

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Parecer

Este exemplar corresponde a relação final da dissertação de Mestrado defendida por Gilberto Alonso Murcia Contreras e aprovada pela Comissão Julgadora em 18 de março de 1994. Campinas, 20 de maio de 1994.


Presidente da Banca

PERDAS DE SORGO (*Sorghum Bicolor L.*) NO CILINDRO DEBULHADOR DE BARRAS

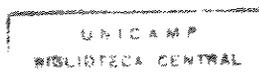
GILBERTO ALONSO MURCIA [CONTRERAS 768

Orientador:

Prof. Dr. OSCAR ANTONIO [BRAUNBECK t

Disertação apresentada à FEAGRI/UNICAMP como cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola - Área de Máquinas Agrícolas.

Campinas - SP
Março - 1994



À memória de meu pai,
HOMENAGEM.

À minha mae Cecilia,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr Oscar Antonio Braunbeck pela orientação, dedicação e amizade oferecidas no transcurso da realização deste trabalho.

À Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP), pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao prof. Dr Antonio Carlos de Oliveira Ferraz, pela sua imensurável colaboração durante o desenvolvimento e revisão da tese.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos no período de março de 1992 a março de 1994.

À Federación Nacional de Cultivadores de Cereales de Colômbia (FENALCE), pelo empréstimo dos equipamentos e financiamento na coleta de dados.

À fazenda as Mercedes de Riohacha (Colômbia), onde foram realizados os trabalhos experimentais.

À seção de processos Agrícolas da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Nacional de Colômbia - Bogotá, onde foram realizados trabalhos de laboratório.

À assistente técnico de direção ATD Daura Vianna Oioli, pela colaboração na revisão da gramática.

Ao colega Ednaldo Carvalho Guimaraes, pela sua colaboração nas análises estatísticas.

A todas as pessoas que direta o indiretamente fizeram possível a culminação deste trabalho.

Os mais sinceros Agradecimentos.

SUMÁRIO

	pág.
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTO	iii
SUMÁRIO	iv
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE ANEXOS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiv
RESUMO	xvii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Princípios de funcionamento do sistema de trilha	4
3.1.1 Sistema convencional	4
3.1.1.1 Cilindro e côncavo de barras	4
3.1.1.2 Cilindro e côncavo de dentes.....	7
3.1.2 Sistema de trilha centrífuga.....	8
3.2 Fatores que afetam a eficiência na trilha no sistema convencional.....	9
3.2.1 Material vegetal.....	9
3.2.1.1 Variedade.....	9
3.2.1.2 Teor de umidade	9

3.2.1.3	Quantidade de palha	11
3.2.1.4	Quantidade de material verde	12
3.2.1.5	Propriedades do material.....	13
3.2.1.5.1	Ângulo de repouso dos grãos.....	13
3.2.1.5.2	Densidade volumétrica dos grãos	14
3.2.1.5.3	Coeficiente de atrito.....	15
3.2.1.5.4	Compressibilidade da palha.....	17
3.2.2	Mecanismo de trilha	17
3.2.2.1	Cilindro de barras	17
3.2.2.1.1	Velocidade.....	17
3.2.2.1.2	Diâmetro.....	19
3.2.2.1.3	Número de barras.....	20
3.2.2.1.4	Configuração	21
3.2.2.2	Côncavo.....	21
3.2.2.2.1	Abertura do côncavo.....	21
3.2.2.2.2	Comprimento da superfície.....	23
3.2.2.2.3	Separação de grão através do côncavo	25
3.2.2.2.4	Configuração	26
3.2.2.2.5	Área aberta.....	27
3.2.3	Alimentação	27
3.2.3.1	Vazão de alimentação	27
3.2.3.2	Velocidade de alimentação.....	28
3.2.3.3	Posição de entrega do material	30
3.2.4	Dano mecânico dos grãos	31
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1	Localização.....	34
4.2	Material vegetal.....	35

4.3	Equipamento.....	35
4.3.1	Levantamento de dados.....	35
4.3.2	Análise de dados.....	38
4.4	Metodologia.....	39
4.4.1	Delineamento experimental.....	39
4.4.2	Ajuste da velocidade tangencial do cilindro e abertura do côncavo.....	43
4.4.3	Determinação da vazão de alimentação.....	43
4.4.4	Determinação das perdas de grão no cilindro trilhador.....	45
4.4.5	Determinação do dano mecânico dos grãos.....	47
4.4.6	Determinação da produção de grãos.....	48
4.4.7	Ensaio de compressão.....	51
5	RESULTADOS.....	54
5.1	Vazão de alimentação.....	54
5.2	Perdas de grãos apresentadas pelo cilindro trilhador.....	57
5.3	Grãos quebrados.....	62
5.4	Determinação da produção de grãos.....	63
5.5	Ensaio de compressão.....	64
6	MODELAGEM DA DEFORMAÇÃO DOS GRÃOS POR IMPACTO.....	72
7	DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	79
7.1	Resultados para o teor de umidade de 24,1 %.....	91
7.2	Resultados para o teor de umidade de 19,6 %.....	97
7.3	Resultados para o teor de umidade de 15,9 %.....	103
7.4	Ensaio de compressão.....	127
8	CONCLUSÕES.....	131
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
10	ANEXOS.....	138
11	ABSTRACT.....	166

LISTA DE QUADROS

Quadro	pág.
1 Coeficiente de atrito de alguns grãos com 85 % de matéria seca	16
2 Fatores e níveis examinados.....	39
3 Tratamentos e níveis das variáveis envolvidas	42
4 Peso dos grãos de sorgo e da palha das plantas cortadas pela plataforma segadora para o teor de teor de umidade dos grãos de 24,1 %	55
5 Peso dos grãos de sorgo e da palha das plantas cortadas pela plataforma segadora para o teor de teor de umidade dos grãos de 19,6 %	55
6 Peso dos grãos de sorgo e da palha das plantas cortadas pela plataforma segadora para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %	56
7 Peso dos grãos de sorgo (g), coletados na caixa de madeira para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %	57
8 Peso dos grãos de sorgo (g), coletados na caixa de madeira para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %	58
9 Peso dos grãos de sorgo(g), coletados na caixa de madeira para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %	58
10 Perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de trilha (kg/ha), para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %	59
11 Perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de trilha (kg/ha), para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %	59
12 Perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de trilha (kg/ha), para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %	60
13 Perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de trilha em porcentagem da produção para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %	60
14 Perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de trilha em porcentagem da produção para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %	61
15 Perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de trilha em porcentagem	

	da produção para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %	61
16	Grãos de sorgo quebrados em porcentagem da produção para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %	62
17	Grãos de sorgo quebrados em porcentagem da produção para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %	62
18	Grãos de sorgo quebrados em porcentagem da produção para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %	63
19	Grãos coletados para cálculo de rendimento, perdas na plataforma segadora e nos sistemas de limpeza e separação da colhedora, para os diferentes teores de umidade dos grãos.	63
20	Rendimento e perdas de grãos de sorgo para os teores de umidade dos grãos	64
21	Resultados do Ensaio de Compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 10,98 % e velocidade de deformação de 0,22 mm/s.	64
22	Resultados do Ensaio de Compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 10,98 % e velocidade de deformação de 0,55 mm/s.	65
23	Resultados do Ensaio de Compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 10,98 % e velocidade de deformação de 0,87 mm/s.	65
24	Resultados do Ensaio de Compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 14,94 % e velocidade de deformação de 0,22 mm/s.	66
25	Resultados do Ensaio de Compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 14,94 % e velocidade de deformação de 0,55 mm/s.	66
26	Resultados do Ensaio de Compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 14,94 % e velocidade de deformação de 0,87 mm/s.	67
27	Resultados do Ensaio de Compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 19,94 % e velocidade de deformação de 0,22 mm/s.	67
28	Resultados do Ensaio de Compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 19,94 % e velocidade de deformação de 0,55 mm/s.	68
29	Resultados do Ensaio de Compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 19,94 % e velocidade de deformação de 0,87 mm/s.	68
30	Resultados do Ensaio de Compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 24,85 % e velocidade de deformação de 0,22 mm/s.	69
31	Resultados do Ensaio de Compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 24,85 % e velocidade de deformação de 0,55 mm/s.	69
32	Resultados do Ensaio de Compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 24,85 % e velocidade de deformação de 0,87 mm/s.	70
33	Propriedades geométricas dos grãos de sorgo	70
34	Valores médios das propriedades mecânicas dos grãos de sorgo.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura		pág.
1	Modelo esquemático teórico da camada de material na secção de trilha.....	6
2	Distribuição das unidades experimentais para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %.....	40
3	Distribuição das unidades experimentais para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.....	41
4	Distribuição das unidades experimentais para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %.....	41
5	Efeito do teor de umidade dos grãos sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e eficiência do sistema.....	80
6	Perdas na trilha em função do teor de umidade dos grãos, para várias velocidades tangenciais do cilindro.....	82
7	Porcentagem de grãos quebrados relacionados com o teor de umidade dos grãos, para várias velocidades tangenciais do cilindro.....	83
8	Perdas na trilha em função do teor de umidade dos grãos, para várias aberturas do côncavo	84
9	Grãos quebrados relacionados com o teor de umidade dos grãos, para várias aberturas do côncavo.....	86
10	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais.....	87
11	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para a abertura do côncavo de 6 mm	89
12	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para a abertura do côncavo de 12 mm.....	90
13	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para a abertura do côncavo de 18 mm.....	91

14	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 % ...	92
15	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %, e abertura do côncavo de 6 mm.....	94
16	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %, e abertura do côncavo de 12 mm.....	95
17	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %, e abertura do côncavo de 18 mm.....	96
18	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 % ...	99
19	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %, e abertura do côncavo de 6 mm.....	100
20	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %, e abertura do côncavo de 12 mm.....	101
21	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %, e abertura do côncavo de 18 mm.....	101
22	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais para o teor de umidade dos grãos de 15,9 % ...	104
23	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %, e abertura do côncavo de 6 mm.....	106
24	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %, e abertura do côncavo de 12 mm.....	106
25	Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %, e abertura do côncavo de 18 mm.....	107
26	Efeito da abertura do côncavo sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e eficiência do mecanismo.....	110
27	Perdas de grãos na unidade de trilha em função da abertura do côncavo para vários teores de umidades dos grãos	111
28	Perdas de grãos na unidade de trilha em função da abertura do côncavo para várias velocidades tangenciais do cilindro.....	112
29	Porcentagem de quebra em grãos de sorgo para vários teores de umidade, em função da abertura do côncavo	113

30	Porcentagem de quebra em grãos de sorgo em função da abertura do côncavo para várias velocidades tangenciais do cilindro.....	113
31	Perdas de grãos na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 24,1%.....	116
32	Resíduos de perdas na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %.....	116
33	Perdas de grãos na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.....	117
34	Resíduos de perdas na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.....	117
35	Perdas de grãos na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 15,9%.....	118
36	Resíduos de perdas na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %.....	118
37	Grãos quebrados em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %	119
38	Resíduos de grãos quebrados em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %	119
39	Grãos quebrados em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %	120
40	Resíduos de grãos quebrados em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %	120
41	Grãos quebrados em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %	121
42	Resíduos de grãos quebrados em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %	121
43	Perdas totais na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %.....	122
44	Resíduos de perdas totais na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %.....	122
45	Perdas totais na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.....	123
46	Resíduos de perdas totais na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.....	123
47	Perdas totais na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %.....	124

48	Resíduos de perdas totais na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %	124
49	Força e deformação em grãos de sorgo comprimidos entre placas planas e paralelas, com taxa de deformação de 0,87 mm/s, para os teores de umidade dos grãos de 10,98 e 24,85 %	129
50	Força e deformação em grãos de sorgo comprimidos entre placas planas e paralelas, com taxa de deformação de 0,87 mm/s, para os teores de umidade dos grãos de 14,94 e 19,94 %	129
51	Energia de ruptura em função da velocidade de deformação para diferentes níveis de umidade dos grãos de sorgo	130

LISTA DE ANEXOS

Anexo		pág
1	Análise de variância e testes de Tukey para as perdas de grãos de sorgo, no cilindro de trilha.....	120
2	Análise de variância e testes de Tukey para os grãos de sorgo quebrados no cilindro de trilha.....	129
3	Análise de variância e testes de Tukey para as perdas totais de grãos de sorgo, no cilindro de trilha.....	138
4	Análise de variância para as variáveis dos ensaios de compressão	166

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	
CC	- Abertura na parte dianteira do côncavo (mm).
D	- Deformação do grão em um ponto qualquer da zona elástica (mm).
D_A	- Distância percorrida pela colhedora (m/s).
D_g	- Deformação do grão sob a ação da barra do cilindro (m).
D_M	- Porcentagem de grãos danificados (% em peso).
D_R	- Deformação na ruptura (mm).
E	- Módulo de elasticidade (Pa).
E_R	- Energia de ruptura (N*mm).
e	- Número de Neper.
F	- Força de compressão (N).
F_D	- Força para acelerar o grão (N)
F_P	- Força tangencial das barras.
F_R	- Força de ruptura do grão (N).
F_R/D_R	- Fator de ruptura (N/m).
G_Q	- Grão quebrado (% de peso).
k	- Constante elástica do grão (N/m).
K_E	- Energia transferida aos grãos (J)
Kf	- Fator de deslizamento do condutor longitudinal da colhedora.
Kr	- Fator de deslizamento das barras do cilindro.
m	- Massa do grão (g).

N_L	- Número de linhas alimentando a plataforma segadora.
N_P	- Média do número de plantas de sorgo por metro linear.
P	- Perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de trilha (kg/ha).
P_E	- Peso dos grãos coletados na área de 400 m ² (kg).
P_P	- Média do peso por planta cortada pela plataforma segadora (kg/planta).
P_{PS}	- Perdas de grãos de sorgo através da plataforma segadora (kg/ha).
P_{SL}	- Perdas de grãos através dos sistemas de separação e limpeza (kg/ha).
P_T	- Perdas totais de grãos (%).
Q	- Vazão total de alimentação através da colhedora (kg/s).
r	- Distância entre o centro de rotação e o ponto de impacto do grão (m).
R	- Rendimento de grãos (sem adicionar perdas de grãos apresentadas através da plataforma segadora, sistemas de trilha, separação e limpeza) (kg/ha).
R_1	- Raio menor de curvatura do grão no ponto de contato com a superfície plana (m).
R_1'	- Raio maior de curvatura do grão no ponto de contato com a superfície plana (m).
R_b	- Raio do cilindro de trilha.
R_k	- Força de reação das barras do côncavo.
R_N	- Rendimento líquido de grãos (kg/ha).
RPM	- Rotação do cilindro (rpm).
T	- Tempo de compressão do grão correspondente ao ponto de deformação (s).
T_A	- Tempo gasto pela colhedora para percorrer a distância para o teste (s).
$TRAT$	- Tratamento.
U	- Teor de umidade do grão (% b u).
V	- Velocidade de compressão do grão (mm/s).
V_A	- Velocidade de deslocamento da colhedora (m/s).
V_C	- Velocidade tangencial das barras do cilindro (m/s).
V_o	- Velocidade do condutor longitudinal da colhedora (m/s).
V_s	- Velocidade média de deslocamento do material na secção de trilha (m/s).

W_1	- Largura de corte da plataforma (m).
W_{AL}	- Peso inicial da amostra de grãos para avaliação de grão quebrado (g).
W_{GD}	- Peso dos grãos de sorgo separados das espigas e resíduos de espigas recolhidas na caixa de madeira (kg).
W_{GQ}	- Peso das frações de grãos que atravessaram a peneira (g).
W_N	- Peso médio dos grãos coletados na área de $0,25 \text{ m}^2$ correspondente a ações naturais (kg).
W_p	- Peso médio dos grãos coletados na área de $0,25 \text{ m}^2$ para avaliação de perdas de grãos através da plataforma segadora (kg).
W_{SP}	- Peso dos grãos livres coletados no quadro de madeira de 0,4 m de comprimento, 1,03 m de largura e 0,1 m de altura (kg).
X	- Vazão de alimentação de palha (lb/min).
Y	- Separação de grão através do côncavo (%)
y_g	- Deslocamento do grão (m).
y_b	- Deslocamento da barra do cilindro (m).
Z	- Comprimento da superfície do côncavo (polegadas).
Δ_r	- Aplicação radial da camada de material na seção de trilha.
$\phi_1 = L$	- Diâmetro maior do grão (mm).
$\phi_2 = H$	- Diâmetro menor do grão (mm).
ϕ_3	- Diâmetro médio do grão (mm).
μ	- Coeficiente de Poisson.
μ_k	- Coeficiente de atrito cinemático.
μ_{P2}	- Atrito ativo exercido pelas barras do cilindro.
μ_s	- Coeficiente de atrito estático.
μ_w	- Coeficiente de atrito interno
μ_{wk}	- Coeficiente de atrito interno cinemático.
μ_{ws}	- Coeficiente de atrito interno estático.
ω	- Velocidade angular (rad/s)

RESUMO

As perdas de grãos de sorgo, os grãos quebrados e a eficiência de um sistema de trilha convencional de cilindro e côncavo de barras, foram quantificadas e caracterizadas em termos das principais variáveis ligadas ao processo de trilha. Foram realizados testes com colhedora no campo utilizando a variedade Funk's HW 1758, para teores de umidade dos grãos de 15,9, 19,6 e 24,1 % (b u), e para diferentes combinações dos ajustes da velocidade tangencial do cilindro, de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, e abertura do côncavo de 6, 12 e 18 mm, visando identificar os ajustes correspondentes à melhor eficiência do mecanismo de trilha. A análise de variância das perdas de grãos (na faixa de 0,65 a 10,78 %) e dos grãos quebrados (na faixa de 0,70 a 6,14 %), revela que o teor de umidade dos grãos, a velocidade tangencial do cilindro e a abertura do côncavo, tem efeito significativo ao nível de 1 %, nas perdas, na quebra de grãos e nas perdas totais do mecanismo de trilha. Igualmente, os dados coletados neste estudo indicam que a melhor eficiência de trilha para grãos com teor de umidade próximo a 24,1 %, é obtida com velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s e abertura do côncavo de 12 mm. Para os grãos com teor de umidade próximo a 19,6 %, a melhor eficiência de trilha é obtida com velocidade tangencial de 25,13 m/s e abertura do côncavo de 6 mm e para os grãos com teor de umidade próximo a 15,9 %, a melhor eficiência é obtida com velocidade tangencial de 29,85 m/s e abertura do côncavo de 18 mm.

1. INTRODUÇÃO

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) apesar de ser uma cultura muito antiga, somente a partir do início da década de 70 é que teve um grande desenvolvimento em muitas regiões agrícolas do mundo, se tornando no meio da década de 80, o quinto cereal mais importante em termos de quantidade produzida no mundo (72 milhões de toneladas). De acordo com as estimativas do Anuário Estatístico do Brasil AEB 91, a área cultivada no Brasil foi em torno de 173,900 hectares, com uma produção de 241,059 toneladas; entretanto, de acordo com as estatísticas da Federação Nacional de Cultivadores de Cereais FENALCE, na Colômbia, no ano de 1992, a área cultivada foi de 239,197 hectares, com uma produção de 725,734 toneladas.

Esse desenvolvimento se deve a sua utilização na alimentação humana, animal e como matéria prima para a produção de álcool. No primeiro caso, o sorgo tem-se prestado para a fabricação de amido, cerveja, óleo comestível e farinha. Esta última um importante alimento para as populações de muitos países de África e da Ásia. No segundo caso, o sorgo tem sido empregado como componente de rações para bovinos, suínos e aves, substituindo total ou parcialmente outros cereais.

Na Colômbia, o sorgo granífero é cultivado comercialmente utilizando-se a mais alta tecnologia agrônômica no plantio, no controle de pragas e de doenças. Entretanto, aspectos referentes à colheita mecânica têm sido descuidados, não só na produção de sorgo, mas em

geral na de todos os grãos onde é utilizada uma colhedora, como demonstram trabalhos realizados em colheita de arroz, com perdas consideravelmente altas, alcançando 15,85 % da produção (DEVIA e ZEA, 1982). Também em arroz (ALDANA e ANGULO, 1989) encontraram perdas de 17 % da produção, sendo que a metade dessas perdas foi atribuída ao mecanismo de trilha da colhedora, causadas por práticas incorretas de regulagem, operação e manutenção da máquina.

Na cultura de sorgo, os problemas ligados com a colheita mecânica são ainda mais graves devido ao difundido e inadequado uso da colhedora com cilindro de dentes rígidos, contribuindo para aumentar as perdas, tanto na trilha como nas operações subsequentes de separação e limpeza, além do incremento no dano ao grão. A colheita, tem muitas vezes, que ser realizada sob situações adversas como mudanças nas condições climáticas, variação nas condições da cultura representadas pelas diferenças de variedades, variações no teor de umidade do grão e do material que compõem o restante da planta, e na quantidade de palha. Esses fatores freqüentemente podem introduzir variações significativas na eficiência funcional nos vários mecanismos e sistemas da máquina, resultando num incremento nas perdas de grão.

Portanto, há necessidade de realizar este tipo de pesquisa nas zonas produtoras de cereais para analisar os fatores influentes nas perdas durante a trilha e estabelecer os parâmetros para ajustes do cilindro e côncavo, para as diferentes condições de grão, e da vazão de alimentação de material da colhedora.

2. OBJETIVOS

O objetivo global deste trabalho consiste na identificação das melhores condições de operação pela quantificação dos níveis de perdas e danos aos grãos de sorgo granífero (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) em cilindros debulhadores de barras, em função das principais variáveis ligadas ao processo de trilha. Propõe-se atingir esses resultados através dos seguintes objetivos específicos:

- ❶ - Avaliar o efeito de diferentes velocidades tangenciais do cilindro nas perdas de trilha da colhedora.
- ❷ - Avaliar o efeito de diferentes aberturas do côncavo nas perdas de trilha da colhedora.
- ❸ - Determinar a ótima velocidade tangencial do cilindro e abertura do côncavo para minimizar as perdas no sistema de trilha.
- ❹ - Determinar o efeito do teor de umidade do grão nas perdas ocorridas no sistema de trilha.
- ❺ - Avaliar o efeito da velocidade tangencial do cilindro, abertura do côncavo e teor de umidade no dano mecânico do grão.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Princípios de Funcionamento do Sistema de Trilha

3.1.1 Sistema Convencional

3.1.1.1 Cilindro e Côncavo de Barras

Segundo KANAFOJSKI (1972), o cilindro consiste de um número de barras estriadas de aço, fixadas à circunferência exterior de uma série de massas e estas, por sua vez, montadas num eixo transversal, as quais oferecem uma ação friccionadora. O côncavo tem forma curva geralmente conformada à circunferência exterior do cilindro, apresentando uma espécie de peneira formada também por barras de aço retangulares na direção transversal e um conjunto de barras circulares, igualmente de aço, passando através de furos nas barras retangulares, espaçadas de tal forma a permitir a separação dos grãos trilhados na superfície do côncavo.

O material entregue ao cilindro é batido pelas barras, empurrado para dentro da abertura do côncavo e transportado sobre a superfície, com aumento de velocidade. Durante a trilha dos grãos das espigas, a palha, cujo peso é geralmente maior que o dos grãos, é sujeita a deformações, absorvendo inutilmente mais energia que a necessária para desprender os grãos, apresentando uma baixa eficiência na trilha mecânica. Esta eficiência é tanto menor quanto menor seja o peso dos grãos com relação ao da palha.

Entre a superfície da barra e a camada de material móvel, na entrada da seção da trilha, ocorre um alto deslizamento devido a baixa pressão das barras; com o incremento na convergência da seção de trilha ou diminuição da abertura do côncavo na parte traseira, a pressão das barras aumenta, diminuindo o deslizamento até alcançar um valor mínimo na saída do côncavo. As barras estacionárias do côncavo restringem a velocidade de deslocamento do material, passando entre as barras do cilindro e a superfície do côncavo; conseqüentemente, as barras movimentam-se com uma velocidade diferente à massa de material que é batido mais tempo, causando uma maior trilha dos grãos (figura 1). Os golpes das barras comprimem o material elástico contido na seção convergente de trilha, gerando um movimento vibratório. O resultado é uma vibração cuja freqüência depende do número de barras e da velocidade tangencial do cilindro. O movimento dos grãos avançando na seção convergente, é mais e mais amortecido; a amplitude das vibrações decresce e a velocidade da camada aumenta.

Basicamente o processo de desprendimento dos grãos das espigas é função de forças inerciais geradas pelos impactos das barras do cilindro e de uma força de atrito adicional contra as barras do côncavo. A eficiência do processo consiste na maior quantidade de grãos trilhados com o menor dano mecânico, além de dois parâmetros de importância que afetam o rendimento dos sistemas de trilha e separação: a porcentagem de separação de grãos através do côncavo (eficiência de separação) e o grau de ruptura da palha. A quantidade de separação de grãos, através da grelha do côncavo que se apresenta, afeta diretamente a capacidade da colhedora; se a separação for pequena, a maioria dos grãos é lançada sobre os saca-palhas, proporcionando que a capacidade máxima de separação desta unidade seja alcançada mais rapidamente, significando uma porcentagem elevada de grãos que se perdem na parte traseira do saca-palhas. Excessiva palha quebrada dificulta a separação dos grãos, apresentando uma maior porcentagem de palha dentro das peneiras proveniente da grelha do côncavo e dos saca-palhas. Esse incremento de resíduos dentro das peneiras pode aumentar apreciavelmente as perdas de limpeza. A respeito disso, ARNOLD (1964) encontrou que até 90 % dos grãos de cereais que

foram desprendidos das espigas pelo cilindro de barras são separados da palha através dos orifícios do côncavo, sendo verificado, posteriormente, por NEAL e COOPER (1970), GRIFFIM (1973), REED et al (1974).

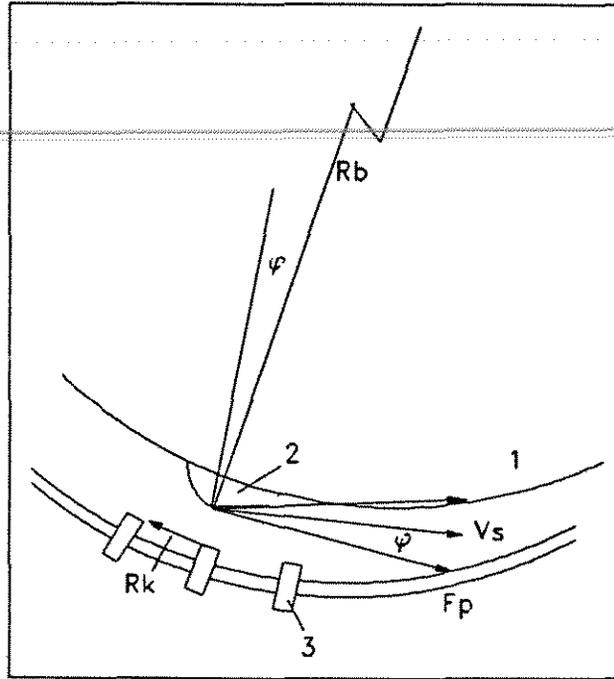


Figura 1 - Modelo esquemático teórico da velocidade da camada de material na seção de trilha. (Kanafojski 1972).

Onde:

1 - Circunferência do cilindro.

2 - Barra.

3 - Barra do côncavo.

F_p - Força tangencial da barra.

V_s - Velocidade de deslocamento da camada de material.

R_k - Reação de resistência da barra do côncavo.

$R = \mu P_2$ - Fricção ativa exercida pela barra do cilindro no ponto A.

R_b - Raio do cilindro.

Os diâmetros dos cilindros variam de 45 a 80 cm, e o comprimento pode variar de 78 a 163 cm, segundo POWER FARMING (1989).

3.1.1.2 Cilindro e Côncavo de Dentes

Segundo KANAFOJSKI (1972), neste sistema, o material é entregue ao cilindro com as espigas colocadas longitudinalmente (com respeito ao sentido de deslocamento do material)), variando com respeito à unidade de barras, já que o dente rotativo penetra no material, arrancando parte deste dentro da seção de trilha. A capacidade de alimentação de material é maior; portanto, a capacidade operacional é superior à unidade de barras com idênticas dimensões. A trilha dos grãos é, em parte, o resultado do impacto das espigas contra a superfície frontal do dente estático do côncavo e, em parte, da fricção das espigas. Neste sistema de dentes, o côncavo apresenta maior resistência do que o côncavo de barras. Por esta razão é consideravelmente mais curto.

A forte ação da unidade dentada promove uma intensa deformação do material e o número de espigas desintegradas e talos quebrados é notavelmente maior que na unidade de barras. Este sistema é menos sensível à alimentação irregular, no entanto, devido a forte ação dos dentes, a velocidade do cilindro deve ser baixa evitando grãos quebrados e, mais criticamente, quando os grãos tornam-se muito seco. Também a alta velocidade tangencial do cilindro, a baixa vazão de alimentação e a maior relação em peso dos grãos/palha promovem esse efeito nocivo aos grãos. Este tipo de cilindro requer maior potência e é usado principalmente em trilha de arroz, onde o desprendimento dos grãos das espigas necessita de maior energia, além dos grãos de arroz serem mais resistentes ao dano mecânico que outros grãos.

3.1.2 Sistema de Trilha Centrífuga

LAMP e BUCHELE (1960), propuseram o uso da força centrífuga para obter o impacto de trilha, no qual a deformação da palha seja menor, com uma simultânea e apropriada separação dos grãos. Encontraram que a força requerida para desprender 98 % dos grãos de trigo da espiga sob condições típicas de colheita foi de 0,89 N. HAMDY et al (1967) analisaram teoricamente o rendimento de trilha rotacional cônica quando o trilhador centrífugo é colocado horizontalmente, prognosticando que o material da colheita não gira internamente, apresentando somente um movimento oscilatório e de transporte axial. Além disso, estabeleceram que o rotor deve ser apto a submeter o material de colheita a uma aceleração centrífuga de $731,5 \text{ m/s}^2$, necessária para provocar uma trilha de 98 % de grãos de trigo, sob condições típicas de colheita no campo e de transferência axial do material de colheita. No entanto, os autores afirmam que a energia transferida pela força rotacional, em função da velocidade do rotor, gera um nível de impacto não inferior ao encontrado na trilha convencional de cilindro e côncavo. Além disso, para um nível semelhante de aceleração, o trilhador centrífugo dificulta extremamente o processo operativo, em virtude das forças não balanceadas de rotação na extensão do rotor, pela irregular distribuição interna do material no trilhador. Conseqüentemente, os autores concluíram que a trilha centrífuga não é aconselhável.

Long et al, citados por SRIVASTAVA et al (1974), pesquisaram a separação centrífuga, estabelecendo que os grãos de trigo passam através de uma camada de palha de espessura de 10 cm em 0,25 segundos, sob uma aceleração centrífuga de $1,8 \text{ m/s}^2$, e 0,11 segundos, sob aceleração de $10,7 \text{ m/s}^2$. No entanto, um aumento da aceleração para $15,24 \text{ m/s}^2$ não apresentou efeito significativo na redução do tempo para atravessar a camada de palha, determinando que o nível de aceleração centrífuga, de 4,6 a $9,1 \text{ m/s}^2$, requerido na separação dos grãos, foi menor que a necessária para a trilha centrífuga de $731,5 \text{ m/s}^2$.

3.2 Fatores que Afetam a Eficiência na Trilha no Sistema Convencional

3.2.1 Material Vegetal

3.2.1.1 Variedade

Certas variedades são mais facilmente trilhadas que outras e há variedades que estão sujeitas a maiores perdas de pré-colheita, pelo desprendimento e queda dos grãos, e do tombamento de plantas, segundo LAMP e BUCHELE (1960). Além disso, estudos feitos por WAELTI e BUCHELE (1969) sugerem que as propriedades morfológicas da espiga de milho, que são inerentes às características da variedade, afetam o dano mecânico aos grãos.

Vasilenko, citado por KANAFOJSKI (1972), encontrou que, em uma variedade de trigo de trilha difícil, é necessário o dobro da energia de debulhamento do que no caso da variedade de trilha fácil. Conseqüentemente, a variedade de difícil desprendimento dos grãos requer maior ação das barras e, basicamente, a separação dos grãos através do côncavo apresenta-se na parte traseira da seção. Em conseqüência, é menor a quantidade de grãos apta para atravessar a superfície do côncavo. Igualmente, NORRIS e WALL (1986) reportaram que nas variedades de milho, que são facilmente trilhadas ao longo da superfície do côncavo, apresenta-se um aumento da eficiência de trilha.

3.2.1.2 Teor de umidade

O efeito do teor de umidade do material é considerável. No material úmido o valor do coeficiente de atrito da palha e dos grãos contra o aço, além dos talos entre si, é mais alto que no material seco, segundo HUYNH et al (1982). Conseqüentemente, a alta aderência do material

úmido à barra produz uma camada mais distribuída, diminuindo o número de golpes contra os talos. Os grão úmidos são mais elásticos que os secos; por isso, nas espigas úmidas, a força requerida para desprender os grãos é maior. Entretanto, por causa do alto valor do coeficiente de atrito entre os componentes individuais da massa de grãos, a penetração deste, através da camada móvel, é dificultada. Além disso, na trilha de material úmido, a quantidade de liberação de grãos em igual abertura do côncavo é menor que no caso de material seco. Por esta razão KANAFOJSKI (1972) aconselha que a abertura do côncavo deve ser apropriadamente estreita para assegurar mais energia de trilha na camada.

Com respeito aos fatores que afetam o dano dos grãos de milho, WALTI e BUCHELE (1969) reportaram que, quando o teor de umidade decresce nos grãos, o tamanho também decresce, indicando um encolhimento dos grãos secos, e, conseqüentemente, um aumento na dureza. Portanto, quando o teor de umidade diminui, o dano nos grãos também diminui. Além disso, concluíram que as propriedades físicas da planta que mais influíram no dano mecânico dos grãos foram a força de liberação dos grãos, sua deformação e a resistência do sabugo. Em conseqüência, quanto menor é a força de liberação e maior a resistência dos grãos, menor é o dano no processo de trilha.

WAELTI et al (1971), em pesquisa para determinar a possibilidade de colheita direta de sorgo, com alto teor de umidade dos grãos, encontraram que as perdas na trilha com cilindro convencional de barras incrementavam-se com maiores teores de umidade. Para os teores de umidade de 33,6, 22,1, 16,6 e 13 %, as perdas na trilha foram 5, 2,5, 1 e 1 % da produção de grãos, respectivamente. Johnson, citado por SRIVASTAVA et al (1990), reportou a mesma observação em estudos realizados com a cultura de trigo, enquanto FAIRBANKS et al (1979) detectaram menores perdas do cilindro para os grãos de sorgo quando o teor de umidade dos grãos é de 20,4 % (b u). Além disso encontraram que o teor de umidade dos grãos tem efeito nas perdas de peneira, saca-palhas, cilindro, plataforma e totais.

Uma característica adicional no sistema de trilha é o referente ao dano nos grãos. A esse respeito, Finkenzeller, citado por KANAFOJSKI (1972), estabeleceu que, quando os grãos de trigo são muito secos, é mais fácil ocorrer danos mecânicos devido a maior fragilidade. Enquanto JOHNSON et al (1963) encontraram que o menor dano nos grãos de milho apresenta-se com o teor de umidade do grão de 20 % (b. u.); quando foi empregada a unidade de trilha convencional de cilindro e côncavo de barras. HALL e JOHNSON (1970), MAHMOUD e BUCHELE (1975) concordam com a afirmação.

O incremento no valor do teor de umidade da palha declina a capacidade de separação e limpeza dos grãos, sendo maior esse efeito na limpeza onde decresce assintoticamente com o aumento do teor de umidade dos resíduos, segundo SRIVASTAVA et al (1990). Além disso, a maior umidade na palha tende a diminuir sua ruptura do que no caso do material seco. No entanto, o teor de umidade dos grãos tem maior efeito na eficiência dos saca-palhas que o teor de umidade da palha.

ARNOLD e LAKE (1964) encontraram que o requerimento de potência na trilha de trigo foi consideravelmente alta quando o teor de umidade também foi alto.

3.2.1.3 Quantidade de Palha

Segundo BUCHANAN e JOHNSON (1964), uma baixa relação grãos/palha em peso, passando através do sistema de trilha convencional de cilindro de barras diminui a eficiência de trilha, dificultando tanto o desprendimento dos grãos das espigas como a passagem deles pela camada de material, aumentando as perdas de trilha e separação, sendo confirmado por KANAFOJSKI (1972). Embora a redução da relação grãos/palha e o aumento na vazão de alimentação façam com que os grãos sejam dispostos em uma camada de material mais

comprimida, o que restringe a capacidade de separação dos grãos, através dos orifícios do côncavo, essa restrição protege os grãos contra o dano mecânico. Além disso o autor reportou que, quando a velocidade tangencial das barras é consideravelmente alta, o efeito do comprimento dos talos do material na quantidade de grãos separados, através do côncavo, é baixa. Contrariamente, NYBORG et al (1969) desenvolveram um sistema de regressão para prever as perdas de grãos no cilindro de trilha, saca-palhas e peneiras, em função da vazão de alimentação, e a relação grãos/palha em peso para as culturas de trigo, cevada, centeio e aveia, estabelecendo que todas as perdas aumentaram com o decréscimo na relação grãos/palha. Goss et al, citado por KANAFOJSKI (1972), reportaram a mesma conclusão para cevada.

NORRIS e WALL (1986), comparando a colheita de grãos pequenos onde a espiga e parte do talo da planta entram continuamente na colhedora, onde a trilha dos grãos deve superar a resistência da palha, migrando sobre a superfície do côncavo, antes de passar através dos orifícios deste, contrastando altamente com a colheita de milho onde a espiga é removida do material da planta e colocada em unidades discretas no cilindro de trilha, conseqüentemente a trilha de milho não experimenta esta resistência. Concluíram, assim, que existe uma diferença entre a trilha de milho e a de grãos pequenos.

3.2.1.4 Quantidade de Material Verde

A adição de material verde aos grãos no sistema de trilha dificulta a passagem dos grãos através da camada espessa de material entre o cilindro e o côncavo. Os talos e material comprimido pelas barras soltam um suco viscoso que tende a reduzir a separação dos grãos da palha e o passo através do côncavo. Em efeito, as perdas dos grãos são aumentadas, segundo KANAFOJSKI (1972).

Quando os talos são muito verdes, no caso particular do sorgo, uma redução no comprimento de corte aumenta a quantidade de grãos liberados, em virtude do fato de que, na trilha de material semelhante, o número de golpes da barra contra as espigas aumenta por causa da melhor distribuição das espigas sobre a superfície do côncavo, facilitando a penetração dos grãos através da camada de material. No entanto, ao manter os talos relativamente curtos, a quantidade de resíduos de palha e impurezas, avançando junto com os grãos através da superfície do côncavo aumenta, pelo fato do maior número e intensidade dos golpes contra os talos, porém maior despedaçamento, causando maior dificuldade na operação seguinte, de limpeza nas peneiras, continua KANAFOJSKI (1972).

Vasilenko, citado por KANAFOJSKI (1972), experimentou, a nível de laboratório, trilha de aveia adicionando material verde de trevo vermelho e branco em 45 % em peso, e verificou que as perdas alcançaram 3 %.

3.2.1.5 Propriedades do Material

3.2.1.5.1 Ângulo de Repouso dos Grãos

O ângulo de repouso é aquele formado pelo produto ao escoar através de um fluxo constante com o plano horizontal, de acordo com Tosello e Jorge, citados por BENEDETTI (1987). Entretanto, FOWLER e WYATT (1960) estudaram o efeito do teor de umidade sobre o ângulo de repouso de materiais granulares, para diversos produtos, entre os quais o trigo, e concluíram que o ângulo de repouso aumenta com o aumento do valor do teor de umidade dos grãos, sugerindo que a variação do ângulo de repouso com o teor de umidade, é devida a uma camada de água superficial que rodeia cada partícula, tornando o efeito da tensão superficial predominante para manter os sólidos unidos. Resultados similares foram obtidos por Kramer, citado por BENEDETTI

citado por BENEDETTI (1987), para arroz em casca, especialmente quando o teor de umidade esta acima de 16 - 17 %. Além disso, MOHSEIN (1986) estabeleceu que esse ângulo é influenciado principalmente pelo tamanho, forma, orientação e teor de umidade das partículas dos grãos.

O incremento do ângulo de repouso dos grãos causa uma diminuição na capacidade de limpeza, pelo fato de que essa propriedade relaciona-se ao escoamento característico dos grãos. Em conseqüência, um incremento no ângulo de repouso determina um decrescimento na tendência dos grãos fluir livremente; portanto, apresenta-se um incremento nas perdas de grãos através dos saca-palhas e peneiras, sendo esta propriedade mais sensível na limpeza do que na separação, segundo SRIVASTAVA et al (1990). Também determinaram que uma mudança igual, no ângulo de repouso dos grãos de trigo, provocou 90 % de mudança no rendimento de separação através dos saca-palhas, enquanto, no caso de limpeza, este valor foi de 272 %. Um incremento no valor dessa propriedade é dada com o aumento no teor de umidade dos grãos.

3.2.1.5.2 Densidade Volumétrica dos Grãos

A densidade volumétrica é a relação da massa com o volume total de uma amostra de grãos, sendo que o teor de umidade é um fator importante que afeta o peso dos grãos, originando, portanto, uma afinidade entre a densidade volumétrica dos grãos e o teor de umidade. BRUSEWITZ (1975) pesquisou a densidade volumétrica de milho, soja, trigo, aveia, sorgo, cevada e centeio com reumidificação dos grãos e teor de umidade variando de 15 a 45 % (b. u.), concluiu que a densidade real apresenta resultados similares para os diferentes grãos, diminuindo linearmente com o aumento do teor de umidade. A densidade volumétrica também diminui com o incremento do teor de umidade, atingindo mínimos valores para trigo, milho, aveia, cevada e centeio, para o teor de umidade próximo a 30 % (b u) e, então, aumenta com o incremento da

mesma. Igualmente, BROWNE (1962), CHUNG e CONVERSE (1971), FRASER et al (1978), NELSON (1980), SHEPHERD e BHARDWAJ (1986), DUTTA et al (1988) obtiveram resultados similares com mínimos valores de densidade volumétrica para o teor de umidade próximo a 30 %, em diferentes grãos, descrevendo a densidade em função do teor de umidade em forma de diferentes equações polinomiais.

Segundo SIRVASTAVA et al (1990), um aumento na densidade volumétrica dos grãos tem um efeito positivo no rendimento de separação e limpeza, já que nesse processo os grãos são separados dos resíduos por meio da ação da gravidade e os grãos pesados são separados mais facilmente que os leves.

3.2.1.5.3 Coeficiente de Atrito

O coeficiente de atrito é definido pela relação entre a força de atrito (força que atua no sentido de resistir ao movimento) e a força normal sobre a superfície de contato. Quando a superfície de contato é formada pelos próprios grãos, tem-se o chamado atrito interno, cujo coeficiente recebe também essa especificação.

No caso de grãos são conhecidos o coeficiente de atrito estático (μ_s), determinado pela força que é capaz de vencer a oposição ao movimento entre os corpos em contato, o coeficiente de atrito cinemático (μ_k), determinado pela força que se manifesta na superfície de contato quando há movimento relativo entre os corpos, além do coeficiente de atrito entre os componentes internos da massa de colheita, como folhas, talos, grãos, que é chamado coeficiente interno de atrito (μ_w), segundo MOHSENIN (1986). O valor do coeficiente de atrito é afetado pela posição das folhas e talos em relação à direção de movimento (longitudinal, transversal ou oblíqua), além da vazão de alimentação. Finalmente, esse coeficiente depende dos diversos tipos de superfícies

e materiais empregados na construção da colhedora, segundo KANAFOJSKI (1972).

DUTTA et al (1988) concluíram que o coeficiente de atrito estático em feijão, além de aumentar com o teor de umidade dos grãos, varia de superfície a superfície com máximo valor para madeira, na direção perpendicular a ela, e a mínima para aço galvanizado. Resultados similares com mínimo atrito para teflon foram obtidos por BRUBAKER e POS (1965) em milho, soja, trigo, aveia e cevada; BICKTER e BUELOW (1966) em milho; SNYDER et al (1967) em trigo e STEWART (1968) em sorgo, indicando uma relação linear com menor pendência para baixa densidade volumétrica dos grão se incrementando com a densidade.

Quadro 1 - Coeficiente de atrito de alguns grãos com 85 % de matéria seca.

Tipo de Grão	Coeficiente de atrito interno		Coeficiente de atrito externo			
			Aço		Borracha	
	μ_{wk}	μ_{ws}	μ_k	μ_s	μ_k	μ_s
Trigo	0,46	0,70	0,32	0,58	0,45	0,80
Cevada	0,50	0,70	0,30	0,37	-	0,75
Aveia	0,53	0,70	0,40	0,58	-	0,80
Ervilha	0,46	0,57	0,26	0,33	0,27	0,37
Feijão	0,62	0,75	0,37	0,50	-	-
Milho	0,53	0,70	0,38	0,58	-	0,60
Soja	0,62	0,72	0,27	-	-	-

Fonte: KANAFOJSKI (1972).

O efeito desse coeficiente mostra que com o incremento no atrito dos resíduos de material decresce a capacidade de limpeza; tanto é que o aumento do atrito ntre a palha - metal e o mesmo material determina um impedimento ao movimento da palha dentro dos saca-palhas e peneiras, reduzindo a capacidade de separação e limpeza , segundo SRIVASTAVA et al (1990). Conseqüentemente, um aumento do coeficiente de atrito, dado pelo aumento do teor de umidade do material, dificulta a separação dos grãos através dos saca-palhas e peneiras.

