

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Lúcia Helena Vasconcelos e aprovada pela Comissão Julgadora em 21 de dezembro de 1998. Campinas, 02 de março de 1999.

Presidente da Banca

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA CANOLA
(*Brassica napus*), VARIEDADE ICIOLA 41, RELACIONADAS À
ARMAZENAGEM**

POR

LÚCIA HELENA VASCONCELOS

Orientador:

Prof. Dr. JOSÉ TADEU JORGE

Dissertação apresentada em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola: Área de Concentração: Pré-Processamento de Produtos Agrícolas.

7238066

Campinas, SP
Dezembro de 1998

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
V.	Es
TOMBO BC/	37192
PROC.	229/99
	<input type="checkbox"/>
PREÇO	R \$ 11,00
DATA	07/04/99
N.º CPD	

CM-00122061-4

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

V441d Vasconcelos, Lúcia Helena
Determinação das propriedades físicas da canola
(*Brassica napus*), variedade Iciola 41, relacionadas à
armazenagem / Lúcia Helena Vasconcelos.--Campinas,
SP: [s.n.], 1998.

Orientador: José Tadeu Jorge
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Canola. 2. Umidade de Equilíbrio – Pesos
Específicos – Ângulo de Talude – Perda de Carga –
Velocidade Terminal – Coeficiente de Atrito. I. Jorge,
José Tadeu. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

“À Sebastião e Maria José, meus pais

À Lourdes, Luiz Carlos, Lucymara, João Roberto,

Luzimeire, Jorge, Flávio, meus irmãos

Ofereço.”

“À DEUS meu companheiro.

À Gustavo Vasconcelos Rabello, meu filho.

Pelas suas presenças em minha vida

Dedico.”

AGRADECIMENTOS

“À DEUS, por tudo, pelo constante amparo.”

À Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), por intermédio do Departamento de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas (DPPPA) pela oportunidade de realizar o curso.

Ao Laboratório de Propriedades Físico-Mecânicas do Departamento de Máquinas Agrícolas, da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP.

Ao Laboratório de Análises de Sementes do Departamento de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas, da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Departamento de Engenharia de Alimentos da Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas (FEPESMIG), pela nossa liberação para participar deste curso.

Ao Prof. Rodolfo de Moura Netto Diretor da Faculdade de Engenharia de Varginha-MG, pela compreensão e atenção.

Ao pessoal da COCAMAR: Sidney Leal, Valdemar Cremosis, José Roberto Gomes, e Telma de Oliveira, pela carinhosa recepção em Maringá e pelo atendimento sempre gentil no envio de amostras e literatura, auxiliando no desenvolvimento deste Projeto.

Ao Prof. Dr. José Tadeu Jorge, pela orientação e acima de tudo pelo exemplo, amizade e apoio.

Aos Profs. Dr. Kil Jin Park e Dr. João Domingos Biagi, pelo incentivo e amizade.

Ao Prof. Dr. Benedito Carlos Benedetti, pelo uso das dependências do Laboratório de Matérias Primas Agropecuárias, da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP e pelo espírito colaboracionista encontrado.

Aos Funcionários Francisco Oliveira e Dagoberto Favoretto pela valiosa ajuda durante a execução dos experimentos sem a qual tornaria impossível de se realizar.

À todos os Funcionários da FEAGRI pela colaboração e boa convivência.

Ao Marcelo Nunes Simoni, pela atenção e colaboração durante esta fase.

Ao Alexis Rabello Ferreira, meu ex-marido, pelo apoio e compreensão dispensada na fase inicial deste curso.

Ao colega Engenheiro Agrônomo Enilson de Barros Filho, pela valiosa ajuda nas análises estatísticas.

À Eliane, bibliotecária da FEPESMIG, pela colaboração e amizade.

Aos Colegas de Curso, pelas horas de incentivo e boa convivência.

À Eliza Belkiss Rocha de Souza, Ana Campos Palmeira, Rodrigo de Lima Ferreira, amigos de Machado, pela garra e exemplo.

Enfim, à todos que neste momento não me vêm a lembrança, mas, que com certeza contribuíram para o êxito deste trabalho; o meu Muito Obrigado.

Agradecimento Especial

“À DEUS, pelos momentos em que, cansada e desiludida, recorri ao Senhor,
em uma prece.

Por tantas vezes em que pensava estar só e Tu vieste enxugar minhas
lágrimas em silêncio.

É por este momento, que, quase em oração, agradeço a Ti por guiar meus passos e ter
feito de mim, hoje, um Ser Humano.

A Ti, Senhor, faço uma homenagem simples demais para Deus,
profunda demais para mim.”

SUMÁRIO

	Página
PÁGINA DE ROSTO	i
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
SUMÁRIO	vi
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
LISTA DE QUADROS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS	xix
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	03
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
3.1 Origem e História	04
3.2. Produção Mundial Da Canola	07
3.3. Canola	07
3.3.1. Características Gerais	07
3.3.2. Variedades Da Canola	10
3.3.3. Composição Química Da Semente	11
3.3.4. Armazenagem.....	11
3.3.5 Classificação Da Canola	13
3.3.5.1 Classificação Comercial	14

3.3.6	Produtos Da Canola: Óleo e Farelo.....	15
3.4	Importância Das Propriedades Físicas Dos Materias Biológicos	19
3.4.1	Umidade e Equilíbrio	19
3.4.2	Pesos Específicos	21
3.4.3	Ângulo De Talude	23
3.4.4	Coeficiente De Atrito	24
3.4.5	Velocidade Terminal	25
3.4.6	Perda De Carga	28
4.	DETERMINAÇÕES INICIAIS	30
4.1	Matéria Prima	30
4.2	Material e Métodos	30
4.2.1	Material	30
4.2.2	Métodos	31
4.2.2.1	Umidade	31
4.2.2.2	Classificação Por Tamanho	31
4.2.2.3	Classificação Comercial	31
4.3	Resultados e Discussão	31
4.3.1	Umidade	31
4.3.2	Classificação Por Tamanho	32
4.3.3	Classificação Comercial	34
4.4	Preparo Da Matéria Prima	34
4.4.1	Secagem	34
4.4.2	Umidificação	34
5.	UMIDADE DE EQUILÍBRIO	36
5.1	Material e Métodos.....	36
5.1.1	Material	36
5.1.2	Métodos	36
5.2	Resultados e Discussão.....	37
5.3	Conclusões	44

6.	PESOS ESPECÍFICOS.....	51
6.1	Peso Específico Aparente	51
6.1.1	Material e Métodos	51
6.1.1.1	Material	51
6.1.1.2	Métodos	53
6.1.1.2.1	Calibração Do Recipiente	53
6.1.1.2.2	Determinação Do Peso Específico Aparente	53
6.2	Peso Específico Real	54
6.2.1	Material e Métodos	54
6.2.2.1	Material	54
6.2.1.2	Métodos	54
6.3	Porosidade	55
6.4	Resultados e Discussão	55
6.5	Conclusões	57
7.	ÂNGULO DE TALUDE	58
7.1	Material e Métodos	58
7.1.1	Material	58
7.1.2	Métodos	60
7.2	Resultados e Discussão	60
7.3	Conclusões	61
8.	COEFICIENTE DE ATRITO	62
8.1	Material e Métodos	62
8.1.1	Material	62
8.1.2	Métodos	65
8.2	Resultados e Discussão	67
8.3	Conclusões	72
9.	VELOCIDADE TERMINAL.....	73
9.1	Material e Métodos	73
9.1.1	Material	73

9.1.2 Métodos	75
9.2 Resultados e Discussão	76
9.3 Conclusões	78
10. PERDA DE CARGA	79
10.1 Material e Métodos	79
10.1.1 Material	79
10.1.2 Métodos	81
10.2 Resultados e Discussão	81
10.3 Conclusões	85
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

