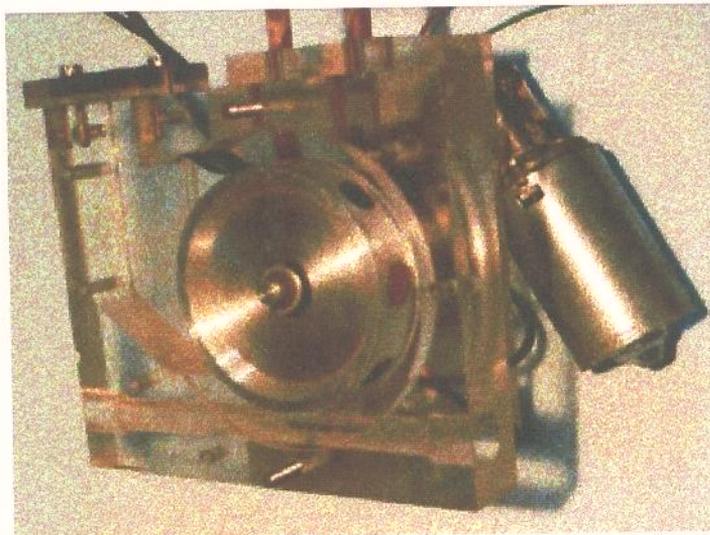


Figura 3.2.10 Rotor dosador de sementes montado no sistema de dosagem.

Tabela 3.2.3 Número e distância entre as células de aspiração propostos para o rotor da semeadora Uniflux em função do tipo de semente, rotação e recomendação agrônômica.

Sementes/m			Rota ção (rpm)	Vel. perif. (m/s)	Distância entre as células (mm)			Número de células por fileira			Número de fileira de células		
Milho	Soja	Trigo			Milho (mm)	soja (mm)	Trigo (mm)	Milho	soja	Trigo	Milho	Soja	Trigo
9	20	80	10	0.157	9.82	8.73	4.36	96	108	216	1	2	4
9	20	80	20	0.314	19.63	17.45	8.73	48	54	108	1	2	4
9	20	80	30	0.471	26.18	26.18	13.09	36	36	72	1	2	4
9	20	80	40	0.628	39.27	34.91	17.45	24	27	54	1	2	4

A regulagem foi calculada para uma velocidade de deslocamento de 6.5 km/h e rotor com 300 mm de diâmetro. Os dados calculados devem sofrer arredondamentos para se adaptar as exigências construtivas.

O rotor apresenta um orifício central por onde passa o eixo de acionamento (3). A vinculação do eixo ao rotor é feita pelo pino de arraste (13). Um anel de 19 mm de diâmetro no eixo (3) encosta-se em um anel saliente do disco de vedação (5) e o anel prolongado a esquerda do rotor encaixa-se num entalhe circular (16 mm de diâmetro) do disco de vedação. Isto ocorre pela pressão da mola (14) vinculada ao eixo e ao rotor. Com isto obtém-se a vedação do sistema, ao mesmo tempo que funciona como mancal do eixo.

A superfície esquerda do rotor é usinada com precisão suficiente para apoiar-se e girar em relação ao disco de vedação (5). O eixo apoia-se também em um mancal de teflon (6), encaixado no chassi direito (2) do sistema de dosagem.

As células de aspiração (7) são encaixadas e fixadas por um parafuso tipo allen (8) em orifícios construídos perifericamente ao rotor, facilitando sua troca.

O rotor do protótipo foi construído de alumínio, o qual permite melhores condições de usinagem, associado ao seu baixo peso.

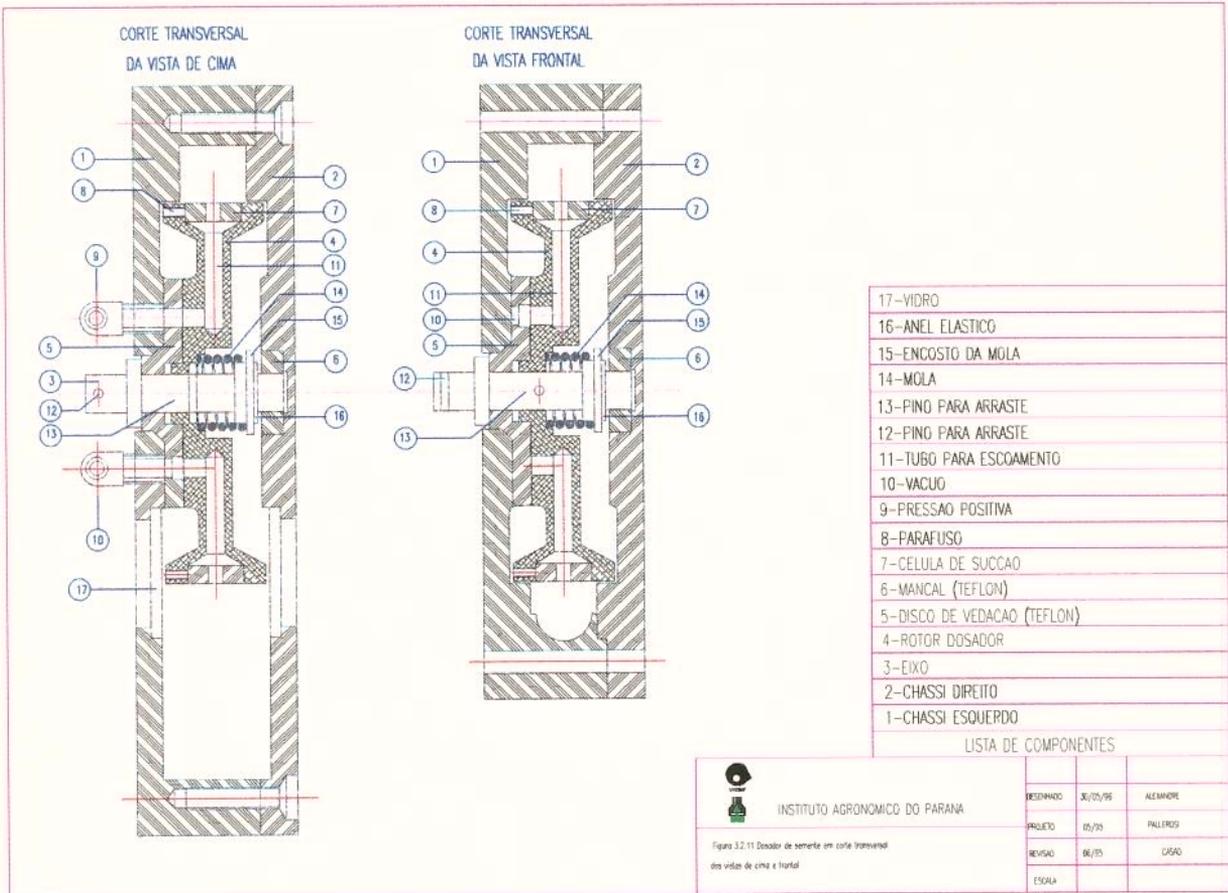


Figura 3.2.11 Dosador de sementes em corte transversal das vistas de cima e frontal.

3.2.2.e.ii Captura de sementes.

Dinâmica da captura.

A semente é capturada pela célula de aspiração na região onde inicia o vácuo parcial, como explicado no item 3.2.2.b e apresentado na figura 3.2.4. Nesta posição as sementes estão disponíveis na câmara de alimentação praticamente sem nenhuma semente acima (exercendo peso sobre ela) da que vai ser capturada e a uma distância mínima da célula.

Em algumas situações, considera-se que a distância (x) em torno de 5 mm, da semente à célula, corresponda ao valor máximo que deva ser aspirada pela célula. A figura 3.2.13 apresenta o modelo físico da captura dessa semente, indicando que a sucção deve vencer a força de arrasto que atua sobre a mesma.

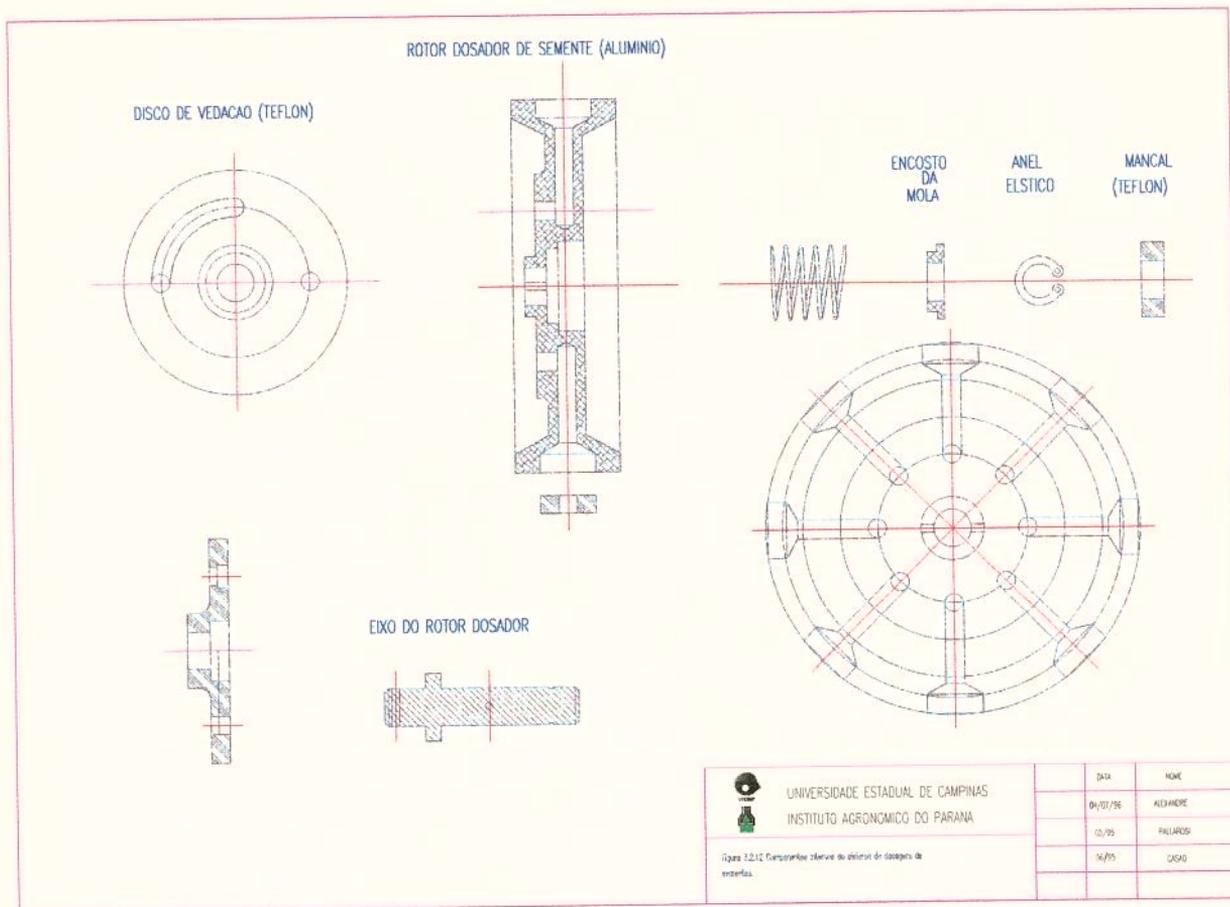


Figura 3.2.12 Componentes internos do sistema de dosagem de sementes.

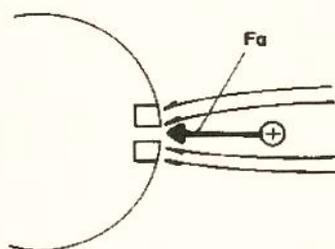


Figura 3.2.13 Captura de uma semente pela célula de aspiração.

Do item 2.1.4.e.iii tem-se pela equação 2.1.12 que a força resistente ($F_r = F_a$) é igual a massa vezes a aceleração da semente. A aceleração da semente, dada pela equação 2.1.9 é simplificada, considerando que a velocidade inicial (V_0) é zero, ficando:

$$a_s = \frac{V_c}{t} \quad 3.2.1$$

pela equação 2.1.8:

$$t = \frac{2 \cdot x}{V_c} \quad 3.2.2$$

Como a velocidade V_c é dada pela equação 2.1.15, obtêm-se assim, a força de sucção ($F_s = F_a$).

$$F_s = m_s \cdot \frac{V_c^2}{2 \cdot x} \quad 3.2.3$$

e a pressão de sucção é dada por:

$$P_s = \frac{F_s}{A_c} \quad 3.2.4$$

sendo:

$$A_c = \frac{\pi \cdot D_c^2}{4} \quad 3.2.5$$

$$A_p = \frac{\pi \cdot D_e^2}{4} \quad 3.2.6$$

Exemplificando-se, para $x = 5$ mm, $C_a = 0,418$, $m_s = 0,4$ g, $D_e = 8,1$ m, $D_c = 4,4$ mm, $\rho_f = 1,293$ kg/m³ e diferentes valores de V_f , pode-se ver na tabela 3.2.4 os valores de V_c , F_s e P_s .

Tabela 3.2.4 Variação da velocidade da semente próximo a célula de aspiração (V_c), da força (F_s) e pressão de sucção (P_s) em função da velocidade do fluido no orifício da célula de aspiração

V_f (m/s)	25	50	75	100	125
V_c (m/s)	0.093	0.132	0.162	0.187	0.209
F_s (mN)	0.35	0.70	1.05	1.40	1.75
P_s (N/m ²)	23	46	69	92	115
P_s (mbar)	0.23	0.46	0.69	0.92	1.15

Na figura 3.2.14 a força de sucção deve resistir o efeito do peso da semente e a força centrífuga, já que o efeito devido ao atrito com as sementes na câmara de alimentação foi evitado, como apresentado no item 3.1.2. A componente da força de sucção devido ao peso da semente é dado por:

$$F_e = \frac{P_e}{f} \quad 3.2.7$$

sendo:

f = coeficiente de atrito entre a semente e a célula de aspiração

A componente da força de sucção devido a força centrífuga (F_c) é dada pela equação 2.1.17. Ficando a força de sucção igual a:

$$F_s = F_e - F_c = f \cdot P_e - \left(\frac{-m_s \cdot V_p^2}{R} \right) = m_s \cdot \left(f \cdot g + \frac{V_p^2}{R} \right) \quad 3.2.7$$

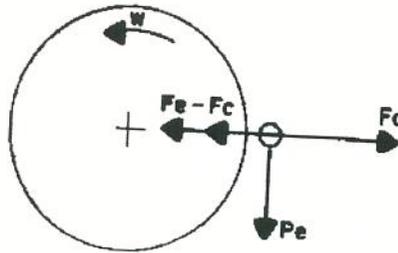


Figura 3.2.14 Modelo físico de captura da semente no rotor

A título de exemplo, a pressão para transportar uma semente de milho capturada por um orifício de 4.4 mm de diâmetro a 20 rpm no rotor com 100 mm de diâmetro, é de 6.5 mbar, e a força de 9.9 mN (equação 3.2.7). Considerando uma condição dinâmica, em movimento no campo, assumindo-se uma aceleração de 2.g, a pressão será de 12.9 mbar e a força de 19.7 mN. Para o caso do diâmetro do rotor com 300 mm, a pressão calculada será de 6.6 mbar e a força de 10.1 mN. A tabela 3.2.5 apresenta estes dados.

Células de aspiração.

As células de aspiração foram construídas e colocadas em orifícios dispostos radialmente ao rotor, comunicando-se com canais do circuito pneumático.

No item 2.1.4.e.ii, SHORT & HUBER (1970) recomendam que a área do orifício da célula seja de 40% da área exposta da semente. Outro parâmetro citado pelos mesmos autores, é que a velocidade do escoamento no orifício, não seja superior a 23 m/s, citado no item 2.1.4.e.iii.

Tabela 3.2.5 Variação da força de sucção (F_s) e pressão de sucção (P_s) em função da velocidade periférica do rotor e magnitude de aceleração das sementes.

Diâmetro do rotor e aceleração	Veloc. semente (m/s)	Força de sucção (mN)	Pressão sucção (N/m^2)
100 mm - g	0.1045	9.90	651
100 mm - 2g	0.1045	19.70	1295
300 mm - g	0.3135	10.01	658
300 mm - 2g	0.3135	19.88	1307

MONTEIRO (1989), propôs um formato apropriado para a célula de aspiração, para que a semente pudesse ser melhor alojada na mesma, considerando a profundidade e o ângulo de ataque das células sobre a massa de grãos.

Outra particularidade das semeadoras pneumáticas por sucção é a possibilidade de entupimentos, devendo os orifícios das células apresentar diâmetros inferiores ao menor diâmetro das sementes. Assim, estudou-se preliminarmente células com diferentes dimensões e formatos, construídas em PVC como é apresentado na figura 3.2.15.

Observou-se que ocorriam falhas na captura, por entrada de ar nas beiradas dos orifícios, ou captura de mais do que uma semente pela não vedação dos mesmos. Optou-se então pelo uso de células de borracha macia, como pode ser observado na figura 3.2.16, apresentando uma vedação mais eficiente na captura das sementes.

As células de borracha possuíam 16 mm de diâmetro externo, 5 mm de espessura e orifícios de 2, 3, 4, 5, 6 e 7 mm de diâmetro. Como eram encaixadas nas cavidades de 15 mm de diâmetro dispostas radialmente no rotor (figura 3.2.12), a borracha era comprimida e os diâmetros dos orifícios diminuíam, correspondendo em média a 1.50, 2.55, 3.25, 4.40, 5.47 e 6.77 mm respectivamente.

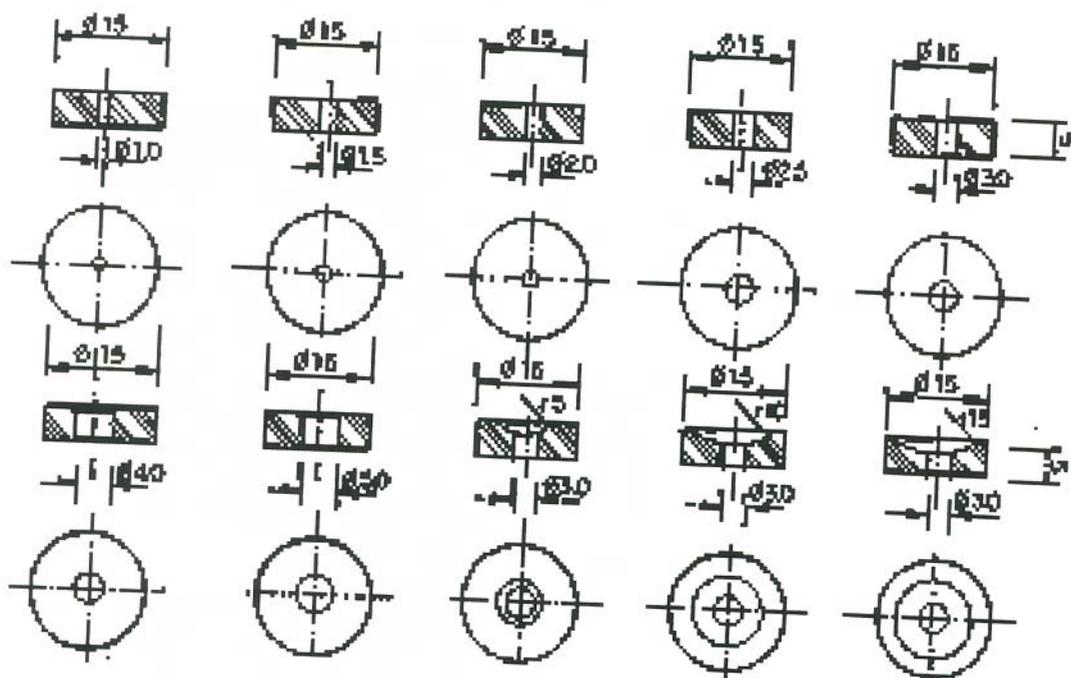


Figura 3.2.15 Células d aspiração construídas em PVC.



Figura 3.2.16 Células de aspiração de borracha usadas no estudo do sistema de dosagem e transporte pneumático de sementes.

Velocidade do rotor

A velocidade do rotor foi selecionada após uma análise física do movimento da semente, através da observação experimental. Sendo definido para o estudo, variações de 10 a 40 rpm

para semente de soja 10 a 30 para trigo e 10 e 20 rpm para milho. A tabela 3.2.6 apresenta a velocidade em função da rotação.

Tabela 3.2.6 Rotação e velocidade periférica do rotor usadas no estudo.

ROTAÇÃO (rpm)	VELOCIDADE PERIFÉRICA (m/s)
10	$52,4 \cdot 10^{-3}$
20	$104,7 \cdot 10^{-3}$
30	$157,1 \cdot 10^{-3}$
40	$209,4 \cdot 10^{-3}$

Tempo entre cada célula.

Considerando que trabalhou-se com quatro células ativas no rotor o tempo de passagem de cada célula para capturar uma semente é dado na tabela 3.2.7.

Tabela 3.2.7 Tempo de passagem entre as células de aspiração em função da rotação do rotor dosador.

ROTAÇÃO (rpm)	TEMPO ENTRE CÉLULAS (s)
10	1.500
20	0.750
30	0.500
40	0.375

3.2.2.f Disco de vedação com entalhes para o circuito pneumático.

A figura 3.2.12 apresenta detalhes construtivos do disco de vedação. Este, possui um orifício de 10 mm de diâmetro por onde passa o eixo do rotor dosador, usinado com ajuste deslizante. Possui também, um entalhe circular de 16 mm onde um ressalto circular do rotor encaixa-se e gira, servindo como guia (figura 3.2.11).

O disco de vedação é fixado no chassi esquerdo (figura 3.2.11) e o rotor gira encostado em sua superfície direita. Nesta superfície visualiza-se um entalhe de 3 mm de profundidade e 6 mm de largura, disposto em uma linha circunferencial do disco, iniciando no orifício de aspiração e prolongando-se por 90° no sentido horário. Há também, um orifício no disco para permitir um sopro de ar.

3.2.2.g Eixo de acionamento do rotor.

O eixo tem 52 mm de comprimento por 10 mm de diâmetro (figura 3.2.12). Possui um ressalto circunferencial de 19 mm de diâmetro, que se apoia no ressalto do disco de vedação, servindo de apoio para o rotor encostar no disco e vedação externa do sistema.

Por intermédio de dois orifícios de 2mm de diâmetro passam pinos que vinculam o eixo ao rotor (figura 3.2.11) e ao sistema de acionamento do eixo (figura 3.2.5).

3.2.2.h Câmara de sementes.

Na figura 3.2.4 e na vista de cima do conjunto (figura 3.2.11) visualiza-se a câmara de sementes, que recebe as sementes do depósito por uma tubulação de descarga. As sementes acomodam-se em função de seu ângulo de repouso, permanecendo disponíveis para captura pelas células de aspiração.

3.2.2.i Sistema de acionamento do dosador.

A figura 3.2.5 apresenta detalhes do sistema de acionamento do dosador de sementes. O acionamento é realizado por um motor elétrico em CC com 12 V (17). Sua rotação máxima é de 40 rpm, motivando o uso inicialmente de um sistema de transmissão por correia dentada (13), multiplicando a rotação 2,5 vezes. O objetivo foi avaliar até que valor de velocidade de rotação, as sementes são capturadas eficientemente pelas células.

Como, preliminarmente, observou-se que os melhores desempenhos não atingiram rotações superiores a 40 rpm, eliminou-se o multiplicador de rotação para uma transmissão 1:1. Isto deveu-se ao fato de que a variação de rotação foi obtida pela variação da voltagem de alimentação do motor, a qual, em rotações muito baixas, fazia com que o movimento circular fosse intermitente.

O eixo da polia dentada inferior foi apoiado em dois mancais de rolamento e os mesmos encontram-se alinhados com o eixo dosador. Entre o eixo da polia e o rotor, havia uma luva de alumínio com um disco ranhurado (9), para determinação da rotação do rotor.

3.2.2.j Sistema de controle da rotação do motor.

Através de um sensor ótico do tipo foto diodo (emissor-receptor), visualizado na figura 3.2.5, foi possível indicar e controlar a rotação do rotor. A figura 3.2.17 mostra a montagem do sistema elétrico de controle de rotação.

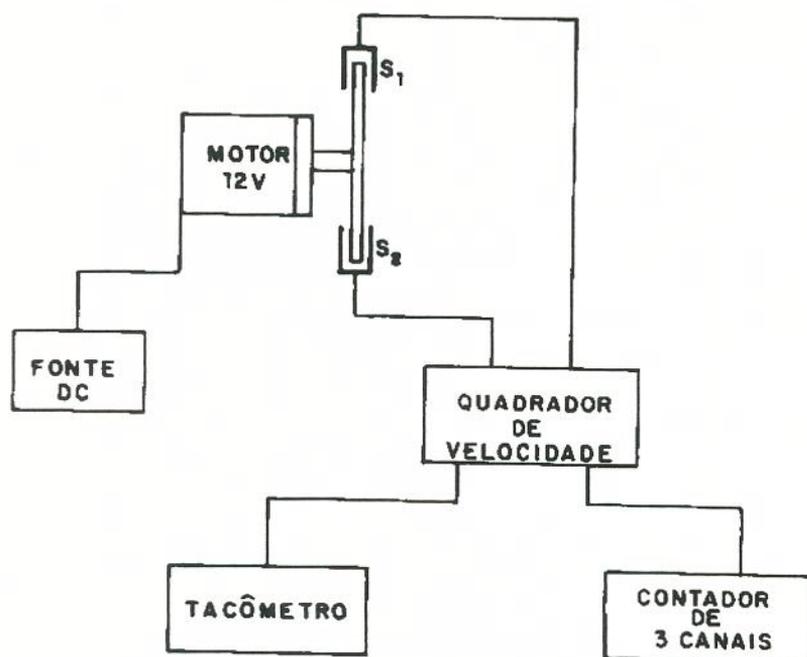


Figura 3.2.17 Sistema elétrico para controle da rotação do rotor e passagem de células de aspiração.