3.2.1.5.4 Compressibilidade da Palha

O efeito do módulo de Compressibilidade dos resíduos e a palha dizem respeito à capacidade de compactação e resulta da relação entre a variação na pressão aplicada sobre o volume da amostra e a correspondente variação volumétrica. Quando se apresenta um incremento nesse valor, indica a deficiência da palha e dos resíduos à compactação através das forças inerciais aplicadas durante o processo de separação, indicando que o material é rígido. Essa tendência mantém melhor porosidade e permite a passagem dos grãos através da palha e dos resíduos. O módulo de Compressibilidade tende a decrescer, tanto na palha como nos resíduos, com o teor de umidade, segundo SRIVASTAVA et al (1990).

3.2.2 Mecanismo de Trilha

3.2.2.1 Cilindro de Barras

3.2.2.1.1 Velocidade

A velocidade do cilindro é o parâmetro operacional mais importante em relação às perdas na trilha e o dano mecânico dos grãos. O efeito de maior velocidade tangencial das barras do cilindro, é um aumento tanto na força do golpe como na frequência de encontro destas com as barras individuais do côncavo; porém, aumenta a vibração da camada de material, sendo maior a quantidade de grãos trilhados. Finalmente, resulta uma diminuição da espessura da camada, facilitando a separação dos grãos, segundo KANAFOJSKI (1972). O mesmo autor reportou também que, no material de trilha difícil, a melhor ação para desprender os grãos é o aumento na velocidade tangencial das barras. No entanto, se os talos são curtos o resultado é um aumento no dano dos grãos devido ao maior impacto no material. Wieneke, citado por KANAFOJSKI (1972),

reportou que para uma velocidade tangencial do cilindro de 36 m/s, em trilha de trigo, ocorre uma maior separação de grãos através do côncavo.

LAMP et al (1961) determinaram, em colheita de soja, que um aumento na velocidade tangencial do cilindro resulta em redução do poder germinativo dos grãos, basicamente pelo aumento nos danos dos grãos. Entretanto, LIEN et al (1976), procurando quantificar as perdas na trilha de milho, determinaram que foram originadas em função da velocidade tangencial do cilindro, abertura do côncavo e fluxo de material no cilindro. As perdas foram mínimas com velocidade tangencial do cilindro de 12,28 a 13 m/s e abertura do côncavo de 2,54 a 5,49 cm na parte dianteira e 1,59 cm na parte traseira, atingindo níveis inferiores a 1 % da produção de grãos. Igualmente, em trilha de milho, MOFAZZAL e BUCHELE (1978) encontraram que a quebra total de grãos eleva-se com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, passando de 26,3 %, com velocidade tangencial do cilindro de 13,19 m/s, para 42 %, com velocidade tangencial do cilindro de 19 m/s. Em geral, quanto maior for a velocidade tangencial das barras, maior a intensidade no dano dos grãos, confirmado por JOHNSON et al (1963), em milho; ARNOLD e LAKE (1964), em trigo; HALL e JOHNSON (1970), em milho; KANAFOJSKI (1972), em trigo; Cain e Holmes, citados por NEWBERRY et al (1972), em soja; GRIFFIN (1973), MAHMOUD e BUCHELE (1975), em milho; PAULSEN e NAVE (1980), em milho.

Com o objetivo de determinar o efeito do sistema de trilha na qualidade de soja, NEWBERRY et al (1980) experimentaram, em campo, colhedoras com mecanismo de trilha convencional de cilindro e côncavo de barras, e mecanismo de fluxo axial, encontrando que a velocidade tangencial ótima foi de 15,4 m/s para o cilindro de barras e 14 m/s para o rotor de fluxo axial. A porcentagem de grãos partidos incrementou-se em ambos mecanismos de trilha, com o aumento da velocidade tangencial do trilhador, sendo maior o dano para o mecanismo de barras do que no sistema de fluxo axial. Também, concluíram que a mudança na velocidade tangencial do cilindro ou rotor tem maior efeito na porcentagem de grãos quebrados ou divididos,

do que o causado pela mudança na abertura do côncavo. Esta menor quebra de grãos no mecanismo de fluxo axial foi confirmada por HALL e JOHNSON (1970); PAULSEN e NAVE (1980), para trilha de milho. HUYNH et al (1982) estabeleceram que a velocidade tangencial do cilindro tem influência significativa nas perdas do cilindro; ao incrementar a velocidade tangencial das barras aumenta a taxa de trilha, reduzem-se as perdas e, a eficiência de separação dos grãos, é melhorada, além do que o desprendimento dos grãos das espigas é antecipado e a espessura da camada de material diminui, reduzindo as perdas por separação, através do côncavo. Embora o dano apresentado nos grãos, durante a trilha, esteja relacionado com a energia absorvida durante o impacto da barra com o material, o grau de dano é proporcional ao número e à magnitude dos impactos.

3.2.2.1.2 Diâmetro

Klenin e Lemakov, citados por KANAFOJSKI (1972), mostraram que, com um cilindro de diâmetro pequeno de 250 mm, a velocidade média de entrada do material na abertura do côncavo é menor do que quando o diâmetro foi aumentado para 800 - 1200 mm, com a mesma velocidade tangencial das barras. Encontrando que inicialmente o resultado é uma trilha mais intensa das espigas pelo cilindro de menor diâmetro, devido o aumento no número de golpes das barras sobre o material. Também, com um aumento na vazão de alimentação, apresentou maior aceleração na camada de material na seção de trilha para o cilindro de menor diâmetro, do que com o de maior diâmetro. O resultado é um tempo curto de ação das barras que, em consequência, diminui a quantidade de grãos trilhados e separados através do côncavo. Ao incrementar-se o diâmetro do cilindro ocorre um fenômeno contrário, causando um aumento na separação de grãos através da grelha do côncavo. Além disso, a capacidade de peneiramento do côncavo incrementa-se. Portanto, um aumento no diâmetro do cilindro requer um apropriado incremento no comprimento do côncavo, continua KANAFOJSKI (1972). Também concluiu que com um maior diâmetro a

quantidade de resíduos de material de trilha, penetrando através do côncavo, diminui. HALL e JOHNSON (1970) comprovaram um aumento na quantidade de grãos de milho trilhados através do côncavo com o aumento do diâmetro do cilindro, mantendo-se a mesma velocidade tangencial das barras e o ângulo de cobertura do côncavo sob o cilindro. Entretanto, HUYNH et al (1982), em trabalho realizado em trigo, reportaram que, para uma certa vazão de alimentação, o fluxo de trilha aumenta e, conseqüentemente, as perdas do cilindro reduzem-se com o aumento do diâmetro do cilindro.

3.2.2.1.3 Número de Barras

KANAFOJSKI (1972) mostrou que, com o incremento do número de barras de 6 a 8 em um cilindro de 550 mm de diâmetro, a capacidade de compressão diminuiu, sendo expressa pela redução de velocidade de deslocamento da camada na abertura de entrada do côncavo, estabelecendo o curso nas seções central e posterior do côncavo. Continua reportando que, ao aumentar o número de barras de 8 a 10, a capacidade de compressão mais uma vez diminui, porém a eficiência é maior. Com o uso de 6 barras e velocidade tangencial de 30 m/s na trilha de trigo, a porção arrastada pela barra é grande e a resistência oferecida no processo de compressão, na abertura de entrada, tende a diminuir a velocidade tangencial das barras. Também encontrou que não há dependência estabelecida entre a magnitude dos intervalos com as barras adjacentes e a quantidade de grãos separados através dos orifícios do côncavo e de suas correspondentes perdas de trilha. Igualmente, NORRIS e WALL (1986) encontraram, na trilha de milho, que o espaço entre as barras do cilindro não tem efeito significativo no dano aos grãos, na eficiência de trilha e na separação dos grãos através do côncavo.

3.2.2.1.4 Configuração

KANAFOJSKI (1972), estudando o efeito da forma poligonal do cilindro, encontrou que o espaço entre as sucessivas barras e o côncavo é relativamente grande, fazendo momentaneamente um incremento na expansão do material de trilha. Essas cavidades aumentam a amplitude de vibrações o que facilita o desprendimento dos grãos da espiga; além disso, foi estabelecido que, com a alimentação disposta transversalmente, a expansão do material em frações de segundo é ajustada na abertura da seção de trilha. Esse fenômeno é responsável pela baixa irregularidade das revoluções do cilindro de forma poligonal quando a alimentação é transversal, não uniforme, comparado com o correspondente cilindro circular.

3.2.2.2 Côncavo

3.2.2.2.1 Abertura do Côncavo

ARNOLD e LAKE (1964), comparando o efeito da abertura do côncavo na trilha de trigo com o teor de umidade de 15 a 24 % e com a velocidade tangencial do cilindro de 17,78 a 33 m/s, encontraram que a abertura ótima do côncavo apresenta-se entre 6,35 - 12,7 mm na parte dianteira. Concordando com o estabelecido por Wieneke, citado por KANAFOJSKI (1972), em pesquisa com trigo e cevada, encontrando que, com uma abertura do côncavo na parte dianteira de 8 mm e 4 mm na parte traseira, ocorre a melhor separação de grãos através do côncavo. Porém, a abertura do côncavo deve ser maior na entrada do que na saída, e apropriada a cada tipo de grão. KANAFOJSKI (1972) reportou que quanto menor for a abertura do côncavo, maior é a capacidade de desprendimento dos grãos das espigas, em função de maior energia transferida à camada de material. Também é maior a capacidade de separação dos grãos através dos orifícios do côncavo. Com a menor abertura do côncavo, a camada de material está sujeita a um aumento

na deformação com a mínima capacidade de expansão, ocorrendo maior quebra de grão, sendo confirmado por MAHMOUD e BUCHELE (1975) e NEWBERY et al (1980). Portanto, pode-se concluir que a menor abertura do côncavo promove a trilha dos grãos na parte frontal do côncavo, tendo mais tempo para atravessar a camada de palha e finalmente alcançar a grelha do côncavo. Além disso, uma maior abertura do côncavo na parte frontal, com redução na parte traseira, tende a melhorar as características de alimentação ao cilindro.

FAIRBANKS et al (1979), em estudo de perdas na colheita de sorgo, conduziu testes no campo com uma colhedora Allis Chalmers, com um cilindro de trilha de 49 cm de diâmetro, encontrando que, para um teor de umidade dos grãos de 30,4 % as perdas na trilha são baixas quando a abertura do côncavo na parte dianteira foi de 15,88 mm, associada a uma velocidade tangencial do cilindro de 23,03 m/s, que quando a abertura do côncavo foi mínima de 6,35 mm na parte frontal e velocidade tangencial do cilindro baixa de 16,63 m/s; as perdas na trilha foram 3,26 e 5,67 % da produção de grãos respectivamente. Para o teor de umidade de 20 %, a situação foi inversa; as menores perdas na trilha ocorreram com abertura do côncavo mínima de 6,35 mm na parte dianteira e velocidade tangencial do cilindro baixa de 16,63 m/s, as perdas corresponderam a 1,37 % da produção. Para o teor de umidade dos grãos de 16,1 % as menores perdas na trilha foram de 5,12 % da produção e corresponderam a uma abertura do côncavo de 11,11 mm e velocidade tangencial do cilindro de 19,83 m/s. As perdas totais mais baixas apresentadas pela máquina de 6,32 % ocorreram com uma velocidade tangencial do cilindro de 16,9 m/s e abertura do côncavo de 6,35 mm, quando o teor de umidade foi de 20,4 %; no entanto, nesta posição a quantidade de grãos quebrados foi consideravelmente aumentada. Experimentos implementados posteriormente, com a mesma colhedora mostram uma ótima velocidade tangencial do cilindro de 20,73 m/s e uma vazão de alimentação de palha de 88,4 Kg/min. A abertura do côncavo de 11,11 mm, na parte frontal, julgada como a melhor posição regular ainda que a abertura de 6,35 mm apresentasse as menores perdas de trilha, no entanto nesta posição fechada a quebra dos grãos foi maior, contribuindo também a maiores perdas na peneira de limpeza. Clark, citado por

FAIRBANKS et al (1979), estabeleceu na colheita de sorgo a melhor eficiência na máquina, com alta velocidade tangencial do cilindro e ampla abertura do côncavo para 33 % de teor de umidade dos grãos, e abertura fechada com baixa velocidade tangencial do cilindro para 22 % de teor de umidade dos grãos.

3.2.2.2 Comprimento da Superfície

Um aumento no comprimento da superfície do côncavo, causa um incremento no número de golpes da barra contra a camada de material, durante o deslocamento, através da seção de trilha; conseqüentemente a quantidade de grãos desprendidos das espigas é maior, diminuindo as perdas de grãos apresentadas pelo cilindro, apesar do aumento na quantidade de partículas e fragmentos de material atravessando o côncavo, ao mesmo tempo que o cilindro torna-se mais sensível ao ser coberto com o material de trilha, segundo KANAFOJSKI (1972). Ainda que o aumento no comprimento do côncavo induzisse a maior dano mecânico dos grãos, especialmente com baixo teor de umidade, é necessária uma apropriada redução na velocidade tangencial do cilindro, segundo KEPNER et al (1972). ARNOLD (1964) reportou que um aumento no comprimento do côncavo proporciona uma maior separação de grãos em sua extensão, sendo maior no início e decrescendo rapidamente ao longo de seu comprimento. Entretanto, MAHMOUD e BUCHELE (1975) concluíram que com o aumento no comprimento do côncavo expõe-se os grãos a maior dano mecânico em qualquer teor de umidade dos grãos, encontrando a seguinte equação que determina o dano nos grãos de milho:

$$D_M = 98.2 - 0.046Z - 7.11U + 0.16U^2 - 6.8CC + 0.002RPM(Z) \quad (3.1)$$

Onde:

D_M - Porcentagem de grãos danificados (peso).

Z - Comprimento da superfície do côncavo (polegadas).

U - Teor de umidade (base úmida).

CC - Abertura na parte dianteira do côncavo (polegadas).

RPM - Rotação do cilindro (revoluções por minuto).

A maior influência do comprimento do côncavo é o incremento no tempo de permanência do material de colheita no côncavo, segundo HUYNH et al (1982). Isto dá maior possibilidade de trilha e mais tempo para que os grãos passem através do material e do espaço aberto do côncavo. Além disso, foi determinado que as perdas na trilha decrescem exponencialmente com o incremento no comprimento do côncavo; entretanto, existe uma relação também exponencial para o aumento no comprimento e as perdas de separação através dele. Todavia, Mahmoud, citado por MOFAZZAL e BUCHELE (1978), estabeleceu que o dano mecânico nos grãos de milho, causado pela operação de trilha na secção crescente, foi menor na parte frontal do côncavo e incrementou-se linearmente com o aumento do comprimento do côncavo. NORRIS e WALL (1986) confirmaram um incremento na quantidade de grãos quebrados com o aumento no comprimento do côncavo porque os grãos são submetidos a maior número de impactos. Cooper, citado por NORRIS e WALL (1986), estudou esse efeito na trilha de trigo e cevada, reportando que um incremento no arco do côncavo, de 84° a 105° (correspondente a 25 % de crescimento), aumentou a separação dos grãos através do côncavo em 17 %; entretanto, uma elevação similar de 105° a 135° apresentou um incremento muito pequeno na separação dos grãos, através de côncavo. De qualquer modo, o aumento da eficiência na separação dos grãos foi acentuado em 5 %, empregando uma vazão de alimentação de 333 kg/min.

3.2.2.2.3 Separação de Grão Através do Côncavo.

A melhor separação dos grãos através do côncavo apresenta-se com uma menor abertura do côncavo e maior velocidade tangencial das barras; além de que a porcentagem de separação dos grãos, trilhados por unidade de comprimento do côncavo, é maior na parte frontal e menor na parte traseira, segundo Mahmoud, citado por MOFAZZAL e BUCHELE (1978). Além disso quanto maior for a separação dos grãos através do côncavo, menores serão as perdas totais na colhedora autopropelida, pois as unidades seguintes de separação e limpeza, compostas pelos saca-palhas, peneiras e ventilador, possuem uma eficiência não superior a 90 %, segundo KANAFOJSKI (1972). COOPER (1972), pesquisando trilha de trigo e cevada com um cilindro de 0,56 m de diâmetro e 8 barras, velocidade tangencial de 29,26 m/s; um côncavo de 0,41 m de comprimento, 1,14 m de largura e 8 barras igualmente espaçadas, com abertura na parte dianteira de 8 mm e 3 mm na traseira, e um teor de umidade do grão de 12 a 15 %, encontrou que a separação dos grãos através do côncavo, em porcentagem, está dada pela expressão:

$$Y = 100 - e^{A \cdot BX} \quad (3.2)$$

Onde:

Y - Separação de grãos através do côncavo (%)

X - Vazão de alimentação de material diferente a grãos (palha) em lb/min.

A e B - são constantes resultantes da correlação.

e - Número de Neper

Também observou que a separação foi excelente, com baixa vazão de alimentação, porém, deteriora-se muito rapidamente com o aumento da vazão.

MAHMOUD e BUCHELE (1975) determinaram que os únicos parâmetros que causam variação significativa na separação dos grãos de milho, através dos orifícios do côncavo, são a abertura e o comprimento do côncavo, tanto é que a velocidade tangencial do cilindro e o teor de umidade são estatisticamente insignificantes. Além do que encontrou, para milho, uma média de separação de grãos através dos orifícios do côncavo de 63 %; entretanto outros 26 % foram separados através da extensão do côncavo, posicionada na parte traseira deste. O restante 11 % não foi separado, passando diretamente com a palha sobre os saca-palhas. Entretanto, HUYNH et al (1982), desenvolvendo um modelo matemático para determinar a capacidade de separação de grãos, na própria unidade, estabeleceram que a carência de separação dos grãos ocorre basicamente:

- durante o tempo de duração na área de trilha, os grãos não são completamente desligado da espiga.
- os grãos não chegam a penetrar na camada da palha sobre a superfície do côncavo antes de alcançar a parte traseira do côncavo.
- os grãos não alcançam a área aberta do côncavo durante o tempo permitido. Além disso determinaram, que com o aumento na vazão de alimentação, a maior separação dos grãos ocorre na parte traseira do côncavo, devido o incremento no tempo para os grãos passar através da espessura da camada de material.

3.2.2.2.4 Configuração

Frenzel, citado por KANAFOJSKI (1972), em pesquisas que incluíram a posição inclinada das barras do côncavo, mostrou particular diferença na capacidade de separação de grãos, com um incremento da superfície livre, recomendando a aplicação de possíveis barras e varinhas de aço com diâmetro não superior a 3 mm.

3.2.2.2.5 Área Aberta

NORRIS e WALL (1986), utilizando cinco desenhos de côncavo com variação do espaçamento entre as varinhas e altura das barras do côncavo na trilha de milho com abertura do côncavo na parte dianteira de 25 mm e 16 mm na parte traseira, velocidade tangencial do cilindro de 14,7 m/s e teor de umidade dos grãos de 23,3 %, em base úmida, encontraram que o dano nos grãos pode ser menor e a eficiência de separação dos grãos, através do côncavo, aumentada por meio de algumas mudanças nos parâmetros de desenho do côncavo. Os resultados mostraram que os danos nos grãos decresceram 24 % e a eficiência de separação dos grãos aumentou em 38 %. Entretanto, esse melhoramento é acompanhado por um aumento significativo na quantidade de material diferente aos grãos que passa através do côncavo alcançando e sobrecarregando o sistema de limpeza. Esse resultado foi executado por decréscimo no número de varinhas do côncavo, de 9 a 6, correspondente a um aumento no espaço entre varinhas, de 21 a 30 mm, e aumento na altura das barras do côncavo sobre as varinhas, de 10 a 13 mm.

3.2.3 Alimentação

3.2.3.1 Vazão de Alimentação

LIEN et al (1976), em trilha de milho, tendo como fator principal a vazão de alimentação em função da velocidade de deslocamento da colhedora, reportaram que a vazão afeta principalmente as perdas de separação e limpeza quando a velocidade é alta. Embora uma baixa na velocidade de deslocamento para 1,6 km/h, as perdas na plataforma de corte foram de 25 % do total da produção de grãos e na velocidade ótima de 4,8 km/h, estas foram menores que 1 %. Conseqüentemente, a velocidade de operação da colhedora deve ser apropriada às condições da cultura.

Pesquisando, em colheita de sorgo no campo, com vazão de alimentação como variável principal, através do incremento da velocidade de deslocamento, com uma colhedora Allis Chalmers modelo K, FAIRBANKS et al (1979) encontraram que as peneiras tornaram-se sobrecarregadas quando a vazão de alimentação, através das peneiras é maior de 60 kg/min, já que não apresenta a capacidade para manejar uma quantidade pesada de material a vazões altas. As perdas nas peneiras aumentaram de zero para, aproximadamente, 19 % da produção de grãos, com 50 e 175 kg/min de vazão total respectivamente; além disso as perdas no cilindro e no saca-palhas incrementaram com o aumento da vazão, correspondendo para cada um aproximadamente 5 % do total de produção de grãos, para vazão de 160 - 180 kg/min. Igualmente, em colheita de trigo, WRUBLESKI e SMITH (1980) encontraram que as perdas na trilha, para baixas vazões de alimentação, foram usualmente menores que 1 % da produção total de grãos e, para máximas vazões de alimentação, foram incrementadas a aproximadamente 2 %; já a quebra dos grãos estabeleceu-se em 4 %. Concluindo, as perdas totais aumentaram exponencialmente com o aumento na vazão de alimentação, predominantemente influenciadas pelas perdas nos saca-palhas. Entretanto, o aumento na vazão de alimentação fez diminuir a quantidade de grãos separados no côncavo e aumentar as perdas de grãos na trilha, segundo ARNOLD e LAKE (1964); KANAFOJSKI (1972), HUYNH et al (1982). Além disso, o dano nos grãos diminui com o aumento na vazão, pelo aumento da espessura da camada, protegendo-os contra os golpes das barras, segundo KANAFOJSKI (1972).

3.2.3.2 Velocidade de Alimentação

A quantidade de dano nos grãos é dependente da velocidade de alimentação do material, sendo maior quando a velocidade é alta, devido à conseqüente redução na espessura da camada na seção convergente da trilha, sendo verificado por KANAFOJSKI (1972), em trilha de trigo, indicando, além disso, que a quantidade de grãos separados através dos orifícios do côncavo é

praticamente independente da velocidade com que o material é entregue dentro da abertura da seção de trilha. No entanto, as pesquisas concordam que quanto maior a velocidade de entrega do material à unidade de trilha, maior será a eficiência de trilha pelo aumento da quantidade de grãos desligados das espigas, embora também será maior a quebra de grãos, segundo ARNOLD e LAKE (1964).

Baader, citado por KANAFOJSKI (1972), introduzindo a noção de aplicação radial da camada (Δr), que representa o comprimento da seção de material, medida na direção do raio durante a entrega da camada móvel entre dois sucessivos golpes das barras. Δr caracteriza a capacidade de agarre e, conseqüentemente a quantidade de material arrancado dentro da abertura frontal do côncavo na unidade de tempo, encontrou que o agarre incrementa-se com o aumento da velocidade do condutor longitudinal (alimentador) para uma espessura da camada constante transmitida pelo condutor longitudinal, com o aumento do intervalo entre as barras e com o incremento do raio do cilindro. Além do que, com um valor muito baixo da velocidade tangencial do cilindro, incrementa-se o comprimento da seção, e o volume do material pode alcançar uma redução na quantidade de grãos trilhados das espigas. O autor também encontrou que a capacidade de agarre é afetada pela forma das barras do cilindro. Experimentou que o perfil com superfície entalhada favorece a trilha das espigas, além do que se incrementa o efeito da retardação das barras, conjuntamente com a redução da capacidade de agarre.

A velocidade de deslocamento dos grãos, através da seção convergente de trilha, tem sido investigada por numerosos pesquisadores empregando diferentes métodos e medidas. Assim, Schulze, citado por KANAFOJSKI (1972), trabalhando em trilha de trigo com as seguintes características: de 84 a 87 % de matéria seca, relação grãos/palha em peso de 0,7, abertura do côncavo de 18 e 3 mm na parte frontal e traseira, respectivamente, velocidade do condutor longitudinal de 3 m/s, velocidade tangencial do cilindro de 30 m/s, uma eficiência de trilha ou rendimento de grãos trilhados de 3 kg/s, mostrou que a velocidade média de deslocamento do

material, na parte traseira do côncavo, foi de 4,8 m/s; entanto que com um rendimento de grãos trilhados de 5,5 kg/s, a velocidade média de deslocamento do material na parte traseira do côncavo foi de 6,7 m/s. Resultados similares, com características também similares, foram obtidos em trigo por Pustygin e Sakun, citados igualmente por KANAFOJSKI (1972). No entanto, Kenin, citado pelo mesmo autor, com características similares na colheita de trigo, reportou para uma velocidade inicial na entrada de 6 m/s, uma velocidade na saída cerca de 24 m/s, um valor aparentemente alto, segundo os dados de outros pesquisadores.

Uma vez mais KANAFOJSKI (1972) estabeleceu que a velocidade da massa vegetal vegetal, na seção de trilha, varia em torno de 30 % da velocidade tangencial do cilindro de barras e 70 % quando é de dentes. Entretanto, HUYNH et al (1982) determinaram que a velocidade média de deslocamento do material, na seção de trilha V_s , é assumida pela seguinte equação:

$$V_s = \frac{(K_f * V_o + K_r * VC)}{2} \quad (\text{m/s}) \quad (3.3)$$

Onde K_f e K_r são os fatores de deslizamento para o condutor longitudinal e as barras do cilindro, respectivamente. Para trigo encontrou que são iguais a 0,4. V_o e VC são as velocidades do condutor longitudinal e tangencial das barras do cilindro, respectivamente em (m/s).

3.2.3.3 Posição de Entrega do Material

MAHMOUD e BUCHELE (1975), utilizando três orientações iniciais de alimentação dos sabugos de milho, dentro do cilindro da colhedora, assim como: o eixo do sabugo perpendicular ao eixo do cilindro, paralelo ao eixo do cilindro e o sabugo entrando em posições aleatórias, encontraram que o dano nos grãos a diferentes teores de umidade foi menor na orientação

paralela ao eixo do cilindro, seguida pela orientação aleatória e o maior dano foi sofrido pelos sabugos alimentados perpendicularmente. O menor dano para todas as orientações foi entre 20 e 22 % do teor de umidade. O maior nível de dano ocorrido na alimentação perpendicular, continuam MAHMOUD e BUCHELE (1975), pode ser atribuído ao impacto da força atuando em uma área menor do que quando é alimentado paralelamente ao eixo do cilindro, ou que a resistência dos grãos pode ser maior em uma direção que em outra. De qualquer maneira, os sucessivos impactos e a angularidade das ranhuras da barra tendem a girar as espigas, alcançando a posição paralela, relativamente perto da entrada do côncavo. Reportaram também que quando a espiga é colocada aleatoriamente, muda mais rapidamente para a posição paralela, do que quando entra perpendicularmente. KANAFOJSKI (1972) provou igualmente que o melhor efeito é alcançado com alimentação paralela ao eixo de cilindro, encontrando maior quantidade de grãos trilhados e separados.

Braudini, citado por MAHMOUD e BUCHELE (1975), mostrou que o impacto de trilha individual nos grãos do sabugo é do tipo pendular. Notou que a aplicação da força não tem efeito na magnitude da força requerida para desprender os grãos. Arnold, ainda citado por MAHMOUD e BUCHELE (1975), reportou que a direção em que as espigas de trigo alimentam o cilindro tem efeito significativo no requerimento de potência para a trilha, concluindo que a alimentação paralela ao eixo de cilindro, requeriam menos potência. ARNOLD e LAKE (1964) reportaram, em trilha de trigo, que a alimentação perpendicular requer mais potência para sua trilha.

3.2.4 Dano mecânico dos grãos

Um problema na produção e manejo de grãos, têm sido o dano mecânico durante a colheita e subsequente manejo, sendo que o principal dano apresenta-se no processo de trilha quando o grão é forçado através de folgas fixas ou excessiva força quando é submetido a impacto. Nas

propriedades mecânicas de materiais viscoelásticos, a deformação depende de cada propriedade do material, podendo mudar como uma função da relação de carga a que é submetido sob condições de campo. Investigações para produtos agrícolas tem apresentado que estes materiais podem exibir relações críticas de carga através de fatores como a variedade dos grãos, grau de maturidade, teor de umidade, temperatura, composição química, além de características de desenho e operação de máquinas que submetem os grãos a certa força de impacto ou compressão, segundo MOHSENIN (1986).

O efeito de diferentes combinações de velocidade tangencial do cilindro e aberturas do côncavo no dano mecânico do trigo e ervilha na operação de trilha foi registrado por King e Riddolls, citados por MOHSENIN (1986), concluindo que quando os grãos são coletados a baixos teores de umidade, dano visível e invisível pode ser feito com altas velocidades tangenciais do cilindro; entanto que uma menor abertura do côncavo, apresenta pouco efeito na quebra de grãos; porem, recomenda que o dano pode ser reduzido ao mínimo com baixa velocidade tangencial do cilindro, obtendo o grau de trilha pelo ajuste da abertura do côncavo. Portanto, a baixos teores de umidade dos grãos e incrementada a velocidade de impacto, aumenta o dano visível devido à fragilidade dos grãos, entanto que a adição de umidade aos grãos os habilita a suportar maior energia mecânica, antes da falha

Em trilha de grãos, outro fator a ser considerado, é o tipo de força a que os grãos são submetidos. O principal tipo de força na trilha é o impacto e a compressão. Ao respeito, ZOERB e HALL (1960) estabeleceram que os grãos de milho com altos teores de umidade, requerem de maior energia para a quebra que os grãos com baixa umidade; a alta umidade, os grãos podem tomar mais energia, sendo mais resistente à deformação. igualmente encontraram que os grãos com baixos teores de umidade, requerem menos energia de ruptura sob impacto que para a compressão, entanto que para altos teores de umidade, os grãos requerem mais energia para a ruptura através do impacto que para a compressão. Bilanski, citado igualmente por MOHSENIN

(1986), tentando expressar a energia de ruptura e o dano em grãos em termos de impacto e energia, deixando cair repentinamente de grão em grão através de um caminho rotativo, girando a velocidades similares à de rotação do cilindro de trilha, encontrou que a energia transferida aos grãos é dada pela equação:

$$K_E = \frac{1}{2} m(r\omega)^2 \quad (3.4)$$

Onde:

K_E - Energia transferida aos grãos (J)

m - Massa do grão (kg).

r - Distância entre o centro de rotação e o ponto de impacto do grão (m).

ω - Velocidade angular (rad/s).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização

Os dados de campo para esta pesquisa foram coletados durante o período de 3 a 15 de janeiro de 1993, na fazenda As Mercedes, localizada perto da cidade de Riohacha, capital do estado da Guajira na Colômbia. Geograficamente, este município fica na parte norte da costa colombiana, ao nível do mar, com latitude norte de 11° 33' 25" e longitude oeste de 72° 55' 04". Suas características climatológicas segundo o Instituto de Hidrologia Meteorologia e Adequação de Terras "HIMAT" (1993) são:

Umidade relativa média mensal de 73 %.

Precipitação média anual de 533,2 mm.

Temperatura média mensal de 28,2 °C.

Evaporação média mensal de 193,53 mm.

Brilho solar médio mensal de 224,7 h.

Velocidade média mensal do vento de 4,9 m/s.

Os solos da unidade experimental, segundo o Instituto Geográfico AGUSTIN CODAZZI (1988), pertencem à classe *Dibulla*, caracterizada por apresentar uma altura média de 25 metros sobre o nível do mar, uma topografia ligeiramente ondulada, com pendentes de 3 - 7 %, textura franco arenosa a franco argila arenosa, profundidade efetiva do solo de superficial a muito

superficial e uma erosão moderada. Esses solos caracterizam-se por serem bem drenados, fortemente ácidos e com presença de sais.

4.2 Material vegetal

Uma área de 600 hectares, completamente plana, foi plantada com sorgo FUNK'S HW 1758, identificando-se esse material por apresentar uma altura da planta de 1,2 - 1,5 metros, uma inserção da espiga de 10 cm, do tipo aberta, com um tamanho de 20 cm, e seu período vegetativo de 110 dias, segundo a CIBA GEIGY (1990). A cultura apresentava-se em estado ereto, completamente limpa de ervas daninhas e uma densidade aproximada de 275.000 plantas por hectare.

4.3 Equipamento

4.3.1 Levantamento de dados

O equipamento utilizado para a realização do trabalho de campo foi:

- - Balança de precisão, marca METTLER PC 2000, com faixa de leitura de 0 a 2000 gramas e precisão de $\pm 0,01$ gramas.
- - Determinador de umidade da marca BURROWS 700 com precisão de $\pm 0,1$ %.
- - Determinador de umidade digital da marca JOHN DEERE TY15710, com precisão de $\pm 0,1$ %.
- - Cronômetro marca CITIZEN.
- - Fita métrica de 20 metros.
- - Aspirador de impurezas marca BATES 548.
- - Peneiras triangulares de 1,98 mm.

- - Quadros de madeira de 0,4 m de largura, 1,03 m de comprimento e 0,1 m de altura.
- - Saquinhos plásticos.
- - Tacômetro mecânico da marca RECORD com faixa de leitura de 0 a 3600 rpm.
- - Uma colhedora autopropelida com cilindro e côncavo de barras e sistema de colheita em sacos,

com as seguintes características técnicas:

- Marca: ZMAJ fabricada na IUGUSLÁVIA.
- Modelo: 142
- Peso: 6250 kilogramas
- Potência: 74,6 kW
- Faixa de velocidade de avanço: 1,36 a 16,4 km/h

- Plataforma segadora:
Largura: 4,27 m.
Velocidade do sem-fim alimentador: 180 rpm e passo da rosca de 0,48 m

- Molinete de 5 barras com dentes de aço diâmetro de 1,06 metro, com faixa de velocidades de 18 - 41 rpm. (1,00 - 2,28 m/s).

- Alimentador: com velocidade do condutor longitudinal de 1,51 m/s.

- Cilindro
Número de barras: 8
Diâmetro: 0.6 m
Largura: 1 m
Faixa de velocidades: 600 - 1100 rpm (18,85 - 34,56 m/s)

- Côncavo

Comprimento: 0,6 m

Largura: 1,02 m

Ângulo de cobertura: 112°

Barras transversais: 14, com espessura de 8 mm, largura de 995 mm e comprimento de 41 mm.

Número de barras longitudinais: nos lados direito e esquerdo apresenta uma barra de 12 mm de largura, 600 mm de comprimento e 60 mm de altura. Na parte central há 5 barras igualmente espaçadas cada 166 mm, de 15 mm de largura, 600 mm de comprimento e 60 mm de altura.

Tanto as barras transversais quanto as longitudinais encontram-se no mesmo nível.

Área fechada: 0,164 m²

Área aberta: 0,448 m²

Área total: 0,612 m²

Área da extensão: 0,357 m² (pente traseiro de 0,35 m. de largura e 1,02 m de comprimento).

O côncavo padrão apresenta, na direção longitudinal, 60 barras circulares de aço de 2 mm de diâmetro, espaçadas cada 15 mm e posicionadas a 10 mm de profundidade, sendo preciso retirá-las para a colheita de sorgo

- Batedor

Tipo: cilíndrico com diâmetro de 0,25 m.

Velocidade: 850 rpm

Número de pás: 4

Saca-palhas

Tipo: de fundo fechado

Número: 4

Largura: 1,03 m

Comprimento: 3,54 m

Área total de separação: 3,9 m²

Velocidade do eixo: 210 rpm

Ângulo de inclinação: 15°

Raio da manivela: 10 cm

- Peneiras

Tipo: ajustáveis

Área da peneira superior: 1,05 m²

Área da peneira inferior: 1,05 m²

Área da extensão da peneira superior: 0,43 m²

Velocidade do eixo: 316 rpm

- Ventilador

Tipo: persiana com 6 palhetas

Velocidade: fixas de 910 e 985 rpm

O equipamento utilizado no trabalho de laboratório foi:

- - Balança analítica da marca SARTÓRIUS, modelo 2472, com aproximação de 0,0001 gramas.
- - Estufa de ar forçado, FABBE modelo 170.
- - Máquina universal de teste "Ottawa Texture Measurement System" e célula de carga de 50 Kgf.
- - Paquímetro.
- - Sistema de aquisição de dados ISAAC 91A, com Microcomputador APPLE.

4.3.2 Análise de dados

Microcomputador 386

Pacote estatístico SANEST

4.4 Metodologia

4.4.1 Delineamento Experimental

O objetivo geral foi determinar, no campo, as perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de barras da colhedora autopropelida, junto ao índice de grãos quebrados, em função dos seguintes fatores: teor de umidade dos grãos (base úmida), velocidade tangencial do cilindro e abertura do côncavo; cada um desses fatores com três níveis e cinco repetições. Os valores escolhidos para o experimento são apresentados no quadro 2.

Quadro 2 - Fatores e níveis examinados.

FATORES	NÍVEIS		
	1	2	3
Teor de umidade (U) %B U	24,1	19,6	15,9
Abertura côncavo (CC) mm	6	12	18
Velocidade tangencial do cilindro (VC) m/s	20,42	25,13	29,85

As velocidades tangenciais do cilindro correspondem a 650, 800 e 950 rpm respectivamente. Foi adotado um delineamento inteiramente casualizado fatorial 3^3 (27 tratamentos) com 5 repetições para um total de 135 observações, sendo possível realizar todas as combinações entre os fatores nos seus diferentes níveis. Os teores de umidade foram escolhidos, tendo em conta um valor central próximo a 20 %, onde se apresentam as menores perdas de grãos no cilindro de trilha, segundo pesquisas realizadas por FAIRBANKS et al (1979); um valor superior e outro valor inferior de umidade onde pode ser possível a colheita da cultura de sorgo. De maneira semelhante, para a velocidade tangencial do cilindro e abertura do côncavo foram escolhidos valores médios, onde se apresentam as menores perdas de grãos no cilindro de trilha, segundo FAIRBANKS et al (1979) e recomendações dos fabricantes de colhedoras, referentes a ajustes para a colheita de sorgo; igualmente, de um valor superior e inferior tanto para a velocidade do cilindro como para a abertura do côncavo.

Para cada um dos teores de umidade determinar-se as perdas apresentadas pelo cilindro de trilha, além do índice de grãos quebrados para as diferentes combinações dos fatores e seus níveis, com uma vazão de alimentação fixa, correspondente à velocidade de avanço da colhedora de 4,5 km/h, julgada como a melhor em condições normais da cultura de sorgo. Cada uma das possíveis combinações dos níveis dos fatores foi identificada com um número de tratamento, segundo o quadro 3. Cada observação foi atribuída a uma unidade experimental através do princípio de casualização, segundo as figuras 2, 3 e 4. Cada unidade experimental apresentou um comprimento de 30 metros e uma largura de 4 metros, correspondente a 10 linhas coletadas pela plataforma segadora, para uma área de 120 m². As unidades experimentais foram distribuídas de tal forma que ficaram 5 unidades no sentido da linha de plantação (avanço da colhedora) e 9 unidades no sentido transversal, para o total de 45 unidades, com uma área total de 5400 m² para cada teor de umidade. Previamente foi isolada a parcela com as dimensões totais de 150 m de comprimento por 36 m de largura e realizados três passes de corte ao redor, para melhor a manipulação da colhedora nos extremos da parcela.

9 - 1	5 - 1	6 - 2	7 - 2	8 - 3	1 - 3	5 - 4	8 - 5	7 - 5
4 - 1	7 - 1	2 - 2	1 - 2	3 - 3	6 - 3	2 - 4	6 - 4	1 - 5
8 - 1	1 - 1	9 - 3	9 - 4	5 - 3	4 - 3	9 - 5	2 - 5	4 - 5
2 - 1	9 - 2	4 - 2	3 - 2	2 - 3	8 - 4	1 - 4	5 - 5	6 - 5
6 - 1	3 - 1	8 - 2	2 - 1	9 - 2	4 - 2	3 - 2	2 - 3	8 - 4

Figura 2 - Distribuição das unidades experimentais para o teor de umidade dos grãos de 24,1%

18 - 1	18 - 2	13 - 1	16 - 3	18 - 4	14 - 4	13 - 4	17 - 4	15 - 5
12 - 1	11 - 1	18 - 3	12 - 3	13 - 2	11 - 3	15 - 3	12 - 5	10 - 5
16 - 1	14 - 2	10 - 2	15 - 2	10 - 3	17 - 3	12 - 4	14 - 5	13 - 5
14 - 1	12 - 2	16 - 2	17 - 2	16 - 4	13 - 3	18 - 5	11 - 4	11 - 5
10 - 1	17 - 1	15 - 1	11 - 2	14 - 3	16 - 5	10 - 4	15 - 4	17 - 5

Figura 3 - Distribuição das unidades experimentais para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %

20 - 1	24 - 1	23 - 2	19 - 2	20 - 3	22 - 3	23 - 4	20 - 5	21 - 5
25 - 1	19 - 1	22 - 1	24 - 2	25 - 3	21 - 4	19 - 4	24 - 4	25 - 5
23 - 1	27 - 1	26 - 2	21 - 3	22 - 2	24 - 3	25 - 4	22 - 5	19 - 5
21 - 1	21 - 2	20 - 2	27 - 3	19 - 3	20 - 4	22 - 4	23 - 5	24 - 5
26 - 1	25 - 2	27 - 2	23 - 3	26 - 3	27 - 4	26 - 4	27 - 5	26 - 5

Figura 4 - Distribuição das unidades experimentais para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %

Quadro 3 - Tratamentos e níveis das variáveis envolvidas.

Velocidade do cilindro		Abertura do côncavo		Tratamento	Repetições
Umidade dos grãos de 24,1 %					
VC1	20,42 m/s	CC1	6 mm	1	5
		CC2	12 mm	2	5
		CC3	18 mm	3	5
VC2	25,13 m/s	CC1	6 mm	4	5
		CC2	12 mm	5	5
		CC3	18 mm	6	5
VC3	29,85 m/s	CC1	6 mm	7	5
		CC2	12 mm	8	5
		CC3	18 mm	9	5
Umidade dos grãos de 19,6 %					
VC1	20,42 m/s	CC1	6 mm	10	5
		CC2	12 mm	11	5
		CC3	18 mm	12	5
VC2	25,13 m/s	CC1	6 mm	13	5
		CC2	12 mm	14	5
		CC3	18 mm	15	5
VC3	29,85 m/s	CC1	6 mm	16	5
		CC2	12 mm	17	5
		CC3	18 mm	18	5
Umidade dos grãos de 15,9 %					
VC1	20,42 m/s	CC1	6 mm	19	5
		CC2	12 mm	20	5
		CC3	18 mm	21	5
VC2	25,13 m/s	CC1	6 mm	22	5
		CC2	12 mm	23	5
		CC3	18 mm	24	5
VC3	29,85 m/s	CC1	6 mm	25	5
		CC2	12 mm	26	5
		CC3	18 mm	27	5
TOTAL				27	135

4.4.2 Ajuste da Velocidade Tangencial do Cilindro e Abertura do Côncavo

A velocidade tangencial do cilindro, para cada tratamento, foi regulada manualmente ajustando o controle mecânico do variador de velocidade do cilindro, posicionado no lado direito da colhedora e sobre o eixo do mesmo, ajustando o tacômetro da máquina para cada velocidade desejada e verificada através de um tacômetro mecânico, colocado no extremo do eixo do cilindro de trilha. A abertura do côncavo foi ajustada pela avalanche situada na plataforma de operação, que tem como função subir ou descer o côncavo. Os parafusos que sustentam o côncavo, na parte traseira, foram regulados para atingirem, aproximadamente, somente a metade da abertura frontal.

4.4.3 Determinação da Vazão de Alimentação

Inicialmente, no campo plantado com sorgo, já em condições de trabalho, foi ajustada a velocidade de avanço da colhedora por meio da avalanche do variador de velocidade, até que o velocímetro marcasse 4,5 km/h, sendo verificada através do tempo gasto para percorrer uma distância de 20 metros previamente delimitada, segundo a equação:

$$D_A = \frac{V_A}{T_G} \quad (\text{m/s}) \quad (4.1)$$

Onde:

V_A - Velocidade de avanço da colhedora (m/s).

D_A - Distância de avanço da colhedora para o teste (m).

T_G - Tempo gasto para percorrer a distância para o teste (s).

Para o experimento em questão, a distância foi de 20 metros e o tempo empregado de 16 segundos, resultando uma velocidade de avanço da colhedora de aproximadamente 1,25 m/s (4,5 km/h).

Posteriormente, pela amostragem em dez lugares representativos foi determinada a média do número de plantas, por metro linear, na fileira plantada com sorgo. Além disso, em dez lugares representativos coletou-se uma respectiva planta a uma altura igual à altura de corte realizada pela plataforma segadora da colhedora; os grãos foram colhidos manualmente das espigas, depositados em saquinhos plásticos e determinado seu peso, além do peso da palha, permitindo determinar o peso do conjunto grãos - palha e a relação em peso de grãos/palha. A vazão de alimentação total é determinada pela seguinte equação:

$$Q = N_L N_P P_P V_A \quad (\text{kg/s}) \quad (4.2)$$

Onde:

Q - Vazão total de alimentação através da colhedora (kg/s).

N_L - Número de linhas alimentando a plataforma segadora da colhedora.

N_P - Média do número de plantas por metro linear (plantas/m).

P_P - Peso médio por planta cortada pela plataforma segadora da colhedora (kg/planta).