RESUMO

A colza é uma semente oleaginosa, nativa do Oriente, que contém cerca 40% de óleo em sua composição. A variedade de colza (*Brassica napus* ou *Brassica campestris*), contendo baixos teores de ácido erúico e glucosinalatos é chamada canola, cuja marca é registrada no Canadá. No Brasil, foi adaptada ao clima e ao solo no estado do Paraná, onde a primeira colheita se deu em 1992. Sendo uma semente oleaginosa, de grande interesse mundial para qual existe carência de informações, configura-se o interesse do conhecimento das propriedades físicas da canola adaptada ao estado do Paraná, essencial para projeto de sistemas e equipamentos pós-colheita eficientes. Este trabalho teve por objetivos: determinar experimentalmente as curvas de equilíbrio higroscópico (adsorção e dessorção) de canola a 25°, 35° e 45°C e correlacionar o dados obtidos ao modelo matemático proposto por HENDERSON e a uma equação de 3° grau; determinar as propriedades físicas peso específico real e aparente, porosidade, ângulo de talude, velocidade terminal, perda de carga (correlacionar os dados obtidos desta propriedade ao modelo matemático de Sheed), coeficiente de atrito com superfícies e atrito interno. As determinações realizadas com canola, variedade Iciola 41 da Cooperativa de Cafeicultores e Agropecuaristas de Maringá (COCAMAR), Paraná, com 7,03% de umidade (base úmida), apresentaram os seguintes resultados: peso específico aparente - 668 Kg/m³; peso específico real - 1183 Kg/m³; porosidade - 43,53%; ângulo de talude - 30,60; velocidade terminal experimental - 622,30 cm/s; velocidade terminal

teórica - 681,52 cm/s; - coeficiente de atrito com: chapa galvanizada - 0,251, madeirite - 0,402, concreto - 0,453, aço-inox - 0,261, alumínio - 0,351, atrito interno - 0,444; perda de carga – verificação do modelo de Sheed, com a determinação dos termos da equação, que resultou em altos coeficientes de correlação (mínimo 0,973) e significância no nível de 0,1%. Os dois modelos de ajuste por HENDERSON e a uma equação de 3º grau para isoterma de canola foram adequados respectivamente: com coeficiente de correlação de 0,995 e 0,998 e significância de 0,1%, a 25°C e para a adsorção; 0,992 e 0,998 e significância de 0,1%, a 35°C e para adsorção; de 0,985 e 0,999 e significância de 0,1%, a 25°C e para dessorção; 0,991 e 0,998 e significância de 0,1%, a 35°C e para dessorção.

ABSTRACT

The rapeseed is an oleaginous seed, native from the Orient, which contains about 40% of oil in its composition. The rapeseed species (*Brassica napus* or *Brassica campestris*), which contains lower erucic acid and glucosinolate levels is called canola, a Canadian trade mark. In Brazil, after it was adapted to the climate and to the soil of State of Paraná, where the first harvest was carried in 1992. As the rapeseed is an oleaginous seed of world interest, but there is not information, the knowledge about physical properties of canola adapted to Paraná is important in order to design post-harvest equipment. The objectives of this work were: to determine the equilibrium moisture content curves (adsorption and desorption) of canola at 25°, 35° and 45°C establish correlation with the mathematical model proposed by HENDERSON and to a 3rd degree equation; determine the physical properties, bulk and true density, porosity, angle of repose, terminal velocity, pressure drop (correlate the obtained data of this properties to Sheed's mathematical model), the five repetitions, coefficient of friction with surfaces: galvanized foil, plywood, concrete, inox steel, aluminum and internal coefficient of friction. The realized determinations with canola, Iciola 41 variety of Cooperativa de Cafeicultores e Agropecuaristas de Maringá (COCAMAR), Paraná, with 7,03% moisture content, the results were: bulk density :- 668 kg/m³; true density: - 1183 kg/m³; porosity: - 43,53%; angle of repose: - 30,60; experimental terminal velocity: - 622 cm/s; coefficients of friction on the surface with: galvanized foil: - 0,251; plywood:- 0,402;

concrete: - 0,453; inox steel: - 0,261; aluminum: - 0,351; - internal friction: - 0,444;
pressure drop - verifications of Sheed's model, with the determination of terms of
equations, that results in high correlation coefficients (minimum 0,973) and signifying at
the level of 0,1%. The two adjusting models by HENDERSON and a 3rd degree equation
for the isotherms canola were suitable with: correlation of 0,995 and 0,998 and signifying
of 0,1% at 25°C for adsorption, 0,992 and 0,998 and signifying of 0,1% at 35°C for
adsorption, 0,985 and 0,999 and signifying of 0,1% at 25°C for desorption, 0,991 and
0,998 and signifying of 0,1% for desorption.

LISTAS DE QUADROS

Quadro n°.		Página
01	Produção Nacional da Canola.....	02
02	Produção Mundial de Canola por País (em milhões de Toneladas).....	07
03	Composição típica de espécies de canola.....	10
04	Padrões de Classificação da Canola Isentos de Descontos	14
05	Comparação Nutricional de Óleos e Gorduras.....	18
06	Umidade da Canola, variedade Iciola 41, expresso em % base úmida.....	32
07	Classificação por tamanho e peso de 50 grãos de canola variedade Iciola 41.....	33
08	Valores e média final da umidade de equilíbrio da canola, variedade Iciola 41, a partir da umidade inicial de 17,94%, nas diferentes umidades relativas à temperatura de 25° C.	38

Quadro	Página
09	Valores e média final da umidade de equilíbrio da canola, variedade Iciola 41, a partir da umidade inicial de 4,30%, nas diferentes umidades relativas, à temperatura de 25°C..... 39
10	Valores e média final da umidade de equilíbrio da canola, variedade Iciola 41 a partir da umidade inicial de 17,94%, nas diferentes umidades relativas à temperatura de 35°C..... 40
11	Valores e média final da umidade de equilíbrio da canola, variedade Iciola 41 a partir da umidade inicial de 4,30%, nas diferentes umidades relativas à temperatura de 35°C..... 41
12	Constantes da equação do 3º grau..... 42
	$Meq = a_0 + a_1 + a_2 + a_3$
13	Constantes da equação de Henderson..... 43
	$1 - \phi = e^{-KTMeq^n}$
14	Resultados para peso específico aparente, peso específico real e porosidade, da canola, variedade Iciola 41. 56
15	Ângulo de Talude, para a canola, variedade Iciola 41..... 60
16	Dados experimentais de coeficiente de atrito com diversas superfícies e coeficientes de atrito interno para canola, variedade Iciola - 41..... 68

Quadro	Página
17 Dados experimentais de velocidade terminal da canola, variedade Iciola-41.....	76
<hr/>	
18 Dados utilizados para o cálculo da velocidade terminal teórica.....	77
19 Velocidade terminal teórica (V_H), CRE^2 , C e RE teórico, para a canola.....	77
20 Valores experimentais para o cálculo da perda de carga da canola, variedade Iciola-41 (Primeira repetição).....	81
21 Valores experimentais para o cálculo da perda de carga da canola, variedade Iciola-41(Segunda repetição).....	82
22 Valores experimentais para o cálculo da perda de carga da canola, variedade Iciola-41(Terceira repetição).....	82
23 Valores experimentais para o cálculo da perda de carga da canola, variedade Iciola-41(Quarta repetição)	83
24 Valores experimentais para o cálculo da perda de carga da canola, variedade Iciola-41(Quinta repetição)	83
25 Constantes da equação de Sheed	84

$$Q = aP^b$$

LISTA DE FIGURAS

Figura n°.		Página
01	Campo de produção de canola, variedade Iciola 41, com os botões tornando-se flores e as flores desenvolvendo-se em síliquas. Fazenda da COCAMAR	09
02	Umidade de equilíbrio na adsorção para temperatura de 25°C. °C	45
03	Umidade de equilíbrio na adsorção para temperatura de 35°C.....	46
04	Umidade de equilíbrio na dessorção para temperatura de 25°C	47
05	Umidade de equilíbrio na dessorção para temperatura de 35°C.....	48
06	Curvas de umidade de equilíbrio na adsorção e dessorção de temperatura de 25°C.....	49
07	Curvas de umidade de equilíbrio na adsorção e dessorção de temperatura de 35°C	50
08	Equipamento para determinação do peso específico aparente	52

Figura n°		Página
09	Equipamento para a determinação do ângulo de talude.....	59
10	Esquema do equipamento Instron Universal para determinação dos coeficientes de atrito com superfícies.....	64
11	Esquema do equipamento acoplado ao Instron Universal para a determinação do coeficiente de atrito interno.....	66
12	Gráfico característico de força de atrito x deslocamento para a canola, variedade Iciola 41 com 7,30% de umidade (b.u.), para superfície de aço-iox.....	70
13	Gráfico característico de força de atrito x deslocamento para a Canola, variedade Iciola 41 com 7,03% de umidade (b.u.), atrito interno.....	71
14	Esquema da coluna pneumática para separação e determinação da velocidade terminal.....	74
15	Esquema do Equipamento para determinação da perda de carga.....	80
16	Curvas de perda de carga por repetição	85