Utilizou-se uma fonte DC marca HP, modelo 6002A que alimenta um motor de CC com voltagem regulável. No disco ranhurado aproximou-se o sensor ótico sensibilizado por entalhes dispostos perifericamente ao disco em número de 60. O sinal elétrico é encaminhado a

um quadrador, construído no laboratório do Departamento de Projeto Mecânico da FEM/UNICAMP. Este aparelho equaliza o sinal vindo do sensor ótico em pulso padrão TTL. Os pulsos, por sua vez, são encaminhados para um tacômetro da marca Bek, modelo 5586, e aí determina-se a rotação.

3.2.2.k Sistema de controle da contagem de células de aspiração.

A figura 3.2.17 também apresenta o sistema de controle da contagem de células de aspiração. O disco (9) da figura 3.2.5 possui 8 orifícios dispostos radialmente que sensibilizam um sensor ótico (10), que emite um sinal ao quadrador e daí saem pulsos para um contador eletrônico de 3 canais, crescente-decrescente com 6 dígitos, também construídos para este trabalho no DPM/FEM/UNICAMP.

Assim, como a cada orifício do disco corresponde a uma célula, é possível contar quantas células tentaram capturar sementes durante o ensaio.

3.2.3 Construção do sistema de transporte de sementes.

3.2.3.a Tubulação de descarga.

Dos estudos efetuados por PORTELLA (1991) com transporte unitário de grãos, identificou-se que dos tubos de 15, 20 e 25 mm de diâmetro, o de 15 mm apresentou melhor eficiência, proporcionando as menores variâncias na velocidade do grão na tubulação, exatamente pelo regime turbulento imposto em seu interior e pela camada limite que forçou o deslocamento retilíneo dos grãos ao longo do duto.

Assim, para atender o objetivo de manter a uniformidade dos intervalos de tempo entre as sementes na tubulação de descarga, utilizou-se uma mangueira plástica transparente do tipo cristal, com 16 mm de diâmetro interno.

A figura 3.2.18 apresenta o trecho reto da tubulação de descarga, com 1900 mm de comprimento, iniciando no dosador de sementes e finalizando no desacelerador pneumático.

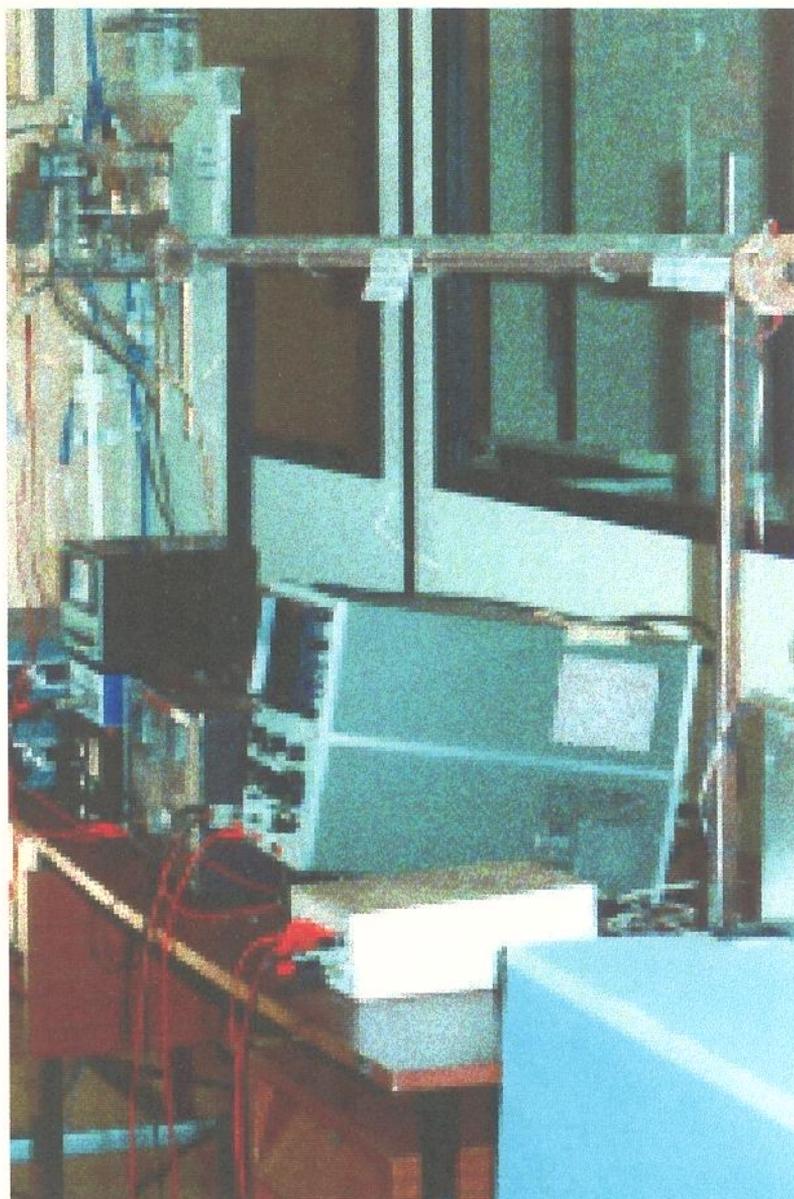


Figura 3.2.18 Conjunto experimental montado para o estudo do sistema de dosagem e transporte pneumático de sementes, com ênfase ao trecho reto da tubulação de descarga.

3.2.3.b Desacelerador pneumático.

A semente inicialmente acelerada no fluxo da tubulação reta, deve ser desacelerada para ser depositada no solo a velocidade próxima de zero. Para isto, a semente deve sair da tubulação a velocidade próxima e em sentido contrário da semeadora, em torno de 2 m/s.

PORTELLA (1991) trabalhou com um desacelerador pneumático constituído de um cilindro metálico confeccionado de tela, com malha de 3 mm, de 70 mm de comprimento e 15 mm de diâmetro. O fluxo de ar é expandido nesta região provocando sua desaceleração e,

consequentemente da semente. A tabela 3.2.8 apresenta a velocidade média das sementes neste desaceleradores.

Tabela 3.2.8 Velocidade média de transporte de grãos unitários de milho e soja, em m/s, no desacelerador pneumático e cinemático, com e sem contra-fluxo de ar.

	DESACELERADOR PNEUMÁTICO						DESACELERADOR CINEMÁTICO					
	tubo reto		curva 90°		espiral		tubo reto		curva 90°		espiral	
	S/AR	C/AR	S/AR	C/AR	S/AR	C/AR	S/AR	C/AR	S/AR	C/AR	S/AR	C/AR
	Milho	2.24	2.06	3.24	2.82	2.11	1.99	0.93	0.82	2.28	2.68	0.67
Soja	0.99	1.05	2.50	1.98	1.45	1.49	0.94	0.81	1.98	2.22	1.25	1.21

Observe-se que a velocidade foi reduzida significativamente nos desaceleradores pneumático e cinemático, quando usou-se o desacelerador cinemático tipo tubo reto e em espiral. Estes parâmetros são comparados com os dados apresentados na tabela 2.3.3.

Em função deste estudo construiu-se um desacelerador pneumático constituído de um tubo de PVC com 16 mm de diâmetro interno, com uma região de despressurização de 200 mm, como pode ser visto na figura 3.2.19. Este possui oito linhas de 28 perfurações com 4 mm cada, dispostas radialmente, onde o fluxo de ar expande. Com a obstrução de orifícios foi possível regular a velocidade média de saída das sementes.

3.2.3.c Desacelerador cinemático.

Optou-se usar a mesma mangueira plástica, enrolando-a com 3 voltas em um tubo com 200 mm de diâmetro, conforme mostra a figura 3.2.20.

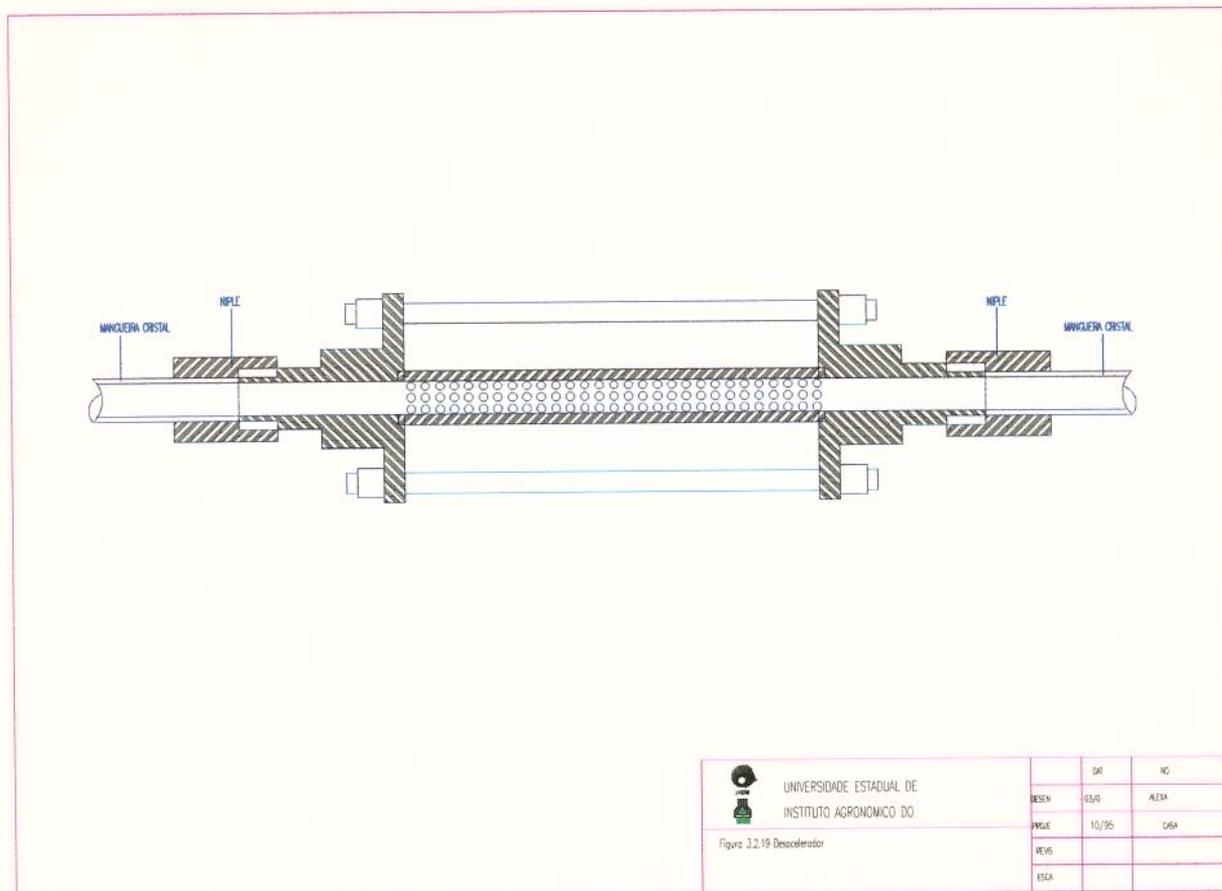


Figura 3.2.19 Desacelerador pneumático

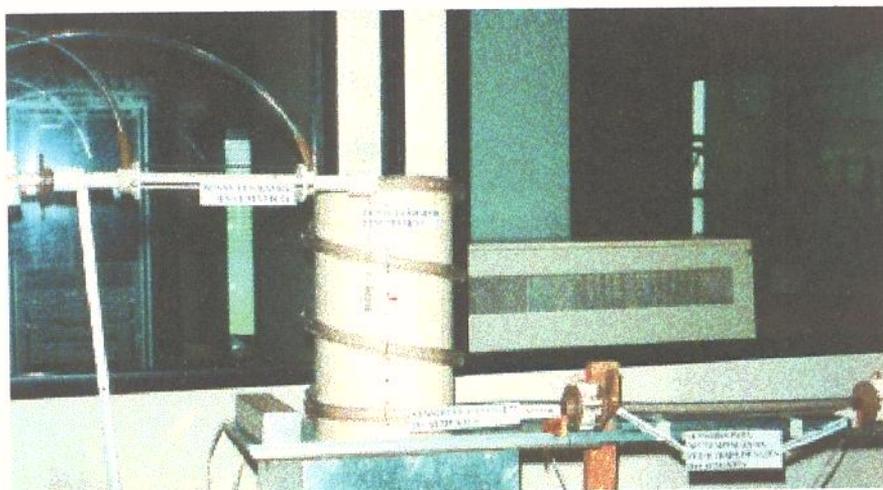


Figura 3.2.20 Desacelerador pneumático e cinemático seguidos pelos sensores para avaliação da uniformidade de distribuição das sementes na saída do tubo de descarga.

Capítulo 4

4. MATERIAIS E MÉTODOS.

4.1 DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS TERMODINÂMICOS DO ESCOAMENTO.

4.1.1 Medida de vazão.

4.1.1.a Medidor de vazão do tipo placa de orifício.

Foram construídos dois dispositivos medidores de vazão do tipo placa de orifício. Estes medidores funcionam provocando uma variação na pressão estática da corrente de fluido, mediante alguma perturbação, sendo no caso, um orifício de menor diâmetro que o do escoamento.

Na construção destes dispositivos atendeu-se as normas ASME, segundo recomendações de DELMÉE (1982). As dimensões dos medidores de vazão, assim como suas características são apresentadas na figura 4.1.1.

4.1.1.b Calibração da placa de orifício.

Os dois medidores de vazão foram calibrados utilizando-se como aparelho aferidor, um medidor de fluxo da marca Merian, modelo 50 MV20-2, apresentando 50 mm de diâmetro interno e uma vazão de fundo de escala de 18,88 litros/s. A imprecisão do aparelho indicada pelo seu manual é de 0,5%. A figura 4.1.2 apresenta o esquema de montagem da aparelhagem usada nesta calibração.

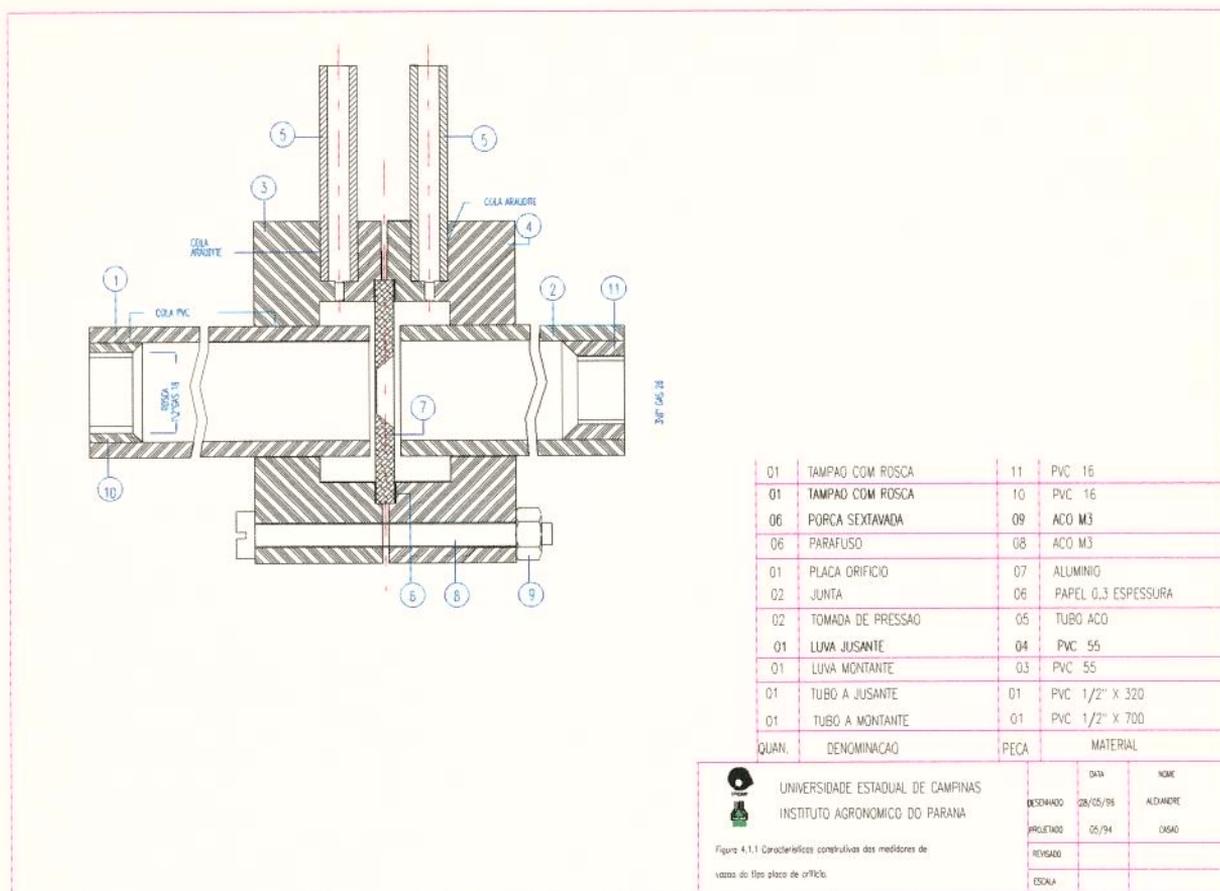


Figura 4.1.1 Características construtivas dos medidores de vazão do tipo placa de orifício.

O escoamento foi introduzido por uma central de ar comprimido, passando por um regulador de pressão e filtro para 2,5 bar. A variação da vazão deu-se por um estrangulador de fluxo. O medidor de vazão vinha em seguida, com um termopar posicionado a montante, em local onde o fluxo encontrava-se plenamente desenvolvido e a 40 diâmetros da placa de orifício. A ponta do termopar foi posicionada no meio da seção transversal do tubo. A pressão manométrica foi obtida junto da tomada de pressão a montante da placa de orifício e o diferencial de pressão entre as tomadas, a montante e a jusante, foram medidas com um tubo em “U”.

O medidor de vazão do tipo placa de orifício foi conectado a uma tubulação de 50 mm de diâmetro, a montante do medidor de fluxo laminar, e a este conectou-se uma tubulação a jusante com saída livre para atmosfera. A diferença de pressão entre as tomadas a montante e a jusante do medidor Merian, foi obtida com um micromanômetro inclinado, da marca Merian, modelo 40 HE35 WM 14” e com sensibilidade 0,01”, utilizando-se álcool etílico, cuja densidade é de $0,7876\text{g/cm}^3$.

A pressão estática no medidor de vazão Merian foi a atmosférica e a temperatura foi medida com um termômetro de mercúrio de sensibilidade de $0,1^{\circ}\text{C}$. Em função da pouca mudança no estado do escoamento, a temperatura foi tomada na saída da tubulação de 50 mm.

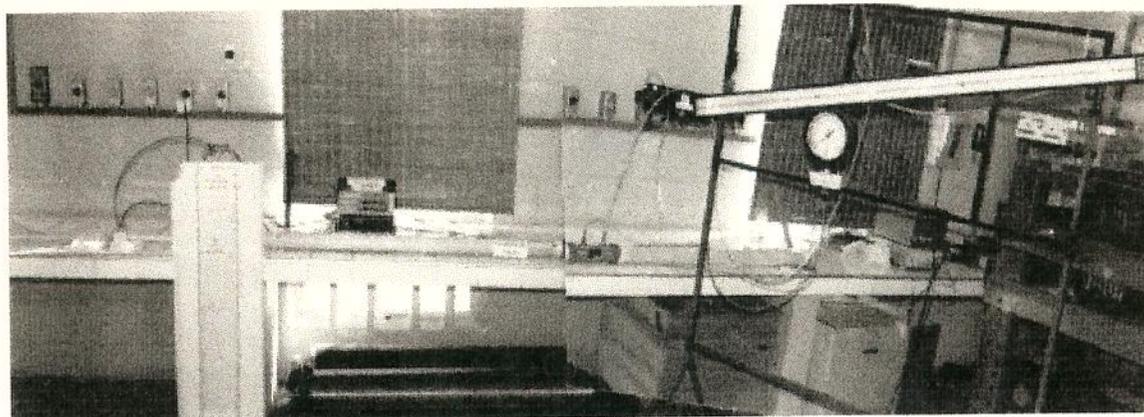


Figura 4.1. 2 Aparelhagem usada na calibração da placa de orifício.

4.1.1.c Método para determinação do coeficiente de vazão.

Será apresentado o método de cálculo para a calibração da placa de orifício, realizando as devidas correções de pressões e temperaturas e posteriormente, a estimativa do erro (imprecisão).

O medidor de fluxo da Merian apresenta uma curva que relaciona a diferença de pressão (ΔP) obtida no micromanômetro, em polegadas de H_2O , com vazão do fluido (Q_m) em pés³/minuto, dado por:

$$4.1.1 \quad Q_m = 5.275 \cdot \Delta P$$

Esta equação corresponde ao fluido com condições padronizadas de pressão a 29,92 pol Hg e temperatura de 70°F . Considerando que a calibração não foi realizada nas condições padronizadas acima, deve-se utilizar uma equação de correção proposta pelo manual do instrumento, dada por:

$$4.1.2 \quad Q_c = Q_m \cdot P_{cf} \cdot T_{cf}$$

em que:

Q_c = vazão volumétrica corrigida do medidor de fluxo Merian para as condições não padronizadas de pressão e temperatura em $\text{pes}^3/\text{minuto}$.

P_{cf} = fator de correção da pressão de entrada, obtido no manual do instrumento.

T_{cf} = fator de correção da temperatura de entrada, obtido no manual do instrumento

Obtido Q_c , torna-se necessário encontrar a vazão correspondente ao medidor do tipo placa de orifício, pois, considerando-se a diferença de diâmetro das tubulações dos dois medidores (15 mm e 50 mm), as propriedades do fluido variam, necessitando ser novamente corrigida. A equação 4.1.3 permite esta correção:

$$4.1.3 \quad Q_{po} = Q_c \cdot \frac{29.92}{P_g} \cdot \frac{T_g}{530} \cdot \frac{\mu_g}{181.87}$$

P_g = pressão estática de entrada na placa de orifício, correspondendo a soma da pressão atmosférica e manométrica, em pol Hg.

T_g = Temperatura de entrada na placa de orifício, em $^{\circ}\text{R}$.

μ_g = viscosidade dinâmica do ar, dada pela equação 4.1.4

$$4.1.4 \quad \mu_g = 0,256 \cdot (T_p - 530) + 181.87$$

Conhecida a vazão volumétrica do escoamento em estudo obtida indiretamente pelo medidor do tipo placa de orifício, é preciso determinar a vazão mássica real (\dot{m}). O fluido nestas condições, pode ser considerado como gás ideal e com isso, é possível determinar sua massa específica (ρ), através da equação do estado.

A partir deste passo, as unidades de trabalho serão em SI. Conhecendo-se então sua vazão volumétrica, obtém-se a vazão mássica real. A vazão mássica obtida nessas condições equivale a uma situação real, e para utilizar o equacionamento de determinação da vazão em placas de orifício para fluidos com propriedades diferentes das usadas durante a calibração, necessário se faz determinar o coeficiente de vazão ou descarga (C), pela equação 2.4.6.

A vazão teórica (\dot{m}_t) pode ser obtida através da equação 2.4.5, que utiliza valores da equação 2.4.4. O valor do coeficiente de vazão pode ser verificado conhecendo-se β e o número de Reynolds, através da figura 2.4.2, sendo que:

$$4.1.5 \quad R_e = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

ρ = massa específica (kg/m³)

V = velocidade média do fluido (m/s)

D = diâmetro da tubulação (m)

μ = viscosidade dinâmica (N.s/m²)

A velocidade do escoamento é obtida pela equação 2.4.9, pelo conhecimento da vazão volumétrica e área da seção transversal da tubulação.

4.1.2 Medida de temperatura.

4.1.2.a Termômetro de mercúrio.

Foi utilizado um termômetro de mercúrio com precisão de 0,1 °C, para a determinação da temperatura ambiente do ar.

4.1.2.b Termopares e processo de calibração.

Foram utilizados 3 termopares do tipo J (ferro constantan) com extremidades em bastonetes de 1,5 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, para a determinação da temperatura a montante das duas placas de orifício e na câmara de vácuo da válvula conversora de pressão em vácuo.

Os termopares foram ligados diretamente num aparelho condicionador operando como termômetro digital com 20 canais, da marca Fluke. O processo de calibração deu-se da seguinte maneira: Os termopares foram colocados juntamente a um termômetro com subdivisões de 0,1 °C em um bequer contendo uma solução de água e gelo picado. Utilizando-se um agitador e aquecedor da marca Fisaton, determinou-se a temperatura de zero a 40 °C.

Obtendo-se daí três modelos lineares, um para cada termopar, através da análise de regressão segundo SPIEGEL (1975), possibilitando corrigir os dados experimentais obtidos com o termopar. Pode-se também, determinar a imprecisão da medida usando o erro padrão da estimativa ($S_{Y.X}$) onde o critério adotado para 99,7% de confiança é de $3 \cdot S_{Y.X}$.

4.1.3 Medida de pressão.

4.1.3.a Pressão atmosférica.

Foi utilizado um barômetro de mercúrio usando o princípio de Torricelli, com sensibilidade de 0,1 mbar.