V_A - Velocidade de avanço da colhedora (m/s).

A vazão de alimentação foi determinada para cada teor de umidade dos grãos em que foram feitos os testes.

4.4.4 Determinação das Perdas de Grãos no Cilindro Trilhador

Os testes de campo para determinar as perdas dos grãos, apresentadas pelo cilindro trilhador correspondentes aos tratamentos para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %, foram desenvolvidos no dia 7 de janeiro de 1993 da seguinte maneira: Inicialmente foi isolada uma parcela com as dimensões totais de 150 m de comprimento, na direção da linha de plantação (direção de avanço da colhedora), correspondente a 5 unidades experimentais, cada uma com um comprimento de 30 m; uma largura no sentido transversal de 36 m, correspondente a 9 unidades experimentais, cada uma com largura de 4 m (10 linhas). Esse isolamento da parcela, obteve-se através de três passes de corte ao redor da parcela total, melhorando assim a manipulação da colhedora nos extremos da parcela. Seguidamente foram delimitados os 30 m de comprimento no sentido longitudinal de cada uma das unidades experimentais; entretanto, no sentido transversal, a delimitação correspondeu a 10 sulcos, que foi o número de sulcos coletados pela plataforma segadora.

Previamente foram ajustados os sistemas de corte e alimentação, limpeza, separação e manejo dos grãos para as condições da cultura de sorgo. A continuação posicionou-se a colhedora na parte inicial da unidade experimental, correspondente ao tratamento 6-1 (tratamento 6, repetição 1), sendo realizados os ajustes correspondentes ao tratamento 6. Isto é, velocidade tangencial do cilindro (V_2) de 25,13 m/s (800 rpm) e abertura do côncavo (CC3) de 18 mm. Verificados esses ajustes, a colhedora em operação avançou 25 m antes de coletar a amostra, para assegurar uma operação sob regime. Nesse ponto, e em completa marcha da máquina, foi colocada no solo, exatamente na parte traseira da colhedora, uma caixa de madeira com as seguintes dimensões: largura 1,03 m (igual à largura da parte traseira da colhedora), 0,40 m de comprimento e 0,1 m de altura, para recolher o material liberado pelos saca-palhas e pedaços de espiga e impurezas, efluindo também das peneiras; sendo depositado logo em um saquinho plástico, devidamente identificado com o número do tratamento e repetição. Posteriormente, tendo

a colhedora alcançado os 30 m correspondentes ao comprimento da primeira parcela foi parada a marcha e realizados os ajustes correspondentes à seguinte unidade experimental. Esso é o tratamento 2-1 (tratamento 2 repetição 1), sendo realizados os ajustes correspondentes ao tratamento 2. Isto é, velocidade tangencial do cilindro (V_1) de 20,42 m/s (650 rpm) e abertura do côncavo (CC2) de 12 mm. Verificados esses ajustes, a colhedora avançou aproximadamente os mesmos 25 m, onde colocou-se novamente outro quadro de madeira, com idênticas dimensões no solo e exatamente na parte traseira da colhedora, coletando o material liberado pelos saca-palhas e pedaços de espiga e impurezas efluindo das peneiras, sendo depositados novamente em outro saquinho plástico identificado com o número do tratamento e repetição.

Assim sucessivamente, a uma velocidade de avanço da colhedora de 4,5 km/h, repetiu-se o processo até completar as 45 unidades experimentais correspondentes ao teor de umidade dos grãos de 24,1 %.

Do material coletado em cada caixa de madeira, com área de 0,412 m², foram separados manualmente os grãos remanescentes nas espigas e fragmentos de espiga que efluíram dos saca-palhas e peneiras, sem ter em conta os grãos livres. Os grãos correspondentes às perdas apresentadas pelo cilindro de trilha foram pesados para serem transformados em kg/ha e em porcentagem (%) da produção de grãos. É de ter em conta que a palha e os grãos remanescentes, coletados na parte traseira da máquina, provêm de toda a largura da plataforma de corte da colhedora (W_1).

Finalmente, as perdas apresentadas pelo cilindro de trilha são dadas pela seguinte equação:

$$P = 25000 \frac{W_{GD}}{W_1} \quad (\text{kg/ha}) \quad (4.3)$$

Onde:

P - Perdas de grãos apresentadas pelo cilindro de trilha (kg/ha).

W_{GD} - Peso dos grãos separados das espigas e resíduos de espiga recolhidos na caixa de madeira (kg).

$W1$ - Largura de corte da plataforma segadora (m).

Os testes correspondentes aos teores de umidade dos grãos de 19,6 % e 15,9 %, foram realizados de maneira similar durante os dias 9 e 13 de Janeiro de 1993 respectivamente. Em todos os casos os testes foram desenvolvidos no horário compreendido entre às 10 e 15 horas, a fim de minimizar a variação de umidade devido à condensação de água.

As dimensões da caixa de madeira foram escolhidas por conveniência, já que não existe uma norma de padronização dessas medidas. Segundo QUICK e BUCHELE (1974), por comodidade, recomendam construir caixas com área equivalente a 1/10000 de acre (0,4064 m²), facilitando expressar tanto a produção como as perdas de grãos, já que nos Estados Unidos adota-se como unidade de medida, o Bushel/acre.

4.4.5 Determinação do Dano Mecânico dos Grãos

Paralelamente a cada observação coletou-se, em sacos plásticos, uma amostra de grãos de aproximadamente 150 gramas, diretamente da descarga dos grãos do sistema de ensacamento, plenamente identificada e, em forma separada foi exposta à radiação solar, sobre um pátio de cimento, até alcançar um teor de umidade dos grãos próximo a 15 % (b u). Posteriormente, no laboratório de Engenharia Agrícola da Universidade Nacional de Colômbia em Bogotá, foram processadas as amostras para a determinação da porcentagem de grãos quebrados da seguinte maneira:

Inicialmente, em forma manual, foram separadas as impurezas maiores, para seguida, retirar os materiais leves através do aspirador de impurezas, previamente calibrada a velocidade de queda dos grãos e a passagem do ar pela massa de grãos para as condições das amostras. A amostra limpa foi pesada seguidamente, através de uma peneira de orifícios triangulares de 1,98 mm, diante 30 oscilações foram retirados os grãos quebrados, Segundo GAVIRIA (1989); essas frações de grãos que atravessaram a peneira, foram pesados e o resultado transformado em porcentagem da produção de grãos em base a peso, segundo a seguinte relação:

$$G_Q = 100 \frac{W_{GQ}}{W_{AL}} \quad (\%) \quad (4.4)$$

Onde

G_Q - Grãos quebrados (% de peso).

W_{GQ} - Peso das frações de grãos que atravessaram a peneira (g).

W_{AL} - Peso inicial da amostra limpa (g).

4.4.6 Determinação da Produção de Grãos

A determinação da produção de grãos de sorgo foi realizada para cada teor de umidade, fazendo a colheita com a colhedora em um comprimento de 100 metros com uma largura de 4 metros (igual à largura da plataforma segadora), para uma área de 400 m². Para a determinação da produção de grãos utilizou-se, na colhedora, velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s e abertura do côncavo de 12 mm. Os grãos coletados nesta área foram pesados e transformados em kg/ha, através da seguinte equação:

$$R_N = 100 \frac{P_E}{W_l} \quad (\text{kg/ha}) \quad (4.5)$$

Onde:

R_N - Rendimento líquido de grãos (kg/ha).

P_E - Peso dos grãos coletados na área de 400 m² (kg).

W_1 - Largura da plataforma segadora. Neste caso é igual a 4 m; portanto, a equação anterior é transformada a:

$$R_N = 25 P_E \quad (\text{kg/ha}) \quad (4.6)$$

Além disso, para cada teor de umidade dos grãos, foram avaliadas as perdas apresentadas pela plataforma segadora e os sistemas de limpeza e separação da colhedora; foram consideradas constantes para todos os testes do respectivo teor de umidade, sendo adicionadas ao rendimento líquido.

$$R = R_N + P_{PS} + P_{SL} \quad (\text{kg/ha}) \quad (4.7)$$

Onde:

R - Rendimento de grãos (kg/ha) (sem adicionar as perdas de trilha).

R_N - Rendimento líquido de grãos (kg/ha).

P_{PS} - Perdas de grãos através da plataforma segadora (kg/ha).

P_{SL} - Perdas de grãos através dos sistemas de separação e limpeza (kg/ha).

As perdas da plataforma segadora foram estimadas em um lugar onde já havia passado a plataforma segadora da colhedora e não tenha caído palha da parte traseira da máquina. Isto obtém-se fazendo retroceder a colhedora a uma distância de 7 m, aproximadamente o comprimento total da colhedora, segundo CHAPARRO (1990). Na parte frontal da máquina, onde retrocedeu, colocou-se um quadrado de madeira de 0,5 m de lado (área de 0,25 m²), em quatro lugares diferentes. Coletou-se os grãos soltos no solo e separou-se os grãos dos pedaços de

espiga, lançados ao solo pela plataforma segadora. Pesou-se os grãos coletados nos quatro lugares diferentes para, em seguida, calcular a média de peso dos grãos coletados no quadro de madeira. As perdas da plataforma segadora foram avaliadas através da seguinte equação segundo CHAPARR (1990):

$$P_{PS} = 40000(W_P - W_N) \quad (\text{kg/ha}) \quad (4.8)$$

Onde:

P_{PS} - Perdas de grãos na plataforma segadora (kg/ha).

W_P - Peso média de grãos coletados na área de 0,25 m² (kg).

W_N - Peso médio de grãos coletados na área de 0,25 m², correspondente a ações naturais (kg).

Para a investigação em questão, não se apresentou grãos soltos devido a ações naturais; portanto, estas perdas de pre-colheita foram consideradas nulas simplificando-se a equação anterior a:

$$P_{PS} = 40000 * W_P \quad (\text{kg/ha}) \quad (4.9)$$

As perdas de separação e limpeza, semelhantes às da trilha, são avaliadas no material que flui pela parte traseira da colhedora, considerando que a palha e os grãos livres são provenientes de toda a largura da plataforma segadora. Para o cálculo das perdas de separação e limpeza foram pesados os grãos livres que saíram pelo saca-palhas e peneiras, ficando no mesmo quadrado utilizado para coletar as perdas de trilha. As perdas de limpeza e separação foram avaliadas segundo a equação:

$$P_{SL} = \frac{25000 \cdot W_{SP}}{W_1} \quad (\text{kg/ha}) \quad (4.10)$$

Onde:

P_{SL} - Perdas de grãos apresentadas pelos saca-palhas e peneiras (kg/ha).

W_{SP} - Peso dos grãos livres coletados no quadro de madeira de 0,4 m de comprimento, 1,03 m de largura e 0,1 m de altura (kg).

W_1 - Largura da plataforma segadora, 4 m.

4.4.7 Ensaio de Compressão

Foram realizados testes de compressão uniaxial, até alcançar a ruptura de grãos individuais de sorgo no Laboratório de Propriedades Mecânicas dos Materiais Biológicos da Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI da UNICAMP, durante os dias 18 de outubro, 3, 11 e 17 de novembro para os grãos de sorgo com teores de umidade de 10,98, 14,94, 19,94 e 24,85 % (U1, U2, U3 e U4) respectivamente, com os anteriores teores de umidade dos grãos, sendo obtidos os níveis superiores de umidade através de reumidificação dos grãos. Utilizando nos testes correspondentes a cada teor de umidade, velocidades (taxas) de deformação de 0,22, 0,55 e 0,87 mm/s (V1, V2 e V3) respectivamente, com número de repetições variando de 10 a 15 para cada uma das combinações entre os níveis de umidade e taxa de deformação. Cada grão de sorgo com seus três diâmetros estabelecidos foi colocado na máquina universal de testes "Ottawa Texture Measurement System", com célula de carga de 50 kg, comprimido entre placas de aço planas e paralelas. Através de um sistema de aquisição de dados, previamente calibrado para registrar a força de 0 a 12 kgf, foi registrada a força de deformação cada 0,04 segundos (25 leituras por segundo). Conhecida a velocidade de deformação, foi determinada a deformação correspondente a cada força registrada; podendo assim para cada uma das repetições das diferentes combinações teor de umidade e velocidade, construir uma curva de Força x Deformação (F x D) com o objetivo de obter o módulo de Young (módulo de elasticidade). O módulo de elasticidade foi calculado segundo a norma ASAE S368.2, para as condições específicas de

compressão de grãos entre placas planas e paralelas. Este módulo é dado pela seguinte equação baseada na teoria de contato de Hertz:

$$E = \frac{0.531F(1-\mu^2)}{D^{\frac{3}{2}}} \left[\left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} \right]^{\frac{1}{3}} + \left[\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2'} \right]^{\frac{1}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (4.11)$$

Onde:

E - Módulo de elasticidade (Pa).

F - Força de deformação na faixa elástica (linear) (N).

D - Deformação correspondente à força (m).

μ - Coeficiente de Poisson.

R_1, R_1' - Raios de curvatura do material convexo nos pontos de contacto. (m).

R_2, R_2' - Raios de curvatura das placas de contacto (m).

$$R_1 = \frac{H}{2}$$

$$R_1' = \frac{H^2 + \frac{L^2}{4}}{2H}$$

H e L correspondem ao menor e maior diâmetro respectivamente.

Como a superfície de compressão do grão é aproximadamente esférica e o plano de contato paralelo, tem-se que ($R_2 = R_2' = \infty$), conseqüentemente ($R_2^{-1} = (R_2')^{-1} = 0$). Para o coeficiente de Poisson foi assumido o valor de 0.45, apropriado para materiais vegetais.

De cada gráfico foram obtidos além do módulo de elasticidade, a força e deformação de ruptura e o fator de ruptura, dado pela relação entre a força e deformação no ponto de ruptura, obtendo uma média destes parâmetros do total de testes (repetições), realizados para cada uma

das combinações do teor de umidade dos grãos e velocidade de deformação. Do conjunto de curvas de força-deformação para cada combinação foi calculada uma curva média na qual foi avaliada a energia de ruptura, igual à área abaixo a curva força x deformação até o ponto de ruptura.

5. RESULTADOS

5.1 Vazão de alimentação

- A velocidade de avanço da colhedora ajustou-se através da avalanche do variador de velocidade até a velocidade atingir 4,5 km/h, sendo esta verificada pelo tempo de 16 segundos gastos para percorrer uma distância de 20 metros.
- O número de linhas colhidas pela máquina foram 10 em todos os casos, correspondendo a 4 metros de largura de corte da plataforma segadora (distância entre linhas de 0,4 metros).
- A média do número de plantas de sorgo por metro linear foi de 11, correspondendo a uma densidade de 275.000 plantas por hectare.

A velocidade de avanço da colhedora, o número de linhas colhidas e a média do número de plantas, por metro linear, foram iguais para todos os testes nos três diferentes teores de umidade dos grãos.

Com os dados do quadro 4 foram determinadas:

Vazão de grãos - 85,13 kg/min

Vazão de palha - 199,50 kg/min

Vazão total - 284,63 kg/min

Relação em peso: Grãos/Palha - 0,43 (dentro da faixa recomendada pela ASAE Standard 343.3)

Quadro 4 - Peso dos grãos de sorgo e da palha das plantas cortadas pela plataforma segadora para o teor de umidade dos grãos de 24,1%

Número plantas	Peso dos Grãos (g)	Peso da Palha (g)	Peso total (g)
1	10,12	23,91	34,03
1	11,47	25,84	37,31
1	9,71	23,13	32,84
1	8,59	21,17	29,76
1	9,36	19,36	28,72
1	12,37	31,52	43,89
1	8,76	18,49	27,25
1	12,29	30,19	42,48
1	10,54	26,33	36,87
1	9,98	21,88	31,86
Total 10	103,19	241,82	345,01
Média	10,319	24,182	34,501

Quadro 5 - Peso dos grãos de sorgo e da palha das plantas cortadas pela plataforma segadora para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.

Número plantas	Peso dos grãos (g)	Peso da palha (g)	Peso total (g)
1	9,78	20,56	30,34
1	11,16	23,17	24,33
1	8,21	16,89	25,10
1	8,94	19,71	28,65
1	9,35	20,32	29,67
1	12,43	25,34	37,77
1	9,37	20,85	30,22
1	9,77	18,91	28,68
1	7,93	17,44	25,37
1	8,79	20,94	29,72
Total = 10	95,72	204,13	299,85
Média	9,572	20,413	29,985

Com os dados do quadro 5 foram determinadas:

Vazão de grãos - 78,97 kg/min

Vazão de palha - 168,41 kg/min

Vazão total - 247,38 kg/min

Relação em peso: Grãos/Palha - 0,47 (dentro da faixa recomendada pela ASAE Standard 343.3)

Quadro 6 - Peso dos grãos de sorgo e da palha das plantas cortadas pela plataforma segadora para o teor de umidade dos grãos de 15,9%.

Número plantas	Peso dos grãos (g)	peso da palha (g)	Peso total (g)
1	10,24	21,27	31,51
1	8,79	17,19	25,98
1	8,12	16,56	24,68
1	11,57	24,35	35,92
1	8,83	19,03	27,86
1	10,13	21,71	31,84
1	8,74	17,84	26,58
1	9,25	18,59	27,84
1	8,65	18,38	27,03
1	6,93	14,44	21,37
Total 10	91,25	189,36	280,61
Média	9,125	18,936	28,061

Com os dados do quadro 6 foram determinadas:

Vazão de grãos - 75,28 kg/min

Vazão de palha - 156,22 kg/min

Vazão total - 231,50 kg/min

Relação em peso Grãos/Palha - 0,48 (dentro da faixa recomendada pela ASAE Standard 343.3)

5.2 Perdas de grãos apresentadas pelo cilindro trilhador

Os quadros de 7 a 12 apresentam as perdas de grãos totais, coletadas na caixa de madeira localizada sobre a superfície do dolo.

Quadro 7 - Peso dos grãos de sorgo (g), coletados na caixa de madeira para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %.

VC	CC	TRAT	R1	R2	R3	R4	R5
VC1	CC1	1	17,98	21,47	24,35	26,21	20,62
	CC2	2	27,25	31,54	25,51	32,52	22,96
	CC3	3	27,90	31,73	38,50	32,94	40,19
VC2	CC1	4	18,03	13,32	15,90	15,79	12,38
	CC2	5	18,78	25,70	27,01	20,77	23,85
	CC3	6	24,19	28,66	28,53	22,43	29,21
VC3	CC1	7	15,55	12,20	11,22	16,24	11,71
	CC2	8	18,40	14,52	13,82	13,74	16,46
	CC3	9	19,91	17,29	22,87	16,52	18,79

Na tabela anterior e nas seguintes temos:

VC - Velocidade tangencial do cilindro.

CC - Abertura do côncavo (na parte dianteira).

TRAT - Número do tratamento.

R - Repetição do tratamento.

VC1, VC2 e VC3 - São as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42 m/s, 25,13 m/s e 29,85 m/s respectivamente.

CC1, CC2 e CC3 - São as aberturas do côncavo na parte frontal de 6 mm, 12 mm e 18 mm respectivamente.

Quadro 8 - Peso dos grãos de sorgo (g), coletados na caixa de madeira para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.

VC	CC	TRAT	R1	R2	R3	R4	R5
VC1	CC1	10	18,17	15,37	14,06	18,67	14,84
	CC2	11	20,40	28,13	20,48	24,34	24,87
	CC3	12	33,37	31,42	24,58	26,99	32,09
VC2	CC1	13	7,69	7,01	9,71	8,11	11,02
	CC2	14	13,39	13,74	15,30	20,69	16,79
	CC3	15	17,53	25,01	27,02	19,09	26,39
VC3	CC1	16	7,26	4,92	6,31	8,57	5,67
	CC2	17	11,94	13,43	8,54	12,61	9,88
	CC3	18	18,39	15,09	13,32	16,75	12,93

Quadro 9 - Peso dos grãos de sorgo (g), coletados na caixa de madeira para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %.

VC	CC	TRAT	R1	R2	R3	R4	R5
VC1	CC1	19	12,18	14,92	13,99	13,41	11,26
	CC2	20	14,65	18,86	15,19	18,58	13,58
	CC3	21	20,63	24,50	22,72	17,01	26,55
VC2	CC1	22	3,59	5,30	4,51	4,04	6,36
	CC2	23	11,16	10,85	8,79	8,04	8,86
	CC3	24	15,43	13,96	11,16	12,63	10,44
VC3	CC1	25	2,39	2,94	2,22	2,60	2,70
	CC2	26	4,52	4,11	3,46	4,31	3,76
	CC3	27	5,47	6,36	7,77	6,33	4,62

Quadro 10 - Perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de trilha (kg/ha), para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %.

VC	CC	TRAT	R1	R2	R3	R4	R5
VC1	CC1	1	112,38	134,19	152,19	163,81	128,88
	CC2	2	170,31	197,13	159,44	203,25	143,50
	CC3	3	174,38	198,31	240,63	205,88	251,19
VC2	CC1	4	112,69	83,25	99,38	98,69	77,38
	CC2	5	117,38	160,63	168,81	129,81	149,06
	CC3	6	151,19	179,13	178,31	140,19	182,56
VC3	CC1	7	97,19	76,25	70,13	101,50	73,19
	CC2	8	115,00	90,75	86,38	85,88	102,88
	CC3	9	124,44	108,06	142,94	103,25	117,44

Quadro 11 - Perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de trilha (kg/ha), para o teor de umidade dos grãos de 19,6%.

VC	CC	TRAT	R1	R2	R3	R4	R5
VC1	CC1	10	113,65	96,06	87,88	116,69	92,75
	CC2	11	127,50	175,81	128,00	152,13	155,44
	CC3	12	208,56	196,38	153,63	168,69	200,56
VC2	CC1	13	48,06	43,81	60,69	50,69	68,88
	CC2	14	83,69	85,88	95,63	129,31	104,94
	CC3	15	109,56	156,31	168,88	119,31	164,94
VC3	CC1	16	45,38	30,75	39,44	53,56	35,44
	CC2	17	74,63	83,94	53,38	78,81	61,75
	CC3	18	114,94	94,31	83,25	104,69	80,81

Quadro 12 - Perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de trilha (kg/ha), para o teor de umidade dos grãos de 15,9%.

VC	CC	TRAT	R1	R2	R3	R4	R5
VC1	CC1	19	76,12	93,25	87,44	83,81	70,38
	CC2	20	91,56	117,88	94,94	116,13	84,88
	CC3	21	128,94	153,13	142,00	106,31	165,94
VC2	CC1	22	22,44	33,13	28,19	25,25	39,75
	CC2	23	69,75	67,81	54,94	50,25	55,38
	CC3	24	96,44	87,25	69,75	78,94	65,25
VC3	CC1	25	14,94	18,38	13,88	16,25	16,88
	CC2	26	28,25	25,69	21,63	26,94	23,50
	CC3	27	34,19	39,75	48,56	39,56	28,88

Os quadros 13 a 18 apresentam as perdas de grãos provocados apenas pelo cilindro de trilha.

Quadro 13 - Perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de trilha em porcentagem da produção, para o teor de umidade dos grãos de 24,1%.

VC	CC	TRAT	R1	R2	R3	R4	R5	Média
VC1	CC1	1	4,82	5,76	6,53	7,03	5,53	5,934
	CC2	2	7,31	8,46	6,84	8,72	6,16	7,498
	CC3	3	7,48	8,51	10,32	8,83	10,78	9,184
VC2	CC1	4	4,83	3,57	4,26	4,23	3,32	4,042
	CC2	5	5,04	6,89	7,24	5,57	6,39	6,226
	CC3	6	6,49	7,68	7,65	6,01	7,83	7,132
VC3	CC1	7	4,17	3,27	3,01	4,35	3,14	3,588
	CC2	8	4,93	3,89	3,71	3,68	4,41	4,124
	CC3	9	5,34	4,64	6,13	4,43	5,04	5,116

Quadro 14 - Perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de trilha em porcentagem da produção, para o teor de umidade dos grãos 19,6%.

VC	CC	TRAT	R1	R2	R3	R4	R5	Média
VC1	CC1	10	5,13	4,34	3,97	5,27	4,19	4,580
	CC2	11	5,76	7,94	5,78	6,87	7,02	6,674
	CC3	12	9,42	8,87	6,94	7,62	9,06	8,382
VC2	CC1	13	2,17	1,98	2,74	2,29	3,11	2,458
	CC2	14	3,78	3,88	4,32	5,84	4,74	4,512
	CC3	15	4,95	7,06	7,63	5,39	7,45	6,496
VC3	CC1	16	2,05	1,39	1,78	2,42	1,60	1,848
	CC2	17	3,37	3,79	2,41	3,56	2,79	3,184
	CC3	18	5,19	4,26	3,76	4,73	3,65	4,318

Quadro 15 - perdas de grãos de sorgo apresentadas pelo cilindro de trilha em porcentagem da produção, para o teor de umidade dos grãos de 15,9%.

VC	CC	TRAT	R1	R2	R3	R4	R5	Média
VC1	CC1	19	3,56	4,36	4,09	3,92	3,29	3,844
	CC2	20	4,28	5,51	4,44	5,43	3,97	4,726
	CC3	21	6,03	7,16	6,64	4,97	7,76	6,512
VC2	CC1	22	1,05	1,55	1,32	1,18	1,86	1,392
	CC2	23	3,26	3,17	2,57	2,35	2,59	2,788
	CC3	24	4,51	4,08	3,26	3,69	3,05	3,718
VC3	CC1	25	0,70	0,86	0,65	0,76	0,79	0,572
	CC2	26	1,32	1,20	1,01	1,26	1,10	1,178
	CC3	27	1,60	1,86	2,27	1,84	1,35	1,784

5.3 Grãos quebrados

Os quadros 16 a 18 apresentam as porcentagens de grãos quebrados no cilindro de trilha para os três teores de umidade dos grãos.

Quadro 16 - Grãos de sorgo quebrados em porcentagem da produção para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %.

VC	CC	TRAT	R1	R2	R3	R4	R5	Média
VC1	CC1	1	2,01	2,32	2,47	2,83	3,11	2,548
	CC2	2	2,15	1,47	1,78	1,62	1,64	1,732
	CC3	3	1,39	1,06	1,18	0,86	1,10	1,118
VC2	CC1	4	2,75	3,36	2,88	3,47	2,83	3,058
	CC2	5	2,66	1,31	2,28	1,35	1,97	1,914
	CC3	6	1,19	1,41	2,08	1,43	1,25	1,472
VC3	CC1	7	4,85	3,72	3,96	4,27	3,81	4,122
	CC2	8	2,12	3,27	3,32	2,73	2,03	2,694
	CC3	9	1,19	2,36	1,57	1,93	1,51	1,712

Quadro 17 - Grãos de sorgo quebrados em porcentagem da produção para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.

VC	CC	TRAT	R1	R2	R3	R4	R5	Média
VC1	CC1	10	2,18	1,96	2,51	2,79	2,67	3,422
	CC2	11	1,31	1,09	1,19	1,47	1,87	1,386
	CC3	12	0,77	1,13	0,70	1,14	0,92	0,932
VC2	CC1	13	3,13	2,19	3,21	2,56	2,66	2,750
	CC2	14	1,74	1,16	1,03	2,27	1,54	1,548
	CC3	15	1,17	0,95	1,44	1,31	1,54	1,282
VC3	CC1	16	3,48	4,17	3,89	3,91	4,37	3,964
	CC2	17	3,01	2,03	1,91	1,96	2,72	2,326
	CC3	18	1,30	1,47	1,83	1,82	1,94	1,672

Quadro 18 - Grãos de sorgo quebrados em porcentagem da produção para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %.

VC	CC	TRAT	R1	R2	R3	R4	R5	Média
VC1	CC1	19	3,82	4,45	4,14	3,63	4,29	4,066
	CC2	20	2,13	2,71	2,94	1,87	1,74	2,278
	CC3	21	1,39	1,47	1,83	1,92	1,25	1,572
VC2	CC1	22	3,89	4,59	4,18	4,83	3,82	4,262
	CC2	23	2,72	3,38	3,21	3,56	1,91	2,956
	CC3	24	2,44	2,03	2,51	1,76	1,82	2,112
CC3	CC1	25	5,31	5,87	5,16	6,10	6,14	5,716
	CC2	26	3,19	4,17	3,98	4,37	3,36	3,814
	CC3	27	2,93	2,31	2,87	3,43	2,67	2,842

5.4 Determinação da produção de grãos

Quadro 19 - Grãos coletados para cálculo de rendimento, perdas na plataforma segadora e nos sistemas de limpeza e separação da colhedora, para os diferentes teores de umidade dos grãos.

Peso de grão coletado	U1	U2	U3
Em 100 m. para avaliação do rendimento líquido (kg)	90,60	85,70	81,80
Na caixa para avaliação de perdas da plataforma (kg)	0,00119	0,00140	0,00211
Na caixa para avaliação perdas de limpeza e separação (kg)	0,00288	0,00242	0,00159

Quadro 20 - Rendimento e perdas de grãos de sorgo para os teores de umidade dos grãos.

	U1	U2	U3
Rendimento líquido (kg/ha)	2265	2143	2045
Perdas plataforma segadora (kg/ha)	48	56	84
Perdas separação e limpeza (kg/ha)	18	15	10
Rendimento (kg/ha)	2331	2214	2139

As perdas de grãos na plataforma segadora foram avaliadas em 2,1 %, 2,6 % e 4,1 % para os teores de umidade dos grãos de 24,1%, 19,6 % e 15,9 % respectivamente. Entretanto, as perdas nos sistemas de limpeza e separação foram avaliadas em 0,8 %, 0,7 % e 0,5 % para os teores de umidade dos grãos de 24,1 %, 19,6 % e 15,9 % respectivamente.

5.5 Ensaios de Compressão

Os quadros 21 a 23 apresentam os resultados dos ensaios de compressão de grãos com 10,98 % de teor de umidade para três velocidades de deformação.

Quadro 21 - Resultados do ensaio de compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 10,98 % e velocidade de deformação de 0,22 mm/s.

No	R1 (mm)	R1' (mm)	T (seg)	D (mm)	F (N)	E * 10 ⁶ (Pa)	F _D (N)	D _D (mm)	F _D /D _D (N/m)
1	1,225	2,213	1,04	0,23120	30,658	131,517	42,450	0,3023	140432,4
2	1,200	2,231	0,44	0,09783	15,823	247,900	46,576	0,2490	187052,2
3	1,250	2,402	0,76	0,16900	25,157	169,570	37,158	0,2312	160717,9
4	1,250	2,263	0,52	0,10670	29,908	359,102	66,994	0,3557	188344,1
5	1,200	2,907	0,64	0,14220	26,741	241,726	50,326	0,2223	226387,8
6	1,175	2,159	0,60	0,13340	22,074	219,943	39,075	0,1957	199667,9
7	1,125	2,082	0,36	0,08004	14,031	307,033	40,700	0,1956	208077,7
8	1,375	2,466	0,72	0,16010	25,282	177,879	50,618	0,2668	189722,6
9	1,225	2,305	0,68	0,15120	25,741	207,304	47,409	0,2312	205056,2
10	1,225	2,258	0,60	0,13340	21,901	213,659	39,075	0,2267	172364,4
Média						227,653	46,038		187781,4

Quadro 22 - Resultados do ensaio de compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 10,98 % e velocidade de deformação de 0,55 mm/s.

No	R1 (mm)	R1' (mm)	T (seg)	D (mm)	F (N)	E * 10 ⁶ (Pa)	F _D (N)	D _D (mm)	F _D /D _D (N/m)
1	1,175	2,1585	0,28	0,1533	17,240	139,45	34,075	0,3067	111102,1
2	1,375	2,1206	0,32	0,1752	17,365	109,79	36,741	0,2848	129028,1
3	1,225	2,2353	0,40	0,2190	24,824	115,31	49,867	0,3949	126469,7
4	1,225	2,0827	0,24	0,1314	18,032	182,54	36,825	0,2848	129301,4
5	1,175	2,1358	0,28	0,1533	25,363	205,53	54,910	0,2848	192801,9
6	1,125	2,1763	0,28	0,1533	21,240	174,01	31,658	0,1971	160589,6
7	1,275	2,2240	0,32	0,1752	26,574	170,46	72,494	0,3943	183854,9
8	1,200	2,2783	0,40	0,2190	22,240	103,65	40,200	0,2848	141175,5
9	1,125	2,2251	0,28	0,1533	15,573	127,10	25,366	0,1971	128672,6
10	1,025	2,0752	0,20	0,1095	11,406	160,93	34,741	0,3286	105737,2
Media						148,877	41,688		140873,3

Quadro 23 - Resultados do ensaio de compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 10,98 % e velocidade de deformação de 0,87 mm/s.

No	R1 (mm)	R1' (mm)	T (seg)	D (mm)	F (N)	E * 10 ⁶ (Pa)	F _D (N)	D _D (mm)	F _D /D _D (N/m)
1	1,225	2,2353	0,20	0,1736	27,657	182,023	79,916	0,3472	230172,81
2	1,300	2,3847	0,24	0,2083	33,741	163,856	53,076	0,3125	169854,07
3	1,250	2,2180	0,26	0,2257	34,866	154,005	73,577	0,3819	192650,29
4	1,325	2,3015	0,24	0,2083	39,075	189,811	76,078	0,3472	219118,66
5	1,325	2,2176	0,20	0,1736	25,491	163,870	69,577	0,4166	166995,49
6	1,100	2,0320	0,16	0,1389	19,657	190,345	61,327	0,3125	196258,96
7	1,125	2,2006	0,16	0,1389	22,407	212,444	36,908	0,1736	212603,69
8	1,100	2,2251	0,16	0,1389	20,282	193,381	39,075	0,2083	187572,00
9	1,275	2,5005	0,16	0,1389	30,048	267,489	85,329	0,3472	245763,25
10	1,225	2,5782	0,16	0,1389	22,657	203,431	59,993	0,2778	215988,62
Media						192,066	63,486		203697,78

Os quadros 24 a 26 apresentam os resultados para grãos com 14,94 % de teor de umidade, no entanto que os quadros 27 a 29 correspondem a grãos com 19,94 % de teor de umidade e os quadros 30 a 32, a grãos com 24,85 % de teor de umidade.

Quadro 24 - Resultados do ensaio de compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 14,94 % e velocidade de deformação de 0,22 mm/s.

No	R1 (mm)	R1' (mm)	T (seg)	D (mm)	F (N)	E * 10 ⁶ (Pa)	F _D (N)	D _D (mm)	F _D /D _D (N/m)
1	1,14	2,163	0,56	0,123256	24,699	279,747	49,826	0,290532	171499,2
2	1,07	2,100	0,56	0,123256	19,490	226,544	50,534	0,299336	168820,3
3	1,12	2,210	0,48	0,105648	19,865	284,140	27,199	0,334552	81299,8
4	1,06	2,120	0,52	0,114452	17,532	228,094	51,784	0,281728	183808,5
5	1,18	2,196	0,44	0,096844	16,656	267,135	30,158	0,149668	201499,3
6	1,23	2,343	0,56	0,123256	31,074	338,601	49,202	0,176080	279424,1
7	1,21	2,174	0,44	0,096844	16,115	256,826	31,324	0,158472	197662,7
8	1,03	2,162	0,52	0,114452	15,365	201,191	24,699	0,167276	147654,2
9	1,71	2,112	0,64	0,140864	18,032	166,456	32,741	0,220100	148755,1
10	1,04	2,100	0,64	0,140864	18,282	175,585	35,992	0,308140	116804,1
11	1,17	2,149	0,44	0,096844	12,906	208,353	18,740	0,158472	118254,3
12	1,16	2,184	0,56	0,123256	12,198	137,145	52,076	0,290532	179243,6
Média						230,818	37,856		166227,08

Quadro 25 - Resultados do ensaio de compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 14,94 %, e velocidade de deformação de 0,55 mm/s.

No	R1 (mm)	R1' (mm)	T (seg)	D (mm)	F (N)	E * 10 ⁶ (Pa)	F _D (N)	D _D (mm)	F _D /D _D (N/m)
1	1,29	2,271	0,32	0,175230	24,407	155,349	38,425	0,240940	159479,5
2	1,17	2,261	0,20	0,109520	14,605	194,336	37,325	0,240940	154914,1
3	1,34	2,293	0,32	0,175230	15,365	96,455	31,657	0,262850	120437,5
4	1,14	2,300	0,20	0,109520	15,156	202,830	34,408	0,328560	104723,6
5	1,19	2,263	0,20	0,109520	18,490	244,627	33,783	0,284752	118640,1
6	1,12	2,067	0,32	0,175230	21,407	145,000	44,034	0,328560	134021,2
7	1,23	2,250	0,32	0,175230	14,865	96,233	36,283	0,284752	127419,6
8	1,23	2,241	0,24	0,131424	22,157	220,993	45,534	0,284752	159907,6
9	1,14	2,035	0,24	0,131424	14,073	146,331	36,408	0,262850	138512,5
10	1,24	2,261	0,36	0,197136	23,074	124,748	51,201	0,394272	129862,1
11	1,26	2,203	0,24	0,131424	18,323	181,905	42,784	0,240944	177568,2
12	1,19	2,170	0,16	0,087616	13,448	250,481	35,241	0,240944	146262,2
Média						171,607	38,924		139312,4

Quadro 26 - Resultados do ensaio de compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 14,94 % e velocidade de deformação de 0,87 mm/s.

No	R1 (mm)	R1' (mm)	T (seg)	D (mm)	F (N)	E * 10 ⁶ (Pa)	F _D (N)	D _D (mm)	F _D /D _D (N/m)
1	1,28	2,414	0,24	0,20832	28,616	139,36	62,243	0,41660	149407,11
2	1,18	2,224	0,12	0,10416	19,448	279,02	56,576	0,31248	181054,79
3	1,19	2,216	0,20	0,17360	35,200	234,21	63,202	0,24304	260047,73
4	1,18	2,253	0,20	0,17360	26,116	173,75	49,534	0,24304	203797,73
5	1,35	2,381	0,22	0,19096	28,137	153,84	32,241	0,20832	154766,71
6	1,24	2,411	0,20	0,17360	28,782	186,22	69,369	0,34720	199795,51
7	1,27	2,357	0,20	0,17360	30,116	194,08	51,993	0,31248	166388,25
8	1,25	2,236	0,14	0,12152	20,574	229,69	35,575	0,17360	204925,12
9	1,28	2,304	0,20	0,17360	22,282	143,81	44,784	0,31248	143317,97
10	1,21	2,313	0,14	0,12152	23,220	260,43	45,200	0,20832	216973,89
11	1,28	2,368	0,14	0,12152	20,969	229,97	60,118	0,34720	173150,92
12	1,28	2,186	0,16	0,13888	18,573	169,42	36,450	0,20832	174971,20
13	1,26	2,273	0,18	0,15624	23,824	181,44	45,450	0,24304	187006,25
Média						198,095	50,210		185815,63

Quadro 27 - Resultados do ensaio de compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 19,94 % e velocidade de deformação de 0,22 mm/s.

NO	R1 (mm)	R1' (mm)	T (seg)	D (mm)	F (N)	E * 10 ⁶ (Pa)	F _D (N)	D _D (mm)	F _D /D _D (N/m)
1	1,31	2,422	0,36	0,07632	9,031	199,474	28,491	0,24008	118499,42
2	1,27	2,500	0,52	0,11024	12,323	155,537	47,076	0,59576	79018,40
3	1,27	2,330	0,60	0,12720	8,406	86,548	26,782	0,53352	50198,68
4	1,26	2,273	0,36	0,07632	8,948	199,609	30,574	0,29344	104191,66
5	1,33	2,299	0,64	0,13568	9,989	92,209	37,741	0,34679	108829,55
6	1,17	2,214	0,40	0,08480	6,947	136,164	35,909	0,44460	80766,98
7	1,31	2,328	0,48	0,10176	10,814	151,232	32,074	0,43571	73613,18
8	1,26	2,451	0,56	0,11872	10,326	117,182	32,199	0,50684	63528,92
9	1,43	2,253	0,56	0,11872	12,073	130,825	32,533	0,37346	87112,41
10	1,40	2,516	0,52	0,11024	10,906	133,041	35,241	0,41792	84324,75
11	1,22	2,361	0,44	0,09328	9,573	158,659	37,366	0,61355	60901,31
12	1,31	2,570	0,48	0,10176	9,364	131,140	23,615	0,24898	94846,98
13	1,45	2,528	0,76	0,16112	13,323	90,879	38,533	0,57798	66668,70
14	1,26	2,186	0,60	0,12720	11,114	116,041	25,241	0,50684	79800,73
15	1,16	2,360	0,76	0,16112	13,323	98,921	45,242	0,53352	84799,07
Média						133,152	33,908		80473,30

Quadro 28 - Resultados do ensaio de compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 19,94 % e velocidade de deformação de 0,55 mm/s.

No	R1 (mm)	R1' (mm)	T (seg)	D (mm)	F (N)	E * 10 ⁶ (Pa)	F _σ (N)	D _σ (mm)	F _σ /D _σ (N/m)
1	1,35	2,426	0,32	0,197136	13,781	71,591	27,574	0,43808	62942,84
2	1,22	2,239	0,32	0,197136	14,573	79,340	39,620	0,70093	56524,90
3	1,23	2,223	0,24	0,131424	13,240	132,244	36,366	0,37237	97660,93
4	1,35	2,381	0,24	0,131424	14,698	140,746	41,905	0,45998	91101,79
5	1,31	2,239	0,28	0,153328	12,906	99,696	32,199	0,41618	77367,97
6	1,27	2,302	0,28	0,153328	17,740	138,308	45,867	0,54760	83760,04
7	1,27	2,275	0,36	0,197136	13,406	71,844	35,908	0,54760	65573,41
8	1,31	2,503	0,28	0,153328	13,615	103,557	53,493	0,61331	87220,17
9	1,22	2,361	0,28	0,153328	14,498	117,558	61,035	0,78854	77402,54
10	1,31	2,446	0,44	0,240944	18,323	71,031	43,242	0,72283	59823,19
11	1,28	2,424	0,32	0,197136	12,406	65,580	33,991	0,50379	67470,57
12	1,18	2,168	0,28	0,153328	10,489	84,635	34,866	0,50379	69207,41
13	1,26	2,500	0,24	0,131424	15,823	153,653	58,326	0,50379	115774,43
14	1,26	2,319	0,28	0,153328	19,115	149,215	45,242	0,52570	86060,49
15	1,33	2,290	0,36	0,197136	14,073	74,229	33,074	0,50379	65650,37
Média						103,548	41,514		77569,40

Quadro 29 - Resultados do ensaio de compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 19,94% e velocidade de deformação de 0,87 mm/s.

No	R1 (mm)	R1' (mm)	T (seg)	D (mm)	F (N)	E * 10 ⁶ (Pa)	F _σ (N)	D _σ (mm)	F _σ /D _σ (N/m)
1	1,22	2,221	0,24	0,20832	10,906	54,737	27,407	0,48608	56383,72
2	1,21	2,322	0,20	0,17360	16,740	109,886	43,075	0,48608	88617,10
3	1,21	2,313	0,24	0,20832	10,406	51,998	37,241	0,76384	48754,97
4	1,21	2,095	0,20	0,17360	11,281	75,414	25,699	0,41664	61681,55
5	1,16	2,222	0,20	0,17360	15,031	100,803	20,615	0,24304	84821,43
6	1,26	2,29	0,16	0,13888	6,364	58,037	37,867	0,55552	68164,96
7	1,38	2,355	0,24	0,20832	13,490	64,409	36,158	0,69440	52070,85
8	1,23	2,241	0,20	0,17360	7,114	46,738	36,491	0,65968	55316,21
9	1,23	2,250	0,20	0,17360	19,573	128,500	38,908	0,48608	80044,44
10	1,40	2,543	0,24	0,20832	13,156	61,664	49,076	0,97216	50481,40
11	1,22	2,295	0,28	0,24304	16,907	66,962	33,033	0,45036	73185,48
12	1,26	2,296	0,24	0,20832	19,157	94,123	46,576	0,55552	83842,17
13	1,21	2,313	0,24	0,20832	22,240	111,132	54,076	0,59024	91616,97
Média						78,800	37,402		68844,71

Quadro 30 - Resultados do ensaio de compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 24,85 % e velocidade de deformação de 0,22 mm/s.

No	R1 (mm)	R1' (mm)	T (seg)	D (mm)	F (N)	E * 10 ⁶ (Pa)	F _D (N)	D _D (mm)	F _D /D _D (N/m)
1	1,36	2,555	0,56	0,12449	20,698	211,813	62,827	0,42682	147197,88
2	1,6	2,574	0,76	0,16895	20,198	130,569	61,118	0,57798	105744,14
3	1,31	2,561	0,36	0,08003	16,573	332,980	57,535	0,32900	174878,42
4	1,33	2,468	0,60	0,13338	19,323	180,694	31,783	0,31122	102123,90
5	1,33	2,505	0,52	0,11560	21,157	244,566	50,576	0,50684	99786,92
6	1,33	2,505	0,60	0,13338	19,198	179,060	44,284	0,39125	113185,94
7	1,31	2,503	0,48	0,10670	20,615	270,103	59,118	0,35568	166211,20
8	1,31	2,503	0,76	0,16895	21,699	142,690	48,492	0,44460	109068,83
9	1,33	2,248	0,56	0,12449	25,407	267,962	41,658	0,35568	117122,13
10	1,50	2,644	0,56	0,12449	16,990	167,437	34,325	0,25787	133109,71
11	1,21	2,420	0,36	0,08892	15,448	274,695	33,575	0,25787	130201,26
12	1,26	2,356	0,52	0,11560	13,573	161,401	37,992	0,32900	115477,20
13	1,36	2,419	0,52	0,11560	13,490	155,776	42,784	0,29344	145801,53
Média						209,211	46,621		127685,31

Quadro 31 - Resultados do ensaio de compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 24,85 % e velocidade de deformação de 0,55 mm/s.