SIMBOLOGIA

Símbolo	descrição	unidade
a	constante da equação de Sheed	
a_0, a_1, a_2, a_3	constantes da equação que descreve a umidade de equilíbrio	
a_p	área projetada	cm ²
b	constante da equação de Sheed	
b.u.	base úmida	%
b.s.	base seca	%
c	coeficiente aerodinâmico de arraste	
CV	coeficiente de variação	%
d	tamanho médio da partícula	cm
deq	diâmetro equivalente	cm
d_1, d_2, d_3	dimensões do grão	cm
F	força de atrito	kgf
F_r	força resistente	dina
g	aceleração da gravidade	cm/s ²
h	perda de pressão do fluxo de ar	mm de água
k	constante da equação de Henderson	
m	massa do produto	g

Símbolo	descrição	unidade
m_a	massa de água	g
m_p	massa de uma partícula	g
Meq	umidade de equilíbrio, base seca	%
N	força normal	kgf
n	constante da equação de Henderson	
P	porosidade	%
$p \cong \Delta p/H$	perda de carga do fluxo de ar	polegada de água
Δp	perda de carga	mm
Q	fluxo de ar	pés ³ /min/pé ²
r	coeficiente de correlação	
Re	número de Reynolds	
T	temperatura	° rankine
V	velocidade	cm/s
V_d	volume deslocado	ml
V_r	volume do recipiente	ml
V_t	velocidade terminal	cm/s
V_{te}	velocidade terminal experimental	cm/s
V_{tt}	velocidade terminal teórica	cm/s
α	ângulo de talude	graus
μ	coeficiente de atrito	
μ_f	viscosidade do fluido	poise
ρ_{ap}	peso específico aparente	g/ml
ρ_f	peso específico do fluido	g/ml
ρ_p	peso específico da partícula	g/ml
ρ_r	peso específico real	g/ml

1.INTRODUÇÃO

Canola ou colza é uma planta oleaginosa da família das crucíferas. Pode-se dizer que é a própria colza com modificação genética, o terceiro óleo mais produzido no mundo (CARRARO, 1993).

A origem do cultivo da colza não está definido. Sabe-se que foi introduzida no Japão, através da China ou Península Coreana. Entretanto, Sânscritos indicam que o óleo da colza já era utilizado como óleo de cozinha e para iluminação por volta de 2.000 anos AC.

Na Europa tem sido cultivada há muito tempo, naqueles países onde não existiam óleos de oliva e de papoula. O óleo foi muito usado para iluminação até que foi substituído pelos derivados de petróleo .

O primeiro país a utilizar a colza na alimentação foi o Canadá, no ano de 1956. Desde então, o seu uso alimentício, no Canadá e Europa Ocidental, tem superado seu uso industrial (lubrificante, combustível, componentes de produtos de borracha, no processo de fundição, sabões, tintas, etc.), (DAUN et al, 1982) .

Canola, nome registrado no Canadá como sendo de sementes derivadas de espécies *Brassica napus* ou *Brassica campestris*, contendo menos de 2% de ácido erúxico no óleo e menos de 30 μ moles de glucosinolatos / g de farelo desengordurado. Esse nome serviu para distinguir as novas variedades com baixos teores desses compostos, das variedades mais antigas contendo altos teores (UNGER, 1990).

No Brasil, a canola foi introduzida em 1974 pela Cooperativa Regional Triticola Serrana de Ijuí (CONTRIJUI), no Rio Grande do Sul, apresentando vantagens para os sistemas de cultivo, sendo indicada para rotação de culturas, cobertura vegetal para proteger o solo exposto ao intemperismo durante o inverno. Para indústria fornece

um óleo alternativo ao óleo de soja. A falta de apoio dos órgãos governamentais, além de problemas ocorridos com a ingestão de uma mistura de óleos contaminados com acetanilida na Espanha, entre os quais a colza fazia parte, desestimularam os agricultores e industriais do sul do Brasil (BAIER, 1990).

A produção mundial da canola é de 23,8 milhões de toneladas, com área cultivada de 17,5 milhões de hectares em 1990/91, segundo o Informativo ABRATES (1993).

No Brasil, após a sua adaptação ao clima e ao solo, a primeira colheita se deu em 1992, sendo Mato Grosso do Sul, Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo os estados produtores, segundo ROBERTO, 1998.

Quadro 01 . Produção Nacional da Canola

Ano Safra	Área Há	Produção tons
1992	2500	615
1993	10300	11053
1994	12000	7433
1995	6500	6372
1996	6000	2879
1997	4550	3356
1998	4000	4000
Total	45850	35708

Fonte: Departamento Operacional de Grãos, Cooperativa de Cafeicultores e Agropecuarista de Maringá, (COCAMAR), Maringá 1998.

No caso do óleo o grande atrativo é o baixo teor de ácidos graxos saturados (6%) em comparação com outros óleos (15% na soja, 11% no girassol e 14% no óleo de oliva) e para o uso na alimentação animal, teor de proteína no farelo, que pode chegar a 38%, o teor de óleo na semente é da ordem de 40-46% (CARRARO, 1993).

Em função das perspectivas de mercado e das poucas informações disponíveis, sendo a canola uma importante alternativa para o cultivo de inverno no sul do Brasil, merecendo a atenção dos diferentes segmentos ligados a agricultura, foi realizado este trabalho.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades físicas da canola:

- Umidade de Equilíbrio
- Pesos Específicos
- Ângulo de Talude
- Perda de Carga
- Velocidade Terminal
- Coeficiente de Atrito

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Origem e História

As raízes da canola estão firmemente plantadas na cultura de uma oleaginosa conhecida como colza. A história sugere que as civilizações antigas na Ásia e Europa usavam o óleo de colza em lamparinas. Posteriormente, foi usado em alimentos e como óleo de cozinha (PATTERSON, 1989).

Apesar desta cultura ter nascido na Europa, no século XIII, seu uso não foi amplamente utilizado até o desenvolvimento dos motores a vapor, quando foi descoberto que o óleo de colza se aderiria às superfícies de metal das máquinas a vapor melhor do que qualquer outro lubrificante, (DAUN & BUSHUK, 1982).

A necessidade da produção de colza canadense surgiu da redução crítica do óleo de colza que se seguiu ao início da II Guerra Mundial com o bloqueio das fontes Europeias e Asiáticas do óleo. O óleo era realmente necessário como um lubrificante por causa do número crescente de máquinas a vapor nos navios de guerra e mercantes. Antes da II Guerra Mundial a colza surgiu no Canadá, mas apenas em pequenos testes experimentais em fazendas e em estações de pesquisa. Estes testes demonstraram que a colza poderia ser cultivada satisfatoriamente, tanto no leste quanto no oeste do Canadá. Havia também uma pequena quantidade de colza sendo cultivada em Shellbrook, Saskatchewan, por um agricultor que tinha imigrado da Polônia. Ele começou o cultivo em sua terra, em 1936. Entretanto, naquela época, não havia mercado real no Canadá para a colza. Com a chegada da guerra e a liberação de informações sobre a necessidade de se produzir a colza, o agricultor de Shellbrook aumentou a sua produção de sementes e vendeu-as aos seus vizinhos. Devido à origem polonesa de ambos, o agricultor e a

semente, as espécies que ele cultivou se tornaram conhecidas no Canadá como “Colza Polonesa”. Mais tarde, ficou estabelecido que este tipo de colza pertencia à espécie *Brassica Campestris*. Em resposta à necessidade de produção de colza, na primavera de 1942, uma pequena quantidade de semente dos testes em experimentação foi distribuída para algumas fazendas e estações experimentais. Entretanto, apenas 1200 quilogramas foram colhidos naquele outono. Uma quantidade consideravelmente maior de sementes foi solicitada para plantio em 1943, para abrandar a séria redução de óleo de colza. Isto levou à localização e compra de 19.000 quilogramas de colza das companhias de sementes dos E.U.A. Esta semente era da espécie “*Brassica napus*” e originalmente tinha sido estudada na Argentina, portanto, o nome “Colza Argentina” foi amplamente usada nos primeiros anos de produção, e ainda é usado como um nome não oficial para as variedades da espécie *Brassica napus* no Canadá. Esta semente foi plantada em 1.300 hectares em 1943 com uma colheita de um milhão de quilos. O óleo de colza para fins comestíveis não foi completamente explorado pelas nações Ocidentais até o fim da II Guerra Mundial. Os métodos da cultura como uma fonte alimentícia foram sentidos pela agroindústria que percebeu que o sucesso poderia ser atingido se técnicas de processamento adequadas fossem adotadas. Empresários e pesquisadores no oeste do Canadá realizaram melhoras essenciais: uma indústria alimentícia orientada e um novo mercado foram criados (CANOLA COUNCIL OF CANADA, 1992).