4.1.3.b Pressão manométrica com manômetro.

Utilizou-se um manômetro do tipo Bourbon com fundo de escala de 2,5 bar e sensibilidade de 0,01 bar.

4.1.3.c Pressão manométrica com tubo em “U”.

Utilizou-se mangueira plástica com 5 mm de diâmetro interno, em forma de “U”, utilizando-se água destilada e uma escala graduada de 1 mm. O tubo era aberto em uma de suas extremidades.

4.1.3.d Diferencial de pressão com tubo em “U”.

Usou-se o mesmo tubo em “U” citado anteriormente, mas uma das extremidades era conectada a tomada de pressão maior e a outra à pressão menor.

4.1.3.e Vácuo parcial com tubo em “U”.

Usou-se uma mangueira plástica com 4 mm de diâmetro preenchida com mercúrio, e disposta em “U”, sendo que somente uma extremidade era conectada na tomada de vácuo, e a outra permanecia livre. A escala era graduada de 1 em 1 mm.

4.1.4 Bancada de testes desenvolvida para o controle dos parâmetros termodinâmicos.

Foi construída uma bancada de testes apresentada na figura 4.1.3, onde todos os componentes foram montados sobre um painel provido de suporte e rodízios para o

deslocamento dentro do Laboratório de Projeto Mecânico da FEM/UNICAMP. As determinações realizadas foram:

- a) Determinação da vazão, pressão manométrica e temperatura do fluxo de ar de alimentação.
- b) Determinação do vácuo parcial e temperatura do escoamento na câmara de vácuo.
- c) Determinação da pressão manométrica, temperatura e vazão do ar aspirado.
- d) Determinação da pressão manométrica na saída da válvula de vácuo.
- e) Determinação da pressão atmosférica.

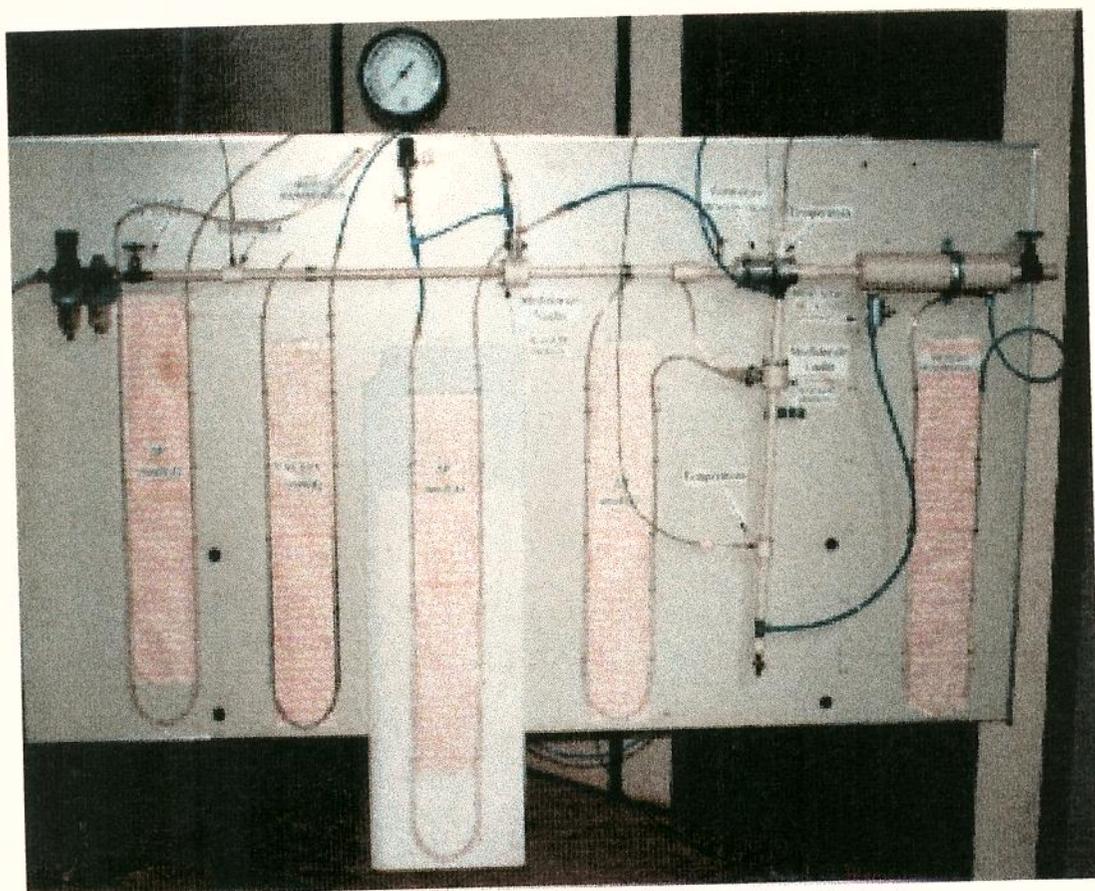


Figura 4.1.3 Painel para testes do desempenho da válvula de vácuo.

O fluxo de ar é introduzido no circuito pneumático, através de uma central de ar comprimido com pressão manométrica de 6 bar ($6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$). O regulador de pressão é estabilizado a 2,5 bar e a variação do mesmo é obtida por um estrangulamento de fluxo. A vazão é determinada por um medidor do tipo placa de orifício.

Junto à tomada de pressão a montante da placa de orifício, é obtida a pressão manométrica estática por um manômetro com sensibilidade para 0,01 bar que, somada à pressão atmosférica obtida num barômetro de mercúrio, determina-se a pressão estática absoluta. Também, nesta posição aproveita-se para determinar a perda de carga na tubulação, até a posição de entrada da válvula, através de um tubo em “U”.

A temperatura nos medidores de vazão e câmara de vácuo, são obtidas através de termopares com extremidades em bastonetes de 1,5 mm. O diferencial de pressão nos medidores de vazão são determinados também com um tubo em “U”.

O vácuo parcial produzido na câmara de vácuo é medido utilizando-se mercúrio em um tubo em “U”. A aspiração na válvula de vácuo obtém-se pela abertura de um regulador de fluxo que permita a entrada de ar da câmara de descarga na mesma. A câmara de descarga simulou o sistema de distribuição de sementes, o qual compunha, com a válvula de vácuo um único volume de controle.

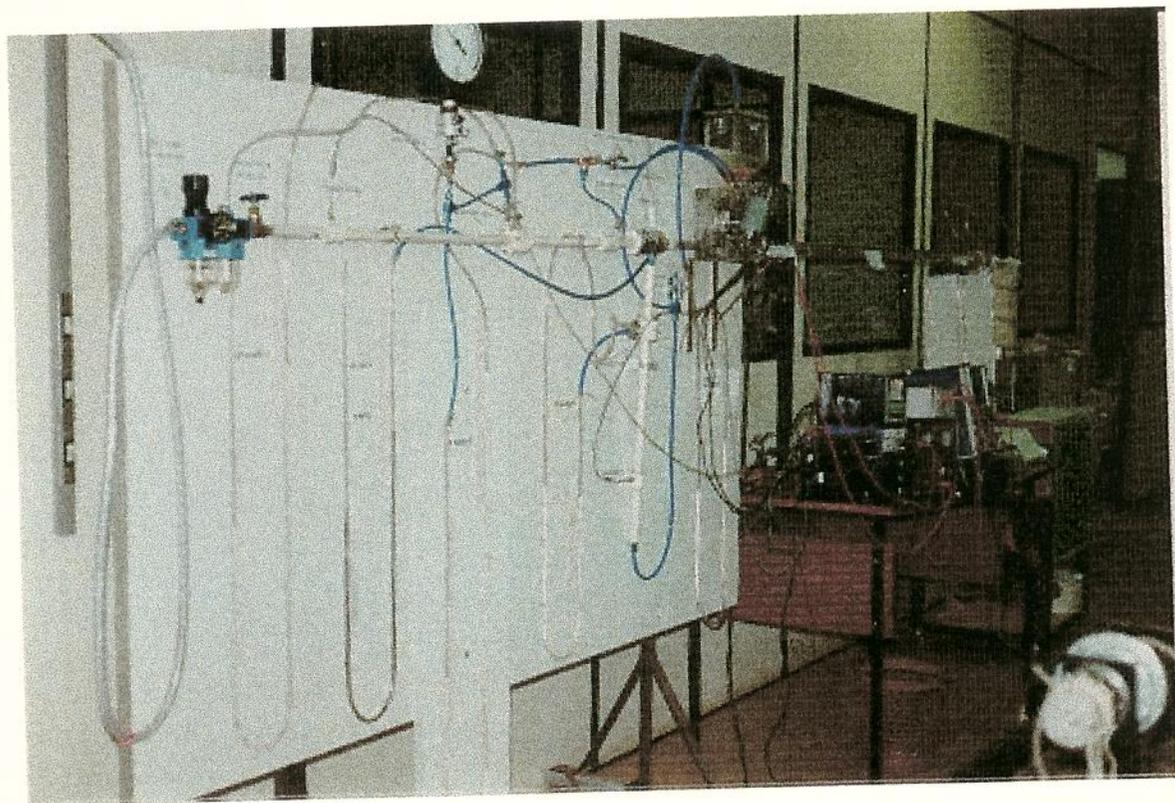


Figura 4.1.4 Painel para controle dos parâmetros termodinâmicos de entrada no sistema de dosagem e transporte de sementes.

Com o objetivo de determinar o desempenho da válvula de vácuo em situações em que o circuito pneumático promovesse uma perda de carga, determinou-se a pressão manométrica na câmara de descarga, a qual, pode ser variada com a obstrução parcial do estrangulador de fluxo na saída da mesma.

A figura 4.1.3 apresenta o painel para os testes do desempenho da válvula de vácuo e, a figura 4.1.4 mostra que o mesmo painel foi utilizado para o controle dos parâmetros de entrada do sistema de dosagem de sementes.

4.2 SEMENTES ESTUDADAS.

Utilizou-se variedades de milho, soja e trigo recomendadas para o estado de São Paulo. A semente de milho é da variedade IAC-Taiuba, apresentando grãos semi-dentados de coloração amarelo alaranjada. A pureza é de 99,9%.

A semente de soja é da variedade IAC-17, apresentando pureza de 99,9% e a semente de trigo é da variedade IAC-120, com 99,9% de pureza.

4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E AERODINÂMICAS DAS SEMENTES.

4.3.1 Massa específica real.

Foram colocados 200g de cada semente em 500 ml de água, para a determinação da massa específica real. O princípio de Arquimedes foi empregado, medindo-se o volume de água deslocado. Assim, a massa específica real ficará:

$$4.3.1 \quad \rho_r = \frac{m}{V_d}$$

sendo que:

ρ_r = massa específica real (kg/m³)

m = massa do produto (kg)

V_d = volume deslocado (m³)

Realizou-se três repetições para cada produto estudado.

O peso médio das sementes foi obtido com cinco amostras de 100 sementes cada.

4.3.2 Teor de umidade.

O teor de umidade foi determinado pela secagem em estufa de amostras de sementes. Cinco repetições de 50 g de cada semente foram inicialmente pesadas e posteriormente secas em estufa a 110 °C. Após a secagem as amostras foram novamente pesadas e a porcentagem de umidade foi determinada pela equação a seguir:

$$4.3.2 \quad \%U = \frac{P_U - P_S}{P_S} \cdot 100$$

4.3.3 Diâmetro equivalente.

O conhecimento do diâmetro equivalente das sementes é importante para a determinação da área projetada das mesmas. Na maioria dos casos, admitiu-se um objeto esférico, com área projetada igual a $\left(\frac{\pi \cdot D_{eq}^2}{4}\right)$, onde D_{eq} é o diâmetro equivalente de uma esfera de mesmo volume do objeto. O diâmetro equivalente das sementes estudadas foi obtido pela relação:

$$4.3.3 \quad D_{eq} = (L_1 \cdot L_2 \cdot L_3)^{1/3}$$

Sendo que L_1 , L_2 e L_3 são as três dimensões características das sementes. Estas dimensões foram medidas nos pontos médios do comprimento, largura e espessura da semente. Utilizou-se um paquímetro com precisão de 0.02 mm, realizando-se 100 repetições para cada tipo de semente.

4.3.4 Velocidade terminal teórica.

A velocidade terminal teórica (V_t) é determinada segundo as equações desenvolvidas no item 2.3.1. através da equação 2.3.3. Posteriormente realizando interações entre o número de Reynolds (R_e) e o coeficiente de arrasto (C_a) é possível corrigir o valor da V_t , pela equação 2.3.9.

4.3.5 Velocidade terminal experimental.

Utilizou-se um dispositivo existente no Laboratório de Processamento de Produtos Agropecuários da FEAGRI/UNICAMP, como pode ser visto na figura 4.3.1.

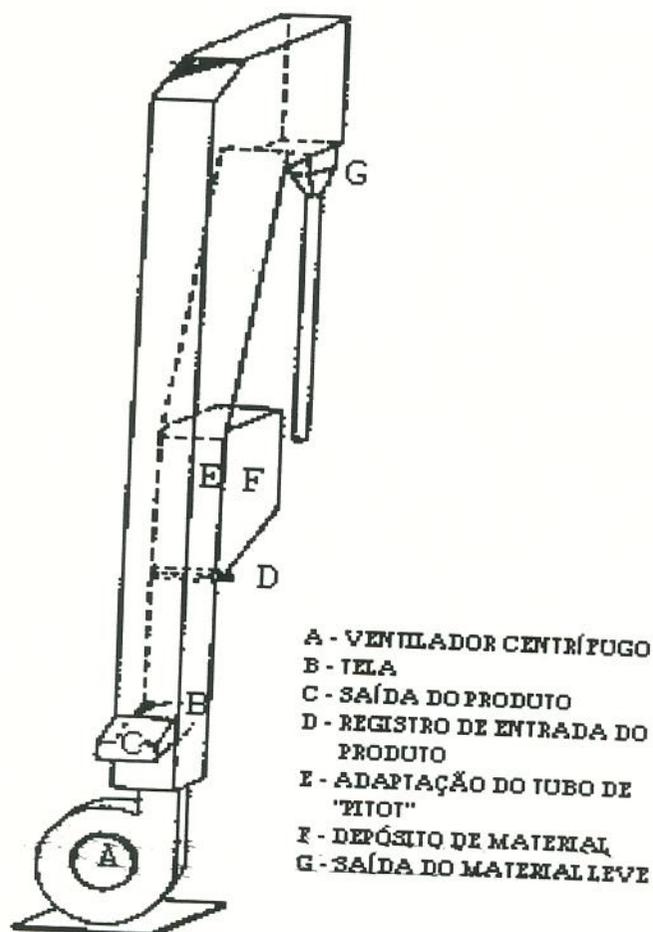


Figura 4.3.1 Esquema da coluna pneumática para separação e determinação da velocidade terminal. Fonte: PORTELLA, 1991.

O aparelho é composto por uma coluna de seções retangulares, de acrílico. O fluxo de ar é injetado por um ventilador centrífugo (marca Jomar, modelo FT2, 1 CV de potência e 3600 rpm). Sua variação é obtida pela abertura da tomada de ar do ventilador.

A alimentação de sementes é feita na parte inferior da coluna, e a velocidade do ar é determinada por um tubo de "pitot" da F.W. Dwyer Manufacturing.

O ventilador é ligado com a tomada de ar quase que totalmente fechada. Ao mesmo tempo que é realizada a alimentação das sementes, vai abrindo-se a tomada de ar. No momento em que ocorre o equilíbrio das sementes no fluxo de ar, mede-se a velocidade do ar, a qual, corresponde a velocidade terminal. Realizou-se três repetições para cada tipo de semente.

4.4 MÉTODO DE SELEÇÃO DAS CÉLULAS DE ASPIRAÇÃO DE SEMENTES.

4.4.1 Estudos preliminares.

Inicialmente avaliou-se o desempenho de células construídas com PVC e orifícios de 1.0, 1.5 e 2.0 mm para trigo, 2.0, 2.5, 3.0 e 4.0 mm para soja e 3.0, 4.0 e 5.0 mm para milho (figura 3.2.15). As bordas são chanfradas para evitar cantos vivos. Estudou-se também para soja e milho células com orifícios de 3.0 mm com cavidades circunferenciais (figura 3.2.15) com raio de 5,10 e 15 mm. Este estudo não teve delineamento estatístico, pois, constituiu-se de uma avaliação preliminar.

4.4.2 Método de avaliação.

Após as avaliações preliminares com células de PVC, optou-se trabalhar com borracha, com características e dimensões descritas no item 3.2.2.e.ii. As células foram estudadas para as sementes de milho e soja, pois, o trigo apresentou uma só opção.

Trabalhou-se com um nível de vácuo parcial de 450 mbar (45 kPa), variando-se a rotação do rotor de 10, 20 e 30 rpm. Das 8 cavidades do rotor, para encaixar as células de aspiração, 7 foram vedadas e somente uma permaneceu ativa neste estudo. As observações foram visuais, quanto a captura ou não de sementes pelas células. A contagem de sementes foi realizada de forma manual, posteriormente, e a contagem de células durante o estudo foi obtida por sensores óticos com circuitos de contagem de células de aspiração (em torno de 20 células por parcela experimental, descrito no item 3.2.2 k).

Com isto, foi possível determinar o número médio de sementes capturadas por célula, a porcentagem de células que falharam na captura, a porcentagem que capturaram uma semente por célula e as que capturaram mais do que uma semente.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso em esquema fatorial 4X3 com 4 repetições. Constituindo-se de 4 células para cada tipo de semente e três níveis de rotação do rotor, conforme pode ser visto na tabela 4.4.1.

Tabela 4.4.1 Tratamentos utilizados no estudo para seleção de células de aspiração com milho e soja.

Tratamento	MILHO			SOJA		
	Diâm. original (mm)	Diâm. real (mm)	Rotação (rpm)	Diâm. original (mm)	Diâm. real (mm)	Rotação (rpm)
C1 R10	4	3,25	10	3	2,55	10
C1 R20	4	3,25	20	3	2,55	20
C1 R30	4	3,25	30	3	2,55	30
C2 R10	5	4,40	10	4	3,25	10
C2 R20	5	4,40	20	4	3,25	20
C2 R30	5	4,40	30	4	3,25	30
C3 R10	6	5,47	10	5	4,40	10
C3 R20	6	5,47	20	5	4,40	20
C3 R30	6	5,47	30	5	4,40	30
C4 R10	7	6,77	10	6	4,32*	10
C4 R20	7	6,77	20	6	4,32*	20
C4 R30	7	6,77	30	6	4,32*	30

* O diâmetro foi reduzido, pois, neste caso utilizou-se uma borracha de consistência dura.

No caso específico das células de aspiração para a semente de trigo, selecionou-se a célula com diâmetro original de 2,0 mm, correspondendo a 1,5 mm depois de encaixada e comprimida na cavidade do rotor.

No estudo de seleção das células de aspiração não utilizou-se o raspador de sementes constituído de lâmina plastica recortada, para que fosse verificado se as células de aspiração capturavam, sem o raspador, uma única semente por vez.

4.5 DETERMINAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES.

4.5.1 Método de avaliação.

A uniformidade de distribuição de sementes foi determinada através do uso de sensores óticos que detectam a passagem de sementes pela tubulação de descarga.

A figura 4.5.1 mostra o esquema de montagem dos sensores para a determinação da uniformidade de distribuição e velocidade das sementes, juntamente com dispositivos eletrônicos para o tratamento e registro dos sinais.

Com o objetivo de determinar os erros de dosagem e deposição em laboratório, posicionou-se os sensores logo na saída do sistema de dosagem (a 50 mm), como pode ser visto na figura 3.2.7 e na saída da tubulação de descarga (figura 3.2.20).

Os sensores 1 e 4 acusavam a passagem das sementes na saída do dosador e do tubo de descarga, respectivamente. O sensor 2 acusava a passagem a 1,75 m do dosador, indicando a distribuição no trecho reto da tubulação.

As sementes, ao passarem pelos sensores em um determinado intervalo de tempo tinham seu registro marcado no papel do registrador da marca ECB modelo RB 101, o qual, através da compatibilização entre a velocidade periférica do rotor e do papel do registrador, permitiu determinar o tempo de passagem entre as sementes em cada sensor ótico.

O quadrador de passagem, além de equalizar o sinal analógico vindo do sensor ótico em pulso padrão TTL, opera como um condicionador, permitindo o ajuste da sensibilidade do sinal emitido, regulado para 2 volts. Este aparelho foi construído no laboratório do Departamento de Projeto Mecânico da FEM/UNICAMP.

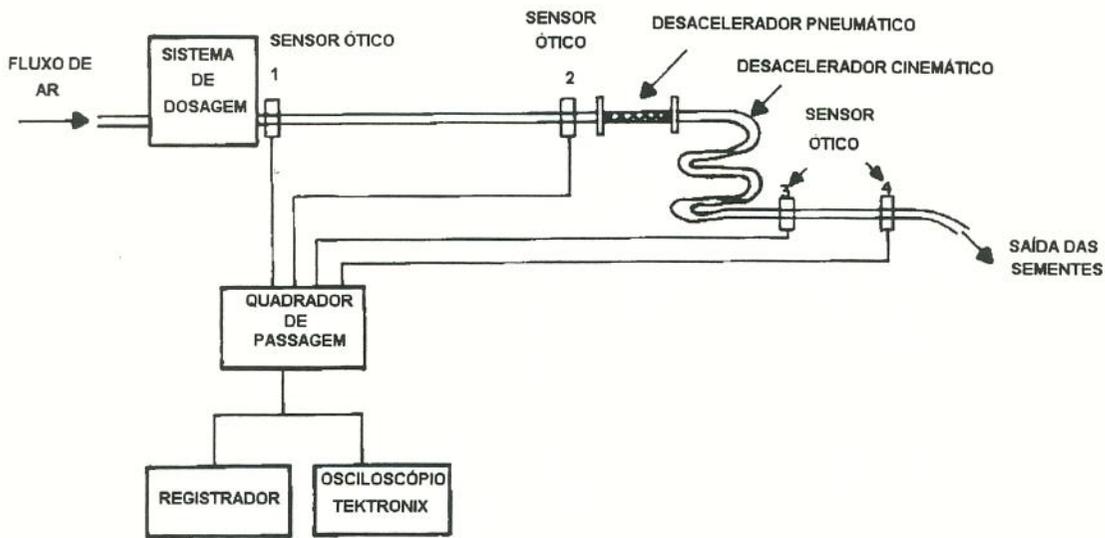


Figura 4.5.1 Esquema de montagem dos sensores e dispositivos elétricos para a determinação da uniformidade de distribuição de sementes.

Um inconveniente no uso dos sensores óticos é a possibilidade de identificar a passagem de mais do que uma semente conjuntamente. Em função disto, efetuou-se a contagem manual do número de sementes, após a passagem, constituindo-se em uma parcela experimental. Da mesma forma que determinou-se o número de células de aspiração disponíveis (no mínimo de 250), para a captura de sementes, como explicado no item 3.2.2.k.

Face as limitações de projeto, não foi trabalhado com um fluxo de sementes compatível às necessidades de campo (como justificado no item 3.2.2.a), portanto, substituiu-se a distância de referência entre sementes citada no item 2.1.2.b, a qual é definida a partir de recomendações agrônomicas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS, 1994) como, por exemplo, 9, 20 e 80 sementes por metro linear para milho, soja e trigo respectivamente (vide tabela 3.2.3), pelo tempo de referência.

O tempo de referência (T_R) é dado pela relação:

$$4.5.1 \quad T_R = \frac{T_T}{NE_c}$$

sendo que:

T_T = tempo total de cada parcela experimental (s)

$NE_c = NC - 1$

NC = número de células em uma parcela experimental

O tempo médio entre sementes (T_S) é dado pela relação:

$$4.5.2 \quad T_S = \frac{T_T}{NE_s}$$

sendo que:

$NE_s = NS - 1$

NS = número de sementes em uma parcela experimental

4.5.2 Parâmetros estudados.

Foram avaliados os seguintes parâmetros no estudo da uniformidade de distribuição de distribuição de sementes:

- a) Frequência de intervalos de tempo entre sementes que passam pelo sensor considerados como aceitáveis (FA).
- b) Frequência de intervalos de tempo entre sementes que passam pelo sensor considerados como múltiplos (FM).
- c) Frequência de intervalos de tempo entre sementes que passam pelo sensor considerados como falhos (FF).
- d) Coeficiente de variação dos intervalos de tempo entre sementes (CV).
- e) Tempo médio de referência (T_R).
- f) Tempo médio entre sementes (T_S).
- g) Número de sementes por células (S/C).

Conhecendo-se T_R determina-se segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994):

a) Intervalo de tempo entre sementes considerado aceitável, visando a uniformidade de distribuição = $TA \Rightarrow 0.5.T_R \leq TA \leq 1.5.T_R$

b) Intervalo de tempo entre sementes que caracteriza a ocorrência de sementes múltiplas = $TM \Rightarrow TM < 0.5.T_R$

c) Intervalo de tempo entre sementes que caracteriza a ocorrência de falhas = $TF \Rightarrow TF > 1.5.T_R$

Com estes parâmetros e conhecendo-se o tempo de cada pulso elétrico registrado (TP), que equivale ao tempo de passagem das sementes pelo sensor ótico, é possível determinar as frequências de tempos aceitáveis, duplos e falhos entre sementes pelas relações:

$$4.5.3 \quad FA = \frac{NA}{NE_s} \cdot 100$$

$$4.5.4 \quad FM = \frac{(NS_J + NM)}{NE_s} \cdot 100$$

$$4.5.5 \quad NS_J = NS - NP$$

NA = número de intervalos de tempo onde a captura entre sementes foi considerada aceitável.