No	R1 (mm)	R1' (mm)	T (seg)	D (mm)	F (N)	E * 10 ⁶ (Pa)	F _D (N)	D _D (mm)	F _D /D _D (N/m)
1	1,42	2,574	0,24	0,13142	14,573	135,406	37,283	0,39427	94562,10
2	1,35	2,381	0,24	0,13142	14,323	137,162	30,158	0,30666	98343,44
3	1,28	2,377	0,24	0,13142	15,531	151,348	39,908	0,39427	101219,98
4	1,38	2,389	0,20	0,10952	17,365	216,933	47,617	0,35046	135870,00
5	1,31	2,328	0,28	0,15333	22,282	171,650	43,575	0,35046	124336,59
6	1,46	2,414	0,24	0,13142	15,406	143,568	34,825	0,50379	69126,02
7	1,25	2,560	0,28	0,15333	23,907	183,991	66,244	0,39427	168016,84
8	1,27	2,433	0,24	0,13142	18,198	177,076	56,451	0,45998	122724,90
9	1,31	2,373	0,20	0,10952	16,656	211,823	36,533	0,24094	151626,96
10	1,28	2,570	0,24	0,13142	18,365	178,579	72,286	0,48189	150005,19
11	1,31	2,503	0,36	0,19714	23,740	123,854	41,700	0,39427	105765,08
12	1,43	2,323	0,32	0,17523	20,990	128,802	49,578	0,50379	98410,05
13	1,41	2,398	0,48	0,26285	24,990	83,338	36,241	0,35046	103409,80
14	1,31	2,446	0,12	0,06571	8,281	225,403	44,909	0,37237	120603,16
Média						161,929	45,522		117430,00

Quadro 32 - Resultados do ensaio de Compressão de grãos de sorgo, com teor de umidade de 24,85 % e velocidade de deformação de 0,87 mm/s.

No	R1 (mm)	R1' (mm)	T (seg)	D (mm)	F (N)	E * 10 ⁶ (Pa)	F _D (N)	D _D (mm)	F _D /D _D (N/m)
1	1,40	2,463	0,12	0,10416	14,156	188,747	41,533	0,59024	70386,29
2	1,23	2,372	0,12	0,10416	14,406	201,641	67,661	0,41664	162396,79
3	1,36	2,555	0,20	0,17360	18,823	116,974	40,825	0,45136	90448,87
4	1,33	2,440	0,16	0,13888	21,240	187,314	79,203	0,48608	162942,31
5	1,40	2,472	0,24	0,20832	23,782	112,036	35,575	0,34720	102462,58
6	1,31	2,328	0,28	0,24304	27,991	108,052	38,992	0,31248	124793,39
7	1,36	2,565	0,16	0,13888	15,490	134,439	56,118	0,38192	146936,53
8	1,31	2,391	0,20	0,17360	20,323	129,337	51,868	0,45136	114914,92
9	1,31	2,610	0,16	0,13888	12,281	107,594	33,950	0,38192	88892,96
10	1,38	2,476	0,24	0,20832	20,324	96,159	45,200	0,45136	100141,79
11	1,33	2,505	0,20	0,17360	20,532	128,969	51,034	0,38192	133624,84
12	1,25	2,451	0,16	0,13888	18,615	167,402	47,742	0,3472	137505,76
13	1,33	2,468	0,20	0,17360	16,782	105,687	34,908	0,41664	83784,56
14	1,45	2,510	0,24	0,20832	20,573	95,577	42,409	0,45136	93958,26
15	1,38	2,450	0,20	0,17360	18,157	113,141	45,534	0,41664	109288,59
16	1,19	2,264	0,16	0,13888	18,365	180,140	55,410	0,31248	177323,35
Mediã						135,201	47,998		

Os quadros 33 e 34 incluem os dados geométricos necessários aos cálculos do módulo de elasticidade, pela teoria de contato de Hertz.

Quadro 33 - Propriedades geométricas dos grãos de sorgo.

UMIDADE (% B U)	VEL. DEFOR (mm/s)	NÚMERO REPETIÇÕES	φ1 (mm)	φ2 (mm)	φ3 (mm)	R1 (mm)	R1' (mm)
10,98	0,22	10	4,475 (5,5)	2,450 (5,3)	3,770 (3,3)	1,225	2,248
	0,55	10	4,305 (3,9)	2,385 (7,9)	3,640 (1,9)	1,193	2,171
	0,87	10	4,555 (7,2)	2,450 (7,2)	3,735 (7,8)	1,225	2,289
14,94	0,22	12	4,327 (3,0)	2,263 (5,9)	3,587 (4,9)	1,132	2,168
	0,55	12	4,412 (3,9)	2,423 (5,4)	3,613 (5,8)	1,212	2,218
	0,87	13	4,582 (3,7)	2,500 (3,9)	3,754 (4,0)	1,250	2,301
19,94	0,22	15	4,731 (5,5)	2,588 (6,5)	4,075 (6,3)	1,294	2,379
	0,55	15	4,664 (4,5)	2,553 (3,9)	3,893 (5,5)	1,227	2,343
	0,87	13	4,545 (4,8)	2,495 (5,5)	3,845 (4,0)	1,248	2,204
24,85	0,22	13	4,945 (4,4)	2,662 (5,1)	4,065 (3,4)	1,331	2,482
	0,55	14	4,829 (4,1)	2,681 (5,0)	4,064 (4,4)	1,341	2,434
	0,87	16	4,893 (3,6)	2,666 (5,0)	4,079 (3,1)	1,333	2,458

Quadro 34 - Valores médios das propriedades mecânicas dos grãos de sorgo.

UMIDADE (% B U)	VEL. DEFOR. (mm/s)	E * 10 ⁶ (Pa)	F _D (N)	F _D /D _D (N/m)	ENERG RUPTU (N * mm)
10,98	0,22	227,563 (29,3)	46,03 (19,1)	187781,43 (19,2)	4,18
	0,55	148,967 (23,3)	41,68 (33,0)	140873,28 (20,7)	5,49
	0,87	192,062 (16,8)	63,48 (26,1)	203697,78 (12,5)	8,49
14,94	0,22	230,818 (24,9)	37,85 (32,0)	166227,08 (30,0)	5,84
	0,55	171,607 (30,8)	38,92 (14,8)	139312,35 (15,0)	5,01
	0,87	198,095 (22,6)	50,21 (23,2)	185815,63 (17,1)	9,18
19,94	0,22	133,152 (26,7)	33,90 (20,0)	80473,30 (25,0)	8,10
	0,55	103,548 (31,1)	41,51 (23,7)	77569,40 (20,9)	10,99
	0,87	78,799 (34,0)	37,40 (25,0)	68844,71 (22,8)	12,15
24,85	0,22	209,210 (30,0)	46,62 (23,4)	127865,31 (19,2)	8,13
	0,55	161,929 (24,8)	45,52 (26,7)	117430,00 (22,9)	9,51
	0,87	135,201 (26,4)	47,99 (25,5)	118735,67 (26,9)	10,45

Os números entre parêntesis indicam o coeficiente de variação.

6. MODELAGEM DA DEFORMAÇÃO DOS GRÃOS POR IMPACTO

Durante o processo de trilha, os grãos são submetidos a deformação quando são impactados pelas barras do cilindro. O grão atingido pela barra do cilindro será obrigado a aumentar sua velocidade inicial V_g até a velocidade tangencial VC da barra. Pela segunda lei de Newton, a força necessária para acelerar o grão resulta através da seguinte equação:

$$F_D = m * \frac{d^2 y_g}{dt^2} \quad (6.1)$$

Onde:

F_D - Força para acelerar o grão (N).

m - Massa do grão (kg).

y_g - Deslocamento do grão (m)

A força F_D deforma o grão em magnitude D_g resultante da diferença de deslocamento entre a barra e o centro de gravidade do grão:

$$D_g = (y_b - y_g) \quad (6.2)$$

Onde:

D_g - Deformação do grão sob a ação da barra do cilindro (m).

y_b - Deslocamento da barra do cilindro (m).

Sendo que o deslocamento da barra esta dado pela seguinte equação:

$$y_b = VC * t \quad (6.3)$$

Onde:

VC - Velocidade tangencial das barras do cilindro (m/s)

t - Tempo (s).

A força F_D deforma o grão segundo uma relação que pode ser equacionada através de um modelo de comportamento mecânico composto de um termo elástico-linear combinado com um termo de componente viscoso:

$$F_D = kD_g + C * \frac{dD_g}{dt} \quad (6.4)$$

$$F_D = k(y_b - y_g) + C \left(\frac{dy_b}{dt} - \frac{dy_g}{dt} \right) \quad (6.5)$$

Considerando que o grão comprimido entre planos paralelos apresenta um comportamento mecânico elástico até um certo nível de deformação, a força F_D pode ser indicada através de um equacionamento mais simples:

$$F_D = k * D_g = k(y_b - y_g) \quad (6.6)$$

$$k(y_b - y_g) = m * \frac{d^2 y_g}{dt^2} \quad (6.7)$$

Onde:

k - Constante elástica do grão (N/m)

Substituindo a equação 6.3 na equação 6.7, atinge-se a equação que representa o avanço do grão em função do tempo:

$$\frac{d^2 y_g}{dt^2} + \frac{k}{m} * y_g - \frac{k * VC}{m} * t = 0 \quad (6.8)$$

A solução geral da equação anterior esta constituída por duas partes: Inicialmente a solução correspondente à equação homogénea:

$$\frac{d^2 y_g}{dt^2} + \frac{k}{m} * y_g = 0 \quad (6.9)$$

Cuja solução é da forma:

$$y_g(t) = Ae^{\lambda t} \quad (6.10)$$

$$\frac{d^2 y_g}{dt^2} = \lambda^2 Ae^{\lambda t} \quad (6.11)$$

Substituindo as equações 6.10 e 6.11 na equação 6.9, obtém-se

$$\lambda^2 Ae^{\lambda t} + \frac{k}{m} * Ae^{\lambda t} = 0 \quad (6.12)$$

$$Ae^{\lambda t} \left(\lambda^2 + \frac{k}{m} \right) = 0 \quad (6.13)$$

Fisicamente interessa apenas o caso em que o termo entre parêntesis é nulo:

$$\lambda^2 + \frac{k}{m} = 0 \quad (6.14)$$

Obtendo:

$$\lambda = \pm \sqrt{\frac{k}{m}} i \quad (6.15)$$

Reemplazando os valores de λ na equação 6.10, e considerando a equação 6.16, resulta a equação 6.17 como solução da equação homogénea:

$$Ae^{it\sqrt{\frac{k}{m}}} = A\left(\cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}*t\right) + i\left(\text{sen}\sqrt{\frac{k}{m}}*t\right)\right) \quad (6.16)$$

$$y_g(t) = D_1 \text{sen}\left(\sqrt{\frac{k}{m}}*t\right) + D_2 \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}*t\right) \quad (6.17)$$

A segunda parte da solução da equação 6.8, corresponde à equação particular:

$$y_g(t) = \alpha t + \beta \quad (6.18)$$

$$\frac{dy_g}{dt} = \alpha \quad (6.19)$$

$$\frac{d^2 y_g}{dt^2} = 0 \quad (6.20)$$

Substituindo as equações 6.19 e 6.20 na equação 6.8, obtém-se:

$$0 + \frac{k}{m}(\alpha t + \beta) = \frac{k*VC}{m}*t \quad (6.21)$$

Encontrando:

$$\alpha = VC \quad \text{e} \quad \beta = 0 \quad (6.22)$$

Pelo tanto, a solução geral da equação 6.8 é dada pela adição das soluções das equações homogénea e particular, sendo:

$$y_g(t) = D_1 \text{sen}\left(\sqrt{\frac{k}{m}}*t\right) + D_2 \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}*t\right) + VC*t \quad (6.23)$$

Nas equações anteriores, A , λ , α , β , D_1 e D_2 são constantes.

Para o problema em questão, utilizando as condições de contorno para o instante em que o grão é batido pela barra do cilindro ($t=0$) obtém-se:

$$y_g(t=0) = 0 \quad (6.24)$$

$$\frac{dy_g}{dt}(t=0) = V_g \quad (6.25)$$

Onde

V_g - é a velocidade inicial do grão entrando à secção de trilha, sendo igual à velocidade do condutor longitudinal da colhedora $V_0 \Rightarrow (V_g = V_0)$.

Substituindo a equação 6.24 na equação 6.23, obtém-se:

$$D_2 = 0 \quad (6.26)$$

Da segunda condição de contorno obtém-se:

$$\frac{dy_g}{dt} = D_1 \sqrt{\frac{k}{m}} * \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}} * t\right) - D_2 \sqrt{\frac{k}{m}} * \text{sen}\left(\sqrt{\frac{k}{m}} * t\right) + VC \quad (6.27)$$

Substituindo a equação 6.25 na equação 6.27 (para $t = 0$) obtém-se:

$$V_g = D_1 \sqrt{\frac{k}{m}} + VC \quad (6.28)$$

$$D_1 = \frac{V_g - VC}{\sqrt{\frac{k}{m}}} \quad (6.29)$$

Substituindo D_1 e D_2 (equações 6.26 e 6.29) na equação 6.23 obtém-se que o deslocamento do grão devido ao impacto da barra do cilindro esta dado pela seguinte equação:

$$y_g(t) = \frac{V_g - VC}{\sqrt{\frac{k}{m}}} * \text{sen}\left(\sqrt{\frac{k}{m}} * t\right) + VC * t \quad (6.30)$$

Substituindo as equações 6.30 e 6.3 na equação 6.2, obtém-se que a deformação do grão de é dada pela seguinte equação:

$$D_g = \frac{VC - V_g}{\sqrt{\frac{k}{m}}} * \text{sen}\left(\sqrt{\frac{k}{m}} * t\right) \quad (6.31)$$

A equação 6.31 mostra uma resposta vibratória harmónica da deformação do grão o qual é fisicamente correto em se tratando de um corpo elástico, com massa submetida a uma carga instantânea de impacto.

Para as seguintes condições de colheita no campo:

Teor de umidade do grão - 15,9 %.

V_g - 1,5 m/s.

VC - 25,13 m/s.

m - $2,43 * 10^{-5}$ kg (massa do grão de sorgo para o anterior teor de umidade)..

k - 128058 N/m (obtido no laboratório para o teor de umidade de 14,94 % e taxa de deformação de 0,87 mm/s).

Substituindo na equação 6.31 obtém se:

$$D_g = 0,325 * \text{sen}(7,259 * 10^4 * t) \text{ (mm)} \quad (6.32)$$

Sendo que a máxima deformação (deformação de ruptura) será quando o valor do $\text{sen}(\alpha t) = 1$, porém para as condições anteriores, a deformação de ruptura será próxima a 0,325 mm

A nível de laboratório para condições similares de umidade (14,94 %) e taxa de deformação de 0,87 mm/s obteve-se um valor de deformação de ruptura de 0,283 mm.

7. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O trabalho de campo para esta investigação foi desenvolvido durante o período de 3 a 15 de julho de 1993, com ótimas condições climáticas, mantendo constante para todos os testes a velocidade de deslocamento da colhedora de 4,5 km/h, a altura de corte da plataforma, altura e a velocidade do molinete. As parcelas de sorgo escolhidas apresentaram porte ereto, completamente limpas de ervas daninhas e uma densidade aproximada de 275.000 plantas por hectare.

Os dados de perdas de grãos no sistema de trilha, grãos quebrados e perdas totais do mecanismo de trilha (perdas na trilha + grãos quebrados), foram submetido à análise estatística para verificar o efeito do teor de umidade dos grãos, a velocidade tangencial do cilindro e da abertura do côncavo sobre os mesmos

Verificou-se que os efeitos dos fatores teor de umidade dos grãos, velocidade tangencial do cilindro e abertura do côncavo, além das interações teor de umidade * abertura do côncavo e velocidade tangencial do cilindro * abertura do côncavo foram significativas ao nível de 1 %, tanto nas perdas na trilha como na quebra de grãos e nas perdas totais do mecanismo de trilha; entando, as interações teor de umidade dos grãos * velocidade tangencial do cilindro e teor de umidade dos grãos * velocidade tangencial do cilindro * abertura do côncavo não apresentaram significativa influência nas perdas de trilha, grão quebrado nem nas perdas totais de grãos de sorgo no mecanismo de trilha. FAIRBANKS et al (1979), na análise estatística de perdas de grãos

de sorgo para os testes realizados no ano de 1974, encontraram resultados um tanto surpreendentes, pois o efeito dos fatores teor de umidade dos grãos e velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, foram significativos ao nível de 5 %, no entanto a abertura do côncavo não apresentou efeito significativo sobre as perdas na trilha. Os autores justificaram esse comportamento pela baixa densidade da cultura além de condições climáticas adversas na época da colheita; nos testes desenvolvidos no ano de 1975 os três fatores tiveram efeitos significativos ao nível de 1 % sobre as perdas na trilha de grãos de sorgo.

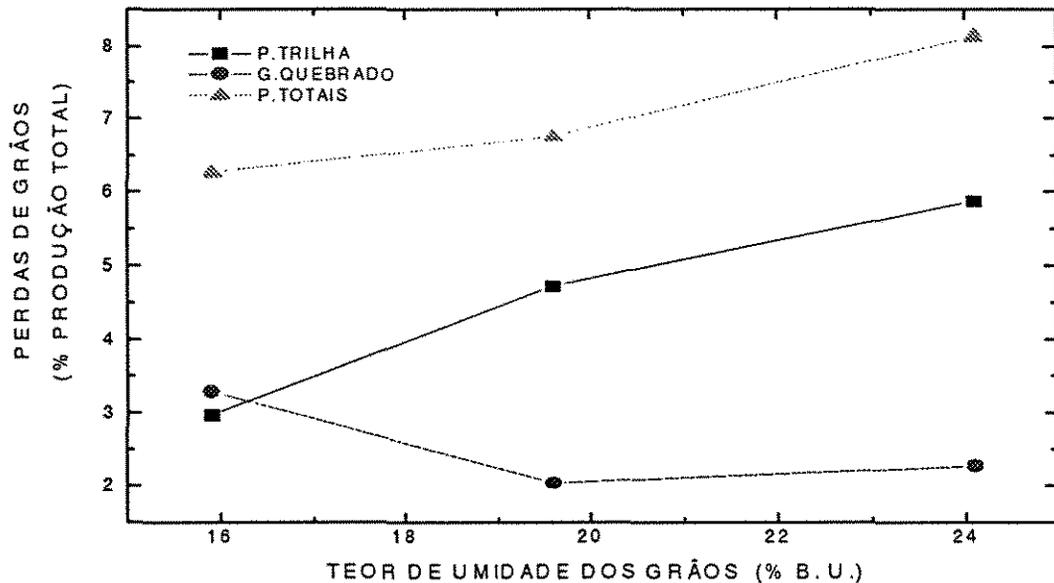


Figura 5 - Efeito do teor de umidade dos grãos sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e eficiência do sistema.

O efeito do teor de umidade dos grãos sobre as perdas globais na trilha é apresentado na figura 5, onde cada ponto corresponde à média de 45 repetições; pode-se observar que as perdas aumentam com o teor de umidade dos grãos, sendo de 2,97, 4,72 e 5,87 % da produção total de grãos para os teores de umidade de 15,9, 19,6 e 24,1 %, respectivamente, estando de acordo com o encontrado por WALTJ et al (1971), Johnson citado por SRIVASTAVA et al (1990) e

discordando de FAIRBANKS et al (1979), que encontraram menores perdas na trilha de grãos de sorgo com o teor de umidade de 20,4 %. Os resultados obtidos devem-se a que com a umidade os grãos são mais flexíveis que os secos, precisando de maior força para desprender-los da espiga. As médias das perdas na trilha para os teores de umidade dos grãos diferem entre si ao nível de significância de 1 %, segundo o teste de Tukey.

O efeito do teor de umidade dos grãos sobre a quebra global de grãos é apresentado na mesma figura, verifica-se que a menor quebra de 2,03 % corresponde ao teor de umidade dos grãos de 19,6 %, aumentando ligeiramente para os teores de umidade de 24,1 e 15,9 %. Os resultados obtidos estão de acordo com o encontrado por Finkenzeller, citado por KANAFOJSKI (1972), em trigo, JOHNSON et al (1963), HALL e JOHNSON (1970) e MAHMOUD e BUCHELE (1975), que encontraram menores danos mecânicos em grãos de milho com teor de umidade de 20 %. As maiores quebras de grãos corresponderam ao menor teor de umidade de 15,9 %. Observou-se também que uma parte dos grãos quebrados, para o teor de umidade de 24,1 % é devido por amassamento (considerados como grãos quebrados). As médias de grãos quebrados, para os teores de umidade de 19,6 e 24,1 %, não diferem entre si ao nível de significância de 1 %, enquanto que essas diferem da média de grãos quebrados correspondente ao teor de umidade dos grãos de 15,9 % ao nível de significância de 1 %.

A figura 5 apresenta também a eficiência do mecanismo de trilha, representada pelas perdas totais (perdas na trilha + grãos quebrados), com os melhores resultados para o menor teor de umidade dos grãos, as perdas totais na trilha foram de 6,26, 6,75 e 8,13 % para os teores de umidade dos grãos de 15,9, 19,6 e 24,1 % respectivamente, e influenciadas principalmente pelas perdas na trilha. As médias de perdas totais na trilha para os teores de umidade de 15,9 e 19,6 % não diferem entre si; no entanto, essas diferem da média correspondente ao teor de umidade de 24,1 %, sempre ao nível de significância de 1 %.

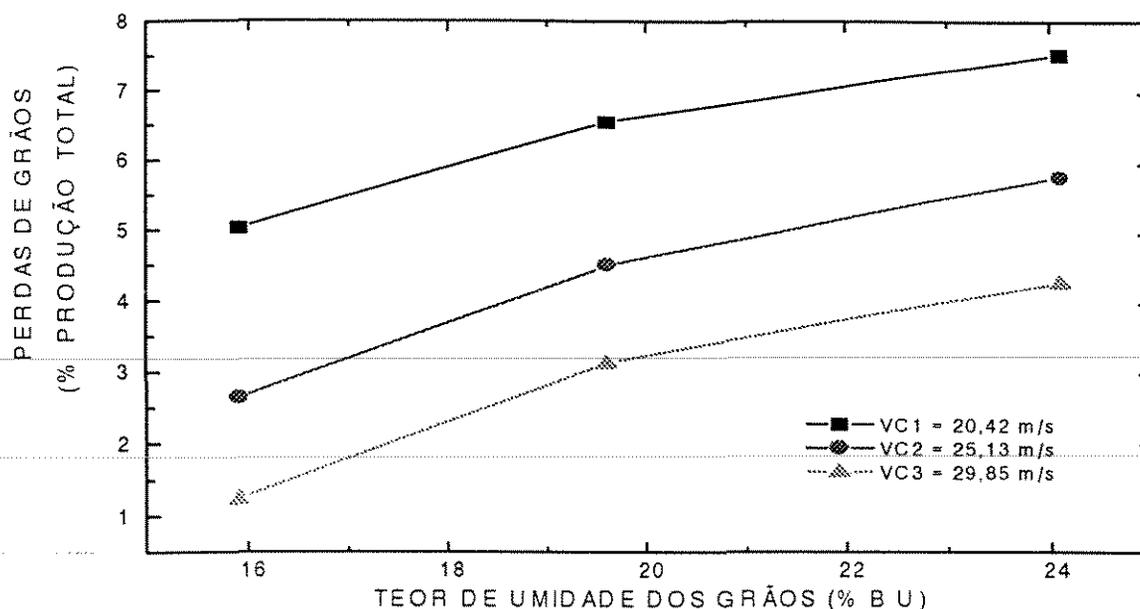


Figura 6 - Perdas na trilha em função do teor de umidade dos grãos, para várias velocidades tangenciais do cilindro.

As perdas na trilha em função do teor de umidade dos grãos, para várias velocidades tangenciais do cilindro, estão ilustradas na figura 6, onde cada ponto corresponde à média de 15 repetições. Verificou-se que as menores perdas corresponderam à maior velocidade tangencial do cilindro, de 29,85 m/s, aumentando ligeiramente com a diminuição da velocidade tangencial do cilindro para 25,13 e 20,42 m/s. Este comportamento está de acordo com os resultados de KANAFOJSKI (1972) e HUYNH et al (1982), que reportaram maior quantidade de grãos desprendidos das espigas com o incremento da velocidade tangencial das barras do cilindro. As menores perdas na trilha, com o aumento da velocidade tangencial do cilindro são devidas ao aumento do número e da magnitude dos impactos sobre as espigas, que aumentam assim as forças inerciais e de atrito responsáveis pela separação dos grãos. As médias das perdas na trilha com a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s foram de 7,54, 6,55 e 5,03 % para os teores de umidade dos grãos de 24,1, 19,6 e 15,9 % respectivamente, sendo a diferença entre essas médias, estatisticamente significativa ao nível de 1 %. As médias de perdas na trilha com a velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s foram de 5,80, 4,49 e 2,63 % para os teores de umidade de 24,1, 19,6 e 15,9 % respectivamente, sendo a diferença entre essas médias,

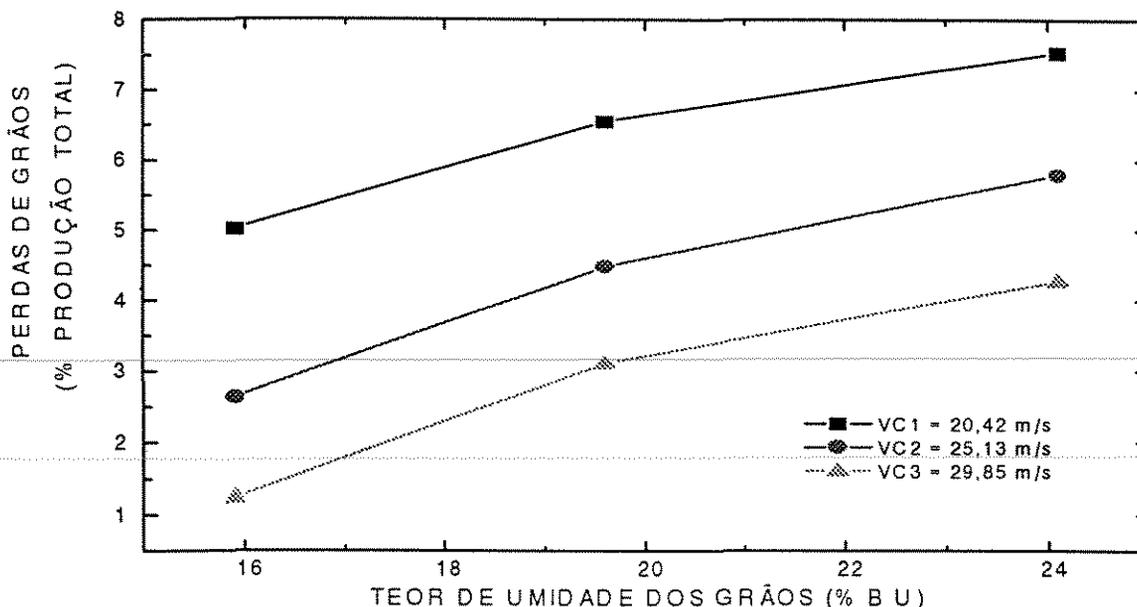


Figura 6 - Perdas na trilha em função do teor de umidade dos grãos, para várias velocidades tangenciais do cilindro.

As perdas na trilha em função do teor de umidade dos grãos, para várias velocidades tangenciais do cilindro, estão ilustradas na figura 6, onde cada ponto corresponde à média de 15 repetições. Verificou-se que as menores perdas corresponderam à maior velocidade tangencial do cilindro, de 29,85 m/s, aumentando ligeiramente com a diminuição da velocidade tangencial do cilindro para 25,13 e 20,42 m/s. Este comportamento está de acordo com os resultados de KANAFOJSKI (1972) e HUYNH et al (1982), que reportaram maior quantidade de grãos desprendidos das espigas com o incremento da velocidade tangencial das barras do cilindro. As menores perdas na trilha, com o aumento da velocidade tangencial do cilindro são devidas ao aumento do número e da magnitude dos impactos sobre as espigas, que aumentam assim as forças inerciais e de atrito responsáveis pela separação dos grãos. As médias das perdas na trilha com a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s foram de 7,54, 6,55 e 5,03 % para os teores de umidade dos grãos de 24,1, 19,6 e 15,9 % respectivamente, sendo a diferença entre essas médias, estatisticamente significativa ao nível de 1 %. As médias de perdas na trilha com a velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s foram de 5,80, 4,49 e 2,63 % para os teores de umidade de 24,1, 19,6 e 15,9 % respectivamente, sendo a diferença entre essas médias,

estatisticamente significativa ao nível de 1 %. Para a velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s, as médias das perdas na trilha foram de 4,28, 3,12 e 1,24 % para os teores de umidade dos grãos de 24,1, 19,6 e 15,9 %, respectivamente; a diferença entre essas médias foi estatisticamente significativa ao nível de 1 %.

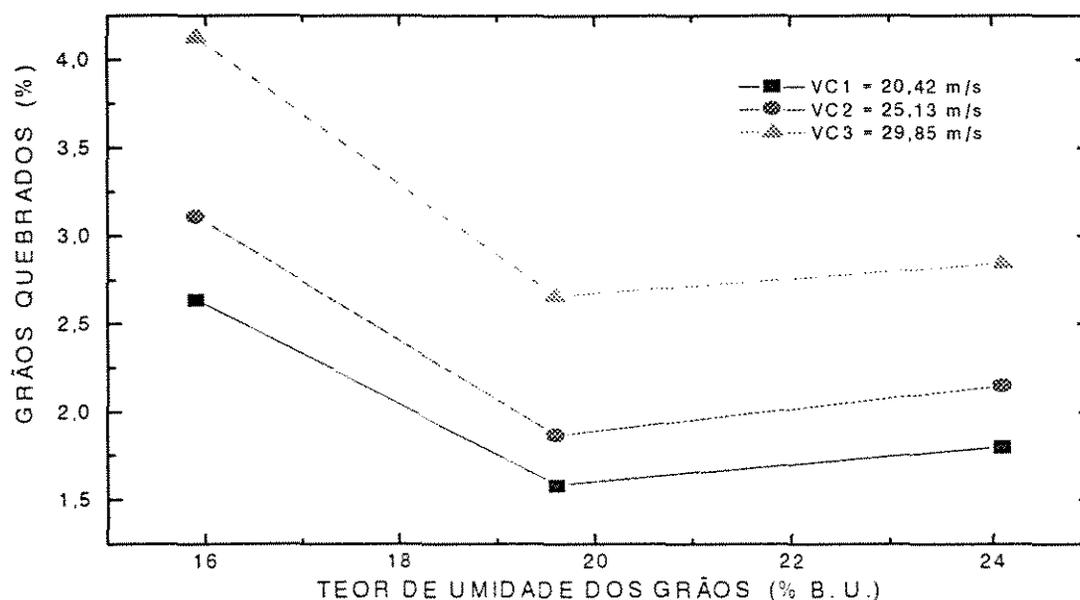


Figura 7 - Porcentagem de grãos quebrados relacionado com o teor de umidade dos grãos, para várias velocidades tangenciais do cilindro.

A Porcentagem de grãos quebrados, em função do teor de umidade dos grãos dentro de várias velocidades tangenciais do cilindro, é ilustrada na figura 7, onde cada ponto corresponde à média de 15 repetições; pode-se observar um comportamento contrário ao das perdas na trilha, já que a menor quantidade de grãos quebrados obteve-se com a menor velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s, aumentando ligeiramente com as velocidades tangenciais de 25,13 e 29,85 m/s. Esses resultados estão de acordo com o encontrado por JOHNSON et al (1963); HALL, JOHNSON (1970); MAHMOUD e BUCHELE (1975), PAULSEN e NAVE (1980) para o caso de milho. Essa tendência à quebra é função do número e da intensidade dos impactos sobre as

espigas, proporcional à velocidade tangencial das barras do cilindro. Encontrou-se uma menor quebra de grãos para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %, aumentando ligeiramente para o teor de umidade de 24,1 % e a maior quebra com o teor de umidade de 15,9 %, em todas as velocidades tangenciais do cilindro. As médias de grãos quebrados para a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s foram de 1,58, 1,80 e 2,64 %, para os teores de umidade de 19,6, 24,1 e 15,9 %, respectivamente; as correspondentes à velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s foram de 1,86, 2,15 e 3,11 %, nos mesmos níveis de teor de umidade respectivamente. Para a velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s estas foram de 2,65, 2,84 e 4,12 %, para os teores de umidade de 19,6, 24,1 e 15,9 % respectivamente. As médias de grãos quebrados para os teores de umidade de 19,6 e 24,1 % não diferem entre si ao nível de significância de 1 %, no entanto, estas diferem da média de quebra correspondente à umidade de 15,9 %, para as três velocidades tangenciais do cilindro.

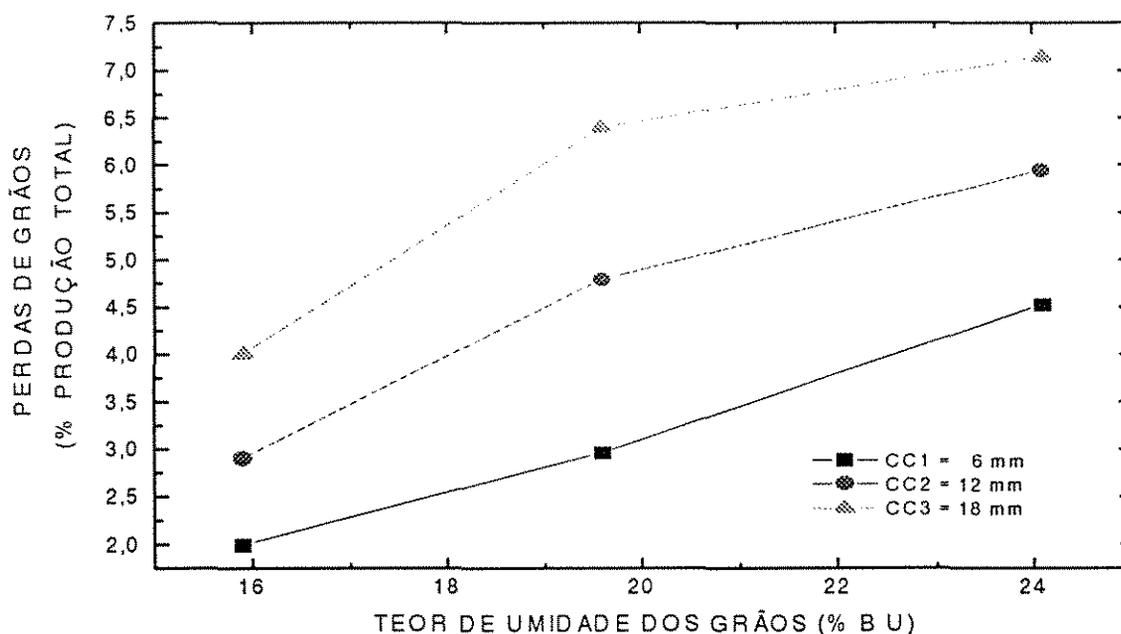


Figura 8 - Perdas na trilha em função do teor de umidade dos grãos, para várias aberturas do côncavo.

O efeito do teor de umidade dos grãos sobre as perdas na trilha, dentro de várias aberturas do côncavo, é ilustrado na figura 8, onde cada ponto corresponde à média de 15 repetições; encontrou-se que as menores perdas correspondem à menor abertura de 6 mm, aumentando essas perdas proporcionalmente com as aberturas de 12 e 18 mm; esses resultados obtidos estão de acordo com o reportado por KANAFOJSKI (1972). Essa tendência a promover maior desprendimento de grãos das espigas com menores aberturas do côncavo, é função da maior energia transferida à camada de palha e grãos, passando através da seção de trilha. As médias de perdas na trilha com a abertura do côncavo de 6 mm foram de 2,0, 2,96 e 4,52 % para os teores de umidade dos grãos de 15,9, 19,6 e 24,1 %, respectivamente. Para a abertura do côncavo de 12 mm, as perdas foram de 2,90, 4,79 e 5,95 %, para os mesmos níveis de teor de umidade respectivamente, sendo que para as aberturas do côncavo de 6 e 12 mm as médias de perdas na trilha diferem entre si ao nível de significância de 1 %. As médias de perdas na trilha, correspondentes à abertura de 18 mm, foram de 4,00, 6,40 e 7,14 %, para os teores de umidade de 15,9, 19,6 e 24,1 %, respectivamente, não existindo diferença significativa entre as médias de perdas na trilha correspondentes aos teores de umidade de 24,1 e 19,6 % ao nível de 1 %; no entanto, existe diferença entre essas médias correspondente ao teor de umidade de 15,9 %.

Os grãos quebrados, em função de seu teor de umidade para as várias aberturas do côncavo são apresentado na figura 9, onde cada ponto corresponde à média de 15 repetições; encontrou-se que a menor incidência de quebras corresponde à maior abertura do côncavo (18 mm), aumenta ligeiramente para a abertura de 12 mm e é notavelmente maior na abertura de 6 mm. Esses resultados concordam com o encontrado por MAHMOUD e BUCHELE (1975), NEWBERY et al (1980), para grãos de milho. O aumento da quebra dos grãos com a menor abertura é basicamente função da maior energia transferida pelas barras do cilindro à palha e aos grãos, promovendo uma deformação com mínima capacidade de expansão, que resulta em maior quebra de grãos e palha. As médias de grãos quebrados com a abertura do côncavo de 6 mm foram de 3,05, 3,24 e 4,68 %, para os teores de umidade de 19,6, 24,1 e 15,9 %, respectivamente;

as correspondentes à abertura de 12 mm foram de 1,75, 2,11 e 3,02 %, enquanto as correspondentes à abertura de 18 mm foram de 1,30, 1,43 e 2,18 %, para os mesmos níveis de teor de umidade respectivamente. As médias de grãos quebrados em cada abertura do côncavo, para os teores de umidades de 19,6 e 24,1 %, não diferem significativamente ao nível de 1 %, enquanto estas diferem da media correspondente ao teor de umidade de 15,9 %, ao nível de 1 %, para as três aberturas do côncavo.

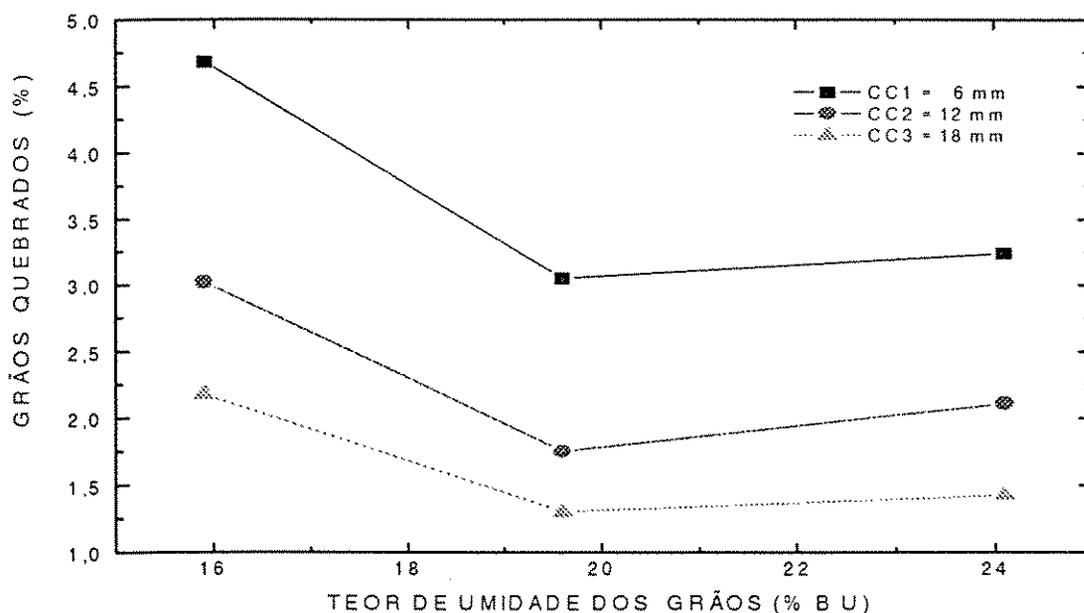


Figura 9 - Grãos quebrados relacionados com o teor de umidade dos grãos, para várias aberturas do côncavo.

O efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas globais na trilha é apresentado na figura 10, onde cada ponto corresponde à média de 45 repetições; encontrou-se que as médias das perdas na trilha diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, sendo de 6,37, 4,31 e 2,88 % para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, existindo diferença significativa entre as médias ao nível de 1 %. No mesmo gráfico observa-se o efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre a quebra

de grãos, encontrando que esta aumenta com o incremento da velocidade tangencial do cilindro, sendo de 2,01, 2,37 e 3,21 % para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente. No mesmo gráfico apresenta-se o efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre a eficiência do mecanismo de trilha representada pelas perdas totais no sistema (perdas na trilha + grãos quebrados), encontrando melhores resultados com o aumento da velocidade tangencial do cilindro. As médias das perdas totais foram de 8,38, 6,68 e 6,08 % para as mesmas velocidades tangenciais do cilindro respectivamente; essas perdas totais foram influenciadas pelas perdas na trilha, especialmente a baixas velocidades tangenciais do cilindro, onde se dificulta o desprendimento dos grãos da espiga basicamente pela menor intensidade e número de impactos. As médias das perdas totais diferem entre si ao nível de significância de 1%.

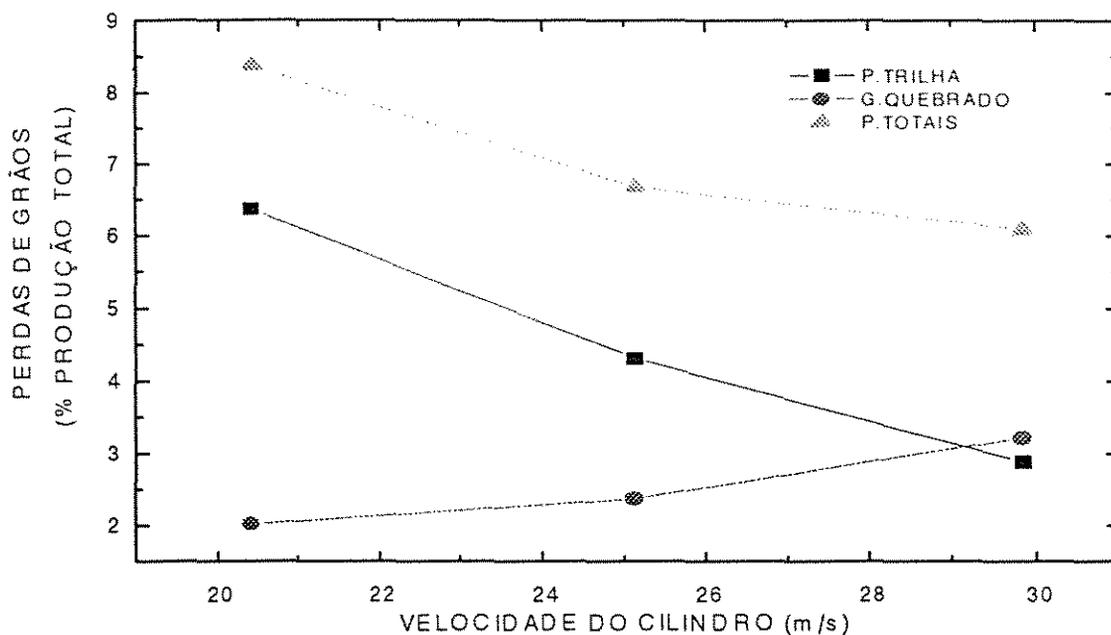


Figura 10 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade grãos quebrados e perdas totais.

Na figura 11 é apresentado o efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas globais na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais dentro da abertura do côncavo de

6 mm, onde cada ponto corresponde à média de 15 repetições. As médias das perdas na trilha encontradas foram de 4,79, 2,63 e 2,06 %, para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre as médias para as velocidades de 25,13 e 29,85 m/s ao nível de significância de 1 %, enquanto que estas diferem da média correspondente à velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s ao mesmo nível de significância.

As médias de grãos quebrados foram de 3,01, 3,36 e 4,60 %, para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre elas para as velocidades de 20,42 e 25,13 m/s, ao nível de significância de 1 %, enquanto que estas diferem da média de grãos quebrados correspondente à velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s ao mesmo nível de significância. As perdas totais do sistema para a abertura do côncavo de 6 mm foram mínimas com a velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s aumentando com as velocidades de 29,85 e 20,42 m/s, sendo de 5,99, 6,66 e 7,80 %, respectivamente. As perdas totais do mecanismo de trilha para a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s foram influenciadas pelas perdas na trilha; no entanto, para a velocidade tangencial de 29,85 m/s, as perdas totais foram mais influenciadas pela quantidade de grãos quebrados. Não existe diferença estatisticamente significativa entre as médias de perdas totais para as velocidades tangenciais do cilindro de 25,13 e 29,85 m/s ao nível de significância de 1 %, enquanto que estas diferem da média de perdas totais correspondentes à velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s, ao mesmo nível de significância.

O efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas globais na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais do mecanismo de trilha, dentro da abertura do côncavo de 12 mm, é apresentado na figura 12, onde cada ponto corresponde à média de 15 repetições. As médias das perdas na trilha foram de 6,30, 4,51 e 2,83 %, com velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente; essas médias diferem entre si ao nível de significância de 1 %. Entretanto, a quebra de grãos encontrada foi de 1,80, 2,14 e 2,95 % para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente,

não existindo diferença entre às médias correspondentes às velocidades tangenciais do cilindro de 20,42 e 25,13 m/s ao nível de significância de 1 %, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s. As perdas totais na trilha com a abertura do côncavo de 12 mm diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, sendo influenciadas pelas perdas na trilha especialmente com baixas velocidades tangenciais do cilindro; as médias das perdas totais no sistema foram de 8,10, 6,65 e 5,77 % para às velocidades tangenciais de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre as médias correspondentes às velocidades tangenciais do cilindro de 25,13 e 29,85 m/s ao nível de significância de 1 %, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade de 20,42 m/s.

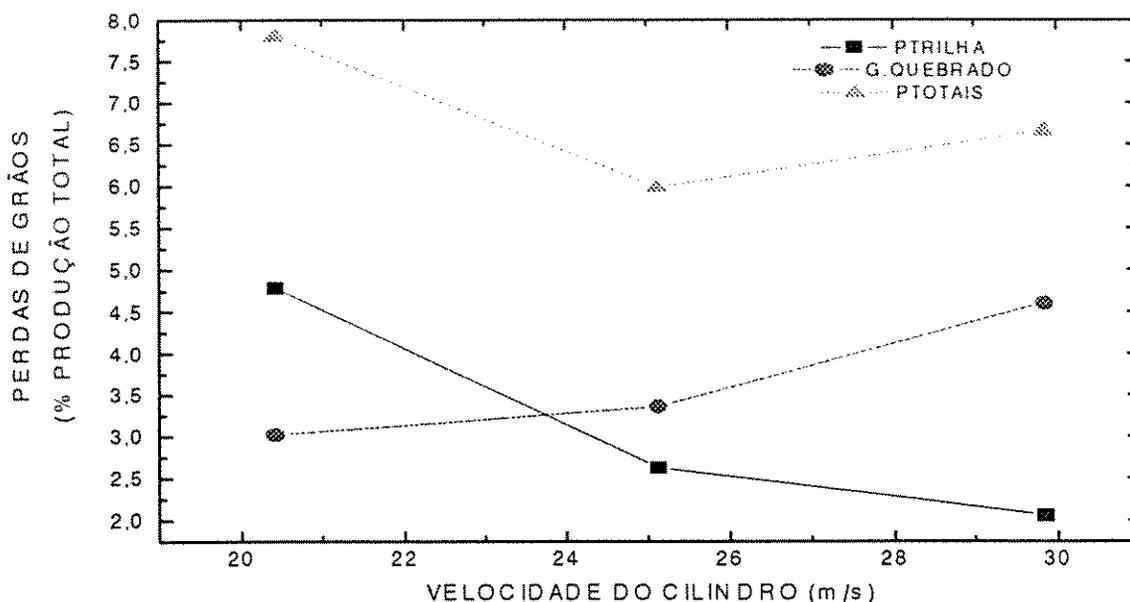


Figura 11 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para a abertura do côncavo de 6 mm.

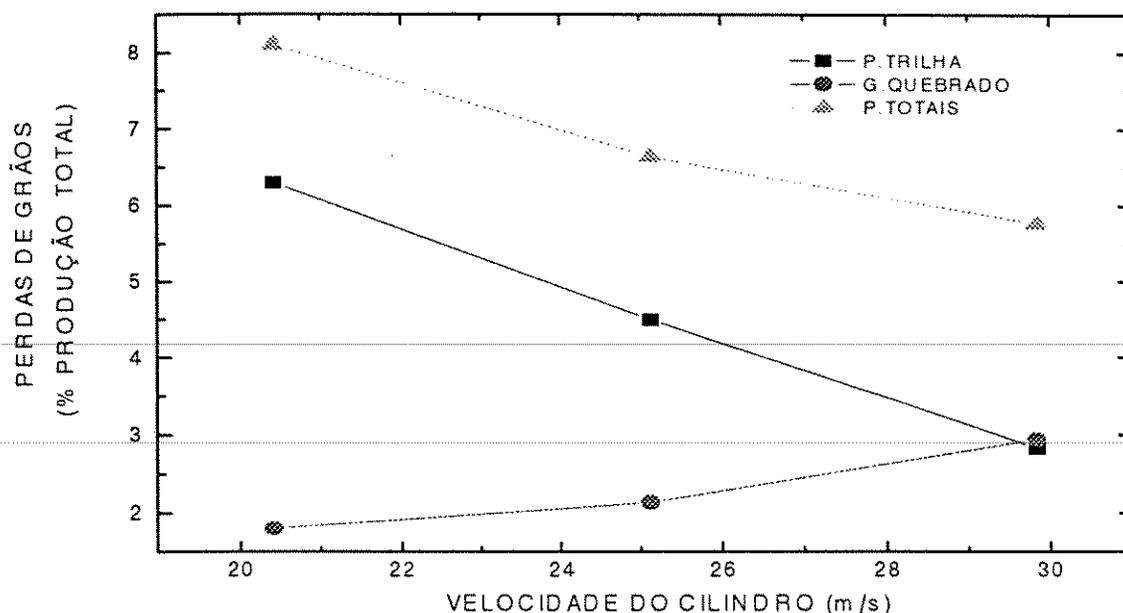


Figura 12 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para abertura do côncavo de 12 mm.

Na figura 13 é apresentado o efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas globais na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais no mecanismo de trilha, dentro da abertura do côncavo de 18 mm, onde cada ponto corresponde à média de 15 repetições. Foram encontradas as médias de perdas na trilha de 8,03, 5,78 e 3,74 % para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, diferindo entre si essas médias ao nível de significância de 1 %. As médias de grãos quebrados foram de 2,08, 1,62 e 1,21 % para as velocidades tangenciais do cilindro de 29,85, 25,13 e 20,42 m/s respectivamente, não existindo diferença entre as mesmas para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42 e 25,13 m/s, ao nível de significância de 1 %, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s, ao mesmo nível de significância. As perdas totais no mecanismo de trilha apresentaram uma tendência similar às perdas na trilha, pois com essa abertura do côncavo é relativamente pouca a quebra de grãos, e diminui a quantidade de grãos desprendidos das espigas aumentando as perdas na trilha que vão influenciar nas perdas totais no mecanismo; estas foram de 9,23, 7,40 e 5,81 % para as velocidades tangenciais de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, e diferem entre si ao nível de significância de 1 %.

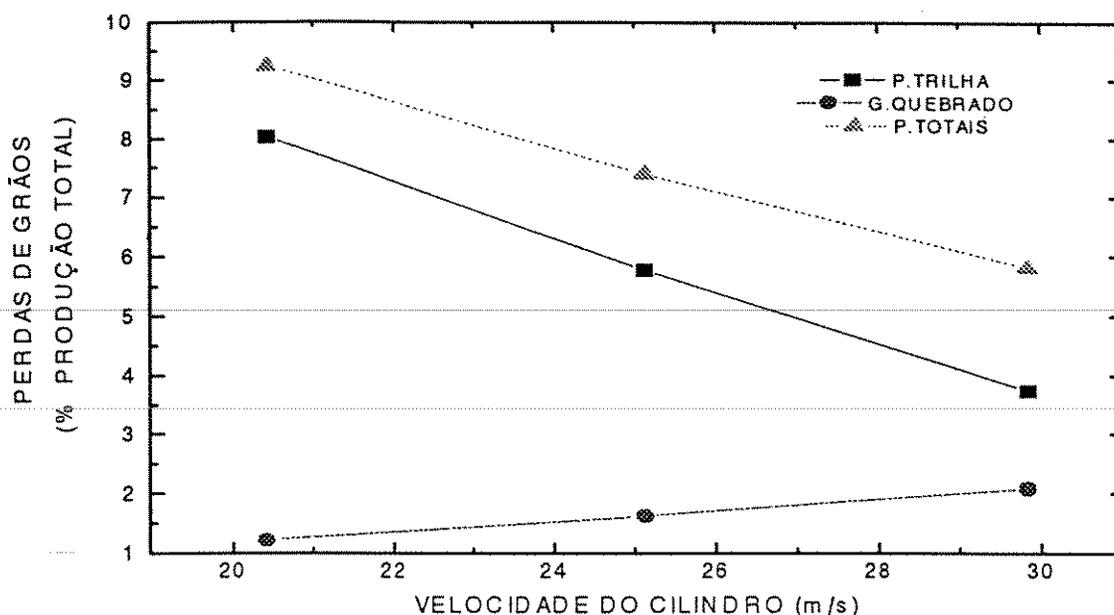


Figura 13 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para a abertura do côncavo de 18 mm.

7.1 Resultados para o Teor de Umidade de 24.1 %

Os dados de campo para este teor de umidade foram coletados o dia 7 de janeiro de 1993, utilizando uma relação em peso dos grãos/palha de 0,43, estando de acordo com o recomendado pela norma ASAE S 343.3, com uma vazão de alimentação total de 284,63 kg/min, correspondendo a vazão de grãos de 85,13 kg/min e a vazão de palha de 199,5 kg/min. As médias gerais encontradas para essa umidade foram : Perdas na trilha de 5,87 %, quantidade de grãos quebrados de 2,26 % e perdas totais no mecanismo de trilha de 8,13 %.

O efeito da velocidade tangencial do cilindro, sobre as perdas globais na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais no mecanismo de trilha para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %, é apresentado na figura 14, onde cada ponto corresponde à média de 15 repetições. As médias correspondentes às perdas na trilha foram de 7,54, 5,80 e 4,28 %, para as

velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, existindo diferença entre as médias ao nível de significância de 1 %. As médias de grãos quebrados foram de 1,80, 2,15 e 2,84 % para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre as médias correspondentes as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42 e 25,13 m/s, ao nível de significância de 1 %, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s ao mesmo nível de significância. As perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %, foram de 9,34, 7,95 e 7,12 % para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente. Elas diminuíram com o aumento da velocidade, influenciadas pelas perdas na trilha, não existindo diferença entre as médias correspondentes às velocidades tangenciais do cilindro de 25,13 e 29,85 m/s ao nível de significância de 1 %, no entanto essas diferem da média correspondente à velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s, ao mesmo nível de significância.

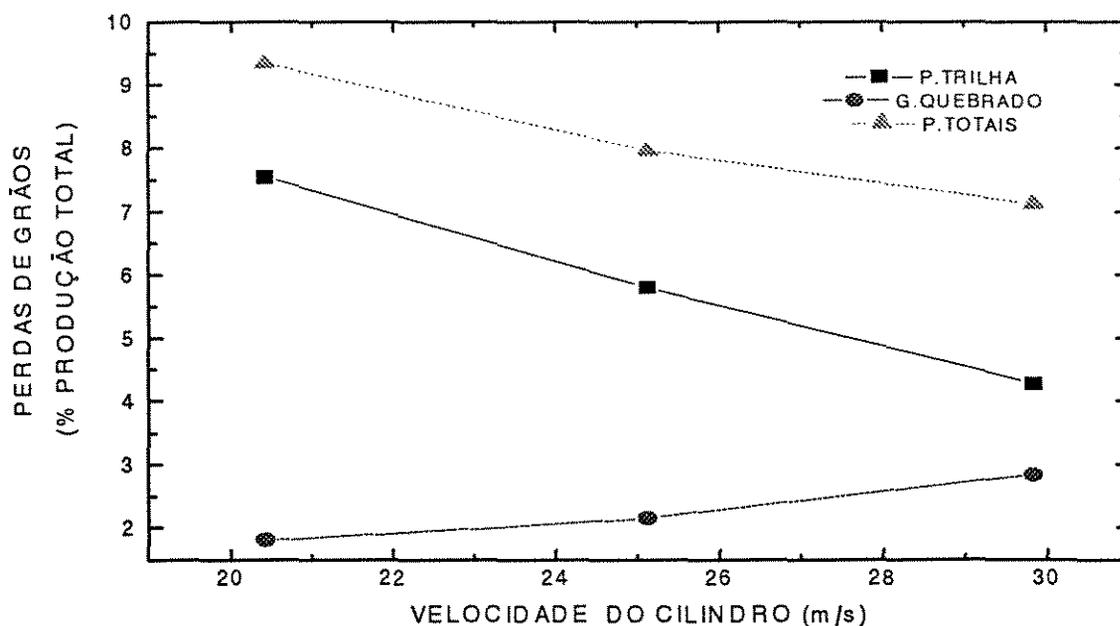


Figura 14 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %.

O efeito da velocidade tangencial do cilindro, sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais no mecanismo de trilha, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 % e abertura do côncavo de 6 mm, é apresentado na figura 15, onde cada ponto corresponde à média de 5 repetições. Encontrou-se que as perdas na trilha diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, sendo de 5,93, 4,04 e 3,59 % para as velocidades de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre as médias para as velocidades tangenciais do cilindro de 25,13 e 29,85 m/s, ao nível de significância de 1 %, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s, ao mesmo nível de significância. A quantidade de quebra de grãos aumentou com o incremento da velocidade tangencial do cilindro, sendo de 2,55, 3,06 e 4,12 % para as velocidades de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre as médias correspondentes as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42 e 25,13 m/s, ao nível de significância de 1 %, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s ao mesmo nível de significância.

As menores perdas totais tenham sido obtidas com a velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s, aumentando com as velocidades de 29,85 e 20,42 m/s, sendo de 7,10, 7,71 e 8,48 %, respectivamente, não existindo diferença entre as médias ao nível de significância de 1 %; essas perdas totais foram influenciadas pelas perdas na trilha para baixas velocidades tangenciais do cilindro e pelos grãos quebrados com alta velocidade tangencial do cilindro.

Na figura 16 é ilustrado o efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais no mecanismo, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 % e abertura do côncavo de 12 mm, onde cada ponto corresponde à média de 5 repetições, encontrando igualmente que as perdas na trilha diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, sendo de 7,50, 6,23 e 4,12 %, para as velocidades de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre as médias correspondentes as

velocidades de 20,42 e 25,13 m/s, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade de 29,85 m/s, ao nível de significância de 1 %. Entretanto, a quebra de grãos foi de 1,73, 2,91 e 2,69 % para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre às médias correspondentes as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42 e 25,13 m/s, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s ao nível de significância de 1 %. As perdas totais do sistema, influenciadas pelas perdas na trilha, diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, sendo de 9,23, 8,14 e 6,19 % para as velocidades de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente.

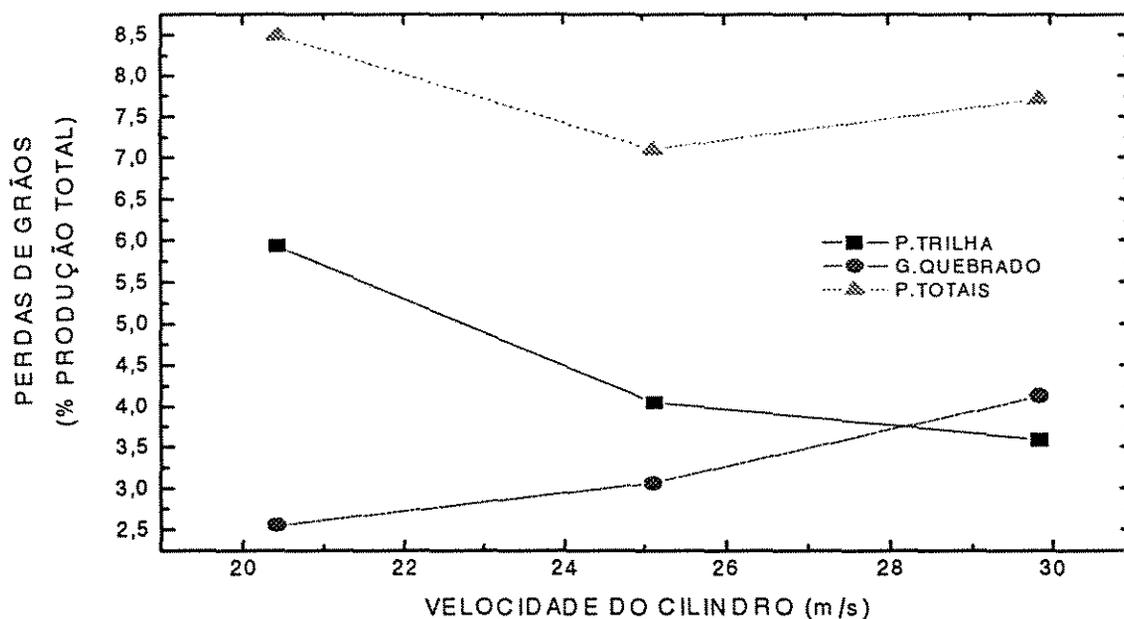


Figura 15 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %, e abertura do côncavo 6 mm.

Na figura 17 é apresentado o efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais no mecanismo de trilha para grãos com

teor de umidade de 24,1 %, e abertura do côncavo de 18 mm, onde cada ponto corresponde à média de 5 repetições. Nessa posição foram obtidas as maiores perdas na trilha para esse teor de umidade, sendo de 9,18, 7,13 e 5,12 para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente; existindo diferença entre as médias ao nível de significância de 1 %. Nessa mesma posição foi obtida a menor quebra de grãos, sendo de 1,71, 1,47 e 1,12 %, para os mesmos níveis de velocidade tangencial do cilindro respectivamente; não existindo diferença entre as médias ao nível de significância de 1 %. Nessa mesma posição, foram obtidas as maiores perdas totais no mecanismo, sendo de 10,32, 8,60 e 6,83 % para as velocidades de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s respectivamente, existindo diferença entre as médias ao nível de significância de 1 %.

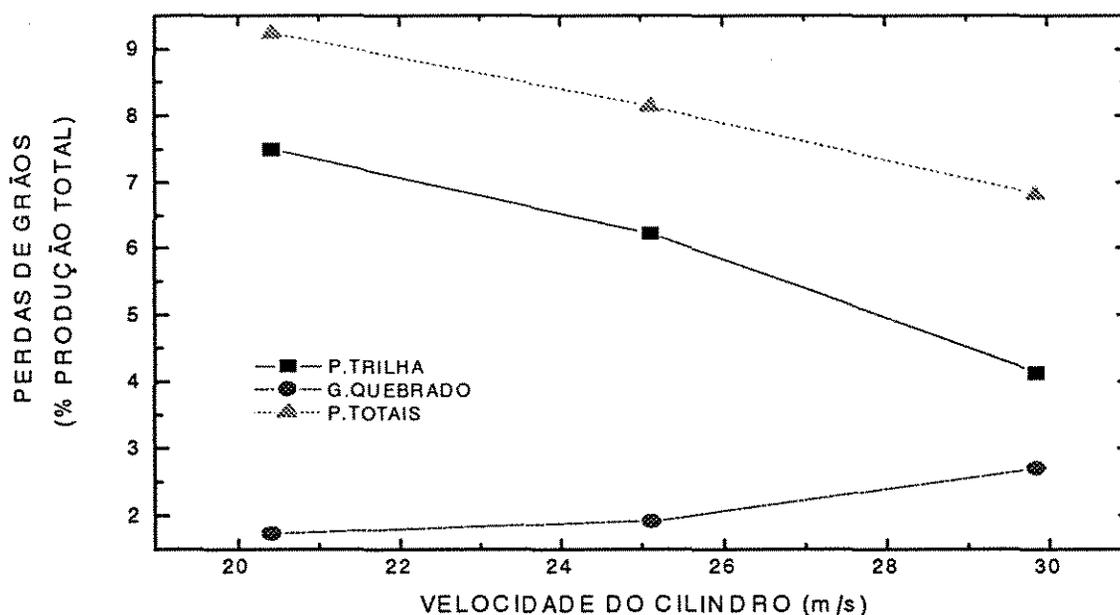


Figura 16 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %, e abertura do côncavo de 12 mm.

Porém, as melhores combinações do mecanismo de trilha, para as menores perdas com o teor de umidade dos grãos de 24,1 % foram: menores perdas na trilha de 3,59 % com abertura

do côncavo de 6 mm e velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s. Menor quantidade de grãos quebrados de 1,12 % com a abertura do côncavo de 18 mm e velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s. Melhor eficiência do mecanismo de trilha (menores perdas totais) com a abertura do côncavo de 12 mm e velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s.

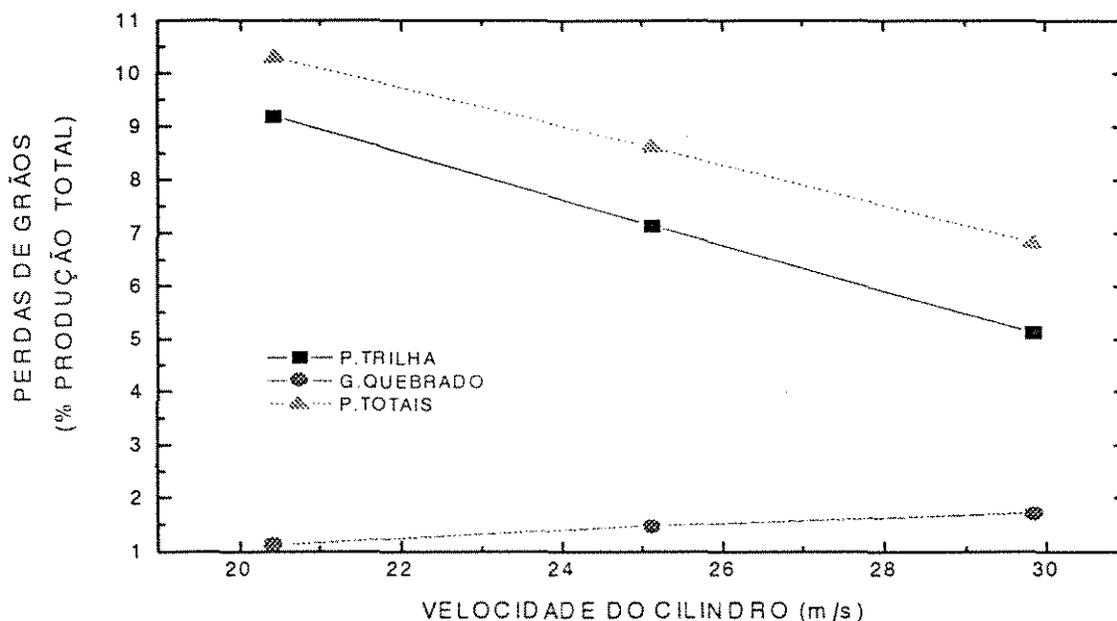


Figura 17- Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 % e abertura do côncavo de 18 mm.

Encontrou-se que, para o teor de umidade de 24,1 % e abertura do côncavo de 6 mm, ao mudar a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 para 25,13 m/s, as perdas na trilha diminuíram em 31,88 %, enquanto ao mudar para a velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s, diminuíram em 11,23 % com respeito às perdas na trilha correspondentes à velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s. Com a abertura do côncavo de 12 mm, ao mudar a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 para 25,13 m/s, as perdas na trilha diminuíram em 16,96 %, enquanto ao mudar para a velocidade tangencial de 29,85 m/s, diminuíram em 33,76 % com

respeito às perdas na trilha correspondentes à velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s. Com a abertura do côncavo de 18 mm, ao mudar a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 para 25,13 m/s, as perdas na trilha diminuíram em 22,34 %, enquanto ao mudar para a velocidade tangencial de 29,85 m/s, diminuíram em 28,27 %, com respeito as perdas na trilha correspondentes à velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s.

Mudando a abertura do côncavo com a velocidade tangencial do cilindro constante encontrou-se que, para a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s, ao mudar a abertura do côncavo de 18 para 12 mm, as perdas na trilha diminuíram em 18,36 %; ao mudar a abertura do côncavo para 6 mm, as perdas na trilha diminuíram em 20,86 %, com respeito às correspondentes à abertura de 12 mm. Para a velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s, ao mudar a abertura do côncavo de 18 para 12 mm, as perdas na trilha diminuíram em 12,70 %; ao mudar para a abertura do côncavo de 6 mm, as perdas na trilha diminuíram em 35,08 %, com respeito as perdas na trilha correspondentes à abertura de 12 mm. Com a velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s, ao mudar a abertura do côncavo de 18 para 12 mm, as perdas na trilha diminuíram em 19,39 %; ao diminuir a abertura do côncavo para 6 mm, as perdas na trilha diminuíram em 12,99 %, com respeito correspondentes à abertura do côncavo de 12 mm. Porém, pode-se observar que a velocidade tangencial do cilindro tem maior influência na redução das perdas na trilha do que a abertura do côncavo.

7.2 Resultados para o Teor de Umidade de 19.6 %

Os dados de campo para este teor de umidade, foram coletados o dia 9 de janeiro de 1993, utilizando uma relação em peso grãos/palha de 0,47, estando de acordo com o recomendado pela norma ASAE S343.3, com uma vazão de alimentação de 247,38 kg/min, correspondendo a grãos 78,97 kg/min e a palha 168,41 kg/min. Entretanto, as médias gerais

encontradas foram: Perdas na trilha de 4,72 %, quantidades de grãos quebrados de 2,03 % e perdas totais de 6,75 %.

O efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas globais na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, no mecanismo de trilha para o teor de umidade de 19,6 %, é apresentado na figura 18, onde cada ponto corresponde à média de 15 repetições. Da mesma forma, as perdas na trilha diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, sendo de 6,55, 4,49 e 3,12 %, com as velocidades de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, diferindo as médias entre si ao nível de significância de 1 %. Enquanto nessa umidade a quantidade de quebra de grãos foi de 1,58, 1,86 e 2,65 %, com os mesmos níveis de velocidade respectivamente, não existindo diferença entre as médias de grãos quebrados correspondentes às velocidades tangenciais do cilindro de 20,42 e 25,13 m/s, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s, ao nível de significância de 1 %. As perdas totais diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, influenciadas pelas perdas na trilha, sendo de 8,13, 6,35 e 5,77 %, para as velocidades tangenciais de cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre as médias correspondentes às velocidades tangenciais do cilindro de 25,13 e 29,85 m/s, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s, ao nível de significância de 1 %.

O efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais no mecanismo, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %, com a abertura do côncavo de 6 mm, é apresentado na figura 19, onde cada ponto corresponde à média de 5 repetições. As perdas na trilha foram de 4,58, 2,46 e 1,85 %, com as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre as médias correspondentes às velocidades de 25,13 e 29,85 m/s, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade de 20,42 m/s, ao nível de significância de 1 %. Entretanto, a

quantidade de grãos quebrados para essas condições foram de 2,42, 2,75 e 3,96 %, para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre as médias correspondentes às velocidades tangenciais do cilindro de 20,42 e 25,13 m/s, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s, ao nível de significância de 1 %. As perdas totais foram mínimas, com a velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s, aumentando com as velocidades de 29,85 e 20,42 m/s, sendo de 5,21, 5,81 e 7,00 %, respectivamente, influenciadas pelas perdas na trilha para baixas velocidades tangenciais do cilindro e pelos grãos quebrados para altas velocidades

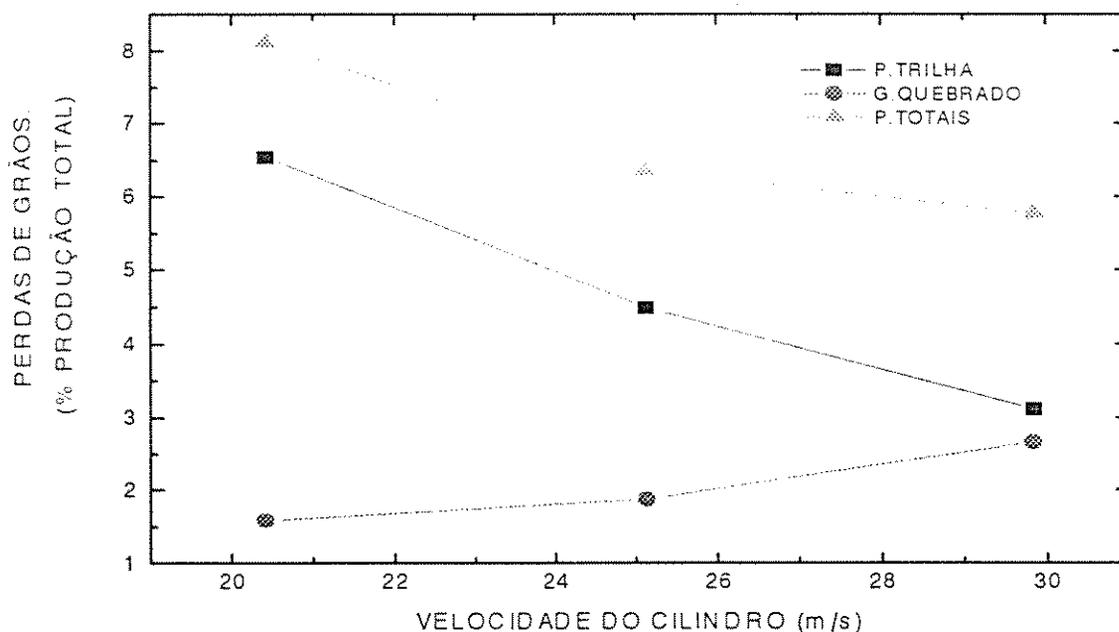


Figura 18 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.

O efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais no mecanismo de trilha, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %, e abertura do côncavo de 12 mm, é apresentado na figura 20, onde cada ponto corresponde à

média de 45 repetições. As perdas na trilha diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, sendo de 6,67, 4,51 e 3,18 %, para as velocidades de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença significativa entre as médias correspondentes às velocidades de 25,13 e 29,85 m/s, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade de 20,42 m/s, ao nível de significância de 1 %. A quantidade de grãos quebrados foram de 1,39, 1,55 e 2,33 %, para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente. As perdas totais diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, sendo estas de 8,06, 6,06 e 5,51 %, para as velocidades de 20,41, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre as médias correspondentes as velocidades de 25,13 e 29,85 m/s, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade de 20,42 m/s, ao nível de significância de 1 %.

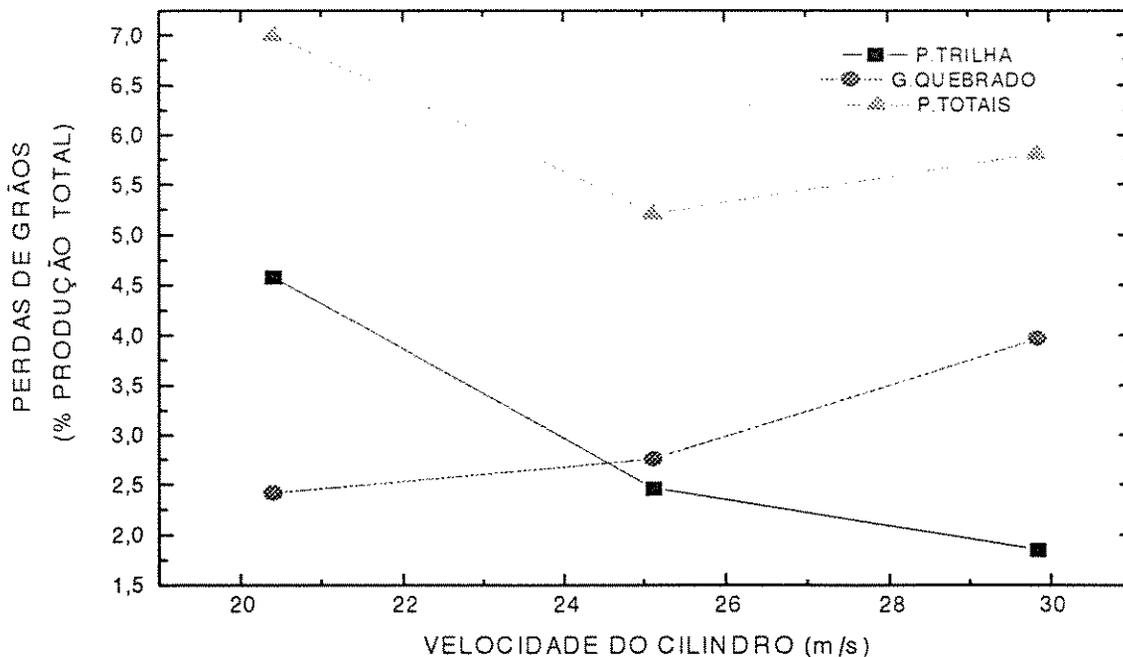


Figura 19 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %, e abertura do côncavo de 6 mm.

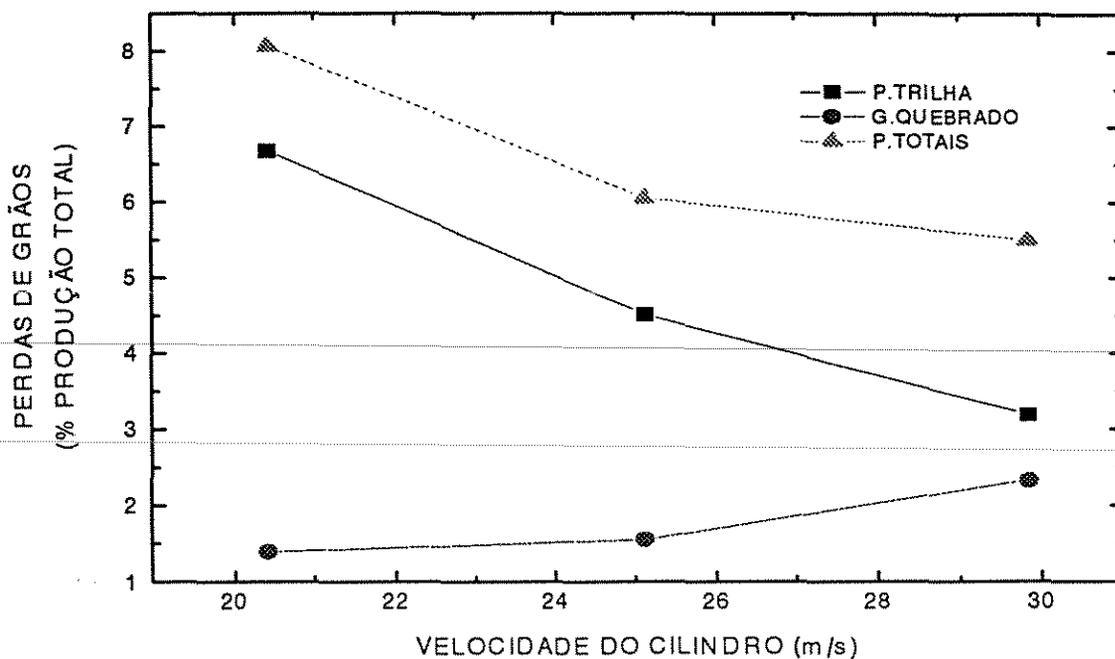


Figura 20 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %, e abertura do côncavo de 12 mm.

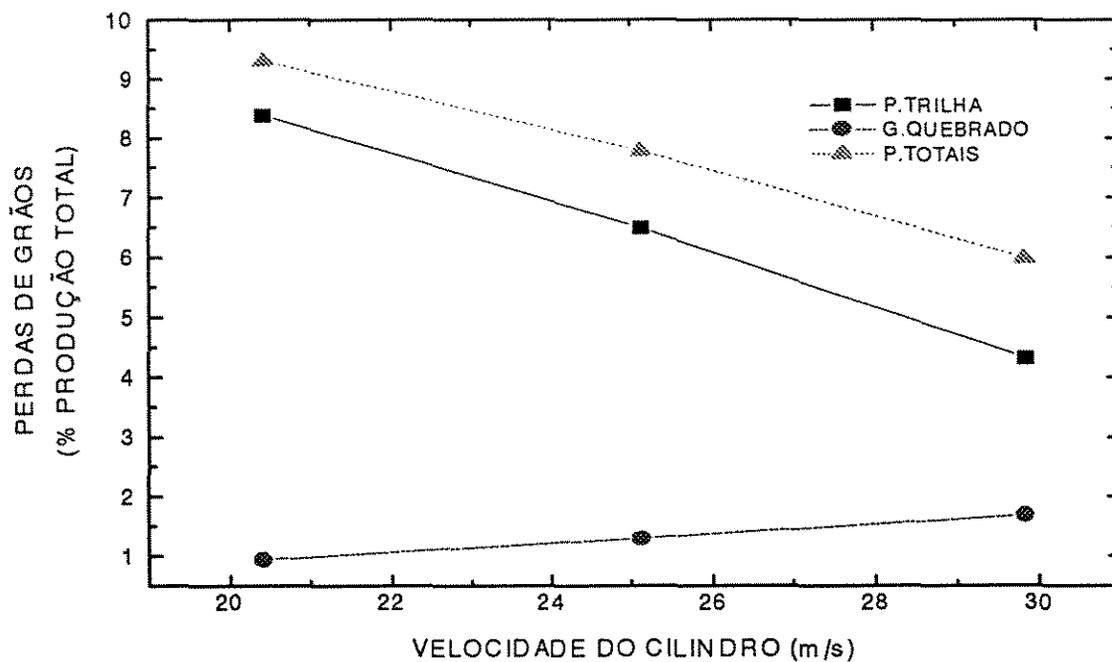


Figura 21 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %, e abertura do côncavo de 18 mm.

O efeito da velocidade tangencial do cilindro nas perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %, com abertura do côncavo de 18 mm, é apresentado na figura 21, onde cada ponto corresponde à média de 5 repetições; com perdas na trilha de 8,38, 6,50 e 4,32 %, para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, existindo diferença entre as médias ao nível de 1 %. Neste teor de umidade e abertura do côncavo, a quebra de grãos foi mínima, sendo de 1,67, 1,28 e 0,93 %, para as velocidades de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre as médias ao nível de 1 %. Porém, as perdas totais no mecanismo de trilha foram completamente influenciadas pelas perdas na trilha, sendo de 9,31, 7,79 e 5,99 %, não existindo diferença entre as médias correspondentes às velocidades de 20,42 e 25,13 m/s, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade de 29,85 m/s, ao nível de significância de 1 %.

As melhores combinações no mecanismo de trilha para as menores perdas de grãos, com teor de umidade de 19,6 foram: menores perdas na trilha de 1,85 %, obtidas com a abertura do côncavo de 6 mm e velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s. Menor quebra de grãos de 0,93 %, obtida com a abertura do côncavo de 18 mm e velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s. A melhor eficiência do sistema com as menores perdas totais de 5,12 %, obtidas com a abertura do côncavo de 6 mm e velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s. Além, encontrou-se que para o teor de umidade de 19,6 %, com a abertura do côncavo de 6 mm, ao mudar a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 para 25,13 m/s, as perdas na trilha diminuíram em 46,33 %, ao mudar para a velocidade de 29,85 m/s, diminuíram 24,82 %, com respeito às perdas correspondentes à velocidade de 25,13 m/s. Para a abertura de 12 mm, ao mudar a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 para 25,13 m/s, as perdas na trilha diminuíram em 32,39 %, ao mudar para a velocidade de 29,85 m/s, essas perdas diminuíram em 29,43 %, com respeito as perdas correspondentes à velocidade de 25,13 m/s. Para a abertura de 18 mm, ao mudar a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 para 25,13 m/s, as perdas na trilha diminuíram em 22,50 %, ao mudar para a velocidade de 29,85 m/s, essas perdas diminuíram em

33,53 %, com respeito às correspondentes à velocidade de 25,13 m/s.

Mudando a abertura do côncavo com a velocidade tangencial do cilindro constante encontrou-se que, para a velocidade de 20,42 m/s, ao mudar a abertura de 18 para 12 mm, as perdas na trilha diminuíram em 20,38 %, enquanto ao mudar para a abertura de 6 mm, essas perdas diminuíram em 31,38 %, com respeito as correspondentes à abertura de 12 mm. Para a velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s, ao mudar a abertura de 18 para 12 mm, as perdas na trilha diminuíram em 30,54 %, ao mudar para a abertura de 6 mm, essas perdas diminuíram em 45,52 %, com respeito às perdas correspondentes à abertura de 12 mm. Para a velocidade de 29,85 m/s, ao mudar de abertura de 18 para 12 mm, as perdas na trilha diminuíram em 26,26 %, enquanto ao mudar para a abertura de 6 mm, essas perdas diminuíram em 41,96 %, com respeito às perdas correspondentes à abertura de 12 mm. Porém, é maior a redução de perdas na trilha para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %, com a abertura do côncavo de 6 mm.

7.3 Resultados para o Teor de Umidade de 15.9 %

Os dados de campo para este teor de umidade foram coletados o dia 13 de janeiro de 1993, utilizando uma relação em peso grãos/palha de 0,48, estando de acordo com o recomendado pela norma ASAE S 343.3, com uma vazão de alimentação total de 231,50 kg/min, correspondendo a grãos 75,28 kg/min e a palha 156,22 kg/min. Para este teor de umidade a média das perdas na trilha foi de 2,97 %, de grãos quebrados 3,29 %, e perdas totais do mecanismo de trilha de 6,26 %.

O efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas globais na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais no mecanismo de trilha, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %, é ilustrado na figura 22, onde cada ponto corresponde à média de 15

repetições. De forma geral, as perdas na trilha diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, sendo de 5,03, 2,63 e 1,24 %, para as velocidades de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, existindo diferença entre as médias ao nível de significância de 1 %. A quebra de grãos aumentou com a velocidade tangencial do cilindro, sendo de 2,64, 3,11 e 4,12 %, para os mesmos níveis de velocidade, respectivamente; existindo diferença entre as médias ao nível de significância de 1 %. As perdas totais foram de 7,67, 5,74 e 5,36 %, para as mesmas velocidades, respectivamente; não existindo diferença entre as médias correspondentes às velocidades tangenciais do cilindro de 25,13 e 29,85 m/s, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s, ao nível de significância de 1 %.

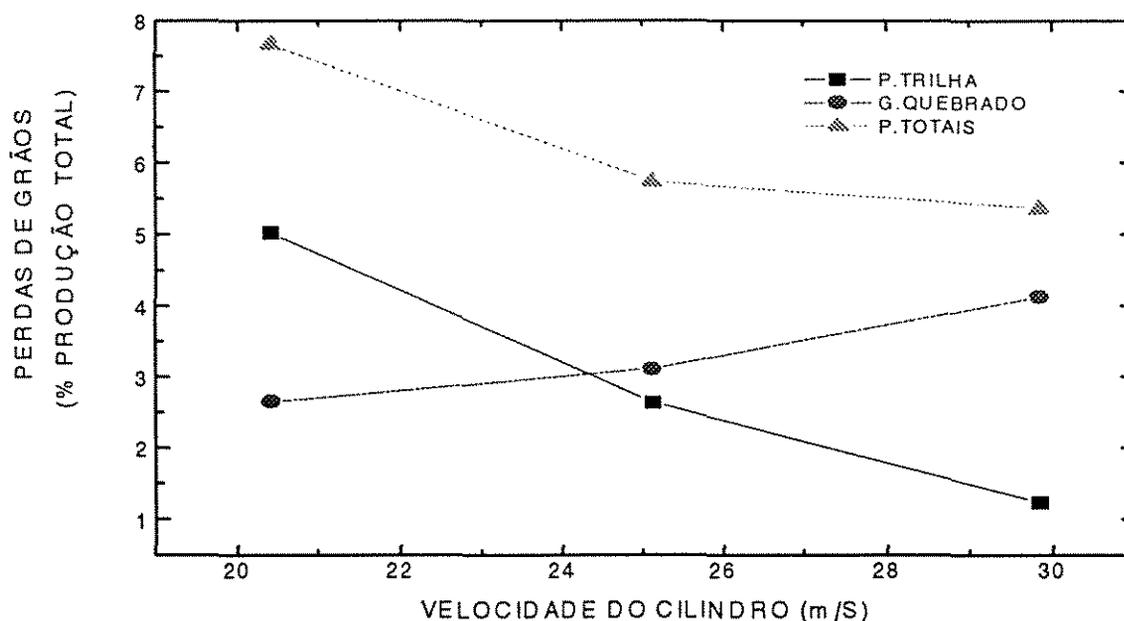


Figura 22 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %.

O efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais no mecanismo de trilha, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %, com abertura do côncavo de 6 mm, é ilustrado na figura 23, onde cada ponto corresponde

à média de 5 repetições. As perdas na trilha foram de 3,84, 1,39 e 0,75 %, para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, não existindo diferença entre as médias correspondentes às velocidades de 25,13 e 29,85 m/s, enquanto essas diferem com a média correspondente à velocidade de 20,42 m/s ao nível de significância de 1 %. A quebra de grãos nesta posição foi de 4,07, 4,26 e 5,72 %, para os mesmos níveis de velocidade, respectivamente; não existindo diferença entre as médias correspondentes às velocidades de 20,42 e 25,13 m/s, enquanto essas diferem com a média correspondente à velocidade de 29,85 m/s, ao nível de significância de 1 %. As perdas totais no mecanismo de trilha, influenciadas pela quebra de grãos, foram mínimas com a velocidade de 25,13 m/s, aumentando com as velocidades de 29,85 e 20,42 m/s, sendo de 5,65, 6,47 e 7,91 %, respectivamente, não existindo diferença entre as médias correspondentes às velocidades de 20,42 e 29,85 m/s, enquanto essas diferem com a média correspondente à velocidade de 25,13 m/s.

O efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre a perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais no mecanismo de trilha, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %, com abertura do côncavo de 12 mm, é apresentado na figura 24, onde cada ponto corresponde à média de 5 repetições. As perdas na trilha diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, sendo de 4,73, 2,79 e 1,18 % para as velocidades de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, existindo diferença entre as médias ao nível de significância de 1 %. A quebra de grãos aumentou com o incremento da velocidade, sendo de 2,28, 2,96 e 3,81 % para os mesmos níveis de velocidade, respectivamente; não existindo diferença entre as médias correspondentes às velocidades de 20,42 e 25,13 m/s, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade de 29,85 m/s, ao nível de significância de 1 %. As perdas totais diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, sendo de 7,00, 5,74 e 4,99 %, para as velocidades de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, sendo influenciadas pelas perdas na trilha quando a velocidade foi de 20,42 m/s, e pela quebra de grãos quando a velocidade foi de 29,85 m/s.

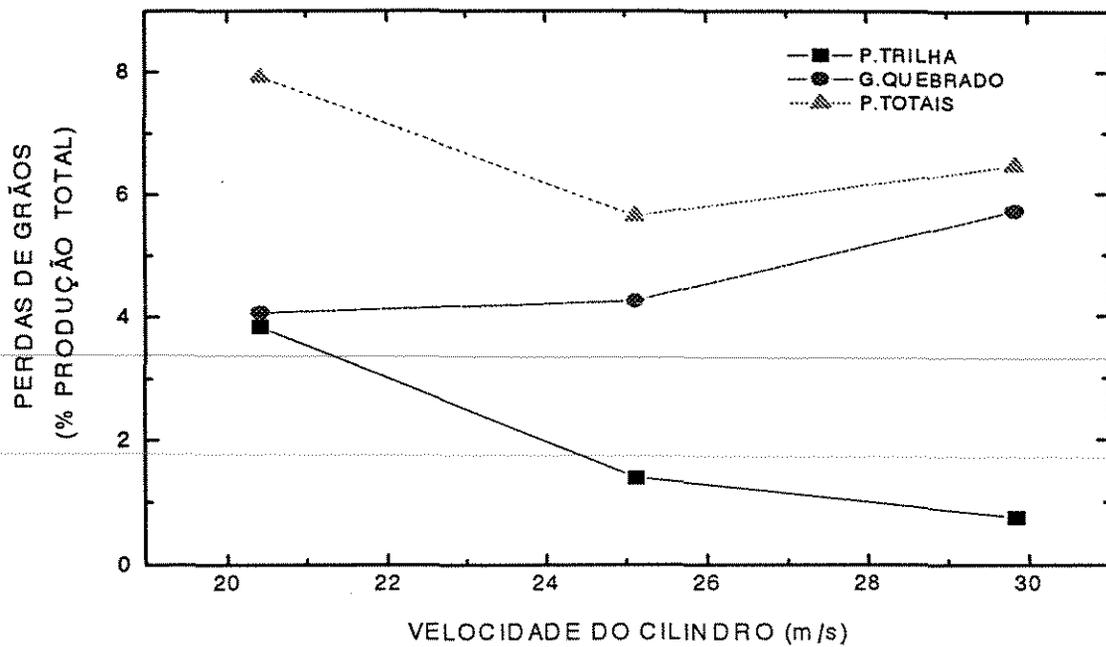


Figura 23 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %, e abertura do côncavo de 6 mm.

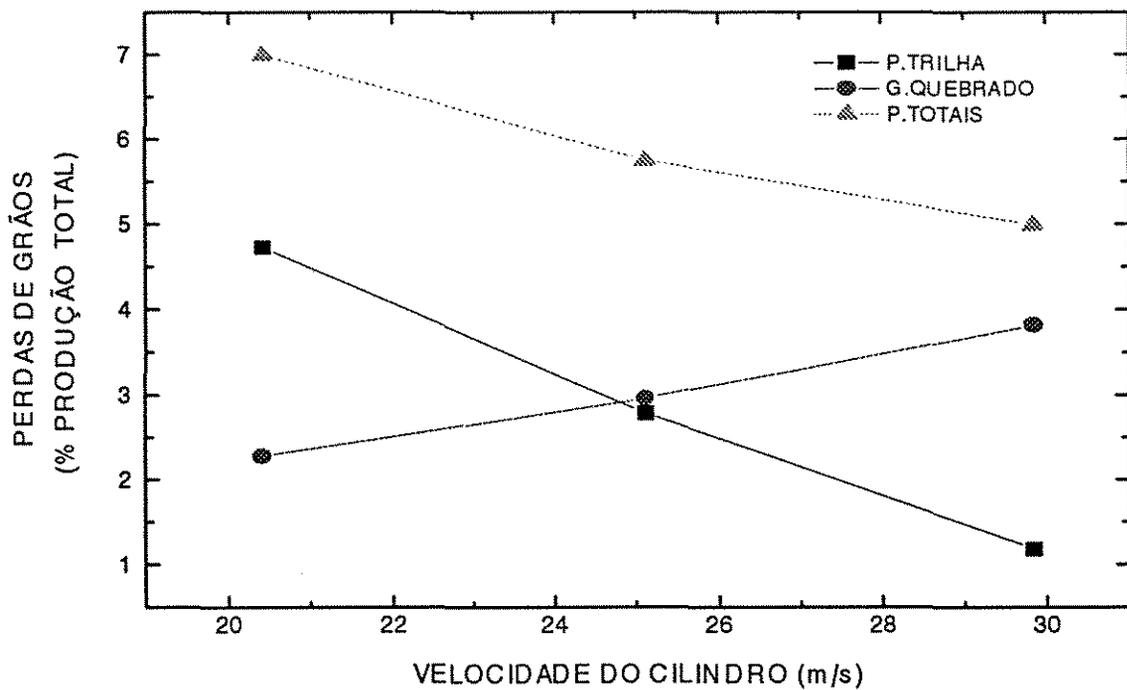


Figura 24 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %, e abertura do côncavo de 12 mm.

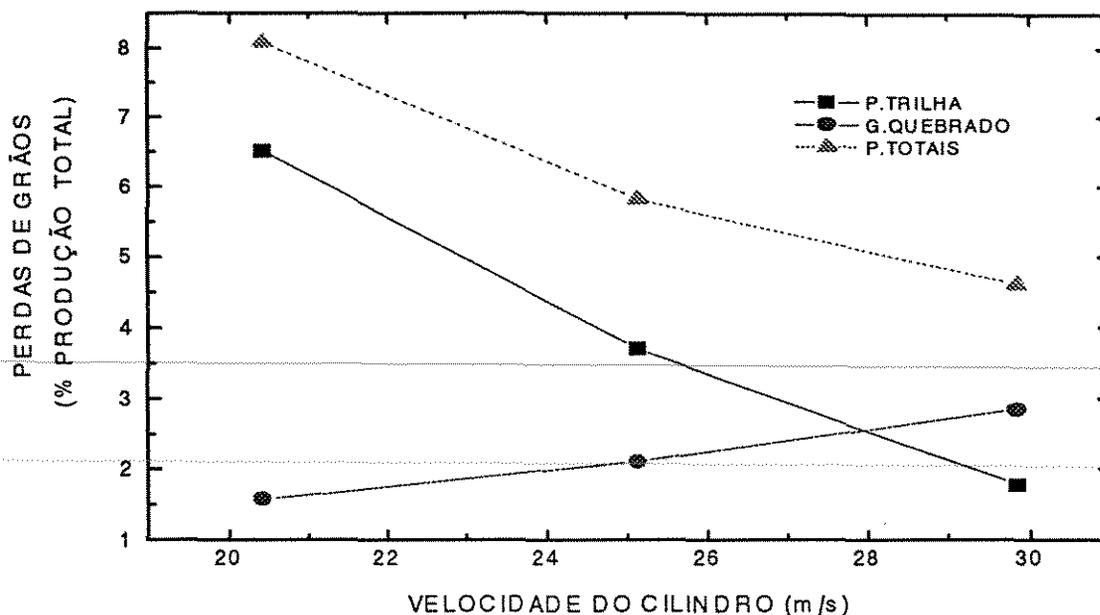


Figura 25 - Efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %, e abertura do côncavo de 18 mm.

O efeito da velocidade tangencial do cilindro sobre as perdas na trilha, grão quebrado e perdas totais no mecanismo, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %, com a abertura do côncavo de 18 mm, é apresentado na figura 25, onde cada ponto corresponde à média de 5 repetições. As perdas na trilha nessa posição foram de 6,51, 3,72 e 1,78 %, para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente, existindo diferença entre as médias das perdas na trilha ao nível de significância de 1 %. A quantidade de grãos quebrados foram de 1,57, 2,11 e 2,84 %, para os mesmos níveis de velocidade, respectivamente. As perdas totais diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro, sendo de 8,08, 5,83 e 4,63 % para as mesmas velocidades, respectivamente, não existindo diferença entre as médias correspondentes às velocidades de 25,13 e 29,85 m/s, enquanto essas diferem da média correspondente à velocidade de 20,41 m/s, ao nível de significância de 1 %, sendo influenciadas estas perdas totais pelas perdas na trilha, especialmente com baixa velocidade tangencial do cilindro.

Porém, as melhores combinações no mecanismo de trilha para as menores perdas, com teor de umidade dos grãos de 15,9 % foram: menores perdas na trilha de 0,75 %, obtidas com a abertura do côncavo de 6 mm e velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s. Menor quantidade de grãos quebrados de 1,57 %, obtidas com a abertura do côncavo de 18 mm e velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s. Enquanto a melhor eficiência do sistema com as menores perdas totais de 4,63 %, obtida com a abertura do côncavo de 18 mm e velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s.

Encontrou-se que, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %, com a abertura do côncavo de 6 mm, ao mudar a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 para 25,13 m/s, as perdas na trilha diminuíram em 63,79 %, enquanto ao mudar a velocidade para 29,85 m/s, essas perdas diminuíram em 45,98 %, com respeito às correspondentes à velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s. Com a abertura de 12 mm, ao mudar a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 para 25,13 m/s, as perdas na trilha diminuíram em 40,01 %, enquanto ao mudar a velocidade para 29,85 m/s, essas perdas diminuíram em 57,75 %, com respeito as correspondentes à velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s. Com a abertura de 18 mm, ao mudar a velocidade de 20,42 para 25,13 m/s, as perdas na trilha diminuíram em 42,91 %, enquanto ao mudar para a velocidade de 29,85 m/s, essas perdas diminuíram em 52,02 %, com respeito às perdas correspondentes à velocidade de 25,13 m/s.

Entretanto, mudando a abertura do côncavo com a velocidade tangencial do cilindro constante encontrou-se que, para a velocidade de 20,42 m/s, mudando a abertura de 18 para 12 mm, as perdas na trilha diminuíram em 27,43 %, enquanto ao mudar a abertura para 6 mm, essas perdas diminuíram em 18,66 %, com respeito às perdas correspondentes à abertura de 12 mm. Para a velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s, ao mudar a abertura de 18 para 12 mm, as perdas na trilha diminuíram em 25,01 %, enquanto mudando a abertura para 6 mm, essas perdas diminuíram em 50,07 %, com respeito às perdas correspondentes à abertura de 12 mm. Para a

velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s, mudando a abertura de 18 para 12 mm, as perdas na trilha diminuíram em 33,97 %, enquanto que com a abertura de 6 mm, essas perdas diminuíram em 36,16 % com respeito às perdas correspondentes à abertura de 12 mm. Porém, a velocidade tangencial do cilindro tem maior influência nas perdas na trilha do que a abertura do côncavo. Segundo as figuras 11, 15, 19 e 23, quando se trabalha com a abertura do côncavo de 6 mm, a melhor eficiência no mecanismo obtém-se com a velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s, pois, uma velocidade maior intensifica a quebra de grãos. Para as aberturas do côncavo de 12 e 18 mm, a melhor eficiência do mecanismo de trilha obtém-se com a velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s.

O efeito da abertura do côncavo sobre as perdas globais na trilha é apresentado na figura 26, onde cada ponto corresponde à média de 45 repetições; observando que aumenta com o incremento da abertura; estando de acordo com KANAFOJSKI (1972). Os valores encontrados foram de 3,16, 4,55 e 5,85 %, para as aberturas de 6, 12 e 18 mm, respectivamente, existindo diferença entre as médias ao nível de significância de 1 %. No mesmo gráfico observa-se o efeito da abertura do côncavo sobre a quantidade de grãos quebrados, encontrando que diminuiu com o aumento da abertura do côncavo; estando de acordo com o reportado por MAHMOUD e BUCHELE (1975) e NEWBERY et al (1980). Os resultados obtidos foram de 3,66, 2,29 e 1,63 %, para os mesmos níveis de abertura do côncavo, respectivamente, existindo diferença entre as médias ao nível de significância de 1 %. No mesmo gráfico é apresentado o efeito da abertura do côncavo sobre a eficiência do mecanismo de trilha, representada pelas perdas totais no sistema (perdas na trilha + grãos quebrados), encontrando ligeiro aumento com o incremento da abertura do côncavo; as perdas totais obtidas foram de 6,81, 6,84 e 7,48 %, com as aberturas do côncavo de 6, 12 e 18 mm, respectivamente, não existindo diferença entre as médias correspondentes as aberturas de 6 e 12 mm, enquanto essas diferem com a média correspondente à abertura do côncavo de 18 mm, ao nível de significância de 1 %.

O efeito da abertura do côncavo sobre as perdas na trilha, dentro de vários teores de umidade dos grãos, é apresentado na figura 27, onde cada ponto corresponde à média de 15 repetições; encontrando que, além de aumentar com a abertura do côncavo, também se incrementam com o aumento do teor de umidade dos grãos, as perdas na trilha para o teor de umidade dos grãos de 15,9 % foram de 1,99, 2,90 e 4,00 % com as aberturas do côncavo de 6, 12 e 18 mm respectivamente; as perdas na trilha para o teor de umidade dos grãos de 19,6 % foram de 2,96, 4,79 e 6,40 %, com as mesmas aberturas, respectivamente; com o teor de umidade dos grãos de 24,1 % essas perdas foram de 4,52, 5,95 e 7,14 %, com as aberturas de 6, 12 e 18 mm, respectivamente, existindo diferença significativa entre às médias ao nível de significância de 1 %, para os três teores de umidade dos grãos.

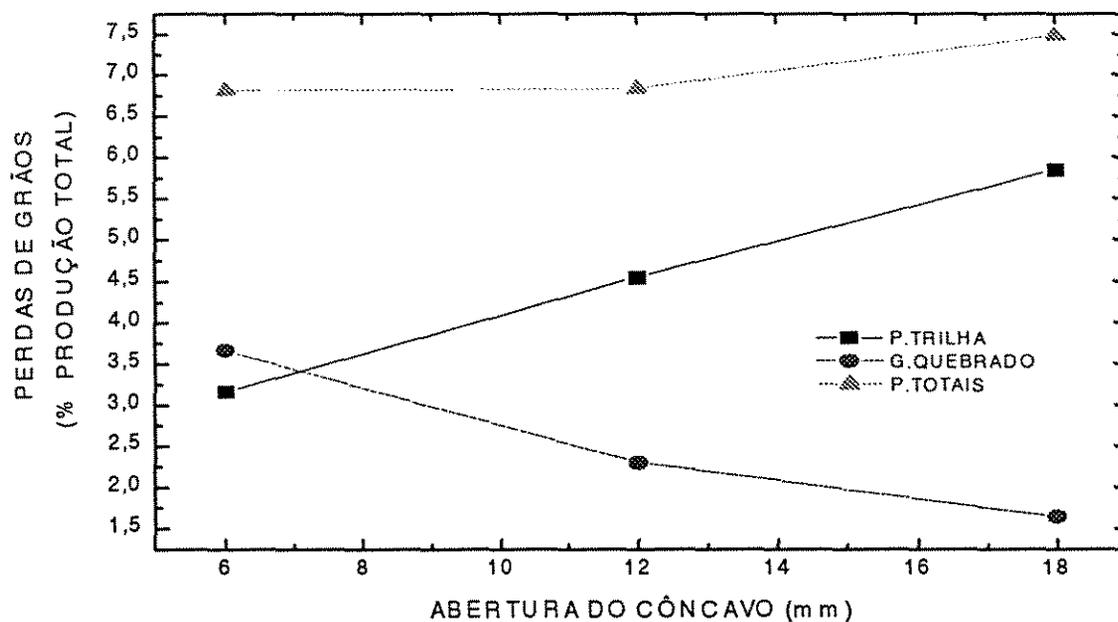


Figura 26 - Efeito da abertura do côncavo sobre as perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e eficiência do mecanismo.

O efeito da abertura do côncavo, sobre as perdas na trilha, dentro de várias velocidades tangenciais do cilindro, é apresentado na figura 28, onde cada ponto corresponde à média de 15

repetições; encontrando que as perdas aumentaram com o incremento da abertura e diminuíram com o aumento da velocidade tangencial do cilindro. As perdas na trilha, com a velocidade tangencial do cilindro de 20,42 m/s, foram de 4,79, 6,30 e 8,03 %, com as aberturas do côncavo de 6, 12 e 18 mm, respectivamente; para a velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s, as perdas na trilha foram de 2,63, 4,51 e 5,78 %, com os mesmos níveis de abertura, respectivamente, existindo diferença entre as médias correspondentes às velocidades de 20,42 e 25,13 m/s, ao nível de significância de 1 %. Para a velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s, as perdas na trilha foram de 2,06, 2,83 e 3,74 %, para as aberturas do côncavo de 6, 12 e 18 mm, respectivamente.

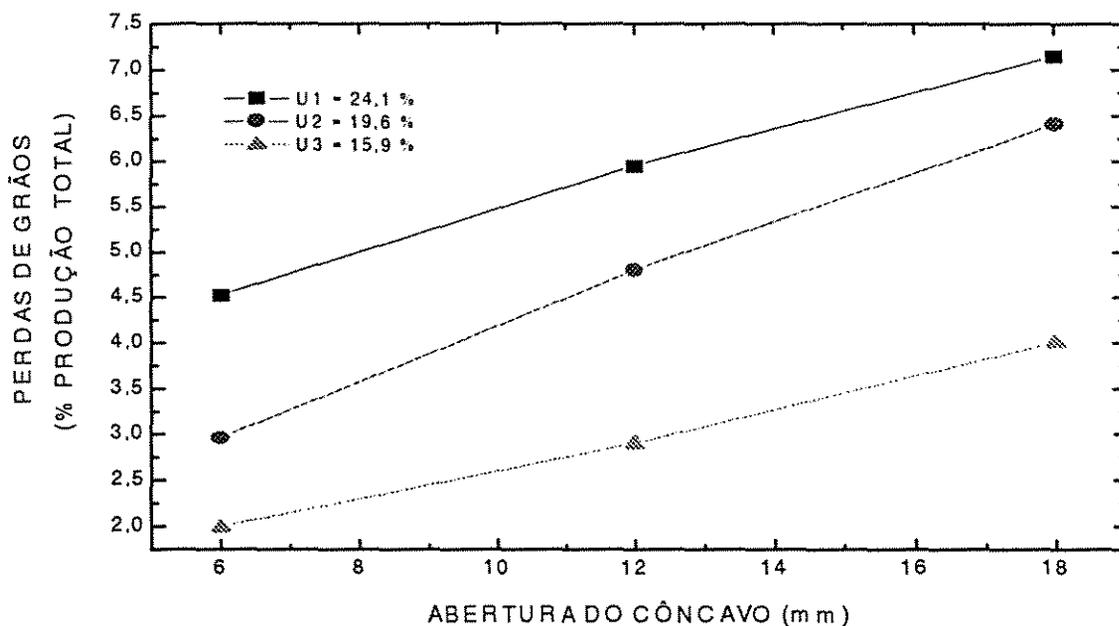


Figura 27 - Perda de grãos na unidade de trilha em função da abertura do côncavo para vários teores de umidade dos grãos.

A porcentagem de quebra de grãos de sorgo, em função da abertura do côncavo dentro de vários teores de umidade dos grãos, são apresentados na figura 29, onde cada ponto corresponde à média de 15 repetições; encontrando mínima quebra de grãos para o teor de

umidade de 19,6 m/s, aumentando ligeiramente, com valores muito próximos, para o teor de umidade de 24,1 %, enquanto as maiores quebras corresponderam ao teor de umidade de 15,9 %. Os resultados de quebra de grãos obtidos com o teor de umidade de 19,6 % foram de 3,05, 1,75 e 1,30 %, com as aberturas de 6, 12 e 18 mm, respectivamente; com o teor de umidade dos grãos de 24,1 %, as quebras de grãos foram de 3,24, 2,11 e 1,43 %, com as aberturas de 6, 12 e 18 mm, respectivamente, enquanto com o teor de umidade dos grãos de 15,9 %, essas quebras foram de 4,68, 3,02 e 2,18 %, com as aberturas de 6, 12 e 18 mm, respectivamente, existindo diferença entre as médias ao nível de significância de 1 % para os três teores de umidade dos grãos.

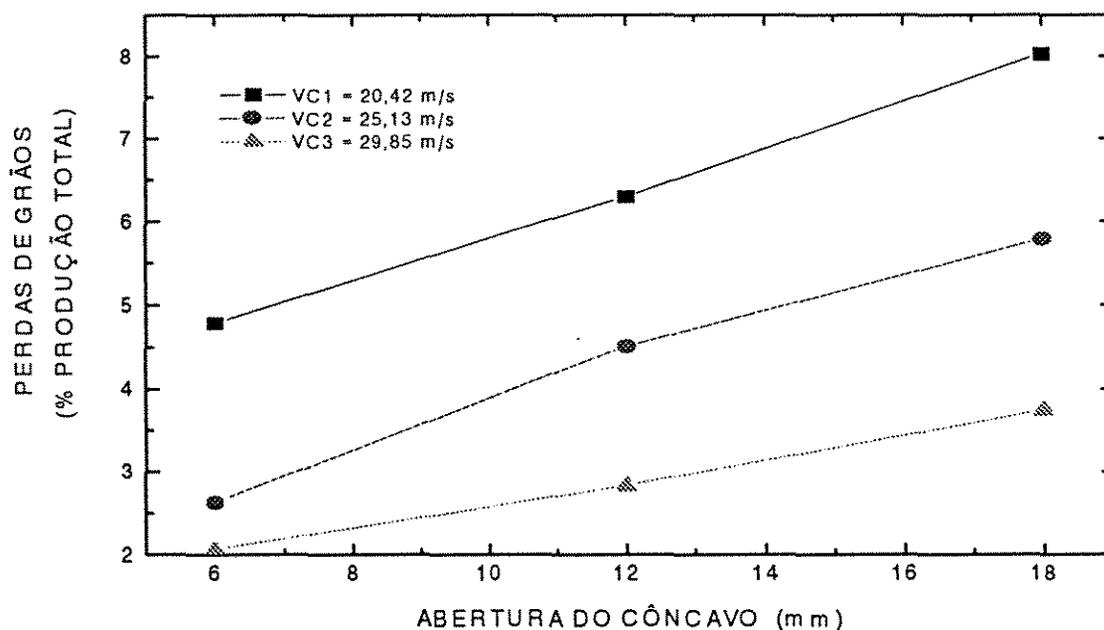


Figura 28 - Perdas de grãos na unidade de trilha, em função da abertura do côncavo para várias velocidades tangenciais do cilindro.

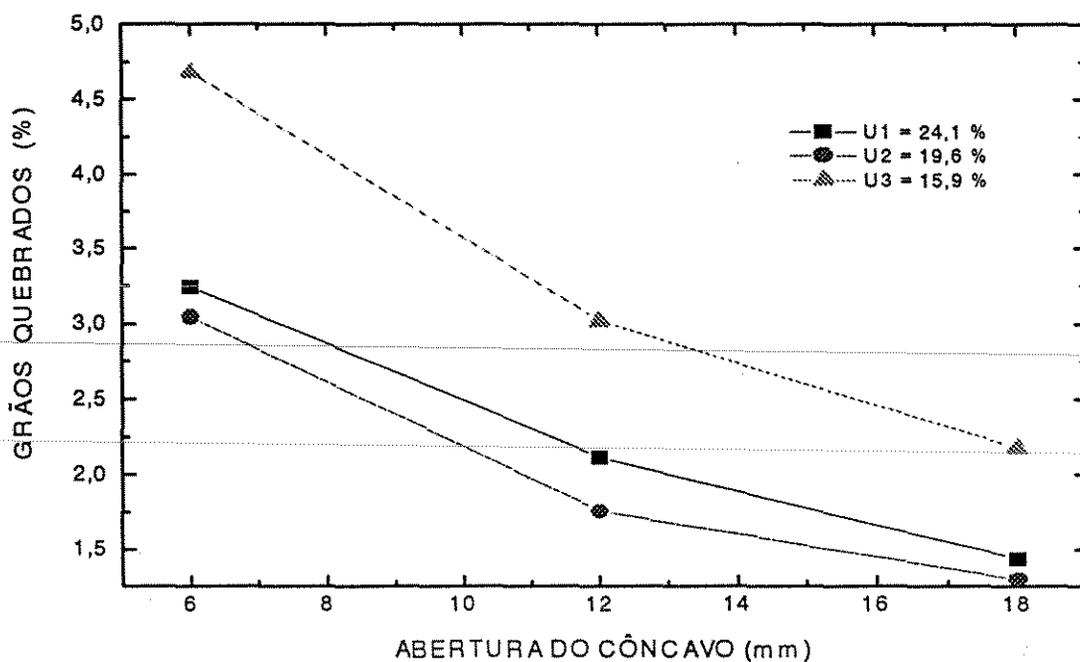


Figura 29 - Porcentagem de quebra em grãos de sorgo para vários teores de umidade, em função da abertura do côncavo.

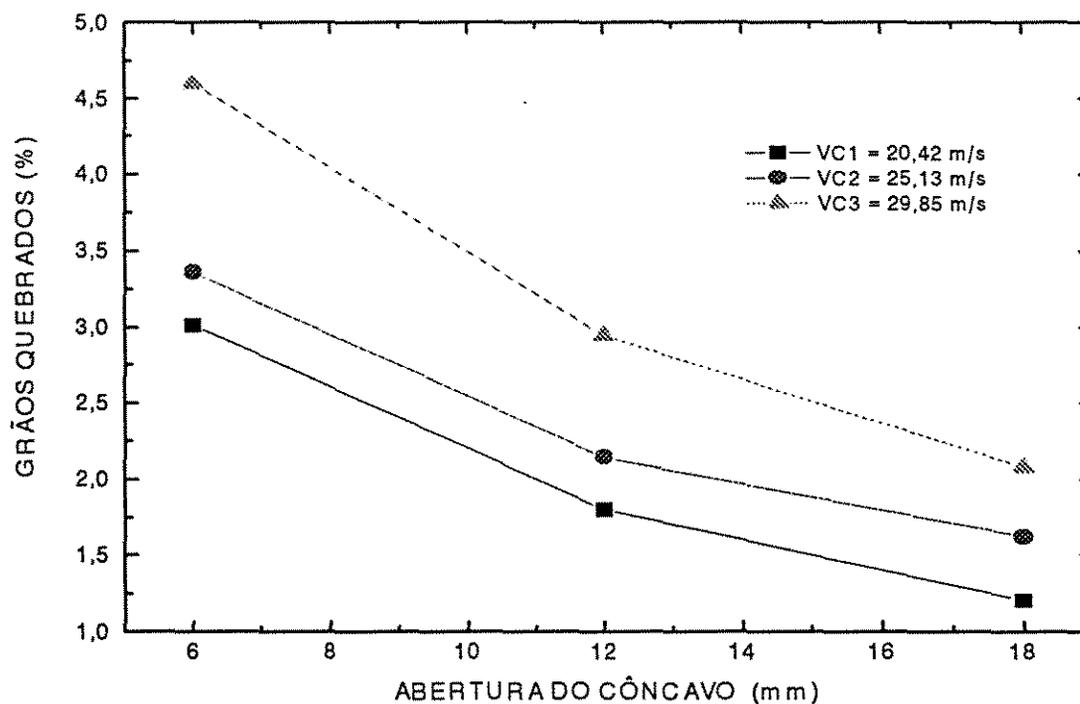


Figura 30 - Porcentagem de quebra em grãos de sorgo em função da abertura do côncavo para várias velocidades tangenciais do cilindro.

A porcentagem de quebra em grãos, em função da abertura do côncavo dentro de várias velocidades tangenciais do cilindro, são apresentados na figura 30, onde cada ponto corresponde à média de 15 repetições; encontrando que, além de incrementar-se a quebra de grãos com o aumento da abertura do côncavo, também se incrementa com o aumento da velocidade tangencial do cilindro. A quebra de grãos, com a velocidade tangencial do cilindro de 20,41 m/s, foi de 3,01, 1,80 e 1,21 %, com as aberturas do côncavo de 6, 12 e 18 mm, respectivamente; com a velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s, a quebra foi de 3,36, 2,14 e 1,62 %, com as aberturas do côncavo de 6, 12 e 18 mm, respectivamente; enquanto com a velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s, a quebra foi de 4,60, 2,94 e 2,08 %, com as aberturas de 6, 12 e 18 mm, respectivamente, existindo diferença significativa entre as médias ao nível de 1 %, para os resultados das três velocidades tangenciais do cilindro.

Através de um modelo de regressão, foram descritas as perdas segundo:

Perdas de trilha:

$$P = 3.4582 + 0.3606U - 0.3541VC + 0.2307CC \quad (7.1)$$

$$R = 0.85$$

Grão quebrado:

$$GQ = 3.7134 - 0.1190U + 0.1274VC - 0.1685CC \quad (7.2)$$

$$R = 0.74$$

Perdas totais:

$$PT = 7.8825 + 0.2318U - 0.2431VC + 0.05565CC \quad (7.3)$$

$$R = 0.59$$

As superfícies apresentadas nas figuras 31, 33 e 35 representam as perdas obtidas experimentalmente na unidade de trilha em função da velocidade do cilindro e da abertura do côncavo, para os teores de umidade dos grãos de 24,1, 19,6 e 15,9 %, respectivamente. Nas figuras 32, 34 e 36 são apresentados os resíduos de perdas na unidade de trilha (calculados

através da diferença entre os dados obtidos experimentalmente e os valores obtidos no modelo de regressão representado pela equação 7.1), em função da velocidade do cilindro e da abertura do côncavo, para os mesmos níveis de umidade respectivamente.

Na figura 32, os valores dos resíduos relativos à figura 31 revelam melhores resultados para estimar as perdas na trilha, através do modelo de regressão na região próxima à abertura do côncavo de 12 mm e entre os três níveis de velocidade do cilindro, até a região próxima à abertura do côncavo de 18 mm entre as velocidades do cilindro de 20,42 e 25,13 m/s. Entretanto, os resultados mais afastados para estimar as perdas na trilha através do modelo de regressão correspondem à região próxima à abertura do côncavo de 6 mm e entre os diferentes níveis de velocidade do cilindro. Os resíduos para este teor de umidade variaram na faixa de -0,62 a 0,62 %.

Na figura 34, os valores dos resíduos relativos à figura 33 indicam que os melhores resultados para estimar as perdas na trilha através do modelo de regressão, encontram-se na região próxima à abertura do côncavo de 6 mm com velocidade do cilindro de 20,42 m/s, até a abertura do côncavo de 12 mm com velocidade do cilindro de 25,13 m/s; sendo que os resultados mais afastados para estimar as perdas na trilha através do modelo de regressão encontram-se na região situada entre as aberturas do côncavo de 12 e 18 mm com velocidade do cilindro de 20,42 m/s, até a abertura do côncavo de 18 mm com velocidade do cilindro de 25,13 m/s. Os resíduos para este teor de umidade variaram na faixa de -0,56 a 0,93 %.

Na figura 36, os valores dos resíduos relativos à figura 35 revelam melhores resultados para estimar as perdas na trilha, através do modelo de regressão na região próxima à abertura do côncavo de 12 mm e entre os diferentes níveis de velocidade do cilindro. Os resultados mais afastados para estimar estas perdas através do modelo, correspondem as duas regiões extremas correspondentes as aberturas do côncavo de 6 e 18 mm e entre os diferentes níveis de velocidade do cilindro. Os resíduos para este teor de umidade variaram na faixa de -0,99 a 0,56 %.

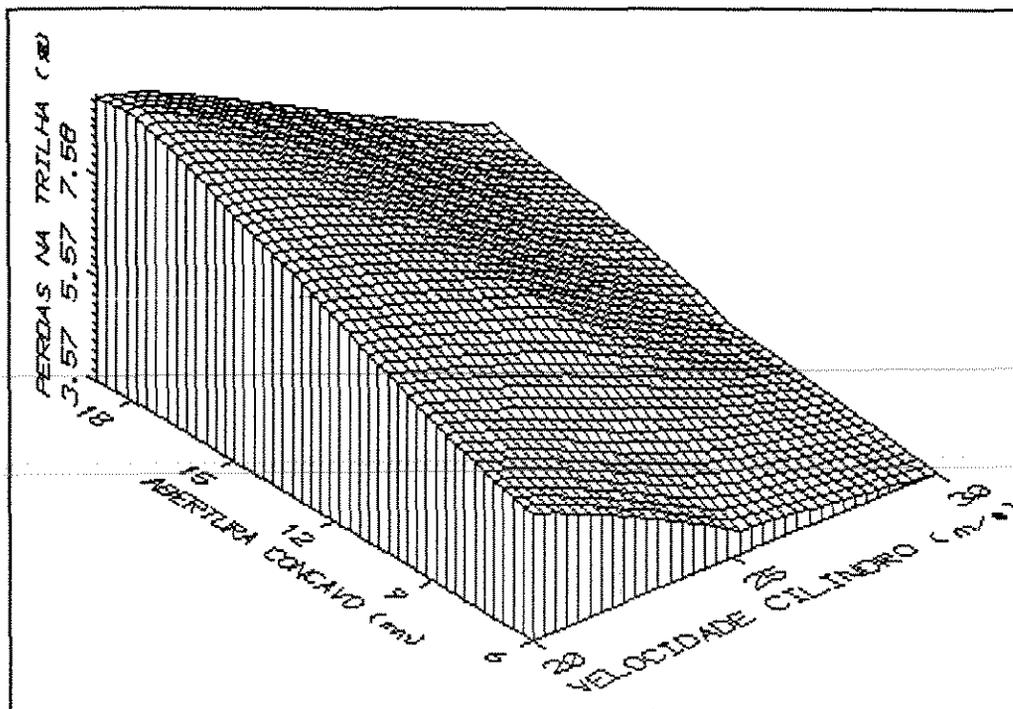


Figura 31 - Perdas de grãos na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 24,1%.

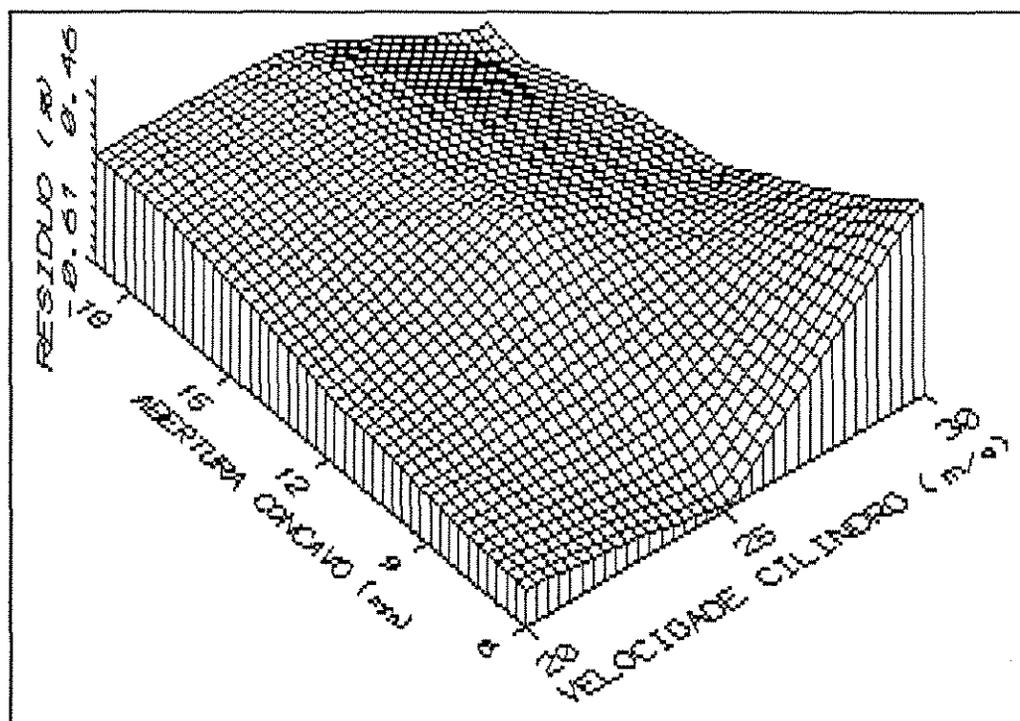


Figura 32 - Resíduos de perdas na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 24,1%.

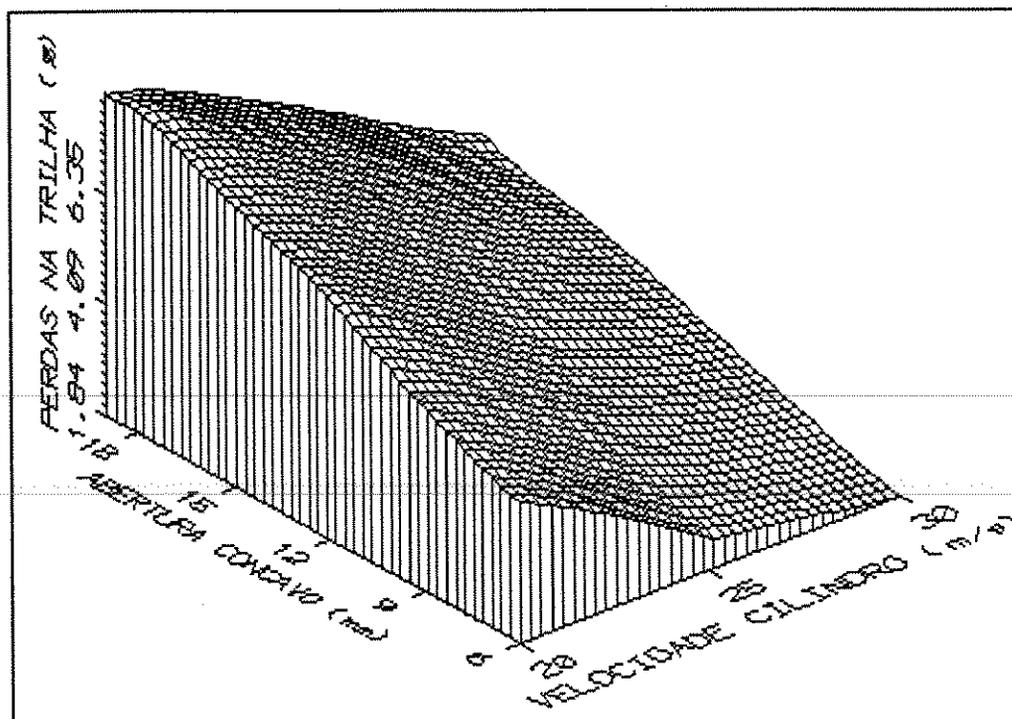


Figura 33 - Perdas de grãos na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 19,6%.

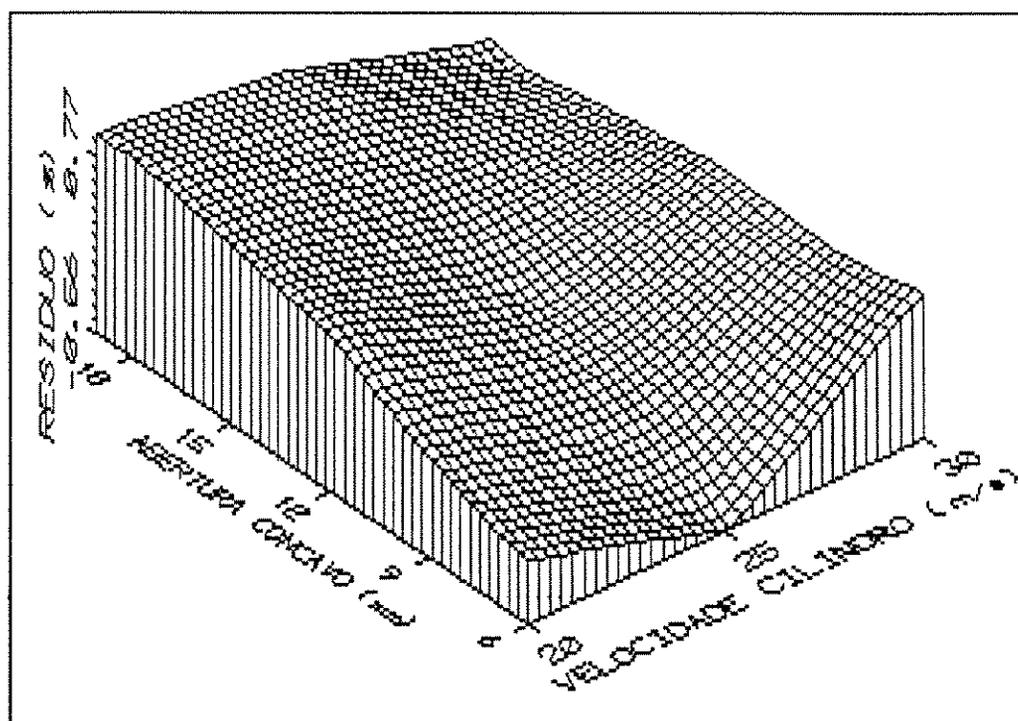


Figura 34 - Resíduos de perdas na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.

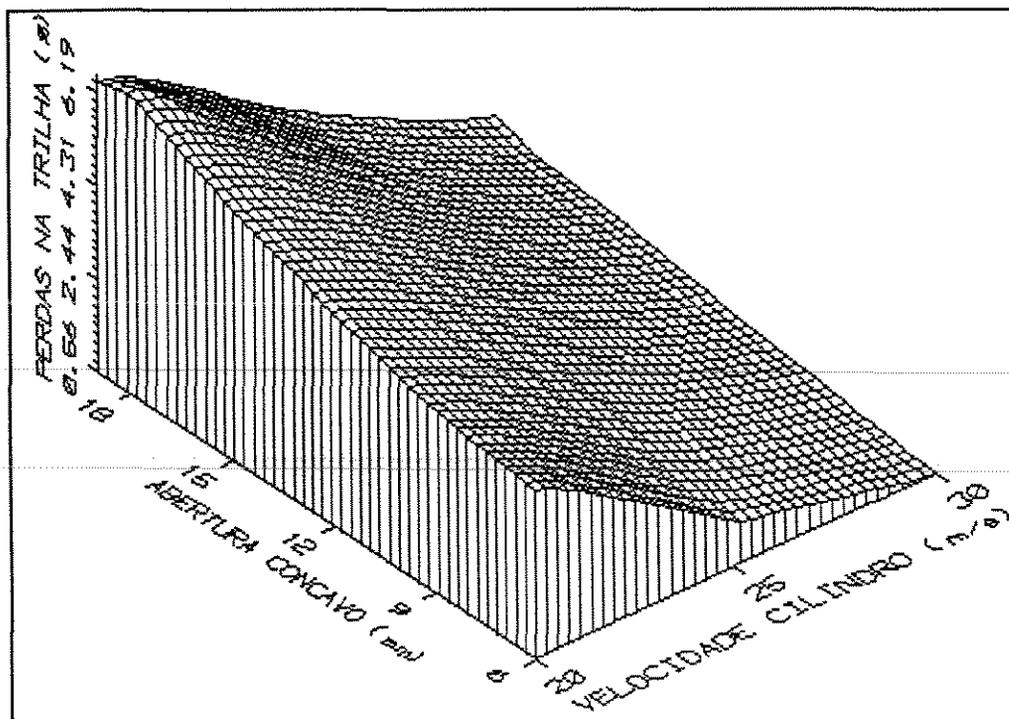


Figura 35 - Perdas de grãos na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %

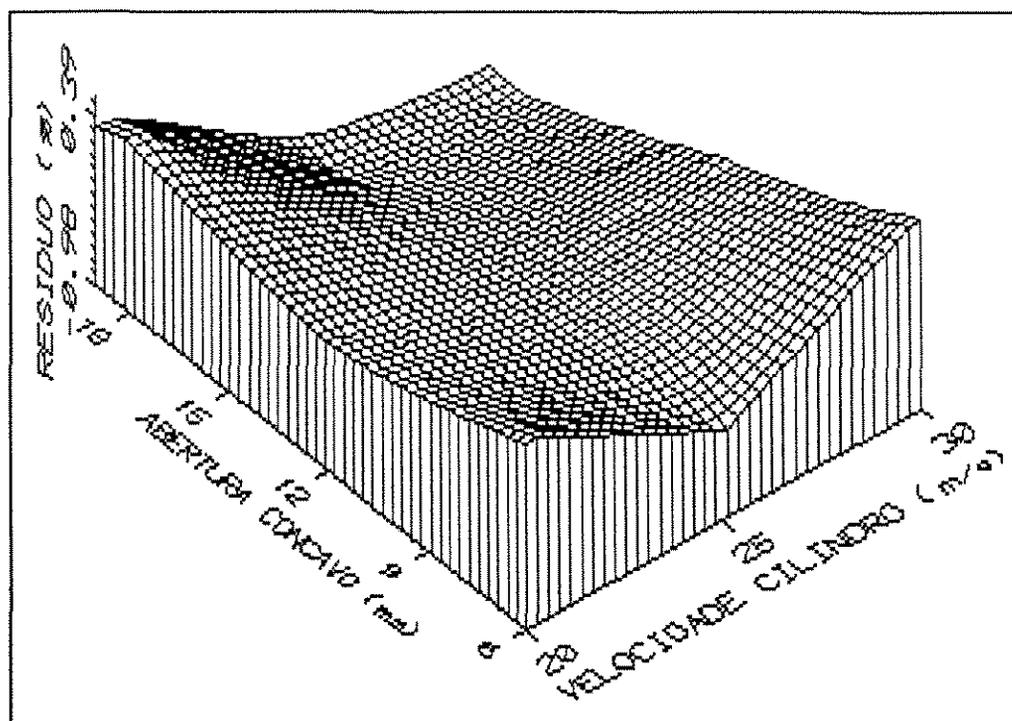


Figura 36 - Resíduos de perdas na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %.