A primeira extração de óleo de colza comestível no Canadá aconteceu em 1956-57, significando o início de uma rápida expansão industrial, (DAUN & BUSHUK, 1982).

Os óleos comestíveis são formados de componentes chamados ácidos gordurosos, que determinam o uso dos óleos vegetais, quer seja para usos industriais ou alimentícios. Certos ácidos gordurosos, tais como o linoleico, são considerados essenciais na alimentação humana já que não podem ser sintetizados pelo organismo, mas devem ser obtidos através da alimentação. Todas as variedades de colza cultivadas produzem óleos contendo grandes quantidades de ácidos eicosenóicos e erúcicos que não são considerados essenciais para o crescimento humano. No início de 1956 os

aspectos nutricionais do óleo de colza foram questionados, especialmente com relação às altas taxas de ácido erúcico e eicosenóicos. No início dos anos 60, os produtores desta cultura no Canadá responderam rapidamente isolando plantas de colza com baixas taxas dos referidos ácidos. O Departamento de Saúde e Bem Estar do Governo Federal recomendou a conversão para a produção de variedades de colza com baixos teores de ácido erúcico. Esta decisão foi seguida por um acordo voluntário com a indústria para limitar o conteúdo de ácido erúcico em 5 % nos produtos alimentícios, desde 1º de Dezembro de 1973. Além da controvérsia quanto ao ácido erúcico, descobriu-se que parte das proteínas do farelo de colza preocupava os “nutricionistas” ocupados com a alimentação animal por causa do gosto ardido dos glucosinolatos anti-nutritivos que o farelo contém (CANOLA CONCIL OF CANADA,1992).

Em 1974, o Dr. Baldur Stefansson, um cultivador da planta da Universidade de Manitoba, desenvolveu a primeira variedade que reduzia o ácido erúcico e os níveis de glucosinolatos. Esta variedade, *Brassica napus*, conhecida como “Tower”, foi a primeira a atender às exigências de qualidade específica, usada para designar um grande avanço da cultura e é conhecida como “Canola” (GENSER & ESKIN, 1989).

O nome “Canola” foi inicialmente registrado pela Associação dos Esmagadores de Oleaginosas do Oeste Canadense para se referir ao óleo, farelo, extração de proteínas, sementes e cascas de sementes variedades, com 5 % ou menos de ácido erúcico no óleo e 3 miligramas por grama, ou menos, dos glucosinolatos registrados normalmente no farelo. A marca registrada Canola foi transferida para o Conselho de Canola em 1980. Depois em 12 de Setembro de 1986, foi retificada pelo Trade Marks Branch of Consumer and Corporate Affairs para indicar que o óleo de canola deve conter menos de 30% glucosinolatos (CANOLA COUNCIL OF CANADA,1992).

Canola tornou-se um termo genérico – não apenas um termo canadense – e já não é uma marca registrada industrial. A Canola está inscrita nos Estatutos Alimentícios Canadenses, nos Estatutos de Alimentação Animal, e nos Estatutos de Sementes. Estes estatutos impõe regulamentos para as “commodities” agrícolas genéricas, categoria da qual a canola faz parte. Não é apenas no Canadá que o termo genérico Canola está

sendo usado para descrever as sementes de *Brassica napus* e *Brassica campestris*, produzindo óleo com menos de 2 % de ácido erúico e farelo livre de óleo, com menos de 30 micromols de glucosinolato/g de farelo (PICKARD, 1989).

3.2 PRODUÇÃO MUNDIAL DA CANOLA

A produção mundial de canola, pode ser vista no Quadro 02.

Quadro 02 . Produção Mundial de Canola por País
(em milhões de Toneladas)

País	Ano Safra		
	*92/93 - 96/97	97/98	**98/99
Canadá	5,62	6,20	7,00
China	8,21	9,58	8,30
Índia	5,82	5,90	6,40
Europa Oriental	1,44	1,52	1,93
União Européia	7,15	8,65	9,47
Outros	1,49	2,24	3,24
Total	29,73	34,09	36,35

* Média da safra 92/93 a 96/97 ** Estimativa da safra 98/99

Fonte: Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

3.3 CANOLA

3.3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

A canola é uma oleaginosa de inverno que pertence à família das Crucíferas e ao gênero *Brassica*. Possui um desenvolvimento inicial lento, porém no estado de roseta cobre bem o solo, evitando a evaporação da água e a competição com plantas daninhas. Por ter folha larga é ideal na rotação com cereais, interrompendo o ciclo de pragas e doenças. Por ser uma cultura de inverno, com semeadura em abril/maio colhe-se em agosto/setembro, fornecendo a possibilidade de se cultivar em seguida a soja, milho e girassol, dependendo da região. A canola possui raiz pivotante, que melhora a estrutura do solo, conferindo ainda uma maior resistência às secas que os cereais. Suas

características de floração (normalmente, apenas 40 – 55% das flores produzidas desenvolvem frutos férteis chamados siliquas) lhe dão uma grande capacidade de recuperação diante da perda das mesmas por geadas, granizo, etc., já que pode desenvolver novas flores a partir dos botões florais, que de outra maneira teriam sido abortados. Suas flores são de coloração amarela. Veja a Figura.01.



Figura 01. Campo de produção de canola, variedade Iciola 41, com os botões tornando-se flores e as flores desenvolvendo-se em siliquas. Fazenda da COCAMAR, Maringá, 28 de Julho de 1994 (Paraná).

3.3.2 VARIEDADES DA CANOLA

As variedades de canola mais cultivadas são as que pertencem as espécies *Brassica napus* e *Brassica campestris*, que pertencem a família da mostarda. A forte relação da canola com os outros membros da família da mostarda é importante para o estudo genético. No Brasil foram introduzidas outras variedades como ALTO e EXCELL, além da híbrida ICIOLA 41(COCAMAR, 1996).

O Quadro 03 mostra algumas características entre duas diferentes espécies de canola (*Brassica napus* e *Brassica campestris*).

Quadro 03. Composição típica de espécies de canola

Característica	<i>B. campestris</i>	<i>B. napus</i>
Tamanho da semente	1,5 mm	1,9 mm
Cor	Preta/amarela	Preta
Rendimento (kg/ha)	2060	2630
Dias até maturidade	91	102
Óleo (%)	41,2	43,7
Proteína no farelo (%)	35	37,3
Glucosinolatos (μ moles/g farelo)	26	13
Clorofila(mg/kg)	9	16
Ácido erúxico (%)	0,8	0,4

Fonte: DICK, 1993

3.3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA SEMENTE

A semente de canola é ovóide, quase esférica, muito pequena, com diâmetro máximo de 1/8 de polegada e com coloração que, apesar de historicamente ser preta, já possui algumas novas variedades amarela e marrom (DICK, 1993).

A composição química da canola varia amplamente e depende de fatores ambientais e genéticos. São encontrados teores de óleo que variam de 33,2% a 47,6%, teores de proteína na faixa de 29,5% a 57,5%, considerando uma umidade básica de 8,5%. De um modo geral a canola contém duas vezes mais óleo que a soja e o seu farelo desengordurado possui um pouco menos de proteína.

O óleo bruto obtido pelo processo de prensagem ou por extração com solventes possui de 95 a 98% de triglicerídios. Outros constituintes presentes em menor quantidade incluem fosfatídeos, ácidos graxos livres, esteróis, hidrocarbonetos e álcoois, tocoferóis, pigmentos e lipocromos, compostos de enxofre e de minerais. A eliminação total do ácido erúico no óleo de canola não é desejada, pois sua presença em pequenas quantidades, pode ser benéfica para o óleo extraído da semente. O ácido erúico inibe a ação da lipoxigenase, presente principalmente na soja, que oxida os ácidos graxos insaturados, provocando a rancidez de vários legumes e sementes oleaginosas (GRIMALDI, 1991).