NM = número de intervalos de tempo onde considerou-se captura múltipla de sementes.

NF = número de intervalos de tempo onde considerou-se falha na captura.

NP = número de pulsos elétricos registrados.

$$4.5.6 \quad FF = \frac{NF}{NE_s} \cdot 100$$

A figura 4.5.2 apresenta um registro de pulsos elétricos referente a passagem de sementes por um sensor ótico.

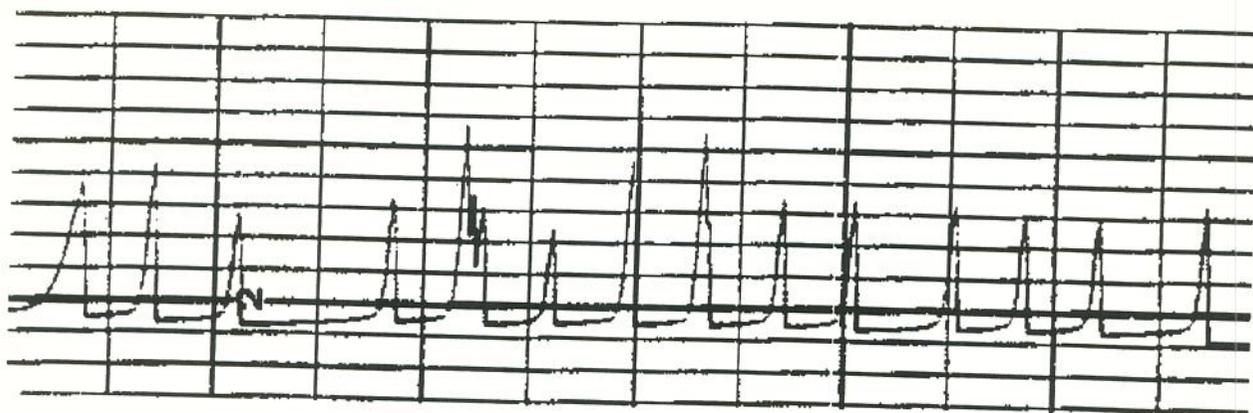


Figura 4.5.2 Exemplo de registro de pulsos elétricos referente a passagem de sementes pelo sensor ótico.

O coeficiente de variação do intervalo de tempo entre sementes é obtido pelo uso da equação 2.4.15.

4.5.3 Delineamento experimental.

Os testes de avaliação da uniformidade de distribuição de sementes foram realizados em função da prioridade de estudo para cada semente indicadora e a disponibilidade de recursos disponíveis na realização do trabalho. O delineamento de todos ensaios foi o inteiramente ao acaso com três repetições.

A semente de soja foi estudada quanto a sua distribuição, nos sensores 1, 2 e 4 (figura 4.5.1). No sensor 1, o esquema estatístico foi fatorial com 4 níveis de rotação do rotor e 3 de vácuo. No sensor 2 e 4, estudaram-se 3 níveis de rotação.

A semente de milho foi estudada nos sensores 1 e 4 (figura 4.5.1), sendo que no sensor 1 usou-se o esquema fatorial com 2 níveis de rotação e 5 de vácuo. No sensor 4 foi estudado 2 níveis de rotação.

Quanto ao trigo, devido às dificuldades do sensor ótico acusar a passagem de todas as sementes com segurança, estudou-se somente a distribuição no sensor 2, com 3 níveis de rotação.

As rotações usadas para as diferentes sementes foram:

- a) 10, 20, 30 e 40 rpm para soja.
- b) 10 e 20 rpm para milho.
- c) 10, 20 e 30 rpm para trigo.

Os níveis médios de vácuo usados e medidos junto a tomada de vácuo do sistema de dosagem de sementes sob condição de ausência de fluxo, foram:

- a) 120, 210, 300, 380 e 440 mbar para o milho.
- b) 380, 410 e 440 mbar para a soja.
- c) 340 mbar para o trigo.

Esta condição de fluxo bloqueado não ocorre quando o sistema dosador está operando, pois, na eminência da captura das sementes há aspiração total e, no arraste das mesmas há entrada de ar entre a célula e a semente. Portanto, o nível de vácuo na célula é oscilante. Por este motivo é que trabalhou-se com valores bem acima do recomendado pela literatura (170 mbar) e os valores calculados no item 3.2.2.e.ii, os quais são em torno de 6.5 a 12.9 mbar.

4.5.4 Sensores óticos.

O sensor ótico utilizado constituiu-se da união de um diodo foto-emissor (LED), montado em uma metade de um alojamento, com um diodo foto-sensível montado na outra metade deste alojamento conforme está apresentado na figura 4.5.3.

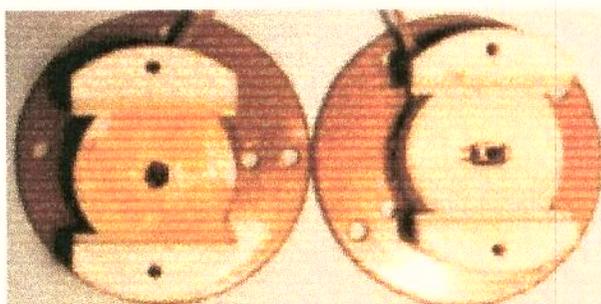
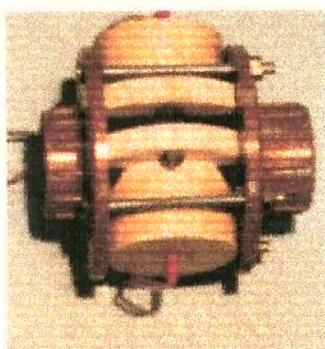


Figura 4.5.3 Sensores óticos em seus alojamentos.

As características do sensor ótico é dada abaixo:

- a) Diodo emissor-LD 271, possui tensão de reserva de 4 V, corrente direta máxima de 130 mA, comprimento de onda de 950 nm, intensidade de radiação de 10 mW/s, meio ângulo de 25 graus, tensão direta de 1,35 V e encapsulamento standard.
- b) Diodo receptor-SFH 206, possui tensão de reserva de 20 V, tensão de circuito aberto de 327 mV, sensibilidade espectral de $5 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^2/\text{mW}$, comprimento de onda de 950nm, área sensível receptora de $7,34 \text{ mm}^2$, corrente típica $< 30 \text{ nA}$, corrente em curto circuito de $25 \mu\text{A}$, limite de detecção de $7,3\cdot 10^{12} \text{ cm}\cdot\sqrt{\text{Hz}}/\text{W}$ e encapsulamento em plástico fumê.

4.6 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA DAS SEMENTES.

4.6.1 Método de avaliação

Determinou-se a velocidade média das sementes no trecho reto da tubulação de descarga e a velocidade média em sua saída.

Os sensores 1 e 2 (figura 4.5.1) foram utilizados para determinação da velocidade no trecho reto e os sensores 3 e 4 na saída do tubo de descarga.

Quando as sementes passavam pelos sensores estes emitiam um sinal elétrico equalizado pelo quadrador e capturado e apresentado na tela do osciloscópio Tektronix, modelo 5113 com memória. Como a distância entre os sensores eram conhecidas (170 cm do sensor 1 ao 2 e 50 cm do sensor 3 ao 4), pela escala em divisões por segundo da tela do osciloscópio, foi possível determinar a velocidade média das sementes.

4.6.2 Parâmetros estudados.

Estudou-se a velocidade média dos três tipos de sementes no trecho reto e saída da tubulação de descarga, variando-se a velocidade do escoamento do ar na tubulação e algumas variações de regulagem do desacelerador pneumático e cinemático, conforme está apresentado na tabela 4.6.1.

Para o caso específico da soja, observou-se, também, o efeito da variação da rotação do rotor dosador na velocidade das sementes.

Tabela 4.6.1 Parâmetros para avaliar a velocidade média das sementes no trecho reto e na saída da tubulação de descarga.

Semente	TRECHO RETO				SAÍDA			
	Veloc. do ar (m/s)	Desacel. pneumat.	Desacel. cinemat. (voltas)	Rotação do rotor (rpm)	Veloc. do ar (m/s)	Desacel. pneumat.	Desacel. cinemat. (voltas)	Rotação do rotor (rpm)
MILHO	18 a 29	Aberto	3	10	18 a 29	Aberto	3	10
MILHO	-	-	-	-	18 a 29	Aberto	2	10
MILHO	-	-	-	-	18 a 29	Semi-aberto	2	10
SOJA	18 a 29	Aberto	3	10	18 a 29	Aberto	3	10
SOJA	24,6	Aberto	3	10 a 50	24,6	Aberto	3	10 a 50
TRIGO	18 a 29	Aberto	3	10	18 a 29	Aberto	3	10

4.6.3 Delineamento experimental.

Utilizou-se em todas as combinações estudadas o delineamento inteiramente ao acaso com 8 repetições. Efetuou-se a análise de regressão, para obter um modelo matemático do comportamento da velocidade das sementes em função da velocidade do escoamento ou da rotação do rotor.

4.7 Determinação de danos às sementes.

A avaliação de danos as sementes foi realizada com soja e milho. Utilizou-se o método do tetrazólio nas sementes de soja, que permite um diagnóstico mais detalhado sobre a causa dos danos, os quais, podem ser de origem mecânica, devido aos efeitos da umidade e ao ataque de percevejos. A semente de soja caracteriza-se pela grande suscetibilidade a danos, em função da exposição de seu embrião entre os cotilédones da semente. Obteve-se, também, em soja a porcentagem de germinação e vigor.

Na semente de milho utilizou-se o método do verde rápido, que se caracteriza por ser um método específico e eficiente para esta cultura, fornecendo o nível global de injúrias mecânicas causados às sementes.

No caso da semente de trigo, devido a sua baixa suscetibilidade a danos mecânicos, não foi estudado este parâmetro. Em ambas culturas estudadas, determinou-se o nível de danos das sementes sem passar pelo sistema do dosador (testemunha).

No estudo com semente de soja, utilizou-se um delineamento inteiramente ao acaso em esquema fatorial com 4 rotações do rotor, 3 níveis de vácuo com 3 repetições. No milho, usou-se o mesmo delineamento com 2 rotações e 5 níveis de vácuo e 3 repetições. Ambos aproveitados do estudo de uniformidade de distribuição no sensor ótico número 1, citado no item 4.5.3.

Capítulo 5

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

5.1 INTRODUÇÃO.

Os resultados aqui apresentados procuram atingir os objetivos iniciais do trabalho, que visam estudar um sistema pneumático de dosagem e transporte de sementes a nível de laboratório, com a intenção de oferecer subsídios para o desenvolvimento do mesmo sistema em uma semeadora pneumática.

Desta forma serão utilizados os conceitos, os parâmetros de projeto, os parâmetros de entrada dos sistemas e a metodologia apresentada nos capítulos anteriores.

5.2 PARÂMETROS TERMODINÂMICOS DO ESCOAMENTO.

5.2.1 Coeficiente de vazão da placa de orifício.

Foram calibradas duas placas de orifício, uma utilizada no medidor de vazão do escoamento principal e outra no escoamento de aspiração (figura 4.1.3). Suas características construtivas são descritas no item 4.1.1.a e apresentadas na figura 4.1.1.

O diâmetro interno da placa de orifício do escoamento principal é de 9,5 mm e o do aspirado de 6,5 mm, sendo que o diâmetro da tubulação é de 16 mm. Desta forma, a relação de diâmetros (β) é de 0,594 e 0,406 respectivamente.

Utilizando-se a teoria do item 2.4.1 e a metodologia do item 4.1.1.c, determinou-se o coeficiente de vazão (C) para as duas placas de orifício, em função da variação da vazão mássica de alimentação do medidor de vazão. A tabela 5.2.1 apresenta o coeficiente de vazão médio, desvio padrão e o coeficiente de variação dos dados trabalhados.

Tabela 5.2.1 Coeficiente de vazão médio, desvio padrão e coeficiente de variação das duas placas de orifício em estudo.

Placa de orifício	Coeficiente de vazão médio	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)	Vazão mássica máxima ($10^{-3} \cdot \text{kg/s}$)	Velocidade máxima do escoamento (m/s)
Escoamento principal	0.6436	0.01934	3.00	5.586	23.14
Escoamento aspiração	0.6053	0.02139	3.53	2.331	9.70

A vazão mássica variou de zero a um valor máximo apresentado na tabela 5.2.1, subdividido em 17 níveis no carregamento e 17 no descarregamento durante o processo de calibração.

Determinou-se o erro do coeficiente de vazão das duas placas de orifício, o qual, é composto do erro parcial de cada parâmetro obtido no processo de cálculo apresentado no item 4.1.1.c. A equação 5.1.1, foi utilizada em cada um destes subsistemas para o cálculo do erro do coeficiente de vazão, DOEBELIN (1975).

$$E_a = \sqrt{\left(\Delta u_1 \cdot \frac{\partial f}{\partial u_1}\right)^2 + \left(\Delta u_2 \cdot \frac{\partial f}{\partial u_2}\right)^2 + \dots + \left(\Delta u_n \cdot \frac{\partial f}{\partial u_n}\right)^2} \quad 5.1.1$$

E_a = imprecisão absoluta do sistema

Δu_n = imprecisão de cada variável do sistema

f = relação funcional

As figuras 5.2.1 e 5.2.2 apresentam estes resultados indicando que o nível de erros decresceu significativamente a medida que a vazão mássica foi superior a 25% de seu valor máximo. Desta forma, no estudo do desempenho da válvula de vácuo não serão considerados

os valores baixos da vazão mássica, trabalhando-se assim em um intervalo onde os erros são mínimos.



Figura 5.2.1 Porcentagem de erros do coeficiente de vazão na placa de orifício junto ao escoamento de alimentação, em função da vazão mássica.



Figura 5..2.2 Porcentagem de erros do coeficiente de vazão da placa de orifício junto ao escoamento de aspiração em função da vazão mássica.

5.2.2 Parâmetros termodinâmicos de entrada da válvula de vácuo.

Conforme pode ser visualizado no painel para testes de desempenho da válvula de vácuo (figura 4.1.3), a mesma é posicionada logo após o medidor de vazão, onde o diâmetro da tubulação é reduzido de 16,0 para 8,0 mm. Os parâmetros termodinâmicos mínimos e máximos

de alimentação na válvula de vácuo são apresentados na tabela 5.2.2, os quais são subdivididos em 16 níveis.

Tabela 5.2.2. Parâmetros termodinâmicos de entrada na válvula de vácuo.

	Pressão absoluta (N/m ²)	Temperatura (K)	Massa específica (kg/m ³)	Vazão mássica (kg/s)	Vazão volumétrica (m ³ /s)	Velocidade do ar (m/s)
MÍNIMO	100 000	295.0	1.191	$1.157 \cdot 10^{-3}$	$0.132 \cdot 10^{-3}$	26.33
MÁXIMO	230 000	296.0	2.780	$6.700 \cdot 10^{-3}$	$2.400 \cdot 10^{-3}$	48.00

5.3 CÁLCULO DO DESEMPENHO DOS BOCAIS CONVERGENTE-DIVERGENTE ESTUDADOS PARA AS CONDIÇÕES DE PROJETO.

O processo de cálculo do desempenho de um bocal convergente-divergente foi apresentado no item 3.2.1.b. A figura 5.2.3 apresenta, por sua vez, os parâmetros termodinâmicos de entrada na válvula de vácuo utilizados na análise de seu desempenho.

Devido as condições isentrópicas do escoamento, pela lei da continuidade, a vazão mássica não varia no escoamento. Desta forma utilizou-se a vazão mássica como variável independente, e a figura 5.2.3 mostra a variação dos parâmetros de entrada em função dela. A medida que aumenta o vazão mássica aumenta-se também a pressão de alimentação e a massa específica, sendo que a temperatura não variou praticamente. A vazão volumétrica e a velocidade do escoamento na entrada da válvula de vácuo permanecem quase constantes a partir de 0,0034 kg/s de vazão.

A figura 5.2.4 apresenta a variação dos parâmetros termodinâmicos de estagnação e críticos no bocal sob condições isentrópicas.

Observa-se na figura 5.2.4 o aumento da pressão e massa específica de estagnação e crítica com o aumento da vazão. A pressão crítica foi inferior a atmosférica até a vazão mássica de

0,0052 kg/s, indicando que, para se obter vácuo parcial, o fluido deve ser acelerado promovendo a queda de pressão, o que pode ser obtido pela introdução de um trecho divergente após a garganta do bocal. O diâmetro da garganta para condições de projeto ficou entre 3 e 4 mm, optando-se trabalhar com 4,0 mm na construção do bocal da válvula de vácuo

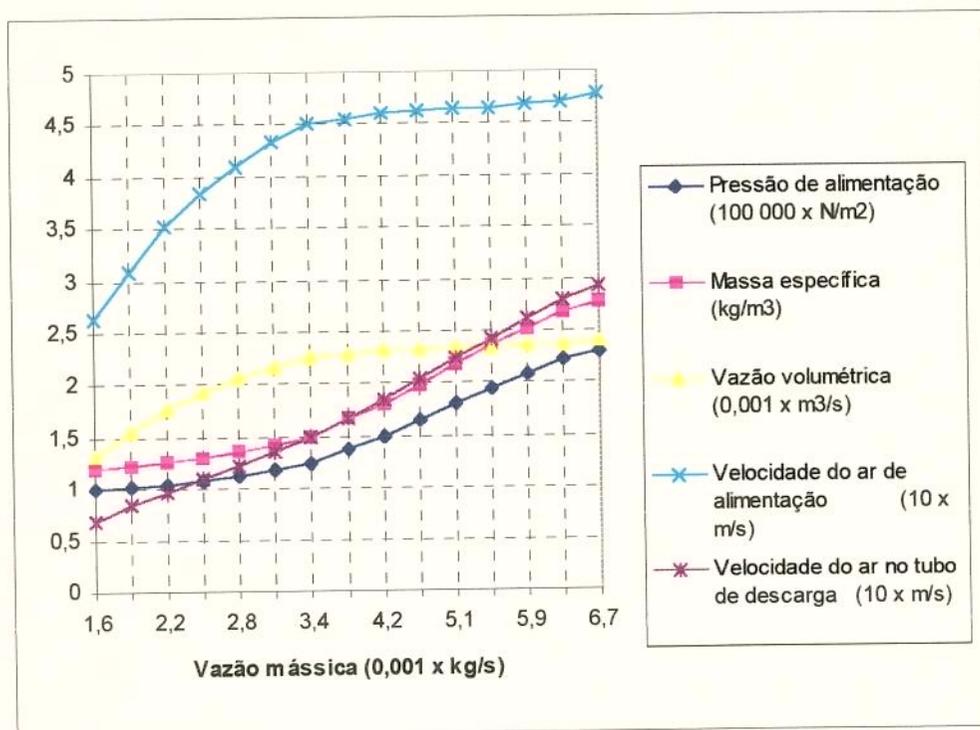


Figura 5.2.3 Variação dos parâmetros termodinâmicos de entrada na válvula de vácuo em função da vazão mássica.

Como citado no item 2.2.2.a as propriedades de estagnação não variam em qualquer posição de um bocal sob condições isentrópicas a uma dada vazão mássica, e juntamente com as condições críticas são referência para a determinação do estado do fluido em qualquer posição do bocal. Assim, com estes dados, é possível determinar as propriedades do escoamento na saída do bocal divergente, que neste caso, assumiu-se com um diâmetro de 6,0 mm. A figura 5.2.5 mostra as propriedades do fluido na saída do bocal divergente construído nas condições de projeto.

Observa-se na figura 5.2.5 que a pressão na saída do bocal em todas as situações é bem inferior a atmosférica, correspondendo a geração de vácuo parcial. Sabe-se que esta condição não é obtida na prática, devido a irreversibilidades que ocorrem nos dispositivos. Em função disso, decidiu-se construir uma válvula de vácuo com possibilidades de variação de várias

dimensões, como o ângulo do bocal convergente e do divergente, assim como o diâmetro da garganta e da saída do bocal divergente.

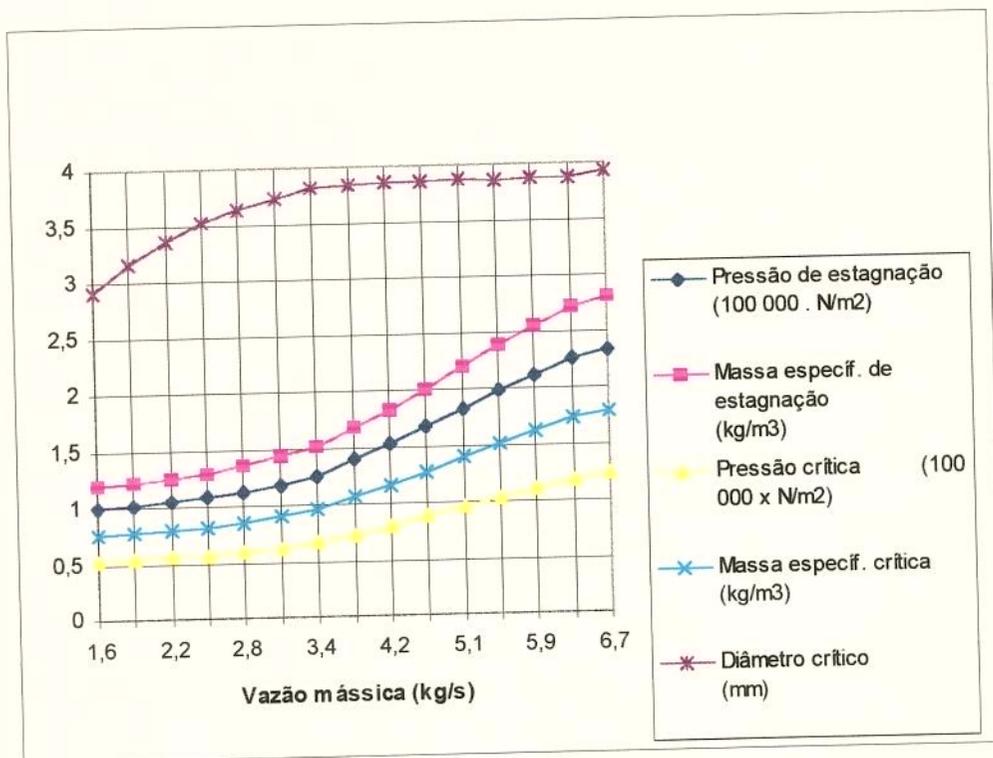


Figura 5.2.4 Variação dos parâmetros termodinâmicos de estagnação e críticos no bocal convergente-divergente para as condições de projeto.

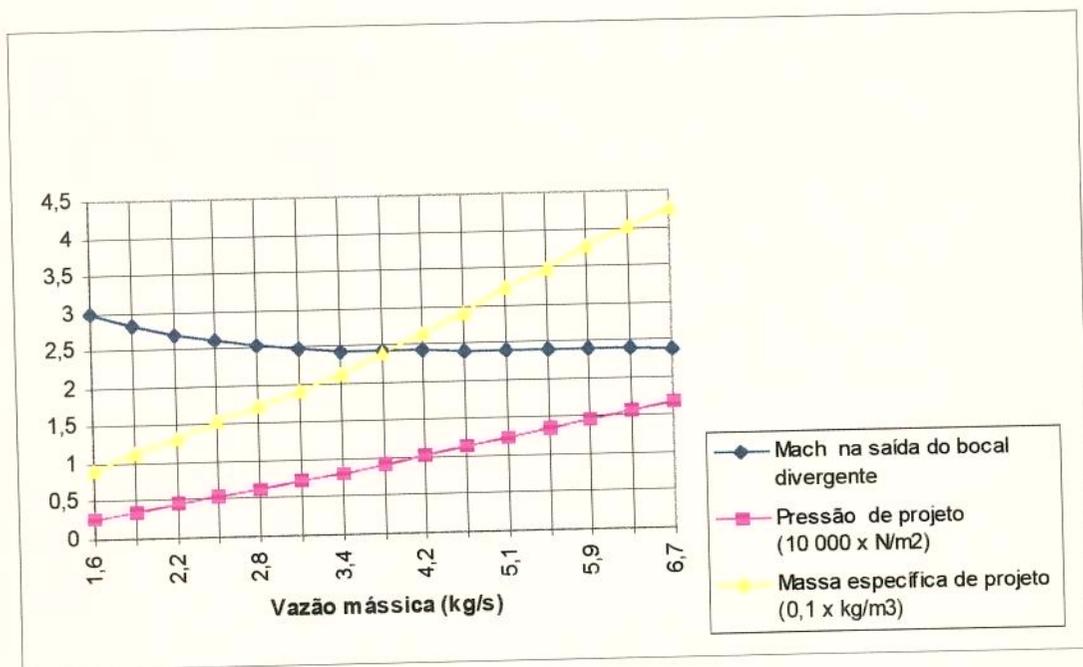


Figura 5.2.5 Variação das propriedades termodinâmicas na saída do bocal divergente em função da vazão mássica.

5.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA VÁLVULA DE VÁCUO.

5.4.1 Desempenho na condição não aspirada.

Como descrito no item 3.2.1 quando as sementes capturadas pelas células de aspiração vedam a passagem de ar, a válvula de vácuo trabalha na condição bloqueada, sendo que o vácuo parcial obtido pela mesma é máximo.

As figuras 5.4.1, 5.4.2 e 5.4.3 apresentam o desempenho da válvula de vácuo na condição de fluxo com aspiração bloqueado, com diferentes regulagens, quanto a variação do ângulo de convergência do bocal (10^0 , 20^0 e 30^0), diâmetro do orifício de saída da câmara de vácuo (5.0, 6.0 e 7.0 mm) e distância da garganta do bocal convergente ao orifício de saída da câmara de vácuo.