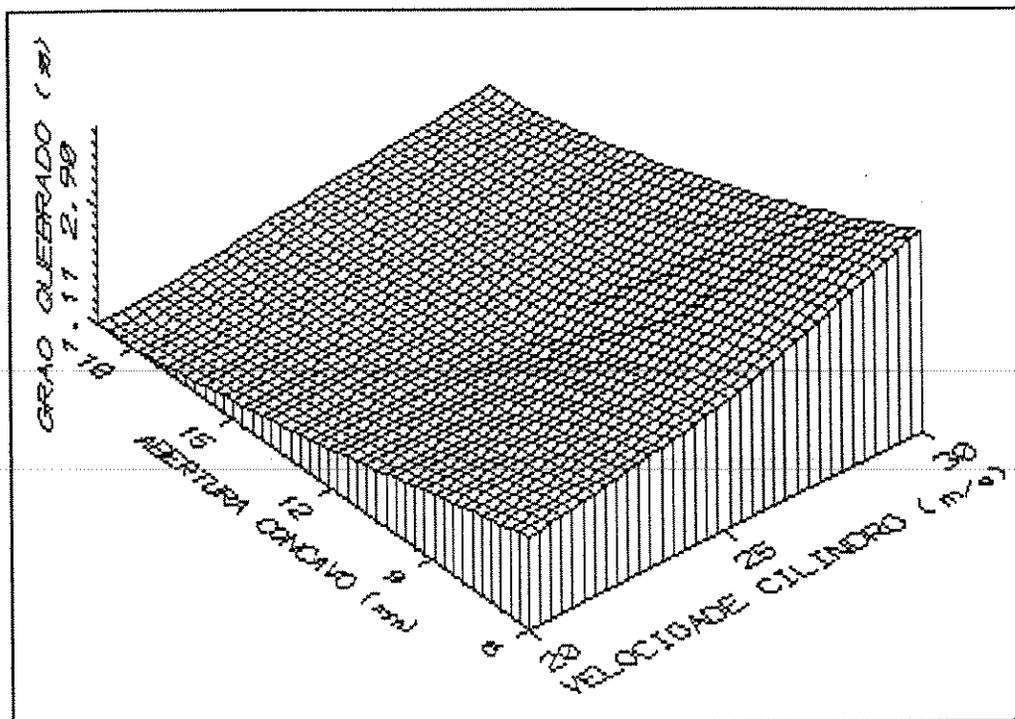


Figura 37 - Grãos quebrados em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 24,1%.

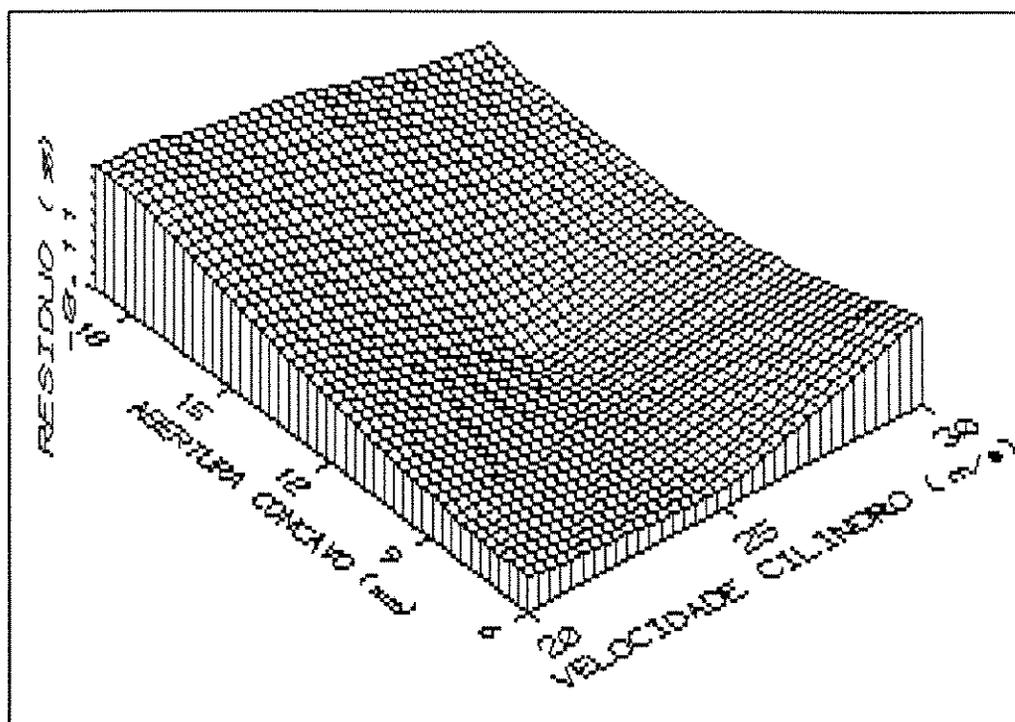


Figura 38 - Resíduos de grãos quebrados em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 24,1 %.

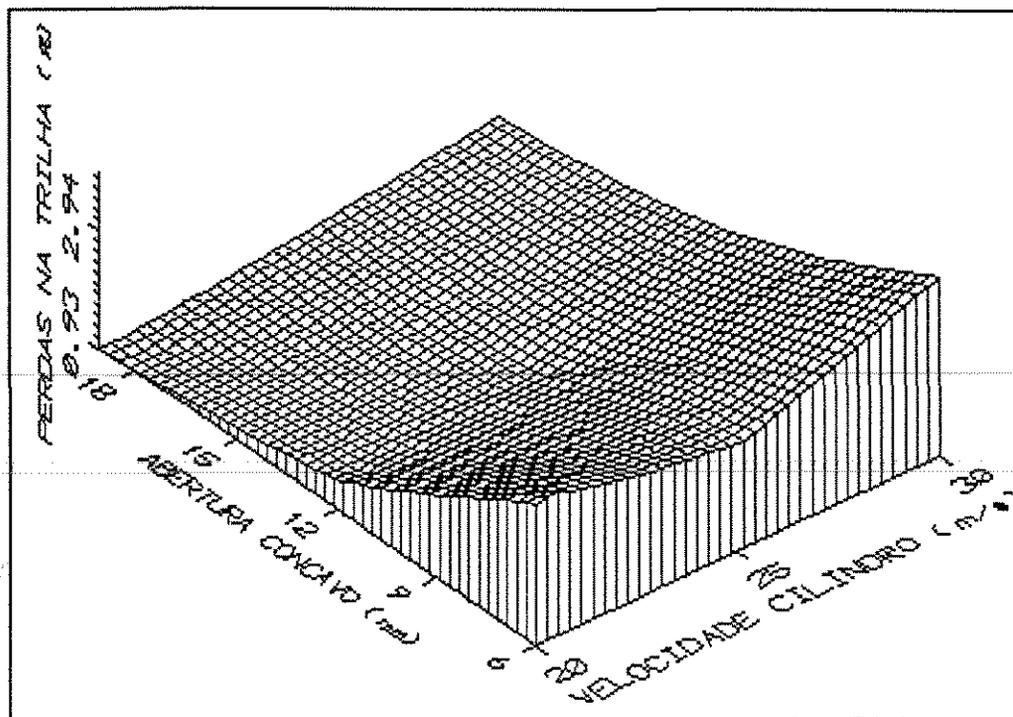


Figura 39- Grãos quebrados em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.

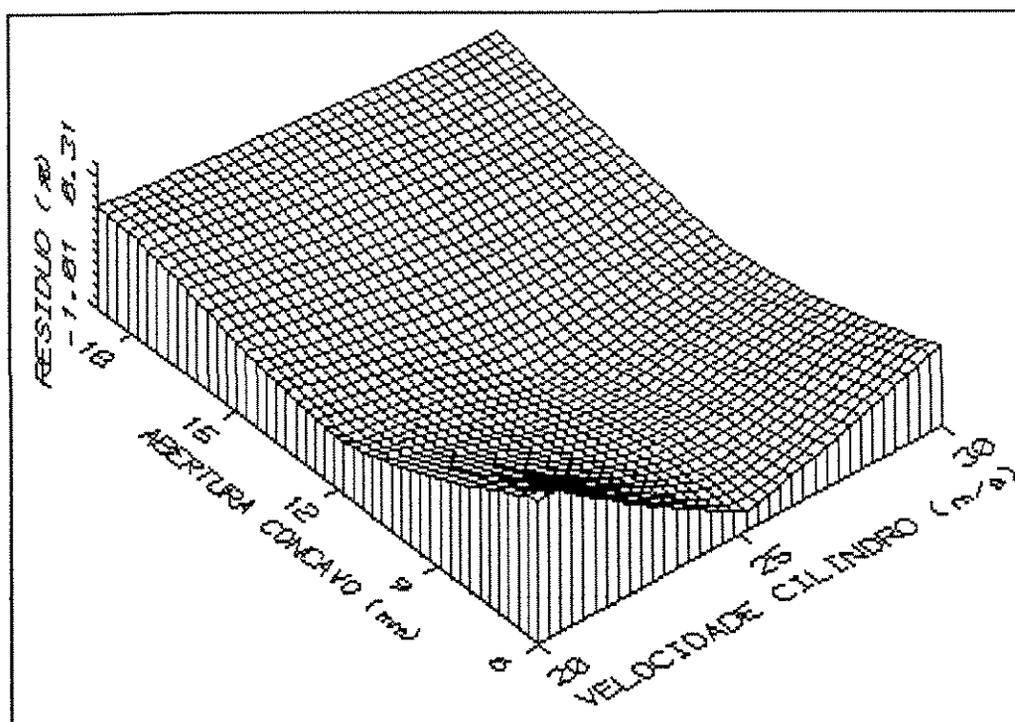


Figura 40 - Resíduos de grãos quebrados em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.

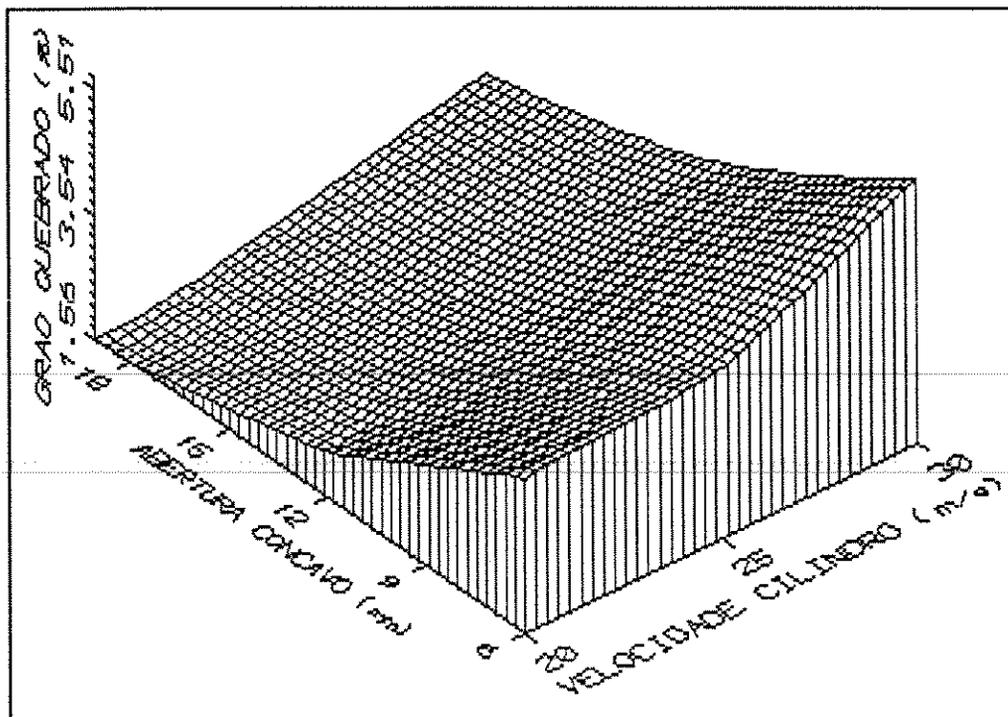


Figura 41 Grãos quebrados em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %

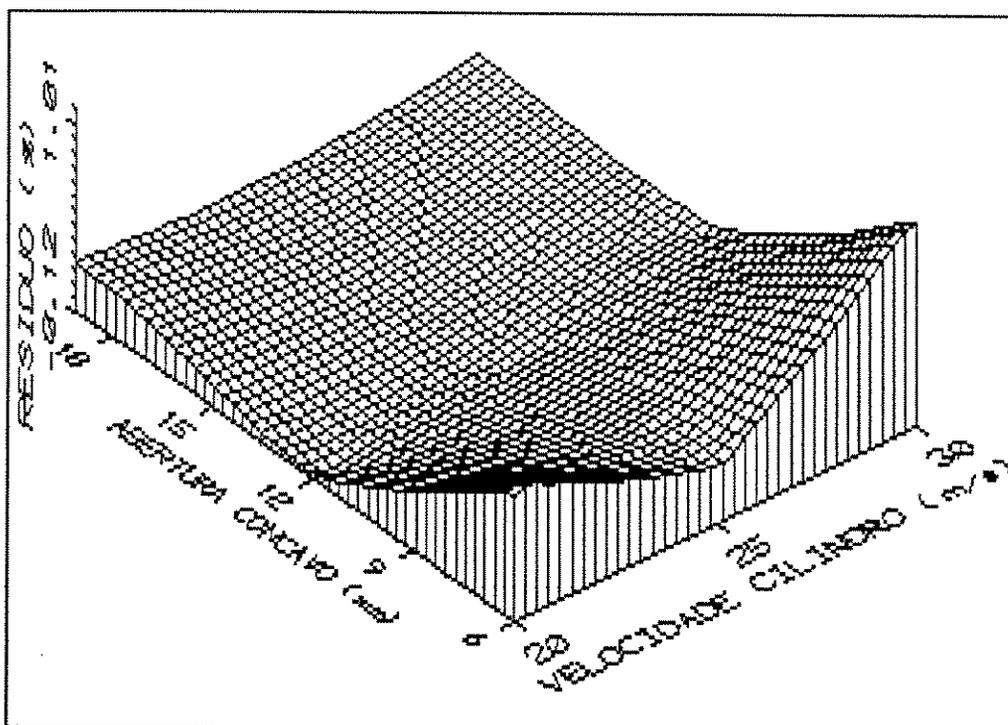


Figura 42 - Resíduos de grãos quebrados em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %.

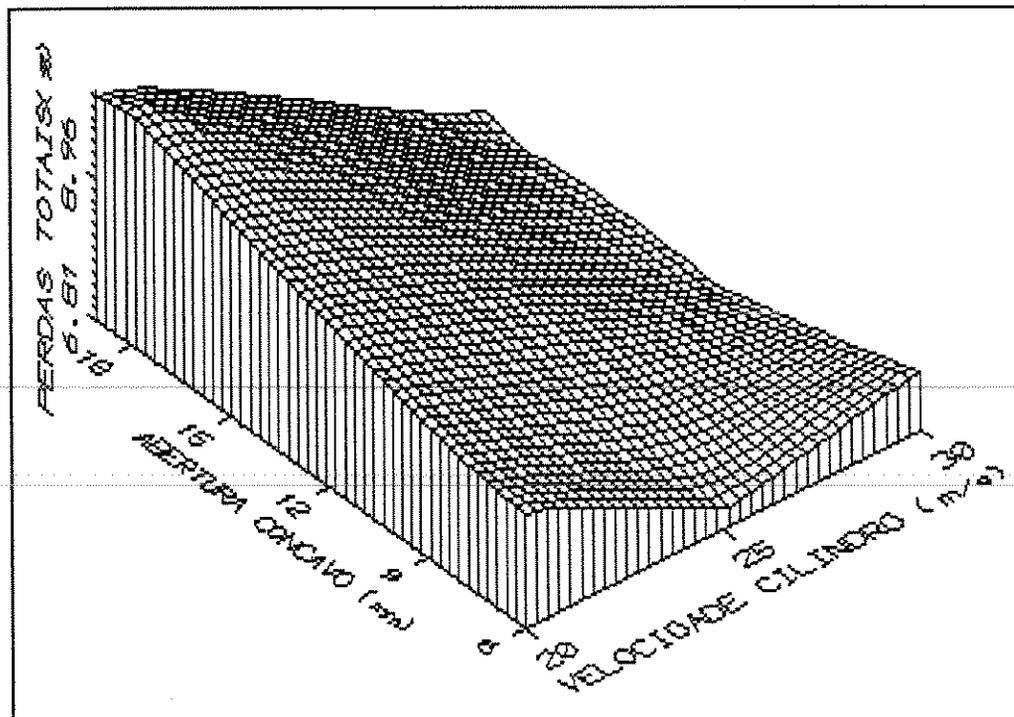


Figura 43 - Perdas totais na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 24,1%.

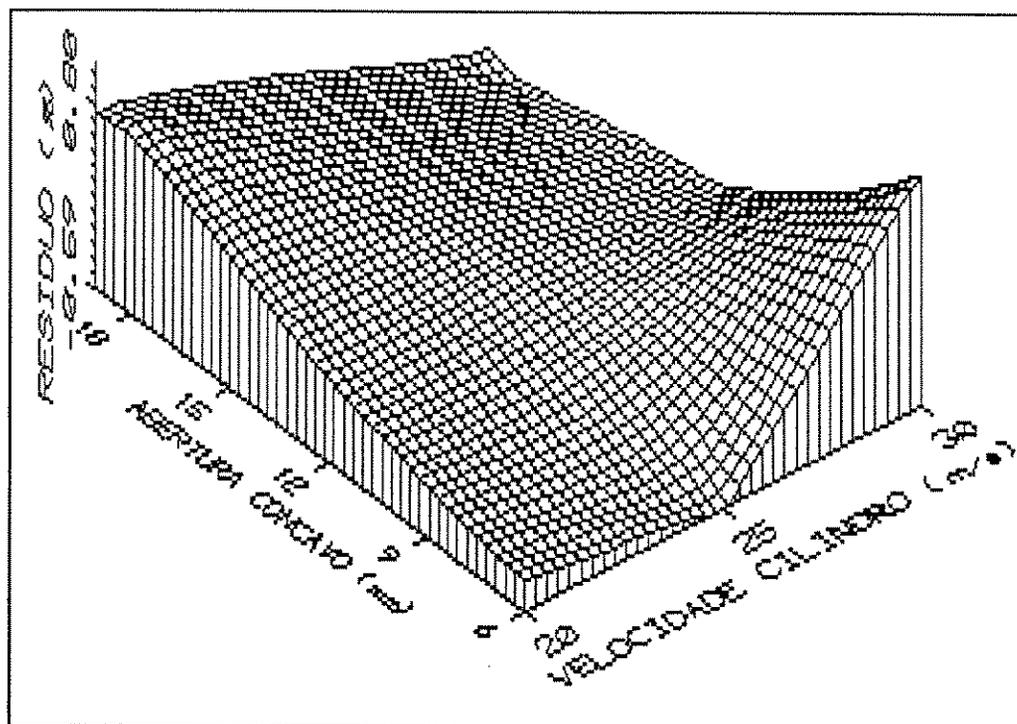


Figura 44 - Resíduos de perdas totais na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 24,1%.

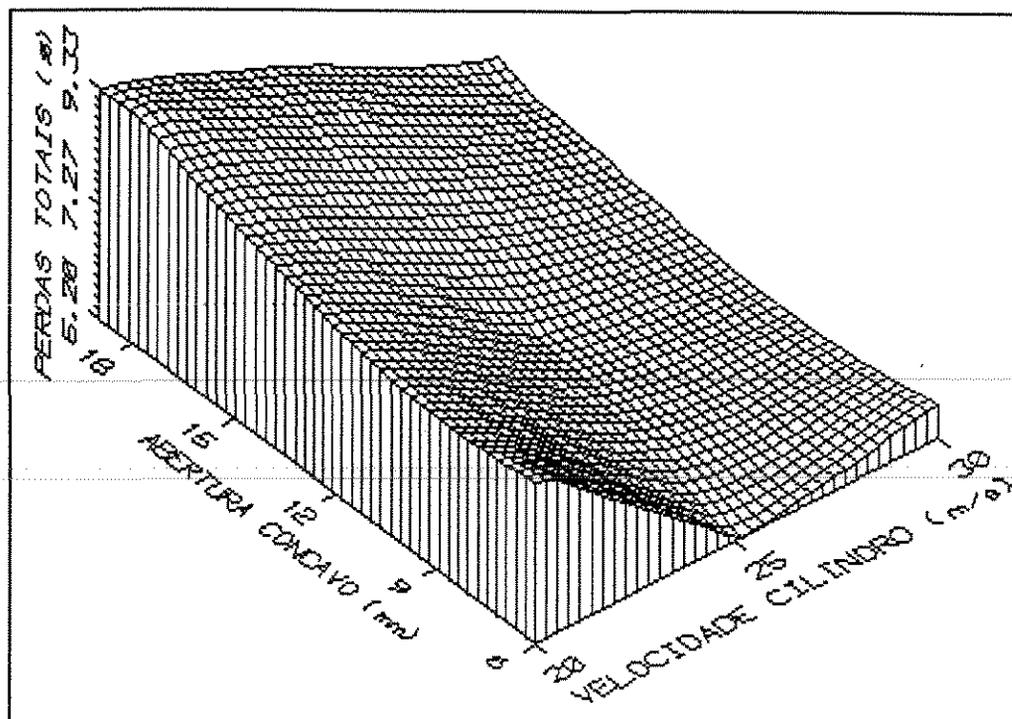


Figura 45 - Perdas totais na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.

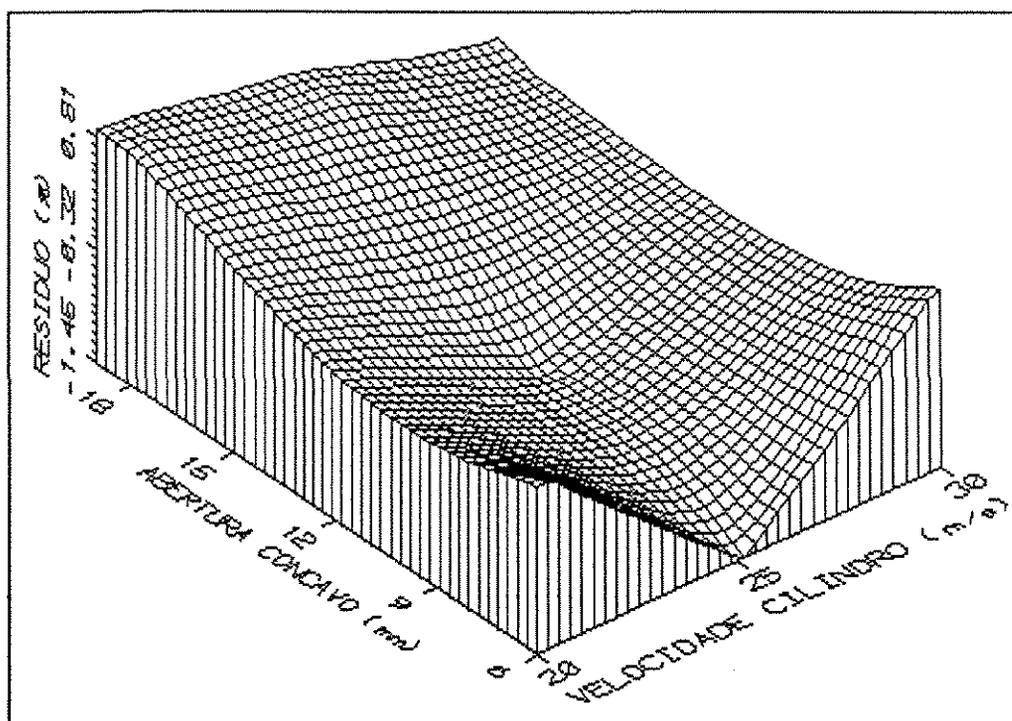


Figura 46 - Resíduos de perdas totais na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 19,6 %.

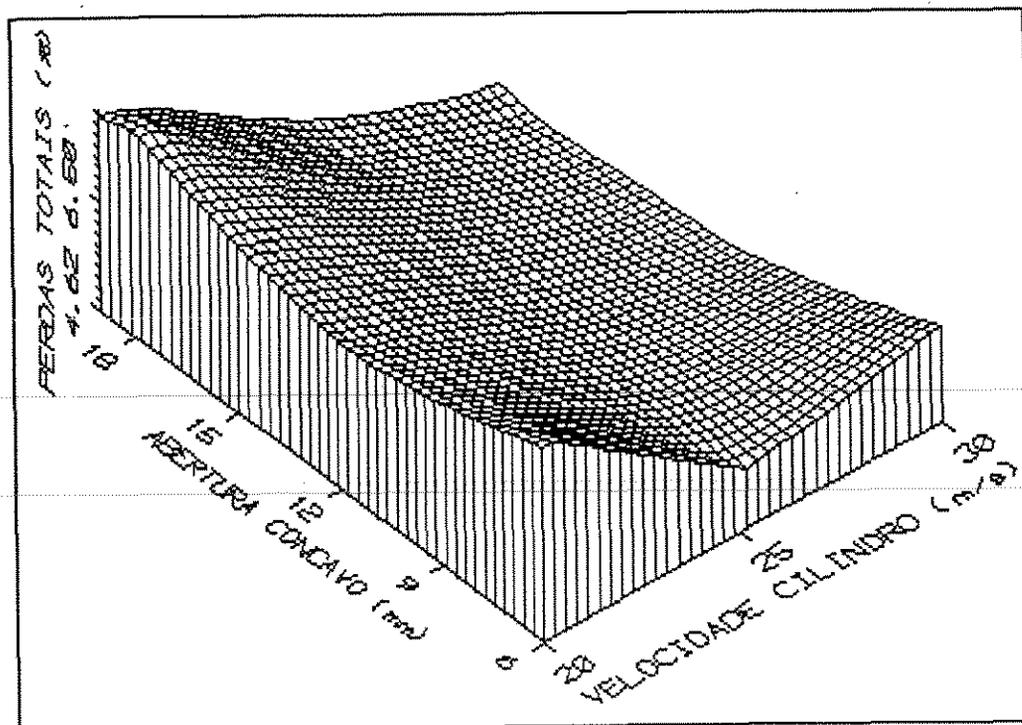


Figura 47 - Perdas totais na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %.

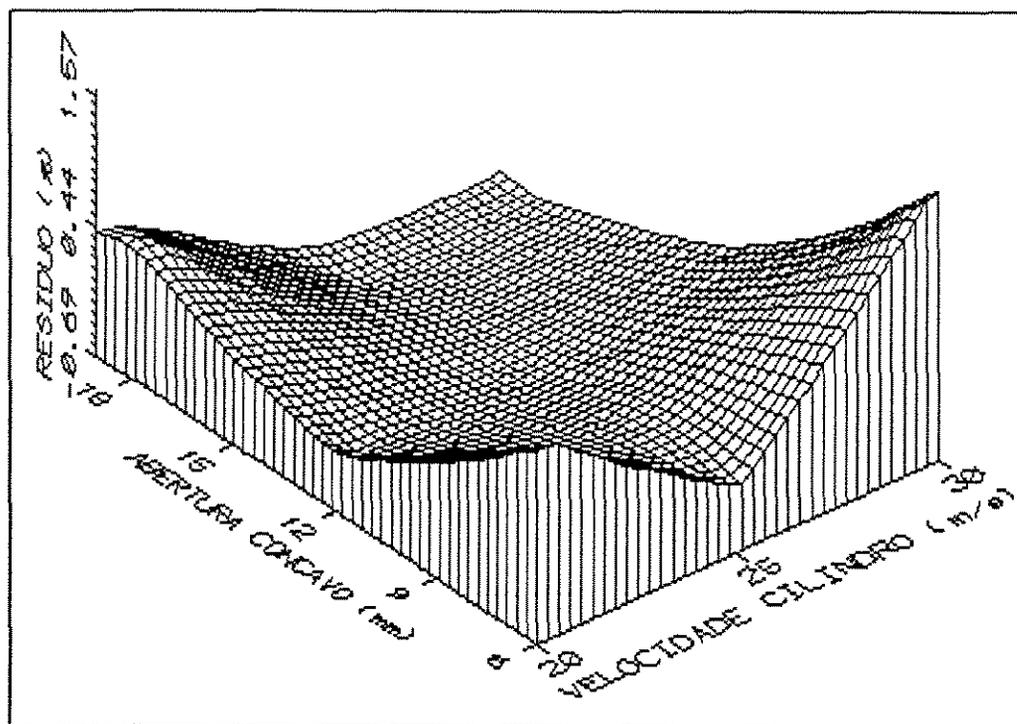


Figura 48 - Resíduos de perdas totais na unidade de trilha em função da abertura do côncavo e da velocidade do cilindro, para o teor de umidade dos grãos de 15,9 %.

As superfícies apresentadas nas figuras 37, 39 e 41 representam os percentagens de grãos quebrados obtidos experimentalmente em função da velocidade do cilindro e da abertura do côncavo, para os teores de umidade dos grãos de 24,1, 19,6 e 15,9 %, respectivamente. Nas figuras 38, 40 e 42 são apresentados os resíduos de grãos quebrados (calculados através da diferença entre os dados obtidos experimentalmente e os valores obtidos no modelo de regressão representado pela equação 7.2), em função da velocidade do cilindro e da abertura do côncavo, para os mesmos níveis de umidade respectivamente.

Na figura 38, os valores dos resíduos relativos à figura 37 revelam melhores resultados para estimar os grãos quebrados através do modelo de regressão, na região situada entre as aberturas do côncavo de 6 e 12 mm e entre as velocidades do cilindro de 20,42 e 25,13 m/s, até a região próxima à abertura do côncavo de 18 mm com velocidade do cilindro de 29,85 m/s. Entretanto, os resultados mais afastados para estimar a quebra de grãos através do modelo de regressão correspondem à região próxima à abertura do côncavo de 18 mm e entre as velocidades do cilindro de 20,42 e 25,13 m/s. Os resíduos para este teor de umidade variaram na faixa de -0,12 a 0,71 %.

Na figura 40, os valores dos resíduos relativos à figura 39 indicam melhores resultados para estimar os grãos quebrados através do modelo de regressão na região próxima à abertura do côncavo de 18 mm entre as velocidades do cilindro de 20,42 e 25,13 m/s; enquanto que os resultados mais afastados para estimar os grãos quebrados através do modelo de regressão encontram-se na região próxima à abertura do côncavo de 12 mm entre os diferentes níveis de velocidade do cilindro, além da região próxima à abertura do côncavo de 6 mm com velocidade do cilindro de 25,13 m/s. Os resíduos para este teor de umidade variaram na faixa de -1,02 a 0,45 %.

Na figura 42, os valores dos resíduos relativos à figura 41 revelam que o modelo apresenta os melhores resultados para estimar a quebra de grãos na maior parte da região, com exceção

das duas regiões isoladas próximas à abertura do côncavo de 6 mm com velocidades do cilindro de 20,42 e 29,85 m/s, respectivamente. Os resíduos para este teor de umidade variaram na faixa de -0,12 a 1,11 %.

As superfícies apresentadas nas figuras 43, 45 e 47 representam as perdas totais (perdas na trilha + grãos quebrados) obtidas experimentalmente na unidade de trilha em função da velocidade do cilindro e da abertura do côncavo, para os teores de umidade dos grãos de 24,1, 19,6 e 15,9 %, respectivamente. Nas figuras 44, 46 e 48 são apresentados os resíduos de perdas totais na unidade de trilha (calculados através da diferença entre os dados obtidos experimentalmente e os valores obtidos no modelo de regressão representado pela equação 7.3)), em função da velocidade do cilindro e da abertura do côncavo, para os mesmos níveis de umidade respectivamente.

Na figura 44, os valores dos resíduos relativos à figura 43 revelam melhores resultados para estimar as perdas totais na trilha através do modelo de regressão, na região próxima à abertura do côncavo de 12 mm e entre os diferentes níveis de velocidade do cilindro; enquanto os resultados mais afastados para estimar as perdas totais na trilha através do modelo de regressão correspondem as duas regiões extremas próximas as aberturas do côncavo de 6 e 18 mm e entre os diferentes níveis de velocidade do cilindro. Os resíduos para este teor de umidade variaram na faixa de -0,59 a 1,15 %.

Na figura 46, os valores dos resíduos relativos à figura 45 indicam melhores resultados para estimar as perdas totais na trilha através do modelo de regressão, na região próxima à velocidade do cilindro de 29,85 m/s e ao longo dos diferentes níveis de abertura do côncavo, além da região próxima à velocidade do cilindro de 20,42 m/s entre as aberturas do côncavo de 6 e 12 mm; sendo que os resultados mais afastados para estimar as perdas totais na trilha através do modelo de regressão encontram-se na região próxima à velocidade do cilindro de 25,13 m/s e ao longo dos

diferentes níveis de abertura do côncavo. Os resíduos para este teor de umidade variaram na faixa de -1,45 a 0,45 %.

Na figura 48, os valores dos resíduos relativos à figura 47 indicam que o modelo apresenta os melhores resultados para estimar as perdas totais na trilha, na região próxima à abertura do côncavo de 12 mm e ao longo dos diferentes níveis de velocidade do cilindro, além da região próxima à abertura do côncavo de 6 mm com velocidade do cilindro próxima a 25,13 m/s. Entretanto, os resultados mais afastados para estimar as perdas totais na trilha através do modelo de regressão encontram-se na região próxima à abertura do côncavo de 18 mm e ao longo dos diferentes níveis de velocidade do cilindro, além das regiões isoladas e próximas à abertura do côncavo de 6 mm com as velocidades do cilindro de 20,42 e 29,85 m/s, respectivamente. Os resíduos para este teor de umidade variaram na faixa de -0,69 a 1,64 %.

7.4 Ensaios de Compressão

A análise estatística (anexo 4) indica que os fatores teor de umidade dos grãos e taxa de deformação apresentam efeito significativo ao nível de 1 %, tanto na força e deformação de ruptura como no módulo de elasticidade dos grãos, enquanto que a interação teor de umidade * taxa de deformação apresenta efeito significativo ao nível de 1 % na força de ruptura dos grãos e não tem nenhum efeito na deformação de ruptura e no módulo de elasticidade dos grãos de sorgo.

A deformação média dos grãos de sorgo sob a força de compressão para a velocidade de deformação de 0,87 mm/s a diferentes níveis de teor de umidade, é apresentada nas figuras 49 e 50, observa-se que com adição de água, é necessária uma maior deformação para provocar a ruptura do grão, sendo maior esta deformação para o teor de umidade de 19,94 %; observa-se também que para teores de umidade menores a força de ruptura dos grãos é maior.

A energia requerida para a ruptura dos grãos de sorgo, como função da velocidade de deformação para diferentes níveis de teor de umidade dos grãos, é apresentada na figura 51; encontrando-se que essa tende a aumentar com o incremento da taxa de deformação para os ensaios com teor de umidade dos grãos de 10,98, 19,94 e 25,84 %, afasta-se dessa tendência apenas no ensaio para o teor de umidade de 14,94 %, no qual a menor energia para quebrar os grãos, apresenta-se com a taxa de deformação de 0,55 mm/s. As médias de energia requerida para a ruptura dos grãos de sorgo, com as velocidades de deformação de 0,22, 0,55 e 0,87 mm/s, foram de 6,57, 7,75 e 10,07 N*mm, respectivamente. Observa-se também uma tendência de aumento da energia de ruptura dos grãos com seu teor de umidade. As médias de energia absorvida até a ruptura foram de 6,05, 6,68, 9,36 e 0,418 N*mm, para os teores de umidade dos grãos de 10,98, 14,94, 24,85 e 19,94 % respectivamente.

O valor médio do módulo de elasticidade para as velocidades de deformação nos diferentes níveis de umidade dos grãos, é apresentado no quadro 34, com o número de repetições variando entre 10 e 16. Observa-se que o módulo diminui com o aumento da velocidade de deformação para os teores de umidade de 19,94 e 24,85 %. Para os grãos com teores de umidade baixas de 10,98 e 14,94 %, o menor módulo obteve-se com a velocidade de deformação de 0,55 mm/s, aumentando para as velocidade de deformação de 0,22 e 0,87 mm/s. Nos diferentes níveis de umidade, em média, o módulo de elasticidade variou na faixa de $105,17 \cdot 10^6$ a $200,17 \cdot 10^6$ Pa, sendo que o menor correspondeu ao teor de umidade de 19,94 %, o qual implica em maior flexibilidade e capacidade de armazenamento de energia antes da ruptura do grão, justificando assim a menor quebra no cilindro de barras para grãos com 19,6 % de teor de umidade. O maior valor para o módulo de elasticidade obtido nos grãos com teor de umidade de 14,94 %, indica uma menor flexibilidade e menor capacidade de absorção de energia antes da ruptura do grão. Justifica-se assim, a maior quantidade de grãos quebrados no cilindro de barras para os grãos com 15,9 % de teor de umidade.

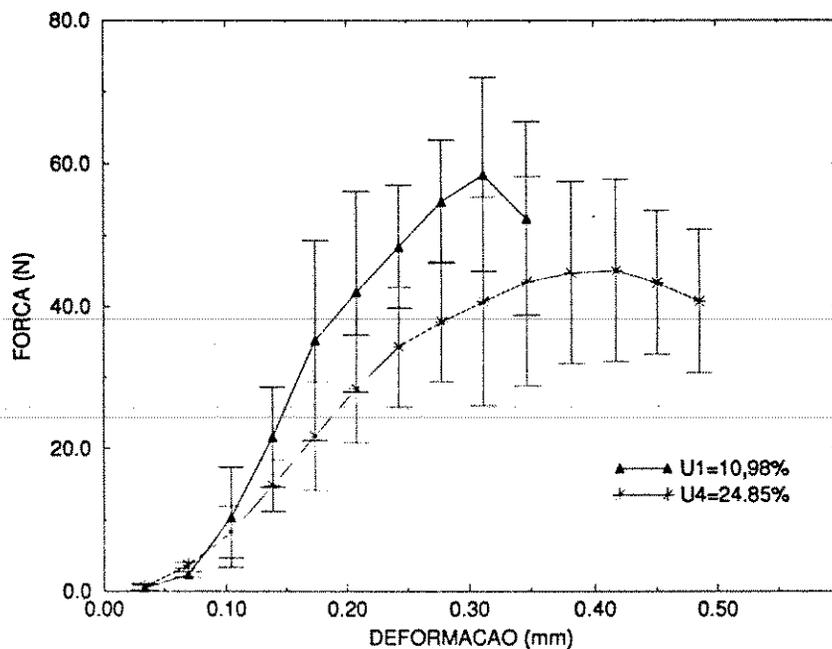


Figura 49 - Força e deformação em grãos de sorgo comprimidos entre placas planas e paralelas, com taxa de deformação de 0,87 mm/s, para os teores de umidade dos grãos de 10,98 e 24,85 %

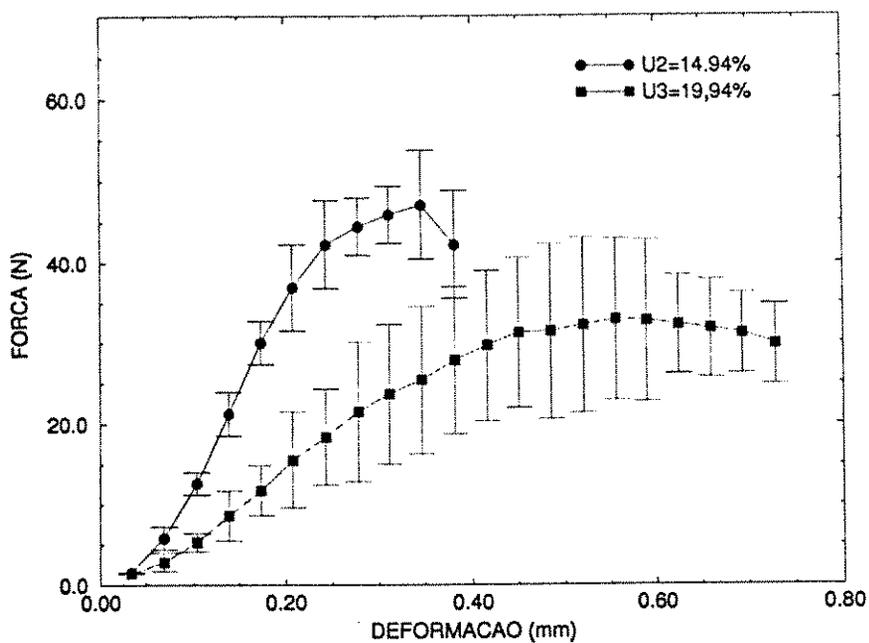


Figura 50 - Força e deformação em grãos de sorgo comprimidos entre placas planas e paralelas, com taxa de deformação de 0,87 mm/s, para os teores de umidade dos grãos de 14,94 e 19,94 %..

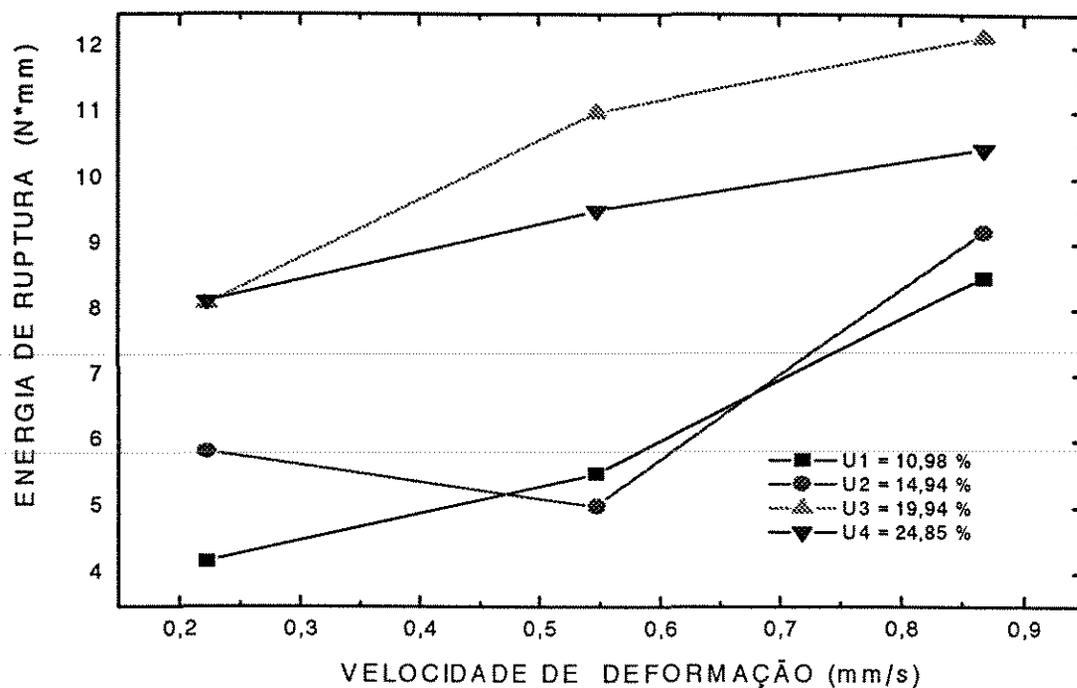


Figura 51 - Energia de ruptura em função da velocidade de deformação, para diferentes níveis de umidade dos grãos de sorgo.

Igualmente, na mesma tabela, observa-se que o coeficiente de variação para o módulo de elasticidade encontra-se na faixa de 16,8 a 34 %, sendo relativamente maiores para os níveis de umidade mais altos 19,94 e 24,85 %; para estes mesmos níveis de umidade encontrou-se que o módulo de elasticidade diminui com o aumento da velocidade de deformação. Esta variação deve-se basicamente ao fato de que nos testes de compressão foram utilizados grãos trilhados pela colhedora. Alguns grãos provavelmente apresentavam fraturas internas, pois ao serem umedecidos a teores de umidade de 19,94 e 24,85 %, alguns grãos se romperam.

8. CONCLUSÕES

As conclusões que seguem, correspondem a grãos de sorgo debulhados em cilindro de barras de colhedora autopropelida convencional:

- As perdas de grãos observadas no cilindro debulhador, aumentam¹ com o incremento da umidade dos grãos, em níveis de 2,97, 4,72 e 5,87 %, dos grãos alimentados, para os teores de umidade de 15,9, 19,6 e 24,1 % respectivamente;
- As perdas de grãos observadas no cilindro debulhador, diminuem¹ com o aumento de sua velocidade tangencial, sendo estas de 6,37, 4,31 e 2,88 %, da produção de grãos, para as velocidades de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s respectivamente;
- As perdas de grãos observadas no cilindro debulhador, aumentam¹ com o incremento da abertura do côncavo, sendo estas de 3,16, 4,55 e 5,85 %, da produção de grãos, para as aberturas de 6, 12 e 18 mm respectivamente;
- A menor quebra de grãos correspondeu ao teor de umidade dos grãos de 19,6 %, aumentando com os teores de umidade de 24,1 e 15,9 %, sendo estas de 2,03, 2,26 e 3,29 %, respectivamente;
- A quebra de grãos de sorgo aumentou¹ com o incremento da velocidade tangencial do cilindro, atingindo níveis de 2,01, 2,37 e 3,21 % para as velocidades tangenciais do cilindro de 20,42, 25,13 e 29,85 m/s, respectivamente;

¹ significativamente.