A composição centesimal da canola, variedade Iciola 41 é de 41,1% de óleo, 3,6% de cinzas e 5,6% de umidade, correspondendo a 5,3% de umidade em base úmida, e a composição do óleo: 4,52% de ácido palmítico, 0,22% de ácido palmitoleico, 2,30% de ácido esteárico, 66,98% de ácido oleico, 17,47% de ácido linoleico, 0,64% de ácido araquídico, 7,45% de ácido linolênico, 0,26% de ácido gadoleico e 0,16% de ácido erúico. O teor de glucocinolato é de 5,1 μ moles por grama de semente, segundo VERDIANI (1996).

3.3.4 ARMAZENAGEM

A canola seca e fria pode ser estocada por longos períodos de tempo. Entretanto, o sucesso da estocagem da canola não pode ser considerado fácil. A canola,

como todas as outras sementes, é um material vegetal vivo, que respira durante o armazenamento. A respiração das sementes depende de sua temperatura e umidade e do local onde se encontra. O aumento nas taxas de respiração produzem calor, que por sua vez aumenta a temperatura da massa total dos grãos. A semente deve ser seca por aeração, secagem por ar natural, ou secagem por ar aquecido para que possa ser estocada seguramente por períodos maiores de tempo (COCAMAR, 1996).

A condição de armazenamento da semente afeta em muito a qualidade do óleo e farelo obtidos. Teor de umidade acima do limite recomendado, combinado com alta temperatura e presença de oxigênio causam degradação microbiológica, a qual, se não destruir totalmente a semente pela combustão espontânea, afeta seriamente a qualidade do óleo, que se tornará impróprio para o consumo humano (BUHR, 1990).

Para a comercialização, a canola é considerada seca com 10% de teor de umidade. Entretanto, de 7 à 9% de umidade e temperaturas abaixo de 20°C são necessárias para períodos de estocagem longos. O grão absorve umidade do ar ou fornece umidade à ele, dependendo da umidade relativa do ar ambiente e do conteúdo de umidade da semente. A porção de óleo da semente de canola absorve menos umidade do que o amido e as partes de fibra, resultando que o equilíbrio do teor de umidade da canola é muito menor do que o do trigo, para as mesma condições. A semente de canola deve ser estocada em um ambiente com teor de umidade menor do que para os grãos de cereais. O conteúdo de umidade crítico para a estocagem segura corresponde àquele no qual as sementes estão em equilíbrio em uma umidade relativa de no máximo 75%. A semente recém colhida apresenta durante 40 dias um alto grau de respiração antes de entrar em repouso, período durante o qual é muito instável, portanto o conveniente é deixar a parte superior do silo aberta para permitir a saída da umidade e do calor.

Para manter a umidade da canola pode-se utilizar alguns dos sistemas conhecidos:

Aeração : tem por objetivo modificar a umidade e a temperatura dos grãos armazenados:

① por insuflação : a secagem é feita de baixo para cima. A vantagem é que é fácil controlar a temperatura na parte central superior do silo;

② por sucção : começa de cima e se esfria até em baixo, tem como problema a dificuldade em se determinar a temperatura na parte inferior do silo e como vantagem é que não ocorre condensação na parte superior do mesmo. O tamanho pequeno das sementes e os espaços mínimos entre as mesmas determinam uma grande resistência à passagem do ar, portanto deve-se operar com pressões de ar superiores às utilizadas nos silos com cereais. Deve-se também levar em conta os orifícios dos condutos de aeração para evitar a passagem das sementes de canola pelos mesmos.

Aeração com ar quente: quando a colheita está muito úmida (maturação desuniforme) e as condições ambientais impedem o uso de ar natural, é necessário a utilização de ar quente para acelerar o processo de secagem, já que este absorverá uma maior umidade do grão. Deve-se levar em conta que a semente próxima ao ar quente esquentará quase na mesma temperatura do mesmo, portanto, exigindo resfriamento após a secagem.

Como já foi dito anteriormente, o movimento de ar dentro da massa de sementes é mais lento do que nos cereais, assim o processo exigirá mais tempo e um maior cuidado.

Resumindo o que foi descrito, para realizar um armazenamento eficiente, é necessário conhecer a temperatura e umidade do grão que se vai armazenar, a temperatura e umidade ambiente, e realizar um monitoramento constante (conhecendo os níveis de equilíbrio), para poder tomar as decisões no momento oportuno, evitando a deterioração dos grãos armazenados (COCAMAR, 1996).

3 3.5 CLASSIFICAÇÃO DA CANOLA

A canola do Canadá é reconhecida por sua alta qualidade, que é mantida através de programas de produção, regulamentações de multiplicação das sementes, e o sistema de classificação de grãos do Canadá. Apesar da canola e colza fazerem parte da mesma família botânica, a designação “Canola” foi assumida e é aplicável às variedades

que possuem o padrão canola ou seja que contenham baixos teores de ácido erúxico e glucosinolatos (COCAMAR, 1996).

Existem especificações para exportações de sementes, que são classificadas de acordo com a presença de impurezas. As classificações são baseadas em avaliações subjetivas das sementes (PRITCHARD, 1983).

As sementes são separadas em graus (1, 2 e 3), que se diferenciam pela presença de materiais estranhos (galhos, folhas, pedras, metais, etc.) e de grãos danificados (queimados, quebrados e verdes), THOMAS (1982); PRITCHARD (1983); DAUN & BURCH (1984).

A presença de grãos imaturos, contendo altos níveis de clorofila, prejudicam a qualidade do óleo, dificultando a remoção de cor no refino, (PRITCHARD, 1983).

3.3.5.1.CLASSIFICAÇÃO COMERCIAL

No Brasil ainda não existe a classificação comercial da canola por tipo, por ser uma cultura implantada há pouco tempo. A comercialização do produto é feita pela COCAMAR segundo recomendações de carácter emergencial e provisório, pois estão baseadas em dados experimentais, nas informações encontradas na literatura disponível e na visita de técnicos canadenses. A classificação comercial da canola, segundo a COCAMAR, é mostrada no Quadro 04 .

Quadro.04 Padrões de Classificação da Canola Isentos de Descontos

Grãos Verdes		Grãos Ardidos		Pureza
Distintamente	Esverdeados	Totalmente	Meio	Máximo
Verdes		Ardidos	Ardidos	Permitido
2,0%	4,0%	0,1%	1,9%	5,0%

Grãos Verdes

- Grãos distintamente verdes acima de 2% desconta-se 1 x 1 ;

- Grãos esverdeados acima de 4% desconta-se 0,5 x 1;
- O recebimento fica limitado em 20%, na soma de grãos distintamente verdes e esverdeados

Grãos Ardidos

- Em uma mesma carga de canola poderá ocorrer o recebimento de grãos totalmente ardidos ou meio ardidos. Portanto, na classificação deverá ser identificadas essas situações, tolerando-se até 2% de grãos ardidos na carga, sendo 0,1% para grãos totalmente ardidos e 1,9% para grãos meio ardidos. Passando deste limite será descontado 0,1 x 0,1 sobre o percentual incidente de cada modalidade.

Grãos Avariados

- Não haverá tolerância no recebimento de canola quando apresentar grãos avariados, ou seja, para cada percentual de grãos avariados haverá desconto da mesma proporção sobre o total de quilos recebidos.

Após o desconto ter sido determinado, a amostra limpa é classificada na base de uma avaliação visual de fatores e de uma aplicação mecânica de tolerâncias estabelecidas que reduziriam ou afetariam adversamente a qualidade do uso final da semente. Cada um destes fatores pode reduzir o conteúdo de óleo e proteína da semente, além de reduzir o retorno econômico para o processador, ou pode diminuir a qualidade do óleo e do farelo, tornando mais difícil (ou impossível) transformar a semente em produtos finais aceitáveis (COCAMAR, 1996).

3.3.6 PRODUTOS DA CANOLA: ÓLEO E FARELO

As gorduras tem várias funções importantes. Servem como uma fonte concentrada de energia, como uma fonte de ácidos gordurosos essenciais e como um veículo de vitaminas solúveis. Contribui também para a palatabilidade da alimentação e para a sensação de saciedade. As gorduras também tem propriedade culinárias importantes., há controvérsia sobre quanta gordura deve ser consumida e o papel do tipo e a quantidade de gordura que está envolvida no desenvolvimento de certas doenças crônicas, tais como a arteriosclerose, doenças coronárias, câncer e obesidade.