Observou-se que, com o aumento da vazão mássica, aumentou-se o vácuo parcial, tendendo a um valor máximo. As curvas de regressão obtidas apresentaram um coeficiente de determinação (R^2) superior a 93%, indicando a coerência dos resultados obtidos (SPIEGEL, 1975).

Analisando-se isoladamente o desempenho, em função do diâmetro de saída do orifício, observa-se que o orifício de 6.0 mm obteve os melhores resultados, atingindo um vácuo parcial máximo em torno de $57\ 000\ \text{N/m}^2$, e o de 5.0 mm, os piores resultados, atingindo nas melhores composições quanto ao ângulo de convergência e distância da garganta à saída da câmara de vácuo de $47\ 000\ \text{N/m}^2$.

Na figura 5.4.1, a qual apresenta o desempenho em função do orifício de 5 mm, observa-se que os resultados do vácuo obtido quando o ângulo do bocal convergente foi de 10^0 e 20^0 os resultados foram muito parecidos. No entanto, com o ângulo de 30^0 além de diferir dos demais foi inferior na geração de vácuo.

Para o caso da variação da distância da garganta ao orifício de saída, que representaria o ângulo de inclinação de um suposto bocal divergente, o melhor desempenho foi obtido com a menor distância (2.6 mm).

Na figura 5.4.2 são apresentadas as curvas de regressão com o orifício de 6 mm. A combinação que melhor desempenho apresentou em relação as demais estudadas foi a do bocal

com ângulo de 20° , distância de 5.3 mm e diâmetro de saída de 6.0 mm. Apesar de que, houve outras combinações que apresentaram também bons resultados.

Na figura 5.4.3 são apresentadas as curvas de regressão com o orifício de 7.0 mm, sendo que o desempenho foi um pouco inferior ao de 6.0 mm.

Neste caso, os melhores resultados foram obtidos em ordem decrescente com os ângulos de 10° , 20° e 30° e com as distâncias de 8.0, 5.0 e 2.0 mm.

O vácuo máximo atingido pelo gerador desenvolvido, quando a velocidade do ar no tubo de descarga era 25 m/s (em torno de 6 g/s), foi de 550 mbar na condição bloqueada.

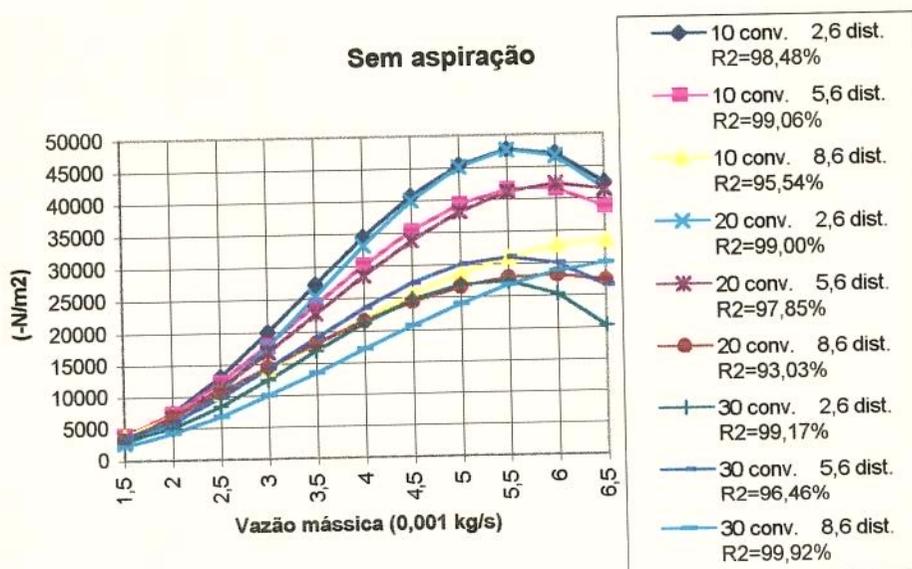


Figura 5.4.1 Variação do vácuo parcial na condição bloqueada, com orifício de saída da câmara de vácuo de 5.0 mm, em função da vazão mássica, ângulo de convergência do bocal e distância da garganta à saída da câmara.

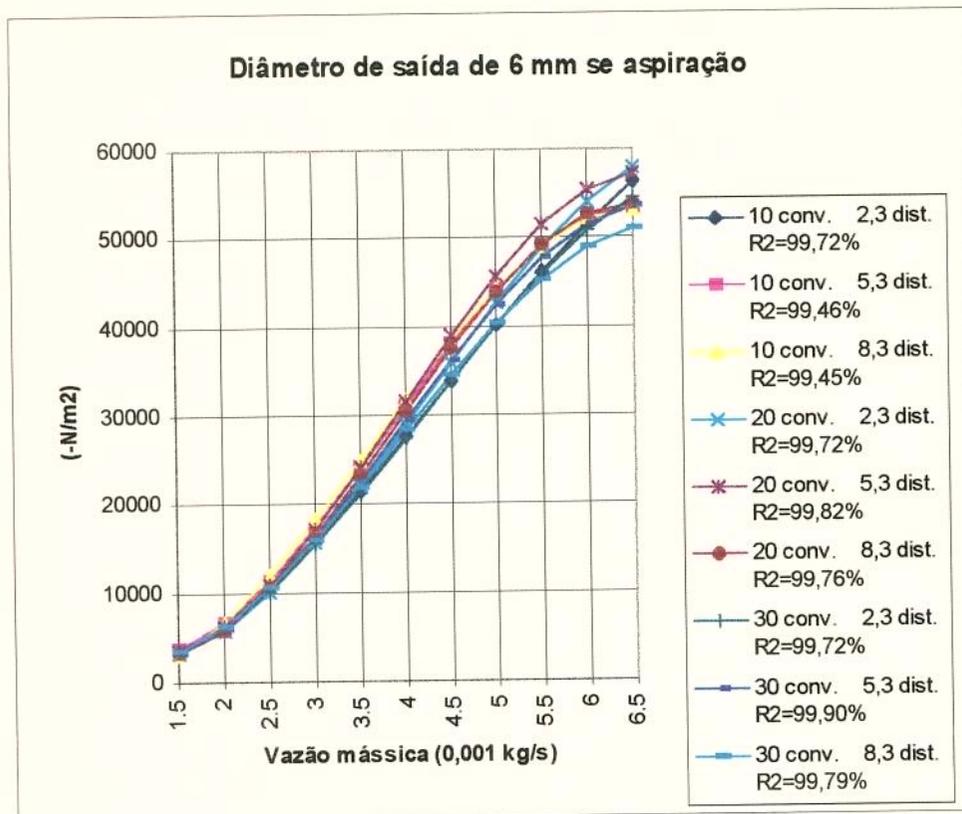


Figura 5.4.2 Variação do vácuo parcial na condição bloqueada, com orifício de saída da câmara de vácuo de 6.0 mm, em função da vazão mássica, ângulo de convergência do bocal e distância da garganta à saída da câmara.

5.4.2 Desempenho na condição semi aspirada.

Esta condição se caracteriza como a mais próxima da realidade quando o sistema de distribuição pneumático está em operação, pois pode haver entrada de ar entre a célula de aspiração e a semente e também, quando na eminência da captura, em que a célula estará por pouco tempo aberta.

O vácuo é reduzido, em relação a condição aspirada, mas deve promover sucção suficiente para capturar e arrastar as sementes. As figuras 5.4.4 e 5.4.5 mostram o desempenho da válvula de vácuo sob esta condição.

Na figura 5.4.4, que tem fixo o ângulo de convergência do bocal de aspiração, mostra a variação do vácuo parcial em função da vazão mássica, diâmetro de saída e distância da garganta à saída da câmara.

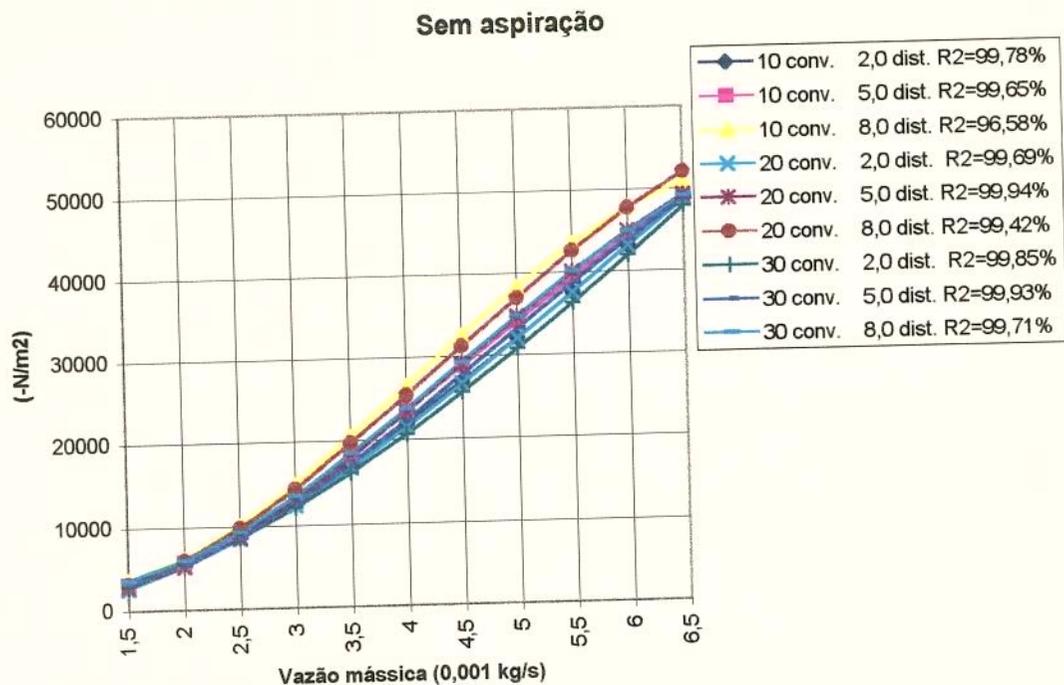


Figura 5.4.3 Variação do vácuo parcial na condição bloqueada, com orifício de saída da câmara de vácuo de 7.0 mm, em função da vazão mássica, ângulo de convergência do bocal e distância da garganta à saída da câmara.

Com diâmetro de 5.0 mm os resultados foram inferiores aos demais, e neste caso o vácuo decresceu com o decréscimo da distância da garganta à saída.

Com o diâmetro de 6.0 mm não foram observado grandes variações na geração de vácuo com a variação da distância da garganta a saída, além de apresentarem os melhores resultados observados nesta figura. Observa-se que na condição semi aspirada, continua sendo a combinação com o ângulo de 20° , 6.0 mm de diâmetro e 5.3 mm de distância a melhor opção de desempenho.

Com o diâmetro de 7.0 mm o desempenho foi pouco inferior ao de 6.0 mm.

Na figura 5.4.5 fixou-se o diâmetro de saída do orifício da câmara de vácuo em 6 mm, variando-se os demais parâmetros. Os melhores resultados foram com o ângulo de 20° em todas as distâncias da garganta a saída da câmara.

5.4.3 Desempenho na condição aspirada.

Quando ocorre a falha na captura de uma semente, o sistema estará na condição aspirada, sendo que aí a sucção é reduzida, necessitando permanecer a nível compatível para a captura de sementes.

A figura 5.4.6 mostra a variação do vácuo na condição aspirada e com ângulo de convergência fixado em 20° , em função da vazão mássica, diâmetro de saída e distância da garganta à saída da câmara de vácuo.

Fica evidente o desempenho inferior da válvula de vácuo quando possui saída da câmara com 5.0 mm de diâmetro. Para o caso dos orifícios de 6.0 e 7.0, os desempenhos foram bem superiores e parecidos.

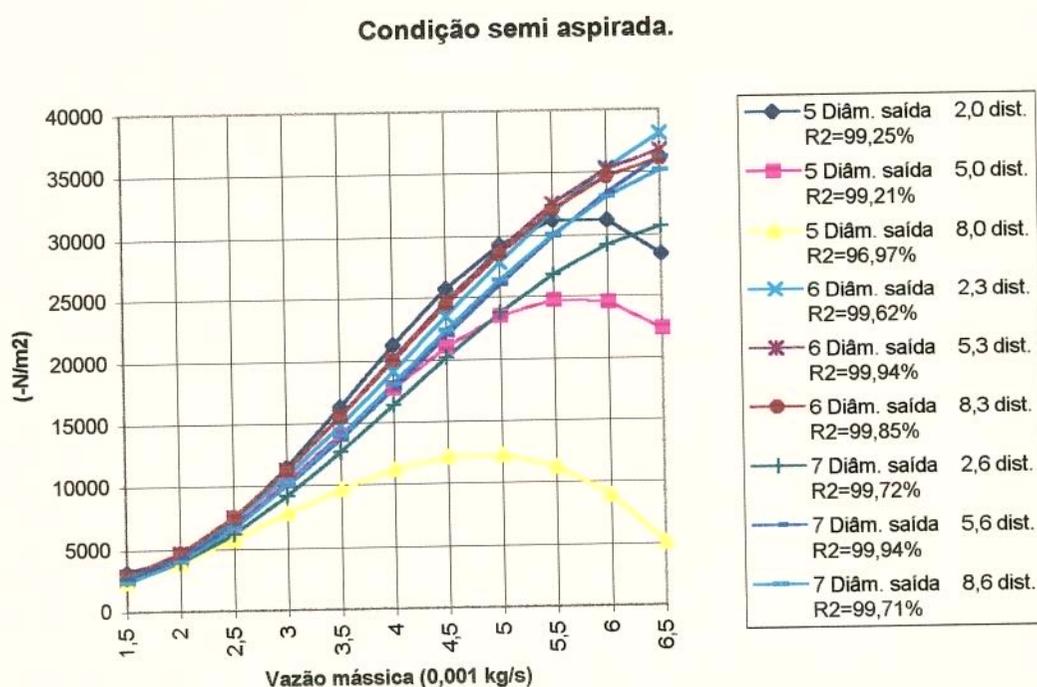


Figura 5.4.4 Variação do vácuo parcial na condição semi aspirada, com o ângulo de convergência do bocal de 20° , em função da vazão mássica, diâmetro de saída da câmara de vácuo e distância da garganta à saída da câmara.

Na figura 5.4.7 fixou-se o diâmetro de saída em 6.0 mm, manteve-se a condição aspirada e variaram-se a vazão mássica, ângulo de convergência do bocal e a distância da garganta à saída da câmara. Obteve-se bom desempenho em todas as composições, com destaque ao ângulo de convergência de 20° . O vácuo parcial máximo obtido foi de 25 000 Pascal ou 250 mbar.

A combinação selecionada de regulagem com 20° , 5.3 mm de distância e 6.0 mm de diâmetro continua sendo uma das melhores opções para todos os níveis de vazão mássica, como pode ser visto nas figuras 5.4.6 e 5.4 7, atingindo vácuo parcial de 230 mbar quando a velocidade do ar no tubo de descarga é de 25 m/s. Este valor é superior ao recomendado para a captura pneumática de sementes grandes, como a de milho, que exige níveis em torno de 170 mbar.

Condição semi aspirada.

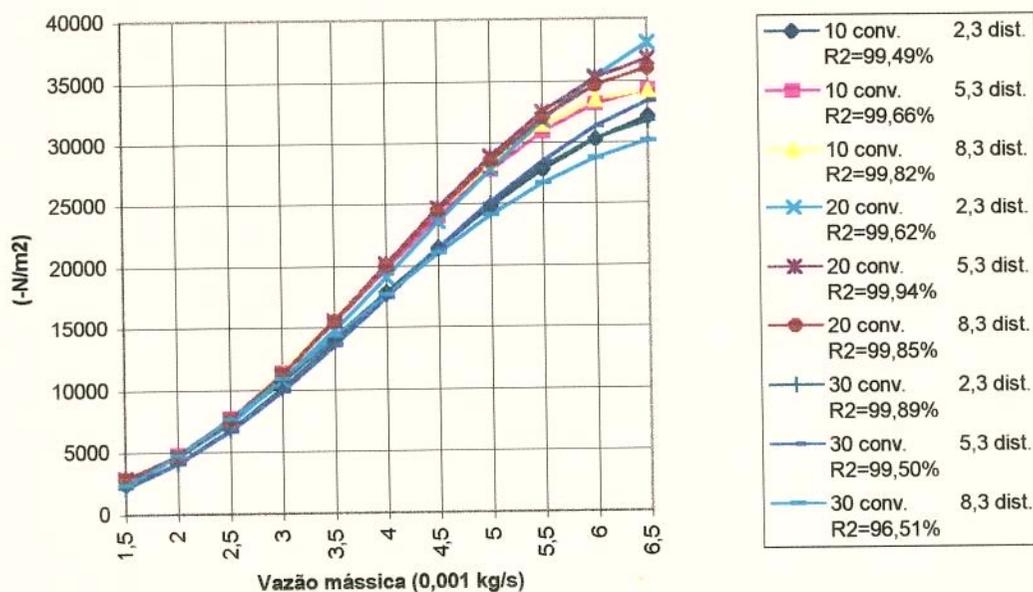


Figura 5.4.5 Variação do vácuo parcial na condição semi aspirada, com orifício de saída da câmara de vácuo de 6.0 mm, em função da vazão mássica, ângulo de convergência do bocal e distância da garganta à saída da câmara.

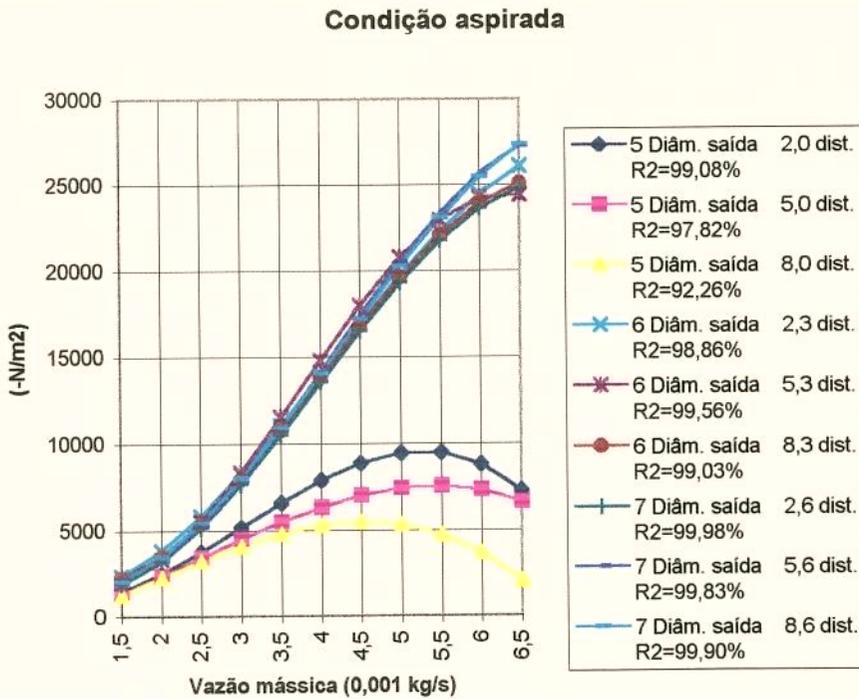


Figura 5.4.6 Variação do vácuo parcial na condição aspirada, com o ângulo de convergência do bocal de 20° , em função da vazão mássica, diâmetro de saída da câmara de vácuo e distância da garganta à saída da câmara.

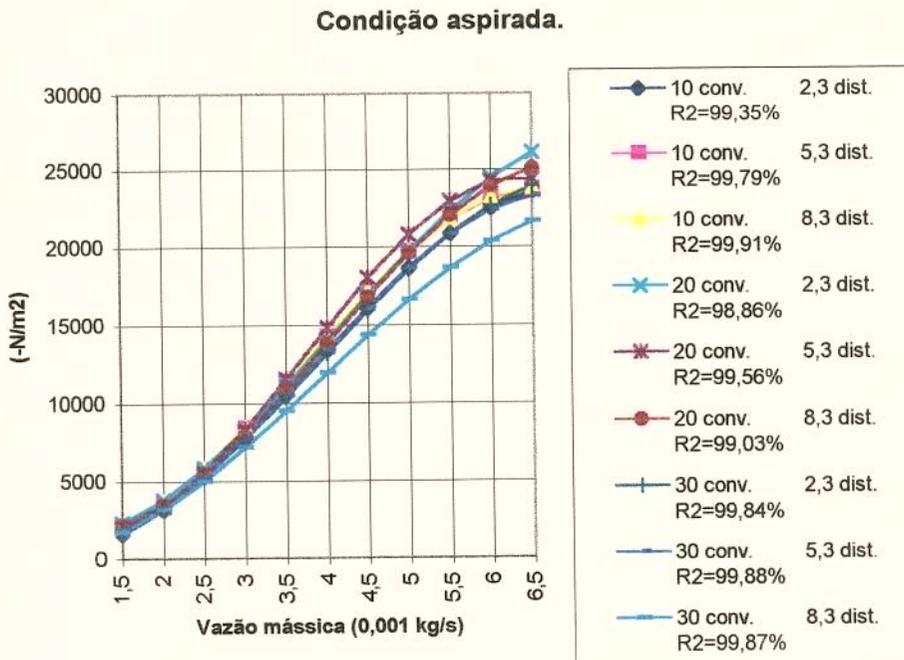


Figura 5.4.7 Variação do vácuo parcial na condição aspirada, com orifício de saída da câmara de vácuo de 6.0 mm, em função da vazão mássica, ângulo de convergência do bocal e distância da garganta à saída da câmara.

5.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E AERODINÂMICAS DAS SEMENTES.

5.5.1 Massa específica real e massa das sementes.

A tabela 5.5.1 apresenta os resultados de massa específica real e o peso médio das sementes estudadas, segundo a metodologia descrita no item 4.3.1.

Tabela 5.5.1 Massa específica real e massa das sementes estudadas.

	massa média/semente		Massa específica real	
	(g)	CV (%)	(g/cm ³)	CV (%)
MILHO	0.41	0.29	1.25	0.04
SOJA	0.13	0.79	1.18	1.35
TRIGO	0.05	2.48	1.20	1.35

5.5.2 Teor de umidade.

A tabela 5.5.2 apresenta os resultados da porcentagem de umidade das sementes estudadas segundo a metodologia descrita no item 4.3.2.

Tabela 5.5.2 Porcentagem de umidade de sementes estudadas.

	MILHO	SOJA	TRIGO
UMIDADE (%)	11.40	10.86	12.88
COEF. VARIAÇÃO (%)	1.52	1.40	1.39

5.5.3 Diâmetro equivalente e área projetada.

O diâmetro e a área projetada das sementes estão apresentadas na tabela 5.5.3, segundo a metodologia descrita no item 4.3.3.

Tabela 5.5.3 Dimensões características, diâmetro equivalente e área projetada das sementes estudadas.

	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Espessura (mm)		Diâmetro equivalente (mm)		Área projetada (mm ²)	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
MILHO	12.58	7.12%	9.81	6.93%	4.40	9.71%	8.14	3.80%	52.11	7.56%
SOJA	6.76	4.02%	6.36	2.93%	5.08	4.58%	6.02	2.83%	28.46	5.68%
TRIGO	6.27	6.43%	3.56	6.01%	3.12	7.46%	4.11	5.67%	13.33	11.2%

5.5.4 Velocidade terminal teórica.

O cálculo da velocidade terminal teórica é realizado com os fundamentos apresentados no item 2.3.1. Utilizando-se passo a passo as equações aí apresentadas pode-se obter os resultados mostrados na tabela 5.5.4 para as sementes estudadas de milho, soja e trigo.

A velocidade terminal teórica de milho e soja calculada com as sementes estudadas não diferiu muito em relação aos dados calculados por PORTELLA (1991), apresentados na tabela 2.3.2, no entanto foi superior aos dados experimentais obtidos pelo autor, como também dos obtidos por HAWK *et al* (1966), expostos no item 2.3.1. A velocidade terminal teórica do trigo também foi um pouco superior a obtida por HAWK *et al* (1966).

Utilizando-se a figura 2.3.3 proposta por MOHSEIN (1965), e usando-se os dados de R_e e C_a obtidos na tabela 5.5.4 todas as sementes apresentaram um formato próximo de uma esfera, o que não corresponde ao real formato das sementes de milho e trigo.

5.5.5 Velocidade terminal experimental.

Os resultados da velocidade terminal experimental das sementes estudadas, segundo a metodologia apresentada no item 4.3.5, podem ser vistos na tabela 5.5.5.

Os dados obtidos, a semelhança de PORTELLA (1991), distanciaram-se da velocidade terminal teórica, mas foram pouco inferiores aos obtidos por HAWK *et al* (1966).

Tabela 5.5.4 Características físicas e aerodinâmicas das sementes.

	MILHO	SOJA	TRIGO
Massa específica das sementes (kg/m ³)	1250	1180	1200
Massa específica do ar (kg/m ³)	1.293	1.293	1.293
Massa das sementes (kg)	0,41.10 ⁻³	0,13.10 ⁻³	0,05.10 ⁻³
Diâmetro equivalente (m)	8,14.10 ⁻³	6,02.10 ⁻³	4,11.10 ⁻³
Área projetada (m ²)	52,11.10 ⁻⁶	28,46.10 ⁻⁶	13,33.10 ⁻⁶
Viscosidade do ar (N.s/m ²)	1,81.10 ⁻⁵	1,81.10 ⁻⁵	1,81.10 ⁻⁵
C _a .R _c ²	4,03.10 ⁷	1,21.10 ⁷	2,45.10 ⁶
Coefficiente de arrasto teórico	0,405	0,390	0,410
Número de Reynolds teórico	10000	7000	2500
Velocidade terminal teórica (m/s)	17,20	16,28	8,51
Esfericidade das sementes	65%	89%	66%

Tabela 5.5.5 Velocidade experimental experimental.