- A quebra de grãos de sorgo diminuem com o incremento da abertura do côncavo, sendo esta de 3,66, 2,29 e 1,63 %, para as aberturas de 6, 12 e 18 mm, respectivamente;
- A melhor eficiência na trilha para o teor de umidade dos grãos de 24.1 %, foi obtida com velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s e abertura do côncavo de 12 mm;
- Para o teor de umidade dos grãos de 19.6 %, a melhor eficiência na trilha foi obtida com velocidade tangencial do cilindro de 25,13 m/s e abertura do côncavo de 6 mm;
- Para o teor de umidade dos grãos de 15.9 %, a melhor eficiência na trilha foi obtida com velocidade tangencial do cilindro de 29,85 m/s e abertura do côncavo de 18 mm;
- Através dos dados experimentais obtidos de perdas na trilha, quantidade de grãos quebrados e perdas totais no mecanismo de trilha foram propostos modelos de regressão com boa distribuição dos resíduos;
- A deformação de um grão de sorgo quando é impactado pela barra do cilindro durante o processo de trilha, pode ser estimada através de o modelo de deformação proposto.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDANA, J. A., ANGULO, L. F. Evaluación de Pérdidas en Cosecha de Arroz con Combinada en los Llanos Orientales. Bogotá: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. 1989. 208 p. Tesis (Graduación en Ingeniería Agrícola). Facultad de Ingeniería - Departamento de Agrícola - Universidad Nacional de Colombia, 1989.

ARNOLD, R. E. Experiment With Rasp Bar Threshing Drums I: Some Factors Affecting Performance. Journal of Agricultural Engineering Research, 9(2): 99 - 131, 1964.

ARNOLD, R. E., LAKE, J. R. Experiments With Rasp Bar Threshing Drums II: Comparison of Open and Closed Concaves. Journal of Agricultural Engineering Research, 9(3): 250 - 251, 1964.

_____ Experiments with Rasp Bar Threshing Drums. III: Power Requirement. Journal of Agricultural Engineering Research, 9(4): 348 - 355, 1964.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9741. Colhedora Autopropelida de grãos. ABNT 1987. 12p. Terminologia.

BENEDETTI, B. C. Influência do Teor de Umidade Sobre Propriedades Físicas de Vários Grãos. Campinas, 1987. 125 p. (Tese - Mestrado - Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP).

BICKERT, W. C., BUELOW, F.W. Kinetic Friction of Grains on Surfaces. Transactions of the ASAE, 9(1): 129 - 131, 1966.

BROWNE, D. A. Variation of the Bulk Density of Cereals With Moisture Content. Journal of Agricultural Engineering Research, 7(4): 288 - 290, 1962.

BRUSEWITZ, G. H. Density of Rewetted High Moisture Grains. Transactions of the ASAE, 18(5): 935 - 938, 1975.

BRUBAKER, J. E., POS, J. Determining Static Coefficient of Friction of Grains on Structural Surfaces. Transactions of the ASAE, 8(1): 53 - 55, 1965.

- BUCHANAN, J. C., JOHNSON, W. H. Functional Characteristics and Analysis of a Centrifugal Threshing and Separating Mechanism. Transactions of the ASAE, 7(4): 460 - 463, 1964.
- CHAPARRO, J. M. La Combinada Máquina Cosechadora. Universidad Nacional de Colombia - Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. 51 p. 1990.
- CHUNG, D. S., CONVERSE, H. H. Effect of Moisture Content on Some Physical Properties of Grain. Transactions of the ASAE, 14(4): 612 - 614, 1971.
-
- CIBA GEIGY. Catalogo de Sementes FUNK'S. Ciba Geigy Colombiana, pag 5 - 15. 1990.
-
- COLÔMBIA: Instituto Geográfico "AGUSTIN CODAZZI", Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Estudio Semidetallado y General de Suelos del Municipio de Riohacha (Departamento de la Guajira), Bogotá, D. E., pg: 127 - 135, 1988.
- COLÔMBIA: Instituto de Hidrologia Metereologia y Adecuación de Tierras. "HIMAT". Boletim de Climatologia de Riohacha- Colombia, Bogotá, D. E. 1993.
- COMPRESSION TEST OF FOOD MATERIALS OF CONVEX SHAPE. ASAE Standard : S 368.2. Agricultural Engineers Yearbook pg 452 - 455, 1993.
- COOPER, G. F. 1972. Concave Separation From Laboratory Test. Transactions of The ASAE, 15(5): 865 - 869, 1972.
- DEVIA, M. J. R., ZEA, P. J. A. Evaluación de Pérdidas de Grano en Cosechadoras de Arroz Realizada con Combinada. Bogotá: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. 1982. 214 p. Tesis (Graduación Ingeniería Agrícola). Facultad de Ingeniería - Departamento de Ingeniería Agrícola - Universidad Nacional de Colombia, 1982.
- DUTTA, S. K., NEMA, K. K., BHARDWAJ, R. K. Physical Properties of Grain. Journal of Agricultural Engineering Research, 39: 259 - 268, 1988.
- FAIRBANKS, G. E., JOHNSON, W. N., SCHROCK, M. D., NATH, S. Grain Sorghum Harvesting Loss Study. Transactions of the ASAE, 22(2): 246 - 250, 1979.
- FRASER, B. M., VERMA, S. S., MUIR, E. E. Some Physical Properties of Fababeans. Journal of Agricultural Engineering Research, 23(1): 53 - 57, 1978.
- FOWLER, R. T., WYATT, F. A. The Effect of Moisture Content on the Angle of Repose of Granular Solids. Austr. J. Chem. Eng: 5 - 8, June, 1960.
- GAVIRIA, L. J. Control de Calidad de Grãos. Editora Ediagro, 1ª edição. Santa fé de Bogotá D.E. Colômbia, 200 p. 1989.

GRIFFIN, A. G. Fundamentos de Operación de la máquina: recolección con cosechadora. John Deere Compañia. 184 p. 1973.

HALL, G. E., JOHNSON, W. H. Corn Kernel Crakage Induced by Mechanical Shelling. Transactions of the ASAE, 13(1): 51 - 55, 1970.

HAMDY, M. Y., STEWART, R. E., JOHNSON, W. H. Theoretical Analysis of Centrifugal Threshing and Separation. Transactions of the ASAE, 10(1): 87 - 90, 1967.

HUYNH, V. M., POWELL, T., SIDDALL, J. N. Threshing and Separation Process- A Mathematical model. Transactions of the ASAE, 25(1): 65 - 73, 1982.

JOHNSON, W. H., LAMP, B. J., HENRY, J. E., HALL, G. E., Corn Harvesting Performance at Various Dates. Transactions of the ASAE, 6(3): 268 - 273, 1963.

KANAFOJSKI, Cz., KARWOWSKI, T., Agricultural Machines Theory and Construction. Vol. 2 Crop Harvesting Machines. Published by PWRiL, Warszawa Poland. 934 p., 1972.

KEPNER, R. A., BAINER, R., BARGER, E. L. Principle of Farm Machinery. he AVI Publisher Company, Inc. Connecticut 1972.

LAMP, B. J., BUCHELE, W. F. Centrifugaal threshing of Small Grain. Transactions of the ASAE, 3(2): 24 - 28, 1960.

LAMP, B. J., JOHNSON, W. H., HARKNESS, K. A. Soybean Harvesting Losses Approaches to Reduction. Transactions of the ASAE, 4(2): 203 - 205, 207, 1961.

LIEN, R. M., HAUGH, C. G., SILVER, M. J., ASHMAN, R. B. Machine Losses in Field Harvesting Popcorn. Transactions of the ASAE, 19(5): 827 - 829, 1976.

MAHMOUD, A. R., BUCHELE, W. F. Corn Ear Orientation Effects of Mechanical Damage and Forces on Concave. Transactions of the ASAE, 18(3): 444 - 447, 452, 1975.

_____ Distribution of Shelled Corn Throughput and Mechanical Damage in a Combine Cylinder. Transactions of the ASAE, 18(3): 448 - 452, 1975.

MOFAZZAL, H. Ch., BUCHELE, W. F. The Nature of Corn Kernel Damage Inflicted in the Shelling Crescent of grain Combines. Transactions of the ASAE, 21(4): 610 - 614, 1978.

MOHSENIN, N. N. Physical Properties of Plant and Animal Materials. New York, Gordon and Breach Science, Vol 1, segunda edição, 1986.

- NATH, S., JOHNSON, W. H., MILLIKEN, G. A. Combine Loss Model and Optimization of the Machine System. Transactions of the ASAE, 25(2): 308 - 312, 1982.
- NEAL, A. E., COOPER, G. F. Laboratory Testing of Rice Combines. Transactions of the ASAE, 13(6): 824 - 826, 1970.
- NELSON, S. O. Moisture - Dependent Kernel - and Bulk - Density Relationships for Wheat and Corn. Transactions of the ASAE, 23(1): 139 - 143, 1980.
- NEWBERY, R. S., PAULSEN, M. R., NAVE, W. R. Soybean Quality with Rotary and Conventional Threshing. Transactions of the ASAE, 23(2): 303 - 308, 1980.
- NORRIS, E. R., WALL, G. L. Effect of Concave Design Factors on Cylinder-concave Performance in Corn. Canadian Agricultural engineering, 28(2): 97 - 99, 1986.
- NYBORG, E. O., McCOLLY, H. F., HINKLE, R. T. Grain Combine Loss characteristics. Transactions of the ASAE, 12(6): 727 - 732, 1969.
- PAULSEN, M. R., NAVE, W. R. Corn Damage From Conventional and Rotatory Combines. Transactions of the ASAE, 23(5): 1110 - 1116, 1980.
- POWER FARMING. Buyer's Guide To Combine Harvesters, 69(10): 47, 1989.
- QUICK, G. R., BUCHELE, W. F. Reducing Combine Gathering Losses in Soybeans. transactions of the ASAE, 17(6): 1123 - 1129, 1974.
- REED, W. B., ZOERB, G. C., BIGSBY, F. W. A Laboratory Study of Grain-Straw Separation. Transactions of the ASAE, 17(3): 452 - 460, 1974.
- SHEPHERE, H., BHARDWAJ, R.K. Moisture Dependent Physical Properties of Pigeon Pea. Journal of Agricultural Engineering Research, (35): 227 - 234, 1986.
- SNYDER, L. H., ROLLER, W. L., HALL, G. E. Coefficients of Kinetic Friction of Wheat on Various Metal Surfaces. Transactions of the ASAE, 10(3): 411- 413, 419, 1967.
- SRIVASTAVA, A. K., HAMDY, M. Y., NELSON, G. L., OLLER, W. L., HUBER, S. G. Centrifugal Grain-Straw Separation: Part I Theoretical analysis. Transactions of the ASAE, 17(2): 198 - 201, 1974.
- SRIVASTAVA, A. K., MAHONEY, W. T., WEST, N. L. The Effect of Crop Properties on Combine Performance. Transactions of the ASAE, 33(1): 63 - 72, 1990.

STEWART, B. R. Effect of Moisture Content and Specific Weight on Internal Friction Properties of Sorghum Grain. Transactions of the ASAE, 11(2): 260 - 262, 1968.

TERMINOLOGY FOR COMBINES AND GRAIN HARVESTING. ASAE Standard: 343.3.
Agricultural Engineers Yearbook pg 190 - 194, 1993.

WAELTI, H., BUCHELE, W. F. Factor Affecting Corn Kernel Damage in Combine Cylinders.
Transactions of the ASAE, 12(1): 55 - 59, 1969.

WAELTI, H., TURNQUIST, P. K., MATTER, V. E. Harvesting Techiques For Reducing Grain Sorghum losses. Transactions of the ASAE, 14(5): 797 - 800, 1971.

WRUBLESKI, P. D., SMITH, L. G. Separation Characteristics of Conventional and Non -
Conventional Grain Combines. Transactions of the ASAE, 23(3): 530 - 534, 1980.

ZOERB, G. C., HALL, C. W. Some Mechanical and Rheological Properties of Grain.
Journal of Agricultural Engineering Research, 5: 8 - 92. 1960.

ZONTA, E. P., MACHADO, A. A. Sistema de Análise Estatística Para Microcomputadores
SANEST. 150 p. 1991..

ANEXO 1

Análise de variância e testes de Tukey para as perdas de grãos de sorgo, no cilindro de trilha

NOME DOS FATORES

FATOR	NOME
U	UMIDADE
VC	VELOCIDADE
CC	ABERTURA

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

VARIÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
UMIDADE	2	192,6168450	96,3084225	173,6839	0,00001
VELOCIDADE	2	277,6172400	138,8086200	250,3293	0,00001
ABERTURA	2	162,7823021	81,3911510	146,7819	0,00001
UMI*VEL	4	1,8683925	0,4670981	0,8424	0,50323
UMI*ABE	4	8,0086637	2,0021659	3,6107	0,00857
VEL*ABE	4	12,5956863	3,1489216	5,6788	0,00057
UMI*VEL*SEP	8	1,4624573	0,1828072	0,3297	0,95251
RESÍDUO	108	59,8864507	0,5545042		
TOTAL	134	716,8380376			

MEDIA GERAL = 4,518148
 COEFICIENTE DE VARIÇÃO = 16,481 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE UMIDADE

ORDEN TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	45	5,871556	5,871556	a	A
2	U2	45	4,716889	4,716889	b	B
3	U3	45	2,966000	2,966000	c	C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
 D.M.S. 5% = 0,37209 - D.M.S. 1% = 0,46445

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE UMIDADE DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDADE

NUM. TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	15	7,538667	7,538667	a	A
2	U2	15	6,545334	6,545334	b	B
3	U3	15	5,027333	5,027333	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR UMIDADE DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDADE

NUM. TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	15	5,800000	5,800000	a	A
2	U2	15	4,488667	4,488667	b	B
3	U3	15	2,632667	2,632667	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDADE

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	15	4,276000	4,276000	a	A
2	U2	15	3,116667	3,116667	b	B
3	U3	15	1,238000	1,238000	c	C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,64448 D.M.S. 1% = 0,80445

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE UMIDADE
DENTRO DE CC1 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	U1	15	4,521333	4,521333	a	A
2	2	U2	15	2,962000	2,962000	b	B
3	3	U3	15	1,996000	1,996000	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE UMIDADE
DENTRO DE CC2 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	U1	15	5,949333	5,949333	a	A
2	2	U2	15	4,790000	4,790000	b	B
3	3	U3	15	2,897333	2,897333	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE UMIDADE
DENTRO DE CC3 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	U1	15	7,144000	7,144000	a	A
2	2	U2	15	6,398667	6,398667	b	B
3	3	U3	15	4,004667	4,004667	c	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,64448 - D.M.S. 1% = 0,80445

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDA E CC1 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	5,934000	5,934000	a	A
2	U2	5	4,580000	4,580000	b	AB
3	U3	5	3,844000	3,844000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDA E CC2 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MÉDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	7,498000	7,498000	a	A
2	U2	5	6,674001	6,674001	a	A
3	U3	5	4,726000	4,726000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDA E CC3 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	9,184000	9,184000	a	A
2	U2	5	8,382001	8,382001	a	A
3	U3	5	6,512000	6,512000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDA E CC1 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	4,042000	4,042000	a	A
2	U2	5	2,458000	2,458000	b	B
3	U3	5	1,392000	1,392000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDA E CC2 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	6,226000	6,226000	a	A
2	U2	5	4,512000	4,512000	b	B
3	U3	5	2,788000	2,788000	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDA E CC3 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	7,132000	7,132000	a	A
2	U2	5	6,496000	6,496000	a	A
3	U3	5	3,718000	3,718000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDA E CC1 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	3,588000	3,588000	a	A
2	U2	5	1,848000	1,848000	b	B
3	U3	5	0,752000	0,752000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDA E CC2 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	4,124000	4,124000	a	A
2	U2	5	3,184000	3,184000	a	A
3	U3	5	1,178000	1,178000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDA E CC3 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	5,116000	5,116000	a	A
2	U2	5	4,318000	4,318000	a	A
3	U3	5	1,784000	1,784000	b	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 1,11628 - D.M.S. 1% = 1,39335

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE VELOCIDADE

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	VC1	45	6,370445	6,370445	a	A
2	2	VC2	45	4,307111	4,307111	b	B
3	3	VC3	45	2,876889	2,876889	c	C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,37209 - D.M.S. 1% = 0,46445

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR VELOCIDA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	15	7,538667	7,538667	a	A
2	VC2	15	5,800000	5,800000	b	B
3	VC3	15	4,276000	4,276000	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE

NUM. TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	15	6,545334	6,545334	a	A
2	VC2	15	4,488667	4,488667	b	B
3	VC3	15	3,116667	3,116667	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	15	5,027333	5,027333	a	A
2	VC2	15	2,632667	2,632667	b	B
3	VC3	15	1,238000	1,238000	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE VELOCIDADE
DENTRO DE CC1 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	VC1	15	4,786000	4,786000	a	A
2	2	VC2	15	2,630667	2,630667	b	B
3	3	VC3	15	2,062667	2,062667	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE VELOCIDADE
DENTRO DE CC2 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	VC1	15	6,299334	6,299334	a	A
2	2	VC2	15	4,508667	4,508667	b	B
3	3	VC3	15	2,828667	2,828667	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE VELOCIDADE
DENTRO DE CC3 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	VC1	15	8,026000	8,026000	a	A
2	2	VC2	15	5,782000	5,782000	b	B
3	3	VC3	15	3,739333	3,739333	c	C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,64448 - D.M.S. 1% = 0,80445

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E CC1 DO FATOR ABERTURA

NUM. TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	5,934000	5,934000	a	A
2	VC2	5	4,042000	4,042000	b	B
3	VC3	5	3,588000	3,588000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E CC2 DO FATOR ABERTURA

NUM. TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	7,498000	7,498000	a	A
2	VC2	5	6,226000	6,226000	b	A
3	VC3	5	4,124000	4,124000	c	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E CC3 DO FATOR ABERTURA

NUM. TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	9,184000	9,184000	a	A
2	VC2	5	7,132000	7,132000	b	B
3	VC3	5	5,116000	5,116000	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E CC1 DO FATOR ABERTURA

NUM. TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	4,580000	4,580000	a	A
2	VC2	5	2,458000	2,458000	b	B
3	VC3	5	1,848000	1,848000	b	b

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E CC2 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	6,674001	6,674001	a	A
2	VC2	5	4,512000	4,512000	b	B
3	VC3	5	3,184000	3,184000	c	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E CC3 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	8,382001	8,382001	a	A
2	VC2	5	6,496000	6,496000	b	B
3	VC3	5	4,318000	4,318000	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E CC1 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	3,844000	3,844000	a	A
2	VC2	5	1,392000	1,392000	b	B
3	VC3	5	0,752000	0,752000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E CC2 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	4,726000	4,726000	a	A
2	VC2	5	2,788000	2,788000	b	B
3	VC3	5	1,178000	1,178000	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E CC3 DO FATOR ABERTURA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	6,512000	6,512000	a	A
2	VC2	5	3,718000	3,718000	b	B
3	VC3	5	1,784000	1,784000	c	C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 1,11628 - D.M.S. 1% = 1,39335

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	CC3	45	5,849111	5,849111	a	A
2	2	CC2	45	4,545556	4,545556	b	B
3	1	CC1	45	3,159778	3,159778	c	C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,37209 - D.M.S. 1% = 0,46445

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	CC3	15	7,144000	7,144000	a	A
2	2	CC2	15	5,949333	5,949333	b	B
3	1	CC1	15	4,521333	4,521333	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	CC3	15	6,398667	6,398667	a	A
2	2	CC2	15	4,790000	4,790000	b	B
3	1	CC1	15	2,962000	2,962000	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	CC3	15	4,004667	4,004667	a	A
2	2	CC2	15	2,897333	2,897333	b	B
3	1	CC1	15	1,996000	1,996000	c	C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,64448 - D.M.S. 1% = 0,80445

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	CC3	15	8,026000	8,026000	a	A
2	2	CC2	15	6,299334	6,299334	b	B
3	1	CC1	15	4,786000	4,786000	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	CC3	15	5,782000	5,782000	a	A
2	2	CC2	15	4,508667	4,508667	b	B
3	1	CC1	15	2,630667	2,630667	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	CC3	15	3,739333	3,739333	a	A
2	2	CC2	15	2,828667	2,828667	b	B
3	1	CC1	15	2,062667	2,062667	c	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,64448 - D.M.S. 1% = 0,80445

TESTE DE TUKEY MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E VC1 DO FATOR VELOCIDA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	5,934000	5,934000	c	C
2	CC2	5	7,498000	7,498000	b	B
3	CC3	5	9,184000	9,184000	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E VC2 DO FATOR VELOCIDA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	4,042000	4,042000	b	B
2	CC2	5	6,226000	6,226000	a	A
3	CC3	5	7,132000	7,132000	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E VC3 DO FATOR VELOCIDA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	3,588000	3,588000	b	B
2	CC2	5	4,124000	4,124000	ba	BA
3	CC3	5	5,116000	5,116000	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E VC1 DO FATOR VELOCIDA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	4,580000	4,580000	c	C
2	CC2	5	6,674001	6,674001	b	B
3	CC3	5	8,382001	8,382001	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E VC2 DO FATOR VELOCIDA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	2,458000	2,458000	c	C
2	CC2	5	4,512000	4,512000	b	B
3	CC3	5	6,496000	6,496000	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E VC3 DO FATOR VELOCIDA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	1,848000	1,848000	c	B
2	CC2	5	3,184000	3,184000	b	BA
3	CC3	5	4,318000	4,318000	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E VC1 DO FATOR VELOCIDA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	3,844000	3,844000	b	B
2	CC2	5	4,726000	4,726000	b	B
3	CC3	5	6,512000	6,512000	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E VC2 DO FATOR VELOCIDA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	1,392000	1,392000	b	B
2	CC2	5	2,788000	2,788000	a	A
3	CC3	5	3,718000	3,718000	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E VC3 DO FATOR VELOCIDA

NUM.TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	0,752000	0,752000	a	A
2	CC2	5	1,178000	1,178000	a	A
3	CC3	5	1,784000	1,784000	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 1,11628 - D.M.S. 1% = 1,39335

ANEXO 2

Análise de variância e testes de Tukey para os grãos de sorgo quebrados no cilindro de trilha

NOME DOS FATORES

FATOR	NOME
U	UMIDADE
VC	VELOCIDA
CC	ABERTURA

QUADRO DA ANALISE DE VARIÂNCIA

VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
UMIDADE	2	40,4426296	20,2213148	116,4845	0,00001
VELOCIDA	2	34,0875807	17,0437903	98,1805	0,00001
ABERTURA	2	95,6558562	47,8279281	275,5119	0,00001
UMI*VEL	4	0,9701790	0,2425447	1,3972	0,23878
UMI*ABE	4	2,8930556	0,7232639	4,1663	0,00388
VEL*ABE	4	2,9074536	0,7268634	4,1871	0,00377
UMI*VEL*ABE	8	0,5955146	0,0744393	0,4288	0,90157
RESÍDUO	108	18,7484297	0,1735966		
TOTAL	134	196,3006990			

MEDIA GERAL = 2,528518

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO = 16,478 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE UMIDADE

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	U3	45	3,290889	3,290889	a	A
2	1	U1	45	2,263333	2,263333	b	B
3	2	U2	45	2,031333	2,031333	c	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO

D.M.S. 5% = 0,20819 - D.M.S. 1% = 0,25987

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR UMIDADE DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDA

NUM. TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	15	1,799333	1,799333	b	B
2	U2	15	1,580000	1,580000	b	B
3	U3	15	2,638667	2,638667	a	A

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DO FATOR UMIDADE DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDA

NUM. TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	15	2,148000	2,148000	b	B
2	U2	15	1,860000	1,860000	b	B
3	U3	15	3,110000	3,110000	a	A

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	15	2,842667	2,842667	a	A
2	U2	15	2,654000	2,654000	a	A
3	U3	15	4,124000	4,124000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE UMIDADE
DENTRO DE CC1 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	U3	15	4,681333	4,681333	a	A
2	1	U1	15	3,242667	3,242667	b	B
3	2	U2	15	3,045333	3,045333	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE UMIDADE
DENTRO DE CC2 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	U3	15	3,016000	3,016000	a	A
2	1	U1	15	2,113333	2,113333	b	B
3	2	U2	15	1,753333	1,753333	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE UMIDADE
DENTRO DE CC3 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	U3	15	2,175333	2,175333	a	A
2	1	U1	15	1,434000	1,434000	b	B
3	2	U2	15	1,295333	1,295333	b	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,36060 - D.M.S. 1% = 0,45011

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDA E CC1 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	2,548000	2,548000	a	A
2	U2	5	2,422000	2,422000	a	A
3	U3	5	4,066000	4,066000	b	B

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDA E CC2 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	1,732000	1,732000	a	A
2	U2	5	1,386000	1,386000	ab	AB
3	U3	5	2,278000	2,278000	b	B

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDA E CC3 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	1,118000	1,118000	a	A
2	U2	5	0,932000	0,932000	ab	A
3	U3	5	1,572000	1,572000	b	A

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDA E CC1 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	3,058000	3,058000	a	A
2	U2	5	2,750000	2,750000	a	A
3	U3	5	4,262000	4,262000	b	B

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDA E CC2 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	1,914000	1,914000	a	A
2	U2	5	1,548000	1,548000	a	A
3	U3	5	2,956000	2,956000	b	B

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDA E CC3 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	1,472000	1,472000	a	AB
2	U2	5	1,282000	1,282000	a	A
3	U3	5	2,112000	2,112000	b	B

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDA E CC1 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	4,122000	4,122000	a	A
2	U2	5	3,964000	3,964000	a	A
3	U3	5	5,716000	5,716000	b	B

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDA E CC2 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	2,694000	2,694000	a	A
2	U2	5	2,326000	2,326000	a	A
3	U3	5	3,814000	3,814000	b	B

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDADE E CC3 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	1,712000	1,712000	a	A
2	U2	5	1,672000	1,672000	a	A
3	U3	5	2,842000	2,842000	b	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,62485 - D.M.S. 1% = 0,77961

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE VELOCIDADE

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	VC3	45	3,206889	3,206889	a	A
2	2	VC2	45	2,372667	2,372667	b	B
3	1	VC1	45	2,006000	2,006000	c	C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,20819 - D.M.S. 1% = 0,25987

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	15	1,799333	1,799333	a	A
2	VC2	15	2,148000	2,148000	a	A
3	VC3	15	2,842667	2,842667	b	B

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	15	1,580000	1,580000	a	A
2	VC2	15	1,860000	1,860000	a	A
3	VC3	15	2,654000	2,654000	b	B

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	15	2,638667	2,638667	a	A
2	VC2	15	3,110000	3,110000	b	B
3	VC3	15	4,124000	4,124000	c	C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE VELOCIDADE
DENTRO DE CC1 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	VC3	15	4,600667	4,600667	a	A
2	2	VC2	15	3,356667	3,356667	b	B
3	1	VC1	15	3,012000	3,012000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE VELOCIDADE
DENTRO DE CC2 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	VC3	15	2,944667	2,944667	a	A
2	2	VC2	15	2,139333	2,139333	b	B
3	1	VC1	15	1,798667	1,798667	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE VELOCIDADE
DENTRO DE CC3 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	VC3	15	2,075333	2,075333	a	A
2	2	VC2	15	1,622000	1,622000	b	B
3	1	VC1	15	1,207333	1,207333	c	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,36060 - D.M.S. 1% = 0,45011

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E CC1 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	2,548000	2,548000	a	A
2	VC2	5	3,058000	3,058000	a	A
3	VC3	5	4,122000	4,122000	b	B

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E CC2 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	1,732000	1,732000	a	A
2	VC2	5	1,914000	1,914000	a	A
3	VC3	5	2,694000	2,694000	b	B

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E CC3 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	1,118000	1,118000	a	A
2	VC2	5	1,472000	1,472000	a	A
3	VC3	5	1,712000	1,712000	a	A

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E CC1 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	2,422000	2,422000	a	A
2	VC2	5	2,750000	2,750000	a	A
3	VC3	5	3,964000	3,964000	b	

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E CC2 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	1,386000	1,386000	a	A
2	VC2	5	1,548000	1,548000	a	AB
3	VC3	5	2,326000	2,326000	b	B

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E CC3 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	0,932000	0,932000	a	A
2	VC2	5	1,282000	1,282000	ab	A
3	VC3	5	1,672000	1,672000	b	A

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E CC1 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	4,066000	4,066000	a	A
2	VC2	5	4,262000	4,262000	a	A
3	VC3	5	5,716000	5,716000	b	B

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E CC2 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	2,278000	2,278000	a	A
2	VC2	5	2,956000	2,956000	b	A
3	VC3	5	3,814000	3,814000	c	B

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E CC3 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	1,572000	1,572000	a	A
2	VC2	5	2,112000	2,112000	a	AB
3	VC3	5	2,842000	2,842000	b	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,62485 - D.M.S. 1% = 0,77961

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	CC1	45	3,656444	3,656444	a	A
2	2	CC2	45	2,294222	2,294222	b	B
3	3	CC3	45	1,634889	1,634889	c	C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,0819 - D.M.S. 1% = 0,25987

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE

ORDEM TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	CC1	15	3,242667	3,242667	a A
2	2	CC2	15	2,113333	2,113333	b B
3	3	CC3	15	1,434000	1,434000	c C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE

ORDEM TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	CC1	15	3,045333	3,045333	a A
2	2	CC2	15	1,753333	1,753333	b B
3	3	CC3	15	1,295333	1,295333	c C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE

ORDEM TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	CC1	15	4,681333	4,681333	a A
2	2	CC2	15	3,016000	3,016000	b B
3	3	CC3	15	2,175333	2,175333	c C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDADE

ORDEM TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	CC1	15	3,012000	3,012000	a A
2	2	CC2	15	1,798667	1,798667	b B
3	3	CC3	15	1,207333	1,207333	c C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDADE

ORDEM TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	CC1	15	3,356667	3,356667	a A
2	2	CC2	15	2,139333	2,139333	b B
3	3	CC3	15	1,622000	1,622000	c C

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDADE

ORDEM TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	CC1	15	4,600667	4,600667	a A
2	2	CC2	15	2,944667	2,944667	b B
3	3	CC3	15	2,075333	2,075333	c C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,36060 - D.M.S. 1% = 0,45011

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E VC1 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	2,548000	2,548000	a	A
2	CC2	5	1,732000	1,732000	b	B
3	CC3	5	1,118000	1,118000	b	B

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E VC2 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	3,058000	3,058000	a	A
2	CC2	5	1,914000	1,914000	b	B
3	CC3	5	1,472000	1,472000	b	B

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E VC3 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	4,122000	4,122000	a	A
2	CC2	5	2,694000	2,694000	b	B
3	CC3	5	1,712000	1,712000	c	C

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E VC1 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	2,422000	2,422000	a	A
2	CC2	5	1,386000	1,386000	b	B
3	CC3	5	0,932000	0,932000	b	B

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E VC2 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	2,750000	2,750000	a	A
2	CC2	5	1,548000	1,548000	b	B
3	CC3	5	1,282000	1,282000	b	B

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E VC3 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	3,964000	3,964000	a	A
2	CC2	5	2,326000	2,326000	b	B
3	CC3	5	1,672000	1,672000	c	B

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E VC1 DO FATOR VELOCIDA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	4,066000	4,066000	a	A
2	CC2	5	2,278000	2,278000	b	B
3	CC3	5	1,572000	1,572000	c	B

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E VC2 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	4,262000	4,262000	a	A
2	CC2	5	2,956000	2,956000	b	B
3	CC3	5	2,112000	2,112000	c	C

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E VC3 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	5,716000	5,716000	a	A
2	CC2	5	3,814000	3,814000	b	B
3	CC3	5	2,842000	2,842000	c	C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,62485 - D.M.S. 1% = 0,77961

ANEXO 3

Análise de variância e testes de Tukey para as perdas totais de grãos de sorgo, no cilindro de trilha

NOME DOS FATORES

FATOR NOME

U UMIDADE
VC VELOCIDA
C C ABERTURA

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
UMIDADE	2	85,3669398	42,6834699	59,0315	0,00001
VELOCIDADE	2	127,3531059	63,6765529	88,0650	0,00001
ABERTURA	2	12,9224565	6,4612282	8,9359	0,00048
UMI*VEL	4	1,3116411	0,3279103	0,4535	0,77216
UMI*ABE	4	18,9559706	4,7389926	6,5541	0,00022
VEL*ABE	4	26,9183527	6,7295882	9,3071	0,00002
UMI*VEL*ABE	8	2,1965387	0,2745673	0,3797	0,92915
RESÍDUO	108	78,0907861	0,7230628		
TOTAL	134	353,1157913			

MÉDIA GERAL = 7,046667

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO = 12,067 %

TESTE DE TUKEY PARA MÉDIAS DE UMIDADE

ORDEN	TRAT.	NOME	REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINALIS	5%	1%
1	1	U1	45	8,134889	8,134889	a	A
2	2	U2	45	6,748222	6,748222	b	B
3	3	U3	45	6,256889	6,256889	c	B

MÉDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,42490 - D.M.S. 1% = 0,53036

MÉDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINALIS	5%	1%
1	U1	15	9,338000	9,338000	a	A
2	U2	15	8,125333	8,125333	b	B
3	U3	15	7,666000	7,666000	b	B

MÉDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MÉDIAS	MÉDIAS ORIGINALIS	5%	1%
1	U1	15	7,948000	7,948000	a	A
2	U2	15	6,348667	6,348667	b	B
3	U3	15	5,742667	5,742667	b	B

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	15	7,118667	7,118667	a	A
2	U2	15	5,770667	5,770667	b	B
3	U3	15	5,362000	5,362000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE UMIDADE
DENTRO DE CC1 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	15	7,764000	7,764000	a	A
3	U3	15	6,677334	6,677334	b	B
2	U2	15	6,007334	6,007334	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE UMIDADE
DENTRO DE CC2 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	U1	15	8,062667	8,062667	a	A
2	2	U2	15	6,543333	6,543333	b	B
3	3	U3	15	5,913333	5,913333	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE UMIDADE
DENTRO DE CC3 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	U1	15	8,578000	8,578000	a	A
2	2	U2	15	7,694000	7,694000	b	A
3	3	U3	15	6,180000	6,180000	c	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,73595 - D.M.S. 1% = 0,91862

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDADE E CC1 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	8,482000	8,482000	a	A
2	U2	5	7,002000	7,002000	b	A
3	U3	5	7,910001	7,910001	ab	A

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDADE E CC2 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	9,230000	9,230000	a	A
2	U2	5	8,060000	8,060000	ab	AB
3	U3	5	7,004000	7,004000	b	B

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDA E CC3 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	10,302000	10,302000	a	A
2	U2	5	9,313999	9,313999	ab	AB
3	U3	5	8,084000	8,084000	b	B

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDA E CC1 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	7,100000	7,100000	a	A
2	U2	5	5,208000	5,208000	b	B
3	U3	5	5,654000	5,654000	b	AB

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDA E CC2 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	8,140000	8,140000	a	A
2	U2	5	6,060000	6,060000	b	B
3	U3	5	5,744000	5,744000	b	B

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDA E CC3 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	8,603999	8,603999	a	A
2	U2	5	7,778000	7,778000	a	A
3	U3	5	5,830000	5,830000	b	B

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDA E CC1 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	7,710000	7,710000	a	A
2	U2	5	5,812000	5,812000	b	B
3	U3	5	6,468000	6,468000	ab	AB

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDA E CC2 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	6,818000	6,818000	a	A
2	U2	5	5,510000	5,510000	b	AB
3	U3	5	4,992000	4,992000	b	B

MEDIAS DO FATOR UMIDADE
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDA E CC3 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	U1	5	6,828000	6,828000	a	A
2	U2	5	5,990000	5,990000	a	AB
3	U3	5	4,626000	4,626000	b	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 1,27470 - D.M.S. 1% = 1,59109

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE VELOCIDADE

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	VC1	45	8,376444	8,376444	a	A
2	2	VC2	45	6,679778	6,679778	b	B
3	3	VC3	45	6,083778	6,083778	c	C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,42490 - D.M.S. 1% = 0,53036

MEDIAS DO FATOR VELOCIDA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	15	9,338000	9,338000	a	A
2	VC2	15	7,948000	7,948000	b	B
3	VC3	15	7,118667	7,118667	c	B

MEDIAS DO FATOR VELOCIDA
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	15	8,125333	8,125333	a	A
2	VC2	15	6,348667	6,348667	b	B
3	VC3	15	5,770667	5,770667	b	B

MEDIAS DO FATOR VELOCIDA
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	15	7,666000	7,666000	a	A
2	VC2	15	5,742667	5,742667	b	B
3	VC3	15	5,362000	5,362000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE VELOCIDADE
DENTRO DE CC1 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	VC1	15	7,798000	7,798000	a	A
2	3	VC3	15	6,663333	6,663333	b	B
3	2	VC2	15	5,987333	5,987333	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE VELOCIDADE
DENTRO DE CC2 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	VC1	15	8,098000	8,098000	a	A
2	2	VC2	15	6,648000	6,648000	b	B
3	3	VC3	15	5,773333	5,773333	c	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE VELOCIDADE
DENTRO DE CC3 DO FATOR ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	VC1	15	9,233333	9,233333	a	A
2	2	VC2	15	7,404000	7,404000	b	B
3	3	VC3	15	5,814667	5,814667	c	C

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,73595 - D.M.S. 1% = 0,91862

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E CC1 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	8,482000	8,482000	a	A
2	VC2	5	7,100000	7,100000	b	A
3	VC3	5	7,710000	7,710000	ab	A

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E CC2 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	9,230000	9,230000	a	A
2	VC2	5	8,140000	8,140000	a	AB
3	VC3	5	6,818000	6,818000	b	B

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E CC3 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	10,302000	10,302000	a	A
2	VC2	5	8,603999	8,603999	b	B
3	VC3	5	6,828000	6,828000	c	C

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E CC1 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	7,002000	7,002000	a	A
2	VC2	5	5,208000	5,208000	b	B
3	VC3	5	5,812000	5,812000	ab	AB

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E CC2 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	8,060000	8,060000	a	A
2	VC2	5	6,060000	6,060000	b	B
3	VC3	5	5,510000	5,510000	b	B

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E CC3 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	9,313999	9,313999	a	A
2	VC2	5	7,778000	7,778000	b	A
3	VC3	5	5,990000	5,990000	c	B

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E CC1 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	7,910001	7,910001	a	A
2	VC2	5	5,654000	5,654000	b	B
3	VC3	5	6,468000	6,468000	b	AB

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E CC2 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	7,004000	7,004000	a	A
2	VC2	5	5,744000	5,744000	ab	AB
3	VC3	5	4,992000	4,992000	b	B

MEDIAS DO FATOR VELOCIDADE
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E CC3 DO FATOR ABERTURA

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	VC1	5	8,084000	8,084000	a	A
2	VC2	5	5,830000	5,830000	b	B
3	VC3	5	4,626000	4,626000	b	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 1,27470 - D.M.S. 1% = 1,59109

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	CC3	45	7,484000	7,484000	a	A
2	2	CC2	45	6,839778	6,839778	b	B
3	1	CC1	45	6,816222	6,816222	b	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,42490 - D.M.S. 1% = 0,53036

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	CC3	15	8,578000	8,578000	a	A
2	2	CC2	15	8,062667	8,062667	ab	A
3	1	CC1	15	7,764000	7,764000	b	A

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	CC3	15	7,694000	7,694000	a	A
2	2	CC2	15	6,543333	6,543333	b	B
3	1	CC1	15	6,007334	6,007334	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	CC1	15	6,677334	6,677334	a	A
2	3	CC3	15	6,180000	6,180000	ab	A
3	2	CC2	15	5,913333	5,913333	b	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,73595 - D.M.S. 1% = 0,91862

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE VC1 DO FATOR VELOCIDADE

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	CC3	15	9,233333	9,233333	a	A
2	2	CC2	15	8,098000	8,098000	b	B
3	1	CC1	15	7,798000	7,798000	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE VC2 DO FATOR VELOCIDADE

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	CC3	15	7,404000	7,404000	a	A
2	2	CC2	15	6,648000	6,648000	b	AB
3	1	CC1	15	5,987333	5,987333	b	B

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ABERTURA
DENTRO DE VC3 DO FATOR VELOCIDADE

ORDEM	TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	CC1	15	6,663333	6,663333	a	A
2	3	CC3	15	5,814667	5,814667	b	A
3	2	CC2	15	5,773333	5,773333	b	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0,73595 - D.M.S. 1% = 0,91862

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E VC1 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	8,482000	8,482000	a	A
2	CC2	5	9,230000	9,230000	ab	AB
3	CC3	5	10,302000	10,302000	b	B

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E VC2 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	7,100000	7,100000	a	A
2	CC2	5	8,140000	8,140000	ab	A
3	CC3	5	8,603999	8,603999	b	A

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U1 DO FATOR UMIDADE E VC3 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	7,710000	7,710000	a	A
2	CC2	5	6,818000	6,818000	a	A
3	CC3	5	6,828000	6,828000	a	A

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E VC1 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	7,002000	7,002000	a	A
2	CC2	5	8,060000	8,060000	ab	AB
3	CC3	5	9,313999	9,313999	b	B

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E VC2 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	5,208000	5,208000	a	A
2	CC2	5	6,060000	6,060000	a	A
3	CC3	5	7,778000	7,778000	b	B

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U2 DO FATOR UMIDADE E VC3 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	5,812000	5,812000	a	A
2	CC2	5	5,510000	5,510000	a	A
3	CC3	5	5,990000	5,990000	a	A

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E VC1 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	7,910001	7,910001	a	A
2	CC2	5	7,004000	7,004000	a	A
3	CC3	5	8,084000	8,084000	a	A

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E VC2 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	5,654000	5,654000	a	A
2	CC2	5	5,744000	5,744000	a	A
3	CC3	5	5,830000	5,830000	a	A

MEDIAS DO FATOR ABERTURA
DENTRO DE U3 DO FATOR UMIDADE E VC3 DO FATOR VELOCIDADE

TRAT.	NOME	REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	CC1	5	6,468000	6,468000	a	A
2	CC2	5	4,992000	4,992000	b	AB
3	CC3	5	4,626000	4,626000	b	B

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 1,27470 - D.M.S. 1% = 1,59109

ANEXO 4

Análise de variância para as variáveis dos ensaios de compressão.

NOME DOS FATORES	
FATOR	NOME
U	TEOR DE UMIDADE
T	TAXA DE DEFORMAÇÃO

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL DEFORMAÇÃO DE RUPTURA

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
TEOR DE UMIDADE	3	1,5716667	0,5238889	56,6604	0,00001
TAXA DE DEFORMAÇÃO	2	0,1312962	0,0656481	7,1001	0,00153
UMIDADE * TAXA DEFORM.	6	0,0382885	0,0063814	0,6902	0,66009
RESÍDUO	141	1,3037037	0,0092461		
TOTAL	152	3,0289675			

MEDIA GERAL 0,3645
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO 26,377 %

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL FORÇA DE RUPTURA

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
TEOR DE UMIDADE	3	3212,9579	1070,9859	8,8027	0,00009
TAXA DE DEFORMAÇÃO	2	1837,0399	918,5199	7,5495	0,00110
UMIDADE * TAXA DEFORM.	6	2491,1815	415,1969	3,4126	0,00387
RESÍDUO	141	17154,8805	121,6658		
TOTAL	152	24875,5131			

MEDIA GERAL 44,284
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO 24,908 %

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL MÓDULO DE ELASTICIDADE

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
TEOR DE UMIDADE	3	1379663790,83	4598879302,72	17,6051	0,00001
TAXA DE DEFORMAÇÃO	2	6614750449,75	3307375224,87	12,6611	0,00006
UMIDADE * TAXA DEFORM.	6	2998326185,63	4997210309,37	1,9130	0,08204
RESÍDUO	141	3683259141,91	2612240526,17		
TOTAL	152	6024230596,28			

MEDIA GERAL 162250800,00
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO 31,501 %

ABSTRACT

Losses and breakage of sorghum grain as well as threshing efficiency of conventional rasp bar cylinder were determined through field harvesting tests. The main variables related to the threshing process were studied. Sorghum variety Funk's HW 1758 was used at three moisture contents levels 15.9; 19.6 and 24.1 % (W B) to feed a threshing cylinder working at three levels of tangential velocity 20.4; 25. and 29.5 m/s combined with three levels of concave-cylinder clearance, namely 6, 12 and 18 mm. The main objective was to identify cylinder settings that would lead to optimum threshing efficiency. The data obtained showed losses through the thresher varying from 0.65 % to 10.78 %, the grain breakage was in the range of 0.7 to 6.14 %. A variance analysis showed that grain moisture, cylinder speed and concave-cylinder clearance, affected grain losses and breakage to the 1 % level of significance. The results indicate a major efficiency of the conventional thresher for grain moisture content near 24.1 %, cylinder speed of 29.85 m/s and concave-cylinder clearance of 12 mm. At 19.6 % of moisture content, the highest efficiency of the thresher corresponds to cylinder speed of 25.13 m/s and concave-cylinder clearance of 6 mm. For the last moisture content level tested, near 15.9 %, the highest efficiency of the combine thresher was found to be at a cylinder speed of 29.85 m/s and concave-clearance of 18 mm.