Gorduras são a principal fonte de energia na alimentação em muitos países. Na Europa e no Norte da África, elas somam aproximadamente 40 % das calorias. As gorduras podem ser consumidas na forma visível (margarinas, manteiga, óleos, etc.) ou invisível (carnes, nozes, ovos, etc.) o que dificulta em grande parte o cálculo das informações sobre o consumo. Durante os últimos 30 – 35 anos e principalmente nos últimos 20 anos, tem havido uma distinção entre as gorduras de origem animal e vegetal, (FAO, 1980).

O óleo de canola é caracterizado por um nível muito baixo de ácidos graxos saturados (contém apenas 6 %). O óleo de canola contém menos da metade do nível de ácidos graxos saturados presentes no óleo de milho, óleo de oliva e óleo de soja e menos de um quarto do nível presente no óleo de semente de algodão. Além disso, o óleo de canola, como o de oliva, contém um nível alto de ácidos graxos monosaturados. Comparado com outros óleos vegetais comuns, o de canola contém uma quantidade considerável (aproximadamente 10%) de ácidos graxos não saturados.

O interesse nos ácidos linoleicos é pelo seu papel com ácidos graxos. O ácido linoleico geralmente é reconhecido como um ácido graxo essencial. É importante na dieta de animais, incluindo os humanos, por causa de sua incapacidade de produzi-los. Eles também são capazes de se converter em outros ácidos da mesma família. Estas longas cadeias de ácidos graxos altamente insaturados são importantes nas estruturas das membranas e como materiais iniciais para a síntese de hormônios, que estão envolvidos nas relações fisiológicas. Eles também são constituintes dos lipídios do cérebro e da retina dos olhos.

O ácido graxo mais abundante na natureza é o ácido oleico. Está presente em todas as gorduras e óleos e em alguns, tais como o óleo de oliva e de canola, é o principal componente. O corpo é capaz de sintetizar o ácido oléico, portanto ele não é um ácido graxo essencial. Entretanto, estudos mostraram que as dietas ricas em ácidos oleicos são igualmente efetivas quanto ao ácido linoleico na diminuição do nível de colesterol do plasma (VLES & GOTTENBOS, 1989).

O principal motivo do interesse atual nas gorduras relaciona-se com a evidência de sua ligação com as doenças coronárias. Os altos níveis de colesterol no sangue, especialmente colesterol de baixa densidade de lipoproteínas, constituem o fator de risco principal para as doenças coronárias. Estudos tem sustentado a idéia de que a modificação da dieta é a intervenção primordial para a diminuição dos níveis de colesterol do sangue. Os médicos recomendam que as pessoas com níveis elevados de colesterol devem reduzir a ingestão total de gorduras em 30 % e das gorduras saturadas para menos de 10 % da energia consumida. O interesse nas gorduras também se deve por sua implicação em algumas formas de câncer e em outras doenças crônicas, tais como a hipertensão e a artrite reumatóide (FAO, 1980).

O Quadro 05 faz uma comparação Nutricional de Óleos e Gorduras.

Quadro 05. Comparação Nutricional de Óleos e Gorduras

Gorduras Nutritivas	Colesterol	Sat	C _{18:2}	α C _{18:2}	C _{18:1}
	mg/TBSP	(%)	(%)	(%)	(%)
Óleo de Canola	0	6	26	10	58
Óleo de Açafrão	0	9	78	-	13
Óleo de Girassol	0	11	69	-	20
Óleo de Milho	0	13	61	1	25
Óleo de Oliva	0	14	8	1	77
Óleo de Soja	0	15	54	7	24
Óleo de Amendoim	0	18	34	-	48
Óleo de Caróço de Algodão	0	27	54	-	19
Banha	12	41	11	1	47
Óleo de Palma	0	51	10	-	39
Gordura de Carne	14	52	3	1	44
Manteiga	33	66	2	2	30
Óleo de Coco	0	92	2	-	6

TBSP - Table spoon

Sat - Gorduras Saturadas

C_{18:2} - Ácido Linoleico

α C_{18:2} - Ácido Alfa Linoleico

C_{18:1} - Gorduras Monoinsaturadas

Fonte: USDA - Departamento Agr. dos Estados Unidos

* AGRICULTURAL HANDBOOK N. 8-4 & HUMAN NUTRITION INFORMATION SERVICE.
Washington: United States Department of Agriculture, 1979.

Os fragmentos de torta que restaram após a extração do óleo sofrem um tratamento para remover o solvente remanescente, através da aplicação de vapor no farelo. O processo final e a secagem do farelo é realizada em caldeiras e o farelo emerge livre de solvente, contendo um resíduo de óleo de 1,5%, umidade de 8 à 10%.

Após o resfriamento, o farelo geralmente é granulado com uma consistência uniforme e é peletizado ou enviado diretamente para estocagem, pronto para a comercialização. Possui um alto teor de proteína para alimentação suína, bovina e para a avicultura. O farelo de canola constitui-se de 55 a 60% do peso da semente, livre de umidade. Tem um conteúdo de proteínas de 37 a 38%, similar ao farelo de soja (COCAMAR, 1996).

3.4 IMPORTÂNCIA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS BIOLÓGICOS

A importância do conhecimento das propriedades físicas dos materiais agrícolas, é fundamental em projetos de engenharia envolvendo dimensionamento de máquinas e equipamentos para colheita, manuseio, armazenamento, secagem e aeração.

MOHSEENIM (1965) sintetiza algumas das características mais importantes que precisam ser determinadas, e refere-se aos poucos trabalhos existentes. Posteriormente, outros pesquisadores indicaram em seus trabalhos a importância das propriedades físicas, destacando-se: JORGE (1977); LEITÃO (1983) e BENEDETTI (1987

3.4.1 UMIDADE DE EQUILÍBRIO

Quando a pressão de vapor da água na superfície de um produto iguala-se a pressão de vapor da água no ar que o envolve, temos um equilíbrio que determina o valor da umidade existente nesse produto. Essa umidade é chamada de umidade de equilíbrio (ROA & ROSSI, 1977).

Variando-se a umidade relativa do ambiente, há uma alteração na pressão de vapor da água no ar. Assim sendo, para cada valor de umidade relativa corresponde uma umidade de equilíbrio, para um produto considerado, numa determinada temperatura.

O efeito da temperatura na umidade de equilíbrio para diversos materiais biológicos foram analisados por STROHMAN & YORGER (1967); CHEN & CLAYTON (1971); DUSTAN et al. (1973). A temperatura exerce efeitos significativos sobre o valor da umidade de equilíbrio para diversos materiais biológicos.

Um aumento de temperatura, a uma umidade relativa constante, diminui o valor da umidade de equilíbrio, segundo BROOKER et al. (1974).

A composição química de um produto também interfere na umidade de equilíbrio, onde os grãos com alto teor de lipídeos absorvem menos água do meio ambiente que os grãos com alto teor de amido, como ficou comprovado por ROSSI et al. (1981).

Os produtos que chegam a umidade de equilíbrio por caminhos diferentes apresentam diferença no valor final. Assim, um produto que absorve água (adsorção) possui umidade de equilíbrio menor do que o produto que cede água (dessorção). A umidade de equilíbrio do produto que absorve água é menor que a do produto que perde água. A explicação desse fenômeno é apresentada por YOUNG & NELSON (1967); CHUNG & PFOST (1967); NGODDY & BAKKER-ARKEMA (1970).

HENDERSON (1952) sugere a seguinte equação para descrever as curvas de umidade de equilíbrio:

$$1 - \phi = e^{-KTM^n} \quad (1)$$

ϕ - umidade relativa em decimal

T - temperatura, em graus Rankine

M - umidade do produto, base seca, %

K e n - constantes que depende do produto.

JORGE (1977) sugere a seguinte equação para descrever as curvas de equilíbrio, para condições de armazenamento :

$$Meq = a_1\phi + a_2\phi^2 + a_3\phi^3$$

(2)

Meq - umidade de equilíbrio, base seca, %

ϕ - umidade relativa, em decimal

a_1, a_2, a_3 - constantes à determinar

ALAM & SHOVE (1973) analisaram métodos para a determinação das curvas, sugerindo o uso de sais para o controle de umidade relativa e apresentando dados para a soja. Por outro lado, FRANCO (1943) e BENEDETTI (1987) utilizaram soluções de ácido sulfúrico para o controle da umidade relativa do ambiente, para a determinação das curvas de umidade de equilíbrio .

MUIR & SINHA (1986), utilizaram os dados de conteúdo de umidade de equilíbrio mais relevantes para cultivares de canolas canadense utilizou a equação de HENDERSON (1952) para dessorção e adsorção do cultivar Candle na temperatura de 5° a 35° C, e o conteúdo de umidade de 4 a 18 % base úmida.