	MILHO	SOJA	TRIGO
Velocidade terminal experimental (m/s)	7.79	10.16	5.25
Coefficiente de variação (%)	3.77	5.00	14.78

5.6 SELEÇÃO DAS CÉLULAS DE ASPIRAÇÃO DE SEMENTES.

O método utilizado para a seleção das células de aspiração foi descrito no item 4.4. Salienta-se que nesse estudo não foi utilizado o dispositivo raspador de sementes. Os indicadores avaliados foram o número médio de sementes capturadas por célula, a porcentagem de células que falharam na captura de sementes, a porcentagem de células que

capturaram somente uma semente e a porcentagem de células que capturaram mais do que uma semente. As tabelas 5.6.1 a 5.6.4 mostram os resultados obtidos com milho, juntamente com a significância obtida através do teste de Tukey para a comparação de médias.

Não foram observados diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% de probabilidade no número de sementes por célula quando variou-se a velocidade de rotação do rotor dosador. No entanto, com a variação do diâmetro do orifício da célula ocorreram diferenças.

A porcentagem de falhas foi muito baixa, não ocorrendo diferenças entre os tratamentos estudados no que diz respeito a variação da velocidade de rotação e diâmetro das células, apresentando um elevado coeficiente de variação (310%).

A porcentagem de células que capturaram somente uma semente foi baixa no estudo. No entanto, observou-se que com o aumento da velocidade de rotação e redução do diâmetro do orifício da célula, os resultados foram melhores.

A captura de sementes múltiplas foi muito elevada em função não somente das características da semente de milho, mas também devido ao fato que no estudo de seleção das células de aspiração optou-se em não usar um dispositivo raspador de sementes, e pelo elevado nível de vácuo usado no estudo (440 mbar). No entanto, foi possível identificar a tendência de maior captura de sementes múltiplas com o aumento do diâmetro do orifício da célula.

Mantendo-se constante a pressão de aspiração, com o aumento da área do orifício da célula aumenta-se a força de sucção, a qual promove a captura múltipla de sementes com maior frequência.

Com os resultados obtidos é possível selecionar as células com 3.25 e 4.40 mm de diâmetro e as rotações mais elevadas para as condições de estudo, sendo que pela recomendação de SHORT & HUBER (1970), a área do orifício da célula que melhor desempenho apresenta na captura única é equivalente a 40% da área exposta da semente. No milho, esta área corresponde a 20.8 mm^2 , servindo de referência para selecionar a célula com 4.4 mm de diâmetro, que possui 15.2 mm^2 de área.

Tabela 5.6.1 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração no número de sementes de milho capturadas por célula, sem o uso do raspador de sementes.

Diâmetro\Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	Média
3.25 mm	1.905	1.925	1.695	1.842 a
4.40 mm	2.097	1.837	1.777	1.904 a
5.47 mm	1.960	2.170	1.920	2.017 ab
6.77 mm	2.612	2.255	2.182	2.350 b
Média	2.144 A	2.047 A	1.894 A	2.028

As letras iguais indicam que as médias não variam entre si ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação de 4.83%.

Tabela 5.6.2 Efeito da variação de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração na porcentagem de falhas na captura de sementes de milho pelas células de aspiração, sem o uso do raspador de sementes.

Diâmetro\Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	Média
3.25 mm	0.00	1.14	0.00	0.38 a
4.40 mm	0.00	1.25	0.00	0.42 a
5.47 mm	1.25	1.19	0.00	0.81 a
6.77 mm	0.00	1.19	0.00	0.40 a
Média	0.31 A	1.19 A	0.00 A	0.50

As letras iguais indicam que as médias não variam entre si ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação 310%.

As tabelas 5.6.5 a 5.6.8 mostram os resultados obtidos com soja, juntamente com a significância obtida através do teste de Tukey para a comparação de médias, e o coeficiente de variação de cada experimento.

O número de sementes de soja capturadas por célula aproximou-se muito do ideal neste estudo, mesmo sem o uso do raspador de sementes. Com a variação do diâmetro dos orifícios foram observadas diferenças significativas pelo teste de Tukey nos resultados de número de sementes capturadas por célula, com destaque à célula de 3.25 mm de diâmetro, com 1.04 sementes em média capturadas por célula.

Tabela 5.6.3 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração na porcentagem de células que capturaram uma só semente de milho por vez, sem o uso do raspador de sementes.

Diâmetro\Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	Média
3.25 mm	28.18	52.27	54.27	44.91 b
4.40 mm	29.28	51.31	56.55	45.71 b
5.47 mm	38.99	29.11	33.98	34.02 ab
6.77 mm	13.75	22.92	29.67	22.11 a
Média	27.55 A	38.90 B	43.62 B	36.69

As letras iguais indicam que as médias não variam entre si ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação de 31.2%.

Tabela 5.6.4 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração na porcentagem de células que capturaram mais do que uma semente de milho por vez, sem o uso do raspador de sementes.

Diâmetro\Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	Média
3.25 mm	63.64	51.70	41.37	52.24 a
4.40 mm	70.71	48.69	43.45	54.29 a
5.47 mm	59.76	70.89	66.02	65.56 ab
6.77 mm	86.25	77.06	70.33	77.88 b
Média	70.09 B	62.09 AB	55.29 A	62.49

As letras iguais indicam que as médias não variam entre si ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação de 20.5%.

A célula com 2.55 mm de diâmetro apresentou valor médio inferior a uma semente capturada por célula, indicando a ocorrência maior de falhas na captura, que é confirmado pelos resultados apresentados na tabela 5.6.6.

Na tabela 5.6.5, observou-se que não ocorreu diferenças significativas no número de sementes capturadas por célula quando a velocidade de rotação variou de 10 a 30 rpm. Quanto aos orifícios de maior diâmetro, verificou-se o aumento do número médio de sementes capturadas por célula, confirmado pelos resultados da tabela 5.6.8 com os maiores valores de captura múltipla de sementes.

A célula de 4.32 mm de diâmetro, que é contida de uma borracha de consistência mais rígida que a usada no estudo, não apresentou bons resultados, promovendo maior captura múltipla de sementes que a célula de 4.40 mm de consistência macia (tabela 5.6.8). Isto deve-se a maior entrada de ar pelas bordas do orifício da célula, que ocasionalmente captura mais do que uma semente em seu trajeto.

Apesar dos altos valores do coeficiente de variação na análise estatística apresentada nas tabelas 5.6.6 e 5.6.8, foi possível identificar a tendência de maior ocorrência de falhas nos orifícios de menor diâmetro e captura de múltiplos nos de maior diâmetro.

A captura média de uma única semente por célula de aspiração foi de 93.13%, apresentada na tabela 5.6.7, não sendo observado diferenças significativas entre os valores médios estudados. Este valor é considerado elevado, sendo justificado pelo formato esférico das sementes, podendo ainda melhorar com a introdução do raspador de sementes, seleção da velocidade de rotação e vácuo parcial apropriado.

Com este estudo, optou-se pela célula com 3.25 mm de diâmetro para as avaliações posteriores da uniformidade de distribuição das sementes de soja, pelo melhor desempenho apresentado.

Tabela 5.6.5 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração no número de sementes de soja capturadas por célula, sem o uso do raspador de sementes.

Diâmetro\Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	Média
2.55 mm	1.012	0.962	0.912	0.962 a
3.25 mm	1.095	1.037	0.977	1.037 ab
4.40 mm	1.100	1.150	1.100	1.117 bc
4.32* mm	1.202	1.200	1.187	1.197 c
Média	1.102 A	1.087 A	1.044 A	1.078

As letras iguais indicam que as médias não variam entre si ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação de 10.0%. * Célula de borracha com consistência mais dura que as demais.

Tabela 5.6.6 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração na porcentagem de falhas na captura de sementes de soja pelas células de aspiração, sem o uso do raspador de sementes.

Diâmetro\Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	Média
2.55 mm	1.25	3.75	8.75	4.58 b
3.25 mm	0.00	0.00	3.41	1.14 a
4.40 mm	0.00	0.00	0.00	0.00 a
4.32* mm	0.00	1.25	0.00	0.42 a
Média	0.31 A	1.25 AB	3.04 B	1.53

As letras iguais indicam que as médias não variam entre si ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação de 176.7%.

Tabela 5.6.7 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração na porcentagem de células que capturaram uma só semente de soja por vez, sem o uso do raspador de sementes.

Diâmetro\Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	Média
2.55 mm	73.75	96.25	91.25	87.08 a
3.25 mm	97.56	97.50	95.40	96.82 a
4.40 mm	93.75	92.50	95.00	93.75 a
4.32* mm	84.32	83.75	92.50	86.86 a
Média	87.34 A	92.50 A	93.54 A	91.13

As letras iguais indicam que as médias não variam entre si ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação de 14.5%.

Tabela 5.6.8 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e diâmetro do orifício da célula de aspiração na porcentagem de células que capturaram mais do que uma semente de soja por vez, sem o uso do raspador de sementes.

Diâmetro\Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	Média
2.55 mm	2.50	0.00	0.00	0.83 a
3.25 mm	2.44	2.50	1.19	2.04 a
4.40 mm	6.25	7.50	3.75	5.83 a
4.32* mm	15.68	15.00	7.50	12.73 b
Média	6.72 A	6.25 A	3.11 A	5.36

As letras iguais indicam que as médias não variam entre si ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação de 88.53%.

5.7 UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES.

5.7.1 Estudo da distribuição de sementes de milho.

5.7.1.a Estudo na saída do sistema de dosagem de sementes.

A metodologia usada foi explicada no item 4.5, sendo que nesta posição interessava-se saber sobre a uniformidade das sementes logo após a saída do sistema dosador, com o objetivo de identificar os erros de dosagem. Salienta-se que em todo estudo sobre distribuição de sementes utilizou-se o dispositivo raspador para evitar excesso de captura múltipla de sementes.

O estudo da uniformidade de distribuição em milho não foi realizado com a velocidade de rotação de 30 rpm, pois com a redução do vácuo, aumentou-se as falhas e também pelo fato de ser optado em subdividir mais os níveis de vácuo na avaliação experimental. As tabelas 5.7.1 a 5.7.7 apresentam os resultados de distribuição de sementes de milho na saída do sistema de dosagem de sementes.

Como pode ser visualizado na tabela 5.7.1, não houve diferenças significativas entre as frequências aceitáveis dos intervalos de tempos entre sementes, com exceção de quando submetida ao nível de vácuo de 300 mbar e a 10 rpm, sendo que o valor encontrado foi significativamente superior ao de 20 rpm.

Com o uso de um raspador de sementes, constituído de um pedaço recortado de folha plástica, conseguiu-se reduzir sensivelmente frequência de sementes múltiplas de milho como observado no estudo de seleção das células de aspiração, visto na tabela 5.6.4. O número médio de sementes capturadas por célula foi de 2.03 (tabela 5.6.1) quando não foi usado o dispositivo raspador e 1.35 (tabela 5.7.5) com o raspador e vácuo parcial de 440 mbar (equivalente ao vácuo usado para a seleção de células de aspiração). Este valor foi otimizado ainda mais com a redução do vácuo parcial, atingindo praticamente a captura de uma única semente.

Não foi observado a variação na frequência dos intervalos de tempos que caracterizam a captura de sementes múltiplas quando variou-se a velocidade de rotação do rotor, mas com a variação do vácuo parcial a resposta foi significativa, sendo que os melhores resultados foram obtidos com os menores valores de vácuo nas duas rotações estudadas, tabela 5.7.2.

Tabela 5.7.1 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na frequência de tempos considerados aceitáveis (%) entre sementes de milho. (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	Média
120 mbar	71.25 a A	67.80 a A	69.52 A
210 mbar	73.82 a A	71.27 a A	72.54 A
300 mbar	78.27 a A	70.87 b A	74.57 A
380 mbar	68.03 a A	70.57 a A	69.30 A
440 mbar	68.70 a A	69.20 a A	68.95 A
Média	72.01 a	69.94 a	70.98

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 32.24%

Tabela 5.7.2 Efeito da variação da rotação do rotor e nível de vácuo na frequência de tempos múltiplos (%) entre sementes de milho. (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	Média
120 mbar	16.67 a B	12.55 a B	14.61 C
210 mbar	19.07 a AB	15.23 a B	17.15 BC
300 mbar	18.63 a AB	18.03 a B	18.33 BC
380 mbar	27.93 a A	22.45 a AB	25.19 AB
440 mbar	27.83 a A	29.04 a A	28.43 A
Média	22.03 a	19.46 a	20.75

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 20.11%.

O fato de não ser observado diferenças significativas entre as frequências dos intervalos de tempos que caracterizam distribuição aceitável em milho, está associado a compensação ocorrida entre o aumento dos múltiplos em função da elevação do vácuo e do aumento das falhas com a redução do vácuo.

Na tabela 5.7.3 fica evidente o efeito da variação do vácuo e da velocidade de rotação na variação da ocorrência de falhas na distribuição de sementes. Sendo que, os melhores resultados ocorreram com os níveis de vácuo mais elevados e rotação de 10 rpm.

O coeficiente de variação como um indicador de dispersão da média (GOMES, 1990), conseguiu acusar com mais propriedade do que a frequência dos intervalos de tempos que caracterizam distribuição aceitável, as variações dos resultados obtidos. No caso do estudo com milho, apresentado na tabela 5.7.4, observaram-se diferenças significativas entre o coeficiente de variação dos intervalos de tempos entre sementes quando o nível de vácuo variou, sendo que o destaque ocorreu com a pressão de 300 mbar abaixo da atmosférica. A mesma variação não foi observada com as duas rotações estudadas.

Tabela 5.7.3 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na frequência de tempos falhos (%) entre sementes, de milho. (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	Média
120 mbar	12.21 b A	19.65 a A	15.93 A
210 mbar	7.12 b AB	13.50 a AB	10.31 B
300 mbar	3.09 b B	11.10 a BC	7.09 BC
380 mbar	4.04 a B	6.98 a CD	5.51 BC
440 mbar	3.48 a B	1.76 a D	2.62 C
Média	5.99 b	10.60 a	8.29

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 32.17%.

A figura 5.7.1 mostra o comportamento dos parâmetros discutidos acima, ficando mais visível a melhor eficiência do sistema dosador quando usou-se um vácuo parcial de 300 mbar em relação aos demais. Obteve-se em média nesta regulagem, 74.57% de tempos aceitáveis, bem próximo valor considerado aceitável agronomicamente (75%). Quando usou-se 10 rpm de velocidade de rotação a frequência dos intervalos de tempos que caracterizam distribuição aceitável foi acima do parâmetro agrônomo, chegando a 78.27%, justificada pelos valores moderados de distribuição múltiplas e de falhas em relação as outras regulagens.

Os melhores resultados quanto a captura de uma única semente por célula de aspiração, como pode ser visto na tabela 5.7.5, foram obtidos com 300 mbar de vácuo com 20 rpm do rotor e 120 mbar com 10 rpm, correspondendo a 1.057 e 1.006 sementes por orifício em média respectivamente.

O tempo médio de referência entre as sementes é parâmetro básico para a determinação dos intervalos de tempos aceitáveis, múltiplos e falhos estando associado diretamente a uniformidade da velocidade de rotação do rotor. Pode-se observar na tabela 5.7.6 que não houve variação significativa do tempo médio de referência quando o valor de velocidade de rotação é fixo e o vácuo variável.

Tabela 5.7.4 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no coeficiente de variação (%) dos tempos entre sementes de milho. (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	Média
120 mbar	61.37 a AB	70.22 a A	65.80 A
210 mbar	78.84 a A	56.72 b A	67.78 A
300 mbar	44.15 a B	56.64 a A	50.40 B
380 mbar	62.37 a AB	62.63 a A	62.50 AB
440 mbar	74.17 a A	63.16 a A	68.66 A
Média	64.19 a	61.88 a	63.03

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 39.79%.

O tempo médio entre sementes acusadas pelo sensor ótico é, por sua vez, diretamente relacionado com a distância das sementes no campo. As variações ocorridas com os diferentes valores de vácuo, devem-se a ocorrência distribuição de sementes múltiplas e de falhas.

Dos resultados obtidos com milho no sensor posicionado na saída do dosador, a melhor performance foi obtida com 300 mbar de vácuo e 10 rpm, mas observou-se a possibilidade de melhorá-la com o aperfeiçoamento do sistema raspador de sementes e aumento do diâmetro do rotor, pois, pelo formato plano da semente de milho, muitas eram transportadas na superfície do rotor apoiando-se sobre a mesma. A proposta apresentada do capítulo 3, utilizando-se um fluxo de ar para limpeza, pode se concretizar como uma boa alternativa.

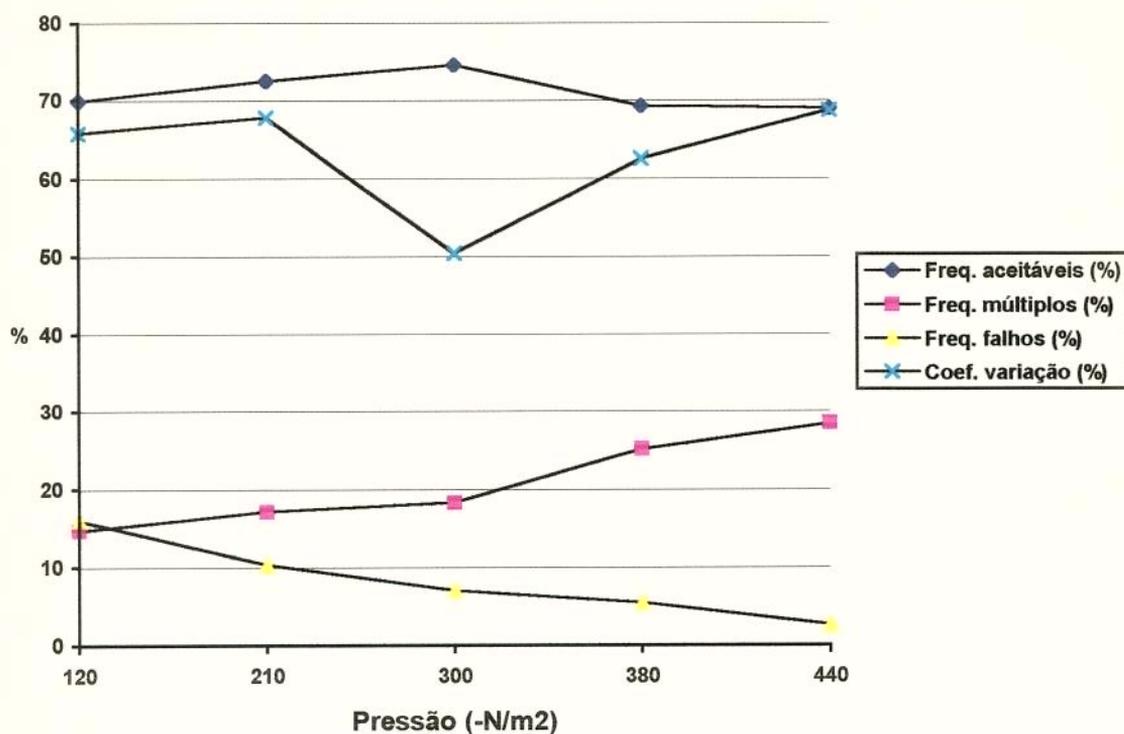


Figura 5.7.1 Parâmetros médios de avaliação dos erros de dosagem com milho em função da variação do vácuo parcial.

Tabela 5.7.5 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no número de sementes de milho capturadas por orifício das células de aspiração. (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	Média
120 mbar	1.006 a D	0.860 b D	0.933 E
210 mbar	1.104 a CD	0.985 b CD	1.044 D
300 mbar	1.168 a BC	1.057 b BC	1.112 C
380 mbar	1.299 a AB	1.148 b B	1.223 B
440 mbar	1.342 a A	1.369a A	1.355 A
Média	1.184 a	1.084 b	1.134

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 5.17%.

Tabela 5.7.6 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no tempo médio de referência (segundos) entre as células de aspiração. (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	Média
120 mbar	1.36 a A	0.74 b A	1.05 A
210 mbar	1.42 a A	0.74 b A	1.08 A
300 mbar	1.35 a A	0.73 b A	1.04 A
380 mbar	1.40 a A	0.73 b A	1.07 A
440 mbar	1.41 a A	0.74 b A	1.07 A
Média	1.39 a	0.74 b	1.06

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 4.51%.

Tabela 5.7.7 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no tempo (segundos) entre sementes de milho (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	Média
120 mbar	1.35 a A	0.86 b A	1.11 A
210 mbar	1.05 a B	0.76 b AB	0.91 B
300 mbar	1.15 a B	0.69 b BC	0.92 B
380 mbar	1.09 a B	0.63 b BC	0.86 BC
440 mbar	1.05 a B	0.54 b C	0.79 C
Média	1.14 a	0.70 b	0.92

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 6.98%.

5.7.1.b Estudo na saída da tubulação de descarga.

Este estudo foi realizado com vácuo parcial de 300 mbar. Observou-se que a ocorrência dos intervalos de tempos aceitáveis foram inferiores aos obtidos logo na saída do sistema de dosagem, indicando que a medida que a semente caminha na tubulação de descarga e passa pelos desaceleradores pneumático e cinemático vai perdendo a uniformidade da distância entre

elas, sendo que é possível obter regulagens que ainda mantenham um desempenho considerado aceitável.

Este fato também é confirmado pelo aumento do coeficiente de variação, e justificado pelo aumento da distribuição múltipla e falha de sementes, como pode ser visto na tabela 5.7.8. O número de sementes capturadas por célula de aspiração foi mantido, o que era de se esperar.

Tabela 5.7.8 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor nos parâmetros de avaliação da uniformidade de distribuição de sementes de milho na saída do tubo de descarga. (com raspador de sementes)

Parâmetros\ Rotação	CV	10 rpm	20 rpm	Média
Freq. tempos aceitáveis %	3.15%	62.24 a	65.86 a	64.24
Freq. tempos múltiplos %	3.98%	26.76 a	22.91 b	24.84
Freq. tempos falhos %	18.20%	10.61 a	11.23 a	10.92
Coef. de variação %	4.27%	71.23 a	74.09 a	72.66
Sementes/célula	2.90%	1.15 a	1.05 b	1.10
Tempo de referência	4.65%	1.39 a	0.71 b	1.05
Tempo entre sementes	5.63%	1.21 a	0.68 b	0.92

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações.

5.7.2 Estudo da distribuição de sementes de soja.

5.7.2.a Estudo na saída do sistema de dosagem de sementes.

As tabelas 5.7.9 a 5.7.15 apresentam os resultados de distribuição de sementes de soja nesta posição.

O desempenho geral do sistema de distribuição experimentado nesta posição, apresentou bons resultados trabalhando com a semente de soja. Obteve-se 84.08% de frequência dos intervalos de tempos considerados aceitáveis, um coeficiente de variação médio de 44.22% e a captura de praticamente uma semente de soja em média por célula (1.040).

Não foram obtidas diferenças significativas entre os tratamentos estudados de frequência dos intervalos de tempos aceitáveis e do coeficiente de variação. Quanto ao número de

sementes capturadas por célula, observaram-se diferenças entre o menor e o maior nível de vácuo. Este fato também foi observado nos resultados de distribuição considerada múltipla e falha entre as sementes, em que, com o aumento do nível de vácuo aumentou-se a ocorrência de múltiplos e reduziu-se as falhas.

Tabela 5.7.9 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na frequência de tempos considerados aceitáveis (%) entre sementes de soja . (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	40 rpm	Média
380 mbar	85.19 a A	85.30 a A	85.10 a A	80.48 a A	84.01 A
410 mbar	82.14 a A	85.18 a A	87.71 a A	86.72 a A	85.44 A
440 mbar	83.13 a A	79.41 a A	88.42 a A	80.22 a A	82.79 A
Média	83.49 a	83.30 a	87.08 a	82.47 a	84.08

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 4.96%.

Tabela 5.7.10 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na frequência de tempos múltiplos (%) entre sementes de soja. (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	40 rpm	Média
380 mbar	6.94 a A	8.25 a A	9.73 a A	8.42 a B	8.33 B
410 mbar	11.03 a A	9.15 a A	7.79 a A	9.31 a B	9.32 AB
440 mbar	11.15 a A	11.49 a A	10.27 a A	18.28 a A	12.80 A
Média	9.70 a	9.63 a	9.26 a	12.00 a	10.15

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 39.10%.

A semelhança do que ocorreu no estudo com sementes de milho, o tempo médio de referência entre as sementes de soja, visto na tabela 5.7.14, não apresentou diferenças significativas quando houve variação do vácuo parcial e manteve-se a velocidade de rotação, servindo de parâmetro básico para a determinação dos intervalos de tempos considerados aceitáveis, múltiplos e falhos entre sementes.

O tempo médio entre as sementes de soja (tabela 5.7.15), está diretamente relacionado com a distância das sementes no campo. As diferenças ocorridas com a variação do vácuo devem-se a ocorrência de intervalos de tempos considerados múltiplos e falhos entre as sementes.

Tabela 5.7.11 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na frequência de tempos falhos (%) entre sementes de soja. (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	40 rpm	Média
380 mbar	7.87 ab A	6.45 ab A	5.17 b A	11.10 a A	7.65 A
410 mbar	6.84 a A	5.67 a A	5.49 a A	3.97 a B	5.49 AB
440 mbar	5.73 ab A	9.10 a A	1.31 b A	1.50 b B	4.41 B
Média	6.81 a	7.07 a	3.99 a	5.52 a	5.85

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 43.80%.

Tabela 5.7.12 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no coeficiente de variação (%) do tempo entre sementes de soja. (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	40 rpm	Média
380 mbar	45.49 a A	47.90 a A	42.79 a A	50.61 a A	46.70 A
410 mbar	45.93 a A	44.13 a A	37.22 a A	39.69 a A	41.74 A
440 mbar	44.87 a A	46.96 a A	36.42 a A	48.61 a A	44.21 A
Média	45.43 a	46.33 a	38.81 a	46.30 a	44.22

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 13.43%.

O desempenho com a semente de soja, analisado logo na saída do sistema de dosagem foi muito bom, atingindo até 88.42% de intervalos de tempos que caracterizam a distribuição aceitável entre sementes e 1.04 sementes capturadas por células, bem próximo da captura única.

Tabela 5.7.13 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no número de sementes de soja por célula de aspiração. (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	40 rpm	Média
380 mbar	0.969 a B	1.008 a A	1.001 a A	0.957 a A	0.983 B
410 mbar	1.100 a A	1.028 a A	1.032 a A	1.047 a AB	1.052 AB
440 mbar	1.054 a AB	1.043 a A	1.091 a A	1.154 a B	1.085 A
Média	1.041 a	1.026 a	1.041 a	1.053 a	1.040

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 5.77%.

Tabela 5.7.14 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no tempo médio de referência (segundos) entre as células de aspiração. (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	40 rpm	Média
380 mbar	1.40 a A	0.72 b A	0.46 c A	0.36 d A	0.73 A
410 mbar	1.37 a A	0.71 b A	0.45 c A	0.37 d A	0.73 A
440 mbar	1.43 a A	0.66 b A	0.48 c A	0.37 d A	0.73 A
Média	1.40 a	0.70 b	0.47 c	0.363 d	0.73

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 5.84%.

Tabela 5.7.15 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo no tempo médio (segundos) entre sementes de soja. (com raspador de sementes)

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	40 rpm	Média
380 mbar	1.44 a A	0.72 b A	0.46 c A	0.37 c A	0.75 A
410 mbar	1.34 a B	0.69 b A	0.44 c A	0.35 c A	0.70 AB
440 mbar	1.36 a AB	0.63 b A	0.44 c A	0.32 d A	0.69 B
Média	1.38 a	0.68 b	0.45 c	0.35 d	0.71

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 5.87%.

5.7.2.b Estudo no final do trecho reto da tubulação de descarga.

Como pode ser visto na tabela 5.7.16, a uniformidade de distribuição de sementes de soja foi mantida após o trecho reto do tubo de descarga, indicando que a proposta de transporte pneumático de sementes no trecho reto da tubulação é viável mantendo a uniformidade desejada. Os elevados valores dos intervalos de tempos aceitáveis, baixa ocorrência de falhas, pouca captura múltipla, moderados valores do coeficiente de variação do intervalo entre as sementes e captura de praticamente uma única semente por célula, justificam o bom desempenho mantido.

Tabela 5.7.16 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor nos parâmetros de avaliação da uniformidade de distribuição de sementes de soja no final do trecho reto da tubulação de descarga. (com raspador de sementes)

Parâmetros\ Rotação	CV	10 rpm	20 rpm	30 rpm	Média
Freq. tempos aceitáveis (%)	4.12%	91.57% a	88.81% a	91.61% a	90.66%
Freq. tempos múltiplos (%)	46.77%	7.22% a	5.18% a	5.40% a	5.94%
Freq. tempos falhos (%)	90.39%	1.21% a	6.49% a	2.99% a	3.56%
Coef. de variação (%)	13.80%	33.80% a	31.80% a	34.67% a	33.42%
Sementes/célula	9.88%	1.04 a	0.98 a	1.02 a	1.01
Tempo de referência	11.51%	1.41 b	0.67 a	0.49 a	0.86
Tempo entre sementes	9.58%	1.36 c	0.69 b	0.48 c	0.84

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações.

5.7.2.c Estudo na saída do tubo de descarga.

A uniformidade de distribuição obtida com soja após a saída do dosador de sementes e do trecho reto da tubulação de descarga, foi praticamente perdida após a passagem pelos desaceleradores pneumáticos e cinemáticos, como pode-se ver na tabela 5.7.17.

Este efeito foi agravado com o aumento da rotação do rotor, que neste caso põe uma quantidade maior de sementes no fluxo de ar. Considerando que a quantidade de sementes por

unidade de tempo ainda é bem inferior ao que deverá ser utilizado em uma semeadora, torna-se essencial o reprojeto desses desaceleradores.

O número de sementes capturadas por células de aspiração esteve próximo da unidade, indicando que não houve problemas na captura realizada pelo sistema de dosagem, concentrando assim, o problema nos desaceleradores.

Na velocidade de rotação de 10 rpm os resultados foram bem próximos aos obtidos com milho, distanciando-se a medida que aumentou-se a rotação. O fato do desempenho ter sido até inferior ao do milho com o aumento da velocidade de rotação do rotor, fica difícil de explicar. No entanto, sabe-se que a velocidade das sementes de soja, após a passagem pelos desaceleradores, foi inferior a velocidade do milho (tabelas 5.9.1 e 5.9.2), associando-se isso ao fato de que a velocidade terminal da soja ser superior a do milho (tabela 5.5.5), pode-se prever que as sementes de soja ao passarem pelo desacelerador cinemático, entram mais em contato com a parede do tubo plástico, reduzindo e variando a velocidade de cada semente com maior intensidade do que ocorreu com as de milho, promovendo assim, uma maior desuniformidade de distribuição.

Com o aumento do fluxo de sementes, este fato agravou-se, pois pela expansão do escoamento no desacelerador pneumático, reduziu-se a vazão mássica no tubo de descarga prejudicando o transporte das sementes. Sabe-se também que pela maior massa e área projetada das sementes de milho em relação as de soja, pode-se justificar o ocorrido, fazendo com que as sementes de milho reduzissem com mais uniformidade sua velocidade nos desaceleradores em comparação as sementes de soja.

5.7.3 Estudo da distribuição de sementes de trigo.

O estudo de distribuição com as sementes de trigo foi realizado somente na posição após o trecho reto da tubulação de descarga, como justificado no item 4.5.3. A tabela 5.7.18 apresenta os resultados obtidos com a variação da rotação do rotor dosador.

A uniformidade de distribuição obtida com as sementes de trigo foi inferior as de soja e milho, com frequência média dos intervalos de tempos aceitáveis entre sementes de 57.47% e coeficiente de variação de 72.60%, apresentados na tabela 5.7.18. Isto deveu-se em muito pela captura múltipla de sementes, com 1.29 sementes capturadas por célula em média no

estudo. Este fato pode ser explicado pelo elevado vácuo empregado (440 mbar), pelas características geométricas das células de aspiração e da semente de trigo, que não vedam apropriadamente os orifícios, facilitando a captura múltipla.

Tabela 5.7.17 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor nos parâmetros de avaliação da uniformidade de distribuição de sementes de soja na saída da tubulação de descarga. (com raspador de sementes)

Parâmetros\ Rotação	CV	10 rpm	20 rpm	30 rpm	Média
Freq. tempos aceitáveis (%)	9.50%	66.61 a	42.17 b	29.78 c	46.17
Freq. tempos múltiplos (%)	8.34%	19.52 b	35.96 a	42.80 b	32.76
Freq. tempos falhos (%)	12.34%	13.87 b	21.87 a	27.42 b	21.05
Coef. de variação (%)	6.34%	62.75 c	83.08 b	100.93 c	82.25
Sementes/célula	2.28%	1.04 a	1.07 a	1.08 a	1.07
Tempo de referência	3.16%	1.52 a	0.74 b	0.49 c	0.91
Tempo entre sementes	2.14%	1.45 a	0.69 b	0.45 c	0.86

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações.

No caso específico do trigo, a proposta não é uma distribuição em precisão, mas em fluxo contínuo. Portanto, as exigências feitas para as sementes de soja e trigo não são as mesmas, exigindo-se sim, que o fluxo de sementes seja mantido, pois é utilizada uma grande quantidade de sementes por metro linear. Que no caso do trigo, gira em torno de 80 sementes por metro.

Desde que melhore a eficiência na capura de uma única semente por célula ou se obtenha a captura homogênea e controlada de um determinado fluxo de sementes de trigo, viabiliza-se a proposta para esta cultura, que exige uma distribuição em fluxo contínuo.

Tabela 5.7.18 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor nos parâmetros de avaliação da uniformidade de distribuição de sementes de trigo no final do trecho reto da tubulação de descarga. (com raspador de sementes)

Parâmetros\ Rotação	CV	10 rpm	20 rpm	30 rpm	Média
Freq. tempos aceitáveis (%)	6.38%	55.98 a	58.41 a	58.01a	57.47
Freq. tempos múltiplos (%)	7.32%	35.07 a	32.14 a	32.41 a	33.21
Freq. tempos falhos (%)	20.90%	8.95 a	9.45 a	9.57 a	9.32
Coef. de variação (%)	25.14%	81.95 a	79.86 a	55.86 a	72.60
Sementes/célula	2.53%	1.33 a	1.28 a	1.27 a	1.29
Tempo de referência	9.04%	1.44 a	0.66 b	0.48 c	0.86
Tempo entre sementes	8.30%	1.08 a	0.52 b	0.38 c	0.66

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações.

5.8 ESTUDO DE DANOS AS SEMENTES.

5.8.1 Análise de danos em milho.

Preliminarmente ao estudo de danos em milho, realizou-se a análise das sementes pelo teste do verde rápido sem que as sementes passassem pelo sistema dosador. Do resultado obtido, 56.3% das sementes já apresentavam algum tipo de injúria mecânica no endosperma, não significando que houve dano real ao embrião, provavelmente provocados nas operações de colheita, beneficiamento e armazenamento das sementes. A sensibilidade do teste, que acusa qualquer indício de dano às sementes, não induz que as mesmas tivessem baixo nível de germinação e vigor, como descrito no item 4.2. Assim sendo, a ocorrência de danos pela passagem das sementes no sistema em estudo deve descontar o estado original das sementes.

Como pode ser observado na tabela 5.8.1, a média geral de injúrias de 56.5% é muito próxima dos valores obtidos na condição original. Também, não houve diferenças significativas quando variou-se o vácuo.

Com o aumento da velocidade de rotação as danificações às sementes aumentaram em média de 6.5%, indicando a tendência de ocorrência de injúrias ao endosperma do milho com o aumento da velocidade de rotação, pelo atrito mais intenso das sementes entre si na câmara de alimentação e no contato com o rotor dosador.

Tabela 5.8.1 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo na ocorrência de danos às sementes de milho (%).

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	Média
120 mbar	56.7 a A	61.7 a A	59.2 A
210 mbar	55.0 b A	63.3 a A	59.2 A
300 mbar	52.7 a A	58.7 a A	55.7 A
380 mbar	48.7 b A	60.3 a A	54.5 A
440 mbar	53.0 a A	54.7 a A	53.8 A
Média	56.20 b	59.73 a	56.47

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 6.02%.

Se for considerado o valor médio obtido no estudo (56.47%) pode-se concluir que não foi evidente os danos ocorridos com as sementes de milho.

5.8.2 Análise dos danos em soja.

Utilizou-se em soja o teste do tetrazólio, que identifica os danos de origem mecânica, devido aos efeitos da umidade e ataque de percevejos. A condição original das sementes indicou que a ocorrência de danos mecânicos foi de 37.0%, os devido aos efeitos da umidade de 48.7% e os devido ao ataque de percevejo de 7.7%. O vigor foi de 73.0% e a germinação de 89.5%.

Ocorreu em média 3.2% de danos mecânicos a mais nas sementes que passaram pelo sistema de dosagem e transporte em relação a condição original, e não foram observados diferenças significativas em nenhuma das regulagens realizadas. O mesmo ocorreu com o vigor e a germinação indicando uma queda de 3.5 % no vigor e 2.9% na germinação. Este fato sugere uma análise dos possíveis pontos que possam promover danos no equipamento, com o intuito de eliminá-los.

As tabelas 5.8.2 a 5.8.4 apresentam os resultados de danos mecânicos, vigor e germinação à soja ao passar pelo sistema de dosagem e transporte de sementes.

Tabela 5.8.2 Efeito da variação da velocidade de rotação do rotor e nível de vácuo em função dos danos mecânicos às sementes de soja.

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	40 rpm	Média
380 mbar	46.7 a A	39.3 a A	38.7 a A	43.0 a A	41.4 A
410 mbar	43.0 a A	39.7 a A	39.3 a A	41.0 a A	40.7 A
440 mbar	38.3 a A	42.0 a A	34.3 a A	38.7 a A	38.3 A
Média	42.0 a	40.3 a	37.4 a	40.9 a	40.2

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 15.22%.

Tabela 5.8.3 Efeito da variação da rotação do rotor e nível de vácuo em função vigor (%) das sementes de soja.

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	40 rpm	Média
380 mbar	68.3 a A	70.7 a A	68.7 a A	68.3 a A	69.0 A
410 mbar	66.3 a A	72.0 a A	69.7 a A	69.3 a A	69.3 A
440 mbar	70.7 a A	67.7 a A	75.7 a A	67.0 a A	70.2 A
Média	68.4 a	70.1 a	71.3 a	68.2 a	69.5

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 6.42%.

Tabela 5.8.4 Efeito da variação da rotação do rotor e nível de vácuo em função germinação (%) das sementes de soja.

Vácuo\ Rotação	10 rpm	20 rpm	30 rpm	40 rpm	Média
380 mbar	86.7 a A	87.0 a A	88.0 a A	80.7 a A	85.6 A
410 mbar	87.7 a A	88.7 a A	89.7 a A	80.0 a A	86.5 A
440 mbar	88.3 a A	87.3 a A	88.3 a A	86.3 a A	87.6 A
Média	87.5 a	87.7 a	88.7 a	82.3 a	86.6

As letras minúsculas indicam as diferenças significativas ao nível de 5% entre diferentes rotações e as maiúsculas entre os níveis de vácuo. Coeficiente de variação de 5.86%.

5.9 ESTUDO DA VELOCIDADE DAS SEMENTES.

5.9.1 Estudo da velocidade em milho.

A velocidade das sementes de milho aumentou significativamente com a elevação da velocidade do escoamento no tubo de descarga, como pode ser observado na tabela e figura 5.9.1.

As sementes de milho atingiram no trecho reto do tubo velocidade média igual e até superior a velocidade terminal experimental encontrada (7.75 m/s). Este fato é importante, pois, garante melhores condições para o transporte pneumático das sementes, fazendo com que elas flutuem no centro do escoamento, sem atritarem-se demasiadamente nas paredes da tubulação, o que pode promover alterações na sua velocidade e desuniformidade de

distribuição das mesmas. De acordo com as observações de HAWK *et al* (1966), as sementes de milho suspensa em um fluxo de ar assumiam posição com seu eixo mais longo perpendicular ao fluxo, e com um turbilhonamento maior do que o observado com soja e trigo. Associando a isto a maior área projetada e o formato achatado, ou seja, mais distante da condição aerodinâmica, resulta que no milho a força de arraste é maior, facilitando com que o mesmo seja mais facilmente transportado pelo fluxo de ar.

O fato das sementes atingirem velocidade bem superior a encontrada por PORTELLA (1991), apresentado na tabela 2.3.3, deve-se, possivelmente, a dois efeitos: a de que as sementes ao saírem do rotor dosador e caírem na tubulação de descarga, apresentavam uma velocidade inicial, sendo que no estudo do autor, as sementes partiam da condição de repouso; outro fato, é que a distância da válvula de vácuo ao sistema de dosagem, que por ser razoavelmente pequena, possivelmente não deu condições do escoamento expandir-se totalmente e retornar de uma alta velocidade atingida no bocal para a condição de escoamento completamente desenvolvido e, a velocidade constante. Desta forma, as sementes podem ter recebido um impulso inicial e posteriormente foram transportadas a velocidade constante.

Para que a uniformidade de distribuição de sementes seja mantida, é importante que se evite os erros de dosagem e deposição (Capítulo 1). Os erros de dosagem foram analisados no item 5.7, já os de deposição dependem, não somente da uniformidade das sementes na saída da tubulação de descarga (item 5.7), como também, da velocidade que saem da mesma, desejando-se que estejam à velocidade igual e em sentido contrário ao deslocamento da semeadora. Desta forma, almeja-se velocidades na saída do tubo em torno de 2.0 m/s, ou que, segundo a recomendação de BUFTON (1978), a velocidade máxima de impacto das sementes com o solo não deve ultrapassar a 1.25 m/s.

Dos resultados obtidos, que podem ser observados na tabela e figura 5.9.1, pode-se ver que foi possível a redução da velocidade com o uso dos desaceleradores em todos os níveis da velocidade do escoamento. Na velocidade do escoamento em torno de 25 m/s, que foi a usada para o estudo de distribuição das sementes, obteve-se velocidade na saída do tubo de descarga, em uma das suas composições de 2.84 m/s, sendo um pouco superior ao desejado, mas dentro do limite recomendado por BUFTON (1978). No entanto, é possível melhorar o

projeto desses desaceleradores, dando-se ênfase ao pneumático, pois, o cinemático promove sempre pelo contato da semente com as paredes do tubo perda irregular de sua velocidade.

Observou-se que na velocidade abaixo de 1.5 m/s era frequente a parada de sementes no final da tubulação ou na espiral do desacelerador cinemático. Este fato ocorrido com milho, está muito associado ao pequeno diâmetro (16 mm) da tubulação, a qual deve ser aumentada para que não haja riscos de entupimento.

Tabela 5.9.1 Efeito da variação da velocidade do ar, na velocidade média das sementes de milho, no trecho reto e saída do tubo de descarga, em diferentes composições dos desaceleradores.

Velocidade do escoamento (m/s)	Veloc. no trecho reto com desac. pneum. aberto e cinem. com 3 voltas (m/s)	Veloc. na saída com desac. pneum. aberto e cinem. com 3 voltas (m/s)	Veloc. na saída com desac. pneum. aberto e cinem. com 2 voltas (m/s)	Veloc. na saída com desac. pneum. semi-aberto e cinem. com 2 voltas (m/s)
17.8	7.60 e	1.23 e	1.75 e	2.13 e
19.1	8.83 de	1.48 e	1.99 de	2.27 de
20.4	8.95 d	1.91 d	2.15 cd	2.59 d
21.7	9.12 d	2.14 cd	2.17 cd	2.63 d
23.0	10.03 cd	2.20 cd	2.44 bc	3.10 c
24.3	10.43 bc	2.45 c	2.61 b	3.18 bc
25.6	11.02 bc	2.84 b	2.79 b	3.40 abc
26.9	11.46 b	3.11 ab	3.37 a	3.59 ab
28.2	13.00 a	3.28 a	3.32 a	3.79 a
Coefficiente de variação	7.67%	10.00%	9.70%	9.23%

As letras minúsculas indicam a ocorrência de diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos.

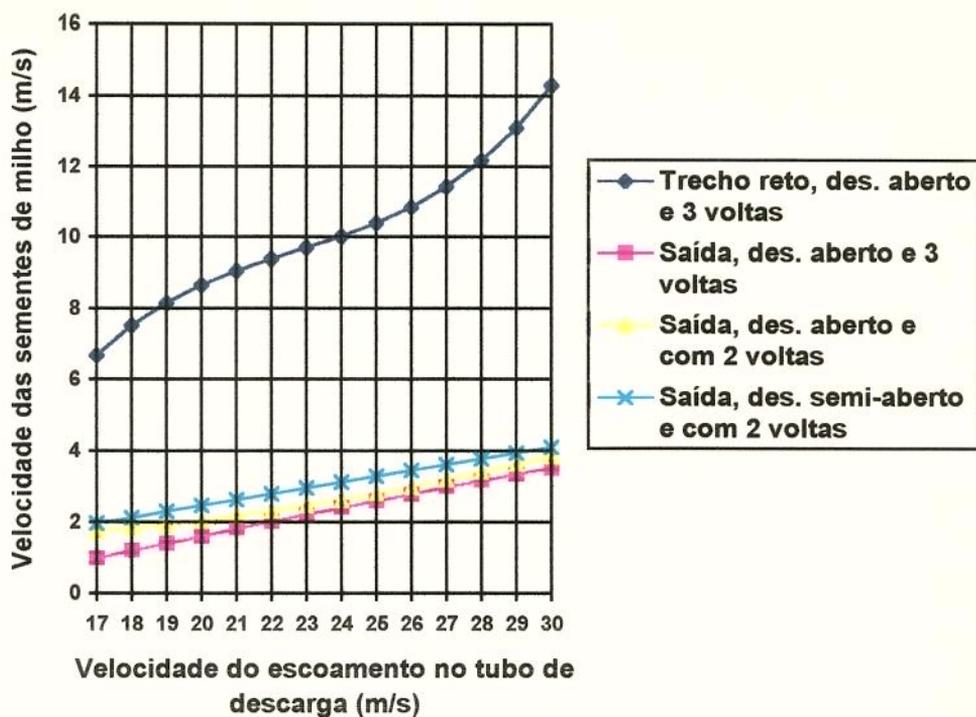


Figura 5.9.1 Efeito da variação da velocidade do escoamento, na tubulação de descarga, na velocidade das sementes de milho em diferentes composições dos desaceleradores.

5.9.2 Estudo de velocidade com soja.

As sementes de soja não chegaram a atingir a sua velocidade terminal experimental (10.16 m/s) mesmo com o aumento da velocidade do escoamento. A figura 5.9.2 deixa evidente que a partir de 28 m/s, a velocidade da semente não aumenta com o aumento da velocidade do ar na tubulação. Este fato não prejudicou a uniformidade do tempo entre sementes no trecho reto do tubo, mas pode ter influenciado significativamente na velocidade das sementes na saída do tubo de descarga, como pode ser visto na tabela 5.7.17.

As sementes de soja pelo seu formato mais esférico, aproximaram-se mais da forma aerodinâmica, apresentando uma esteira menor do que a das outras sementes de formato irregular, resultando em uma menor resistência ao arraste. Assim, apresenta maior dificuldade para atingir velocidades mais elevadas no escoamento e justifica sua velocidade terminal mais elevada, pois necessita de maior velocidade do fluido para permanecer suspensa pelo mesmo.

A redução da velocidade das sementes de soja com o uso dos desaceleradores foi grande, como pode ser observado na tabela e figura 5.9.2, confirmando os resultados obtidos

por PORTELLA & PALLEROSI (1993), apresentados na tabela 2.3.3, quando a velocidade do escoamento no tubo de descarga é de 25 m/s.

O aumento da rotação do rotor dosador não afetou significativamente a velocidade das sementes de soja, como é apresentado na tabela 5.9.3.

Tabela 5.9.2 Efeito da variação da velocidade do ar, na velocidade média das sementes de soja, no trecho reto e saída do tubo de descarga.

Velocidade do escoamento (m/s)	Veloc. no trecho reto com desac. aberto e 3 voltas (m/s)	Veloc. na saída com desac. aberto e 3 voltas (m/s)
17.8	6.06 f	1.11 d
19.1	6.37 ef	1.27 cd
20.4	6.89 de	1.17 cd
21.7	7.56 cd	1.33 cd
23.0	7.92 bc	1.60 bcd
24.3	8.36 b	1.67 abc
25.6	9.32 a	1.58 bcd
26.9	9.26 a	1.92 ab
28.2	9.23 a	2.17 a
Coefficiente de variação	5.84%	20.60%

As letras minúsculas indicam a ocorrência de diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos.

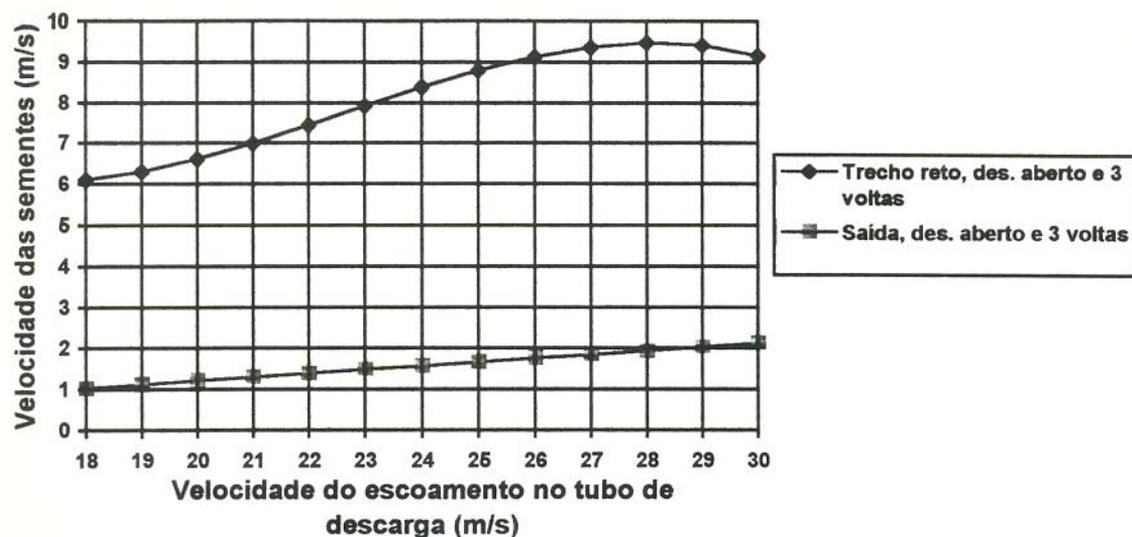


Figura 5.9.2 Efeito da variação da velocidade do escoamento, na tubulação de descarga, na velocidade das sementes de soja.