3.4.2. PESOS ESPECÍFICOS

BENEDETTI (1987) definiu estas propriedades físicas como sendo:

- Peso Específico Real - É a relação existente entre uma certa massa de produto e seu volume real .

- Volume Real - O volume ocupado pelo produto.

- Peso Específico Aparente - É a relação existente entre uma certa massa do produto e o volume aparente correspondente.

- Volume Aparente - O volume ocupado pelo produto mais o volume intersticial.

- Porosidade - É a relação entre o volume intersticial e o volume aparente expressa em %.

O conhecimento dos pesos específicos, aparente e real, e da porosidade dos produtos agrícolas tem importância fundamental em projetos de engenharia, envolvendo dimensionamento de máquinas e equipamentos para manuseio, armazenamento, secagem e aeração.

A porosidade é função do tamanho e da forma e é definida como o volume intersticial entre os grãos ocupado pelo ar. É uma propriedade extremamente importante na movimentação de ar através do produto, seja para secagem ou aeração (CORDEIRO, 1987). A porosidade aumenta com o aumento de teor de umidade dos grãos, (BENEDETTI, 1987).

A impureza existente em um lote de grãos pode afetar o peso específico, para mais ou para menos, dependendo, se for pesada (terra, areia, quirela) ou leve (palha), respectivamente. A compactação sofrida pelos grãos, durante a queda dentro do cilindro do determinador de peso específico, influi no valor deste. Por isso, deve-se deixar que os grãos caiam de uma maneira uniforme e sem interferência (CORDEIRO, 1987).

O peso específico aparente é um dado de suma importância no dimensionamento de silos, secadores e transportadores. Não é encontrada aplicação do peso específico real na prática de armazenamento, somente poderá ser conhecido pelo esmagamento dos grãos, afim de que o produto ocupe o espaço intergranular (PUZZI, 1986).

Ocorre diminuição na densidade dos grãos de trigo, cevada e aveia quando se aumenta o teor de umidade dos mesmos (BROWNE, 1962). De acordo com BENEDETTI (1987), ocorre diminuição na densidade dos grãos amendoim, feijão, trigo e soja quando se aumenta o teor de umidade dos mesmos.

JAYAS et al. (1989) obtiveram valores do peso específico aparente, para as variedades de canola Tobin e Westar, com 6,5 % de umidade em base úmida, respectivamente de 675 e 700kg/m³.

MUIR & SINHA (1988) obtiveram valores de peso específico aparente, peso específico real e porosidade de canola, para variedades Altex, Regent, Candle e Torch, com 8,1% de umidade. Foram, respectivamente, 664 a 687 kg/m³, 1093 a 1129 kg/m³ e 33 a 34%.

VERDIANE et al. (1996) obtiveram valores de peso específico aparente, peso específico real e porosidade, para variedade Iciola 41, com 5,3% de umidade encontrando, respectivamente, 644 kg/m³, 1066 Kg/m³ e 39,62%.

3.4.3 ÂNGULO DE TALUDE

O ângulo de talude, ou ângulo de repouso natural, é aquele formado pelo produto, ao escoar através de um fluxo constante, com o plano horizontal.(TOSELLO & JORGE (1976).

De grande importância para projetos, o ângulo de talude é influenciado decisivamente pelo tamanho, forma, orientação das partículas e umidade do produto, segundo MOHSENIN (1970).

TOSELLO & JORGE (1976) construíram, para fins didáticos e experimentais, um aparelho prático para determinação do ângulo de talude de grãos e de produtos pulverulentos.

KRAMER (1944) estudando o ângulo de repouso estático do arroz, constatou que o ângulo de repouso aumenta rapidamente quando o teor de umidade excede a 17% em base úmida.

Fowler & Wyatt citado por BENEDETTI (1987) estudaram o efeito da umidade sobre o ângulo de talude de materiais granulares, trabalhando com diversos produtos, entre os quais o trigo, concluindo que o ângulo de talude aumenta com o aumento da umidade. Sugeriram a seguinte explicação para tal fenômeno: a variação do ângulo de talude com a umidade é devida a uma camada de água superficial que rodeia

cada partícula, e que o efeito da tensão superficial torna-se predominante para manter os sólidos agregados.

Lorenzem citado por BROOKER et al. (1974) apresentou os seguintes dados de ângulo de talude: trigo, variando de 29,6° com 7,3% de umidade a 35,6° com 17,1% de umidade; milho de 34° com 7,5% de umidade a 35,1° com 16,2% e cevada, variando de 29° com 7,9% de umidade a 33,8° com 23,1% de umidade.

BENEDETTI (1987) estudou o ângulo de talude para arroz em casca, feijão, milho, soja e trigo e verificou que estes são influenciados pelo teor de umidade.

KUKELKO et al. (1988) obtiveram para o ângulo de talude da canola canadense, com 7,5% de umidade, o valor de 33,6°.

MUIR & SINHA (1988) obtiveram para o ângulo de talude das variedades Altex, Regent, Candle e Torch, de canola canadense, com 8,1% de umidade os valores de 25 a 27°

VERDIANI et al. (1996) obtiveram valor de 25,85° para o ângulo de talude da canola, variedade Iciola-41, com 5,3% de umidade (base úmida).

3.4.4 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, temos o chamado atrito interno, cujo coeficiente recebe também essa especificação, conforme JORGE (1977).

Dois coeficientes de atrito são considerados para os produtos biológicos: o primeiro é o coeficiente de atrito estático, determinado pela força que é capaz de vencer a oposição ao movimento entre os corpos em contato; o segundo é o coeficiente de atrito dinâmico, determinado pela força que se manifesta na superfície de contato quando há movimento relativo entre os corpos, conforme MOHSENIN (1970).

Clark & Mcfarland citado por BENEDETTI (1987) propuseram a utilização do equipamento Instron Universal para a determinação do coeficiente de atrito, sendo que um cilindro contendo as amostras é movimentado sobre a superfície em estudo, que

método, ainda utilizando o equipamento Instron Universal, mas com o acoplamento de um sistema mais prático de contato dos grãos com as superfícies e com os próprios grãos.

JORGE (1977) com soja; DALCOMO (1980) com forragens picadas; LEITÃO (1983) com pimenta do reino preta; BENEDETTI (1987) com trigo, milho, soja, amendoim, arroz em casca e feijão, utilizaram esta metodologia em seus trabalhos.

RICHTER (1954); BICKTER & BUELOW (1966) ; SNYDER et al. (1967), em seus trabalhos, estudaram a influência da força normal nos valores de coeficientes de atrito. Em todos eles a conclusão foi da não influência desse valor nos resultados dos coeficientes de atrito, dentro dos limites por eles estudados.

KUKELKO et al. (1988) obtiveram valores de coeficiente de atrito, utilizando diferentes superfícies, para variedade Meal de canola canadense com 7,5% de umidade: chapa galvanizada com aço - de 0,25; madeirite – de 0,54; concreto - de 0,57; atrito interno - 0,41.

MUIR & SINHA (1988) obtiveram valores de coeficiente de atrito com diferentes superfícies, para as variedades Altex, Regent, Candle e Torch, de canola canadense, com 8,1% de umidade.. Encontraram: chapa galvanizada – de 0,20 a 0,28, concreto – de 0,26 a 0,30 e compensado – de 0,37 a 0,39.

VERDIANI et al. (1996) obtiveram valores de coeficiente de atrito com diferentes superfícies, para canola variedade Iciola 41, com 5,3% de umidade, encontrando: superfície aço inox – de 0,3557; superfície chapa galvanizada – de 0,3410; superfície concreto – de 0,4975; superfície compensada – de 0,4679; superfície canola (atrito interno) – 0,4526.

3.4.5 VELOCIDADE TERMINAL

Uma partícula em queda livre, em uma corrente de ar ascendente, está sujeita a três tipos de forças: a força gravitacional, a força devida ao empuxo do ar e a força de resistência. Considerando a partícula: o peso atua para baixo, o empuxo para cima e a

força resistente para cima, de acordo com o apresentado por PERRY & CLILTON (1980).

A velocidade terminal será a velocidade constante da partícula, quando as forças citadas estiverem em equilíbrio.