Tabela 5.9.3 Efeito da variação da rotação do rotor dosador na velocidade média das sementes de soja, no trecho reto e saída do tubo de descarga.

Rotação do rotor (rpm)	Veloc. no trecho reto com desac. aberto e 3 voltas (m/s)	Veloc. na saída com desac. aberto e 3 voltas (m/s)
10	8.23 a	1.93 a
20	7.64 a	1.73 a
30	8.21 a	2.02 a
40	7.78 a	1.86 a
50	7.66 a	2.14 a
Coefficiente de variação	5.90%	26.18%

As letras minúsculas indicam a ocorrência de diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos.

5.9.3 Estudo da velocidade em trigo.

As sementes de trigo, atingiram a velocidade terminal (5.25 m/s) desde as mais baixas velocidades do escoamento de alimentação (tabela 5.9.4). Este fato deveria resultar em uma boa uniformidade de distribuição, que não foi obtida. Mas, como discutido no item 5.7.3 e visto na tabela 5.7.18, ocorreu neste caso uma grande frequência de tempos considerados múltiplos entre sementes (33.21%), devido a captura de bem mais do que uma semente por célula de aspiração (1.29). Desta forma, resolvendo-se os problemas de captura única, o transporte das sementes não deve apresentar muitos problemas.

As sementes de trigo com formato cilíndrico e pontiagudo, no escoamento assume, segundo HAWK *et al* (1966) posição com seu eixo maior perpendicular à corrente de ar. Desta forma, perde sua condição aerodinâmica, apresentando maior resistência ao arraste do que a soja, assumindo como o milho velocidade no tubo superior a sua velocidade terminal.

No caso da velocidade de saída do tubo de descarga, as sementes de trigo apresentaram os maiores valores, possivelmente pela resistência ao arraste e menor massa em relação às demais. Este fato, exige maior atenção no projeto e seleção de desaceleradores, para que a semente ao sair do tubo de descarga não se movimente no sulco de semeadura, apesar da pouca exigência em distribuir as sementes de trigo em precisão e sim em fluxo contínuo.

Tabela 5.9.4 Efeito da variação da velocidade do ar, na velocidade média das sementes de trigo, no trecho reto e saída do tubo de descarga.

Velocidade do escoamento (m/s)	Veloc. no trecho reto com desac. aberto e 3 voltas (m/s)	Veloc. na saída com desac. aberto e 3 voltas (m/s)
17.8	5.19 e	2.08 e
19.1	5.66 e	2.09 e
20.4	6.16 de	2.32 de
21.7	6.68 de	2.47 cd
23.0	7.81 cd	2.59 cd
24.3	9.11 bc	2.68 c
25.6	9.65 ab	2.73 bc
26.9	10.22 ab	2.98 ab
28.2	10.94 a	3.19 a
Coefficiente de variação	12.77%	6.75%

As letras minúsculas indicam a ocorrência de diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos.

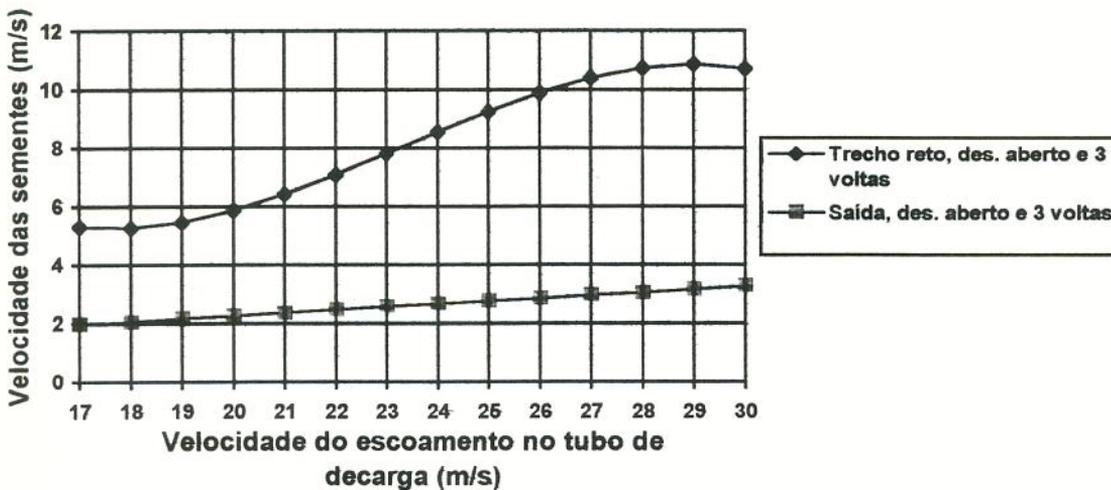


Figura 5.9.3 Efeito da variação da velocidade do escoamento, na tubulação de descarga, na velocidade das sementes de trigo

Capítulo 6

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS.

6.1 CONCLUSÕES.

Gerador de vácuo

1. Utilizando-se a teoria de mecânica dos fluidos para bocais convergente-divergente, foi possível estabelecer critérios para o desenvolvimento de um dispositivo gerador de vácuo, por conversão de um fluxo de ar com pressão positiva em negativa. (item 3.2.1)
2. O dispositivo desenvolvido, permitiu que um fluxo de ar em regime permanente e velocidade controlada, transportasse sementes pela tubulação de descarga, visando a manutenção da uniformidade do tempo entre as sementes lançadas pelo sistema de dosagem no escoamento da tubulação. (item 3.2.1.c)
3. O valor do vácuo atingido pelo gerador de vácuo desenvolvido quando a velocidade do ar no tubo de descarga é de 25 m/s, foi de 550 mbar na condição não aspirada e 250 mbar na condição aspirada. Estes valores são superiores aos recomendados para a captura pneumática de sementes grandes, como a de milho, que exige níveis em torno de 170 mbar. (item 5.4)
4. Foi possível, na avaliação do desempenho da válvula de vácuo, selecionar um arranjo que apresentasse melhor eficiência, composto pelo ângulo do bocal convergente, diâmetro de saída da câmara de vácuo e distância entre a garganta do bocal à saída da câmara. Sendo

que a composição escolhida foi a com 20⁰ de convergência, 6 mm de diâmetro e 5.3 mm de distância. (item 5.4)

Projeto do sistema de dosagem e transporte pneumático

5. O sistema de dosagem pneumático de sementes desenvolvido atendeu muitas das expectativas de distribuição uniforme de milho, soja e trigo, utilizando-se composições quanto a escolha das células de aspiração, velocidade de rotação do rotor dosador e vácuo parcial. (itens 5.6 e 5.7)
6. O sistema de distribuição e transporte de sementes desenvolvido apresenta a vantagem de poder ser usado em semeadoras que trabalhem com espaçamentos estreitos e amplos entre linhas, pelo fato das sementes serem transportadas pneumaticamente até o solo, por uma mangueira, e por serem compactas na sua dimensão transversal. (item 3.2.2)
7. As características construtivas do sistema de dosagem pneumático desenvolvido permite um baixo custo de fabricação, pois, a maioria de seus componentes podem ser constituídos de material injetado, evitando serviços de usinagem, o qual só é necessário no contato da superfície do rotor dosador com o anel de vedação. (item 3.2.2)
8. O uso de um raspador de sementes reduziu sensivelmente a captura de sementes múltiplas de milho. (item 5.7.1.a)
9. O sistema de dosagem e transporte de sementes desenvolvido, o qual foi avaliado para distribuição em precisão, pode ser adaptado para distribuição em fluxo contínuo, a medida que se amplie o diâmetro do rotor dosador e incorpore uma cinta elástica perfurada para captura de grande quantidade de sementes, como é necessário com na semeadura de sementes como a de trigo. (item 3.2.2.e)

Células para captura de sementes

10. As células de aspiração construídas com borracha de consistência macia obtiveram um desempenho superior às de PVC, reduzindo a entrada de ar entre a semente e a célula, facilitando assim a captura das sementes, sendo possível selecioná-las em função do diâmetro dos orifícios, pois mantendo-se a pressão de aspiração constante, com o aumento

da área do orifício aumenta-se também a força de sucção, resultando na maior captura múltipla de sementes. (item 5.6)

11. A melhor eficiência na captura de sementes de milho ocorreu com os orifícios com 3.25 e 4.40 mm de diâmetro e, no caso da soja, o melhor desempenho ocorreu com o orifício de 3.25 mm de diâmetro. (item 5.6)

12. O diâmetro do orifício da célula para captura de trigo foi limitado pelo menor diâmetro da semente e seu formato pontiagudo, podendo esta entrar no orifício e fixar-se ao mesmo, dificultando assim sua liberação. (item 5.6)

Desempenho do sistema de dosagem e transporte de sementes

13. As sementes de milho e soja apresentaram bons resultados de uniformidade de distribuição na saída do sistema de dosagem, ao passo que as sementes de trigo foram prejudicadas pela ocorrência maior de captura múltipla nas células de aspiração.

14. Com a elevação do vácuo aumentou a ocorrência de intervalos de tempo entre sementes de milho e soja que caracterizam a ocorrência de espaçamentos múltiplos e reduziu os intervalos de tempo que caracterizam a ocorrência de espaçamentos falhos. Sendo que, estes dois efeitos compensaram-se não ocorrendo diferenças do tempo entre sementes que caracterizam uma distribuição aceitável de sementes, avaliado logo após a saída do sistema dosador. (item 5.7.1)

15. Com o rotor girando a 10 rpm, houve menor ocorrência de falhas na distribuição de sementes de milho e maior número de sementes capturadas por célula em relação a rotação de 20 rpm, avaliado logo após a saída do sistema dosador. (item 5.7.1.a)

16. A uniformidade de distribuição de sementes de soja foi mantida no final do trecho reto da tubulação de descarga, indicando que a proposta de transporte pneumático de sementes no trecho reto é viável para este nível de velocidade do escoamento do ar, não sendo observadas diferenças entre os tratamentos. (item 5.7.2.b)

17. Os bons resultados de uniformidade de distribuição de milho e soja, obtidos na saída do sistema de dosagem de sementes, foram prejudicados na saída da tubulação de descarga, em

função das variações da velocidade das sementes, principalmente no desacelerador cinemático. (item 5.7)

18.A ocorrência de danos mecânicos às sementes de milho foi mínima, e atingiu valores mais elevados com as sementes de soja. (item 5.8.1.e.5.8.2)

Velocidade das sementes

19. A velocidade das sementes de milho e trigo atingiram no trecho reto do tubo de descarga, valores superiores à velocidade terminal experimental das mesmas, sendo que com a soja, a velocidade das sementes ficou um pouco abaixo da velocidade terminal experimental. Isto por apresentarem maior resistência ao arraste, devido ao seu formato não aerodinâmico e posição assumida em relação a direção do fluxo de ar, sendo que a soja pelo seu formato mais esférico apresenta menor resistência, necessitando que a velocidade do escoamento seja maior para que permaneça suspensa no mesmo. (item 5.9)

20. A redução da velocidade de milho, soja e trigo promovida pelos desaceleradores, foi significativa, atingindo valores próximos à velocidade de deslocamento das semeadoras. Sendo que com a soja a redução foi maior devido a sua menor resistência ao arraste. (itens 5.9.1 e 5.9.2)

6.2 SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS.

1. Construção e avaliação de um sistema de distribuição de sementes com dimensão compatível as necessidades de campo, aumentando-se principalmente o diâmetro do rotor dosador, e introduzindo uma cinta flexível e perfurada, que possa ser removida com facilidade para ajustar-se às necessidades de recomendação da densidade de semeadura para diferentes culturas.
2. Avaliar os pontos no sistema de dosagem e transporte de sementes que possam promover danos às sementes.
3. Estudar alternativas para substituir o desacelerador cinemático, aperfeiçoando o pneumático.

4. Introduzir um sistema de raspagem ou limpeza de sementes no dosador com funcionamento preferencialmente pneumático para reduzir a captura múltipla de sementes pelas células de aspiração.
5. Aumentar o diâmetro da tubulação de descarga de 16 para 20 mm, no sentido de não apresentar possibilidade de entupimento.
6. Estudar o sistema de dosagem e transporte de sementes em condições de campo, com vibração, inclinação do terreno e sementes tratadas.

Referências Bibliográficas

- ALLAN, R.K.; WIENS, E.H. Air seeder testing. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 24, n. 2, p. 91-101, 1982.
- AMADUCCI, M.T.; BARALDI, G.; VENTURI, G. Controlli sulla regolarità di distribuzione di un apparato pneumatico con diversi tipi di seme di bietola. **Rivista di Ingegneria Agraria**, v. 4, n. 3, p. 117-128, 1973.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro, R.J. **Projeto de Norma 04: 015.06 -004; Semeadora de precisão - ensaio de laboratório - método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1994. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro, R.J. **NBR 9743 - Semeadora de fluxo contínuo em linha - ensaio de laboratório**. Rio de Janeiro, 1987. 17 p.
- BACK, N. **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. 389 p.
- BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 310 p.
- BARALDI, G.; DE ZANCHE, C. Estudio di un apparato di distribuizione pneumatica dei semi. **Rivista di Ingegneria Agraria**, v. 3, n.1, p. 3-13, mar, 1972.

- BEAN, H.S. *Fluid meters: their theory and application report of ASME - Research Committee on Fluids Meters*. 6 ed. New York: American Society of Mechanical Engineers, 1971. 276 p.
- BERNACKI, H.; HAMAN, J.; KANAFOJSKI, Cz. *Agricultural machines theory and construction*. Washington: USDA/NSF, 1972. v.1, 883 p.
- BOLLER, W.; GAZZOLA, O.; SEVERO, J.L.; BEBER, D.C.; SOVILLJEE, E. Avaliação de efeitos de mecanismos dosadores de semeadoras sobre danos mecânicos e fisiológicos em sementes de soja (**Glicine max** (L.) Merrill). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., Londrina, 1991. **Anais do XX Congr. Bras. de Eng. Agrícola**. Londrina: IAPAR/SBEA, 1991. v.2, p. 1180-1194.
- BRAUNBECK, O.A. *Adaptation of a pneumatic row crop planter for precision drilling of wheat*. Michigan: Michigan State University, 1971. 73 p. (Tese de Mestrado).
- BREECE, H.E.; HANSEN, H.V.; HOERNER, T.V. *Fundamentos de funcionamiento de maquinaria - siembra*. Illinois: Deere, 1975. 171 p.
- BUFTON, L.P.; RICHARDSON, P.; O' DOGHERTY, M.J. Seed displacement after impact on a soil surface. **J. Agric. Engineering Res.**, n.19, p. 327-338, 1974.
- BUTIERRES, E. *Análise da uniformidade de espaçamento e danificação mecânica na distribuição de sementes de soja (Glycine max (L.) Merrill)*. Santa Maria: UFSM - Faculdade de Agronomia, 1980. 70 p. (Dissertação de Mestrado).
- CAÑAVATE, J.O. *Las máquinas agrícolas y su aplicación*. Madri: Mundi-Prensa, 1984. 492 p.
- CARNEIRO, G.E.S.; GERAGEA, C. Densidade e semeadura. In: IAPAR, Londrina, PR. *A cultura de milho do Paraná*. Londrina: IAPAR, 1991. p. 63 - 70. (IAPAR. Circular, 68)
- CASÃO JUNIOR, R.; CAVIGLIONE, J.H.; MORINI, A.A.; ARAÚJO, A.G. de; RIBEIRO, M.de F. S.; SILVA, A.C.R. da; DEL GROSSI, M.E. *A mecanização agrícola no Brasil - uma proposta para o Paraná*. Londrina: IAPAR, 1991. 131 p.

- CAVIGLIONE, J.H.; ARAÚJO, A.G. de; MORINI, A.A.; CASÃO JUNIOR, R.; SILVA, A.L. da; ARAÚJO, D.B.; SANTOS, F.O dos. Definindo prioridades em mecanização agrícola para a região norte do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 20., 1991, Londrina. **Anais ...** Londrina: IAPAR/SBEA, 1991a. v.2, p. 950-983.
- CAVIGLIONE, J.H.; ARAÚJO, A.G. de; MORINI, A.A.; CASÃO JUNIOR, R.; SILVA, A.L. da; ARAÚJO, D.B.; SANTOS, F.O dos. Definindo prioridades em mecanização agrícola para a região nordeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 20., 1991, Londrina. **Anais ...** Londrina: IAPAR/SBEA, 1991b. v.2, p. 984-1017.
- CAVIGLIONE, J.H.; ARAÚJO, A.G. de; MORINI, A.A.; CASÃO JUNIOR, R.; SILVA, A.L. da; ARAÚJO, D.B.; SANTOS, F.O dos. Definindo prioridades em mecanização agrícola para a região sudoeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 20., 1991, Londrina. **Anais ...** Londrina: IAPAR/SBEA, 1991c. v.2, p. 1018-1047.
- CAVIGLIONE, J.H.; ARAÚJO, A.G. de; MORINI, A.A.; CASÃO JUNIOR, R.; SILVA, A.L. da; ARAÚJO, D.B.; SANTOS, F.O dos. Definindo prioridades em mecanização agrícola para a região central do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 20., 1991, Londrina. **Anais ...** Londrina: IAPAR/SBEA, 1991d. v.2, p.1048-1079.
- CAVIGLIONE, J.H.; ARAÚJO, A.G. de; MORINI, A.A.; CASÃO JUNIOR, R.; SILVA, A.L. da; ARAÚJO, D.B.; SANTOS, F.O dos. Definindo prioridades em mecanização agrícola para a região oeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 20., 1991, Londrina. **Anais ...** Londrina: IAPAR/SBEA, 1991e. v.2, p. 1080-1110.
- CERA, M.; DE ZANCHE, P.; CHIUMENTI, R. Provi di laboratorio sulla funzionalità di distributori meccanici per semi di mais. **Rivista di Ingegneria Agraria**, v. 4, n. 4, p. 177-185. nov, 1973.
- COUTINHO, L.; FERRAZ, J.C.; CASSIONATO, J.E.; SILVA, A.L.C. da; CAPISTRANO, M.C.; POSSAS, M.; LAPLACE, M.F.; FURTADO, J.E.M.P.; HAGUENEVER, L.;

- KUPFER, D.; WANDERLEY, A.; SAGÁZIO, G. *Estudo da competitividade da indústria brasileira: competitividade da indústria de máquinas agrícolas*. Campinas: UNICAMP - Instituto de Economia, 1994. 89 p.
- DEDINI, F.G. *Projeto de sistemas mecânicos*. Campinas: UNICAMP - Faculdade de Engenharia Mecânica, 1996. 37 p.
- DELMÉE, G.J. *Manual de medição de vazão*. São Paulo: Edgar Blücher, 1982. 476 p.
- DIAS, M.C.L.de L.; BARROS, A.S. do R. *Avaliação da qualidade de sementes de milho*. Londrina: IAPAR, 1995. 43 p. (IAPAR. Circular, 88).
- DOEBELIN, E.D. *Measurement system application and design*. New York: Mc Graw - Hill, 1966. 743 p.
- DOMINGUES, J.R.; TARCÍSIO, M.F.; PORTELLA, J.A. *Comparação entre diferentes sistemas de distribuição de sementes de milho em semeadoras convencionais*. Alfenas: Fundação de Ensino e Tecnologia de Alfenas, 1984. 49 p.
- FLEMMER, R.L.C.; BANKS, C.L. On the drag coefficient of a sphere. *Powder Technology*, v.6, n.48, p. 217 -221, 1986.
- FOX, R.W.; McDONALD, A.T. *Introdução a mecânica dos fluidos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1985. 632 p.
- FRANÇA NETO, J. B de; PEREIRA, L. A. G.; COSTA, N. P. da; KRYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. *Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja*. Londrina: EMBRAPA - CNPSo, 1988.58 p. (EMBRAPA. Série documentos, 32)
- GAZZOLA, O. *Projeto e avaliação de um sistema dosador de precisão para semeadora a tração animal*. Campinas: UNICAMP - Faculdade de Engenharia Agrícola, 1989. 103 p. (Dissertação de Mestrado).
- GIANNINI, G.R.; CHANCELLOR, W.J.; GARRETT, R.E. *Precision planter using vacuum for seed pickup*. *Trans. of the ASAE*, n.3, p.607-614, 1967.
- GOMES, E.S.; BALASTREIRE,L.A. Ensaio de um dosador de sementes pneumático à vácuo. *Maquinaria Agrícola*, v. 4, n. 1, p. 4-6, 1989.

- GOMES, F.P. *Curso de estatística experimental*. 13 ed. Piracicaba: USP -ESALQ, 1990. 468 p.
- HAWK, A.L.; BROOKER, D.B.; CASSIDY, J.J. Aerodynamic characteristics of selected farm grains. *Trans. of the ASAE*, v. 1, n. 9, p.48-51, 1966.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS Campinas, SP. *Instruções agronômicas para o estado de São Paulo*. 3 ed. Campinas: IAC, 1986. 229 p. (IAC. Boletim, 200).
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION (Frankfurt, Germany). *ISO/DIS 7255/1 - sowing Equipment - Methods of test - Part I: single seed drills (precision drills)*. Frankfurt: ISO/TC 23/SC 9, 1983. 14 p.
- ISMAIL, K.A.R. *Tópicos em escoamento compressível*. Campinas: UNICAMP - Faculdade de Engenharia Mecânica, 1992. 282 p.
- KEPNER, R.A.; BAINER, R.; BARGER, E.L. *Principles of farm machinery*. 3 ed. Wesport: Avi, 1978. 527 p.
- KURACHI, S.A.H.; COSTA, J.A. de S.; BERNARDI, J.A.; SILVEIRA, G.M. da; COELHO, J.L.D. *Avaliação tecnológica: Resultados de ensaios de mecanismos dosadores de sementes de semeadoras-adubadoras de precisão*. Campinas: IAC, 1993. 46 p. (IAC. Boletim científico, 28).
- KURACHI, S.A.H.; COSTA, J.A. de S.; PETRONI, A.C.; SILVEIRA, G.M.da; MORAES, R.A.D. de M.; BERNARDI, J.A.; MOREIRA, C.A.; SILVA, J.R. da; MESQUITA, C. de M. *Código de avaliação de semeadoras e/ou adubadoras*. Campinas: IAC, 1986. 138 p.
- MANTOVANI, E.C.; BERTAUX, S.; ROCHA, F.E. de C. Avaliação da eficiência operacional de diferentes semeadoras-adubadoras de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 27, n. 12, p.1579-1586, dez. 1992.
- MOHSEIN, M. *Physical properties of biological materials*. Michigan: Michigan State University, 1965. 734 p.

- MONTEIRO, L.R. *Desenvolvimento e análise de uma semeadora pneumática de grãos*. Campinas: UNICAMP - Faculdade de Engenharia Agrícola, 1989. 122 p. (Dissertação de Mestrado).
- NEBRA, S.A.; ROSA, E.S. *Instrumentação - medidas de pressão, vazão, temperatura e análise de erros*. Campinas: UNICAMP - Faculdade de Engenharia Mecânica, 1993. 168 p.
- OGLIARI, A. *Estudo e desenvolvimento de mecanismos dosadores do precisão de máquinas semeadoras*. Florianópolis: UFSC - Faculdade de Engenharia Mecânica, 1990. 165 p. (Dissertação de Mestrado).
- PALLEROSI, C.A.; PORTELLA, J.A. *Semeadora Uniflux*. Campinas: UNICAMP - Faculdade de Engenharia Mecânica, 1992. 12 p.
- PORTELLA, J.A. *Transporte unitário de grãos agrícolas*. Campinas: UNICAMP - Faculdade de Engenharia Mecânica, 1991. 156 p. (Tese de Doutorado).
- PORTELLA, J.A.; PALLEROSI, C.A. *Transporte de grãos em dutos de pequeno diâmetro: uma solução dimensional*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1993, Ilhéus. *Anais ...* Ilhéus: CEPLAC/SBEA, 1993. v.2, p.1401-1413.
- RIZZARDI, M.A.; BOLLER, W.; DALLOGLIO, R. Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura e seus efeitos nos componentes de produção. *Pesq. Agropecuaria Brasileira*. v. 29, n. 8, p. 1231-1236, 1970.
- RUDAKOV, G.M.; CHIRTSOV, S.P.; ABDURAKHMANOV, A.; YUSHIS, P.K. *Seed travel in a hill-drop attachment for pneumatic planters*. *Soviet Agricultural Sciences*, n.11, p. 45-48, 1978.
- SHORT, T.H.; HUBER, S.G. *The development of a planetary-vacuum seed metering device*. *Trans. of the ASAE*, v. 6, n.13, p. 803-805, 1970.
- SPIEGEL, M.R. *Estatística*. São Paulo: Mc Graw - Hill do Brasil, 1975. 580 p.

- TOURINO, M.C.C. *Influência da velocidade tangencial dos discos de distribuição e dos condutores de sementes de soja, na precisão de semeadoras*. Campinas: UNICAMP - Faculdade de Engenharia Agrícola, 1993. 114 p. (Dissertação de Mestrado).
- WANJURA, D.F.; HUDSPETH JUNIOR, E.B. Metering and seed-pattern characteristics of a horizontal edge-drop plate planter. *Trans. of the ASAE*, n. 3, p 468-473, 1968.
- ZUCROW, M.J.; HOFFMAN, J.D. *Gas dynamics*. New York: John Wiley, 1975. v.1, 724 p.