Então,

peso - empuxo = força resistente

Segundo MOHSEIN (1970), a força resistente é dada por:

$$F_r = \frac{1}{2} C A_p \rho_f V^2 \quad (3)$$

Portanto,

$$mg - \rho_f g V_p = \frac{1}{2} C A_p \rho_f V_t^2 \quad (4)$$

Como:

$$V_p = \frac{m}{\rho_p} \quad (5)$$

a velocidade terminal é expressa:

$$V_t = \left(\frac{2 mg (\rho_p - \rho_f)}{\rho_f \rho_p C A_p} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

V_t - é a velocidade terminal, em cm/s;

g - é a aceleração da gravidade, em cm/s²;

P_p - é o peso específico da partícula, em g/cm³;

m - é a massa da partícula, em g;

A_p - é a área projetada da partícula em cm²;

P_f - é o peso específico do fluido, em g/cm³;

C - é o coeficiente aerodinâmico de arraste;

V_p - é o volume da partícula, em cm³.

Dessa maneira, pode-se calcular a velocidade terminal de uma partícula, teoricamente, desde que se conheçam os parâmetros envolvidos. O coeficiente aerodinâmico de arraste C e a velocidade terminal são, ambos, funções da forma da partícula e do número de Reynolds (Re), de acordo com Hawk et al. citado por BENEDETTI (1987).

Segundo MOHSENIN (1970):

$$Re = \frac{DV\rho_f}{\mu_f} \rightarrow V = \frac{Re\mu_f}{D\rho_f} \quad (7)$$

e, combinando as equações (6) e (7), temos:

$$C Re^2 = \frac{2gmDeq^2\rho_f(\rho_p - \rho_f)}{\mu_f^2 A_p \rho_p} \quad (8)$$

onde:

μ_f - é a viscosidade do fluido, em g/s.cm

Deq - é o diâmetro equivalente da partícula, em cm.

Assim sendo, a velocidade terminal depende do coeficiente de arraste, número de Reynolds, peso e diâmetro da partícula, e de duas propriedades do ar; viscosidade e peso específico.

Dois métodos são utilizados para a determinação da velocidade terminal e do coeficiente de arraste. Um deles é baseado no tempo gasto na queda livre de uma partícula em diversas alturas. No outro, as partículas são colocadas num fluxo de ar vertical, sendo que a velocidade do ar deve ser ajustada para que as partículas fiquem suspensas com pequeno ou nenhum movimento. Neste ponto de equilíbrio, a velocidade do ar é a velocidade terminal da partícula, segundo Hawk et al. (1966), citado por BENEDETTI (1987).

TOSELLO (1975) sugeriu um equipamento para a determinação experimental da velocidade terminal e de transporte, para grãos e farinhas. Esse equipamento foi utilizado por JORGE (1977) com soja, variedade Santa Rosa, por LEITÃO (1983) com pimenta do reino preta, variedade Kalluvally, e por BENEDETTI (1987) com vários grãos: amendoim, arroz em casca, feijão, milho, soja e trigo.

De acordo com BENEDETTI (1987) a velocidade terminal do arroz em casca, feijão, milho, soja e trigo, aumenta com o aumento do teor de umidade até umidade ao redor de 18-22%, e diminui com umidade acima desse valor. Já o amendoim mostrou decréscimo da velocidade terminal com o aumento do teor de umidade.

3.4.6 PERDA DE CARGA

A perda de carga do fluxo de ar é a perda de pressão que o ar sofre ao atravessar uma camada do produto. Trata-se, portanto, de uma medida de resistência que o fluxo de ar encontra neste processo.

SHEDD (1951, 1953) testou equipamentos para determinar a perda de carga através de camadas de grãos e outros produtos biológicos, analisou alguns fatores que influenciam na perda de carga e sugeriu uma fórmula para relacionar a perda de pressão com o fluxo de ar:

$$Q = aP^b \quad (9)$$

onde,

- Q - é o fluxo de ar, em $\text{ft}^3/\text{min} \cdot \text{ft}^2$

- P - é a perda de pressão por pé de grão; em polegadas de água

- a e b são constantes.

Essa fórmula descreve as curvas apresentadas pela *American Society of Agricultural Engineers* (1977). Essas curvas experimentais são utilizadas para o cálculo de ventiladores para secagem, aeração e expurgo. Nessas curvas a umidade do produto está consignada para uma orientação do projetista.

PATTERSON et al. (1969) estudaram detalhadamente a influência da porosidade, da umidade, da temperatura do ar e das impurezas na perda de carga através de camadas de milho e de feijão branco. AGRAWAL & CLAND (1974) estudaram a perda de carga de arroz em casca, sem impurezas e materiais estranhos.

JORGE (1977) determinou a perda de carga para soja, variedade Santa Rosa.

LEITÃO (1983) determinou a perda de carga para pimenta do reino preta, variedade Kalluvally. SILVA (1992) determinou a perda de carga em grãos de arroz e milho, em função do teor de umidade, nível de impureza, altura da camada e taxa de fluxo de ar.

MUIR & SINHA (1986) utilizaram a equação de Sheed para determinação de perda de carga de canola variedade Candle a 8% de umidade (base úmida). JAYAS et al (1991), utilizaram a equação de Sheed para a determinação de perda de carga de duas variedades de canola: Tobim – 6,5% umidade (b.u.) e Westar 7,0% umidade (b.u.).

4. DETERMINAÇÕES INICIAIS

4.1 MATÉRIA PRIMA

Utilizou-se grãos de Canola (*Brassica napus*), variedade Iciola 41, recém colhidos, da safra 1994, proveniente de Maringá - PR, fornecida pela Cooperativa dos Cafeicultores e Agropecuaristas de Maringá (COCAMAR).

Os grãos da canola estavam livres de impurezas e em condições boas para utilização. Cinquenta quilos desta matéria prima foram levados para o laboratório de Matérias Primas Agropecuárias, da Faculdade de Engenharia Agrícola, local onde se realizaram os experimentos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 MATERIAL

Foi utilizado um micrômetro, para medir os grãos da canola.

Foi utilizada uma balança semi analítica STANTON D42T com precisão de 0,01 g, para pesagem do produto.

Para a determinação de umidade foi utilizada uma estufa FANEM LTDA, modelo 315/4 e uma balança analítica de precisão com quatro casas decimais e capacidade igual a 200 g, marca SARTORIUS.

4.2.2 MÉTODOS

4.2.2.1 UMIDADE

A umidade da canola foi determinada em estufa a 130°C/4h, (*American Society of Agricultural Engineers - ASAE 1985*).

4.2.2.2 CLASSIFICAÇÃO POR TAMANHO

O tamanho do grão da canola, foi determinado com base na medição de duas dimensões transversais. Cinquenta grãos foram escolhidos, ao acaso, do lote recebido e as dimensões medidas. A média das cinquenta medidas forneceram as dimensões características desejadas. A pesagem dos grãos também foi realizada.

4.2.2.3 CLASSIFICAÇÃO COMERCIAL

No Brasil ainda não existe classificação comercial da canola, existe apenas uma padronização baseada nas técnicas canadenses, onde se avalia a qualidade do produto.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 UMIDADE

Os resultados para umidade da Canola variedade Iciola 41 encontram-se no quadro 06.

Quadro 06. Umidade da Canola, variedade Iciola 41, expresso em % base úmida

Repetições	Peso do Cadinho	Peso do Cadinho	Peso Inicial	Umidade
n.º.	(g)	(+Produto) (g)	(g)	(%) b.u.
1	19,0038	21,0080	2,0042	7,08
2	15,0122	17,1522	2,1400	7,05
3	19,2640	21,2763	2,0123	7,40
4	18,0048	20,0060	2,0012	7,06
5	18,0130	20,0200	2,0070	7,58
Média				7,03
Desvio padrão				0,42
CV (%)				5,96

O teor de umidade de grãos da canola foi de 7,03% (base úmida) para sistema de armazenagem, teor esse que se encontra dentro do estabelecido pela literatura, de 7 a 9 % (COCAMAR, 1996).

4.3.2 CLASSIFICAÇÃO POR TAMANHO

Os resultados para classificação por tamanho e peso de cinquenta grãos de canola, variedade Iciola 41 encontram-se no quadro 07.

Quadro 07. Classificação por tamanho e peso de cinquenta grãos de canola, variedade Iciola 41

Repetições n.º	massa(m) (g)	d1 (mm)	d2 (mm)	Repetições n.º	massa (m) (g)	d1 (mm)	d2 (mm)
1	0,0028	1,58	1,38	26	0,0026	1,58	1,44
2	0,0034	1,70	1,60	27	0,0019	1,44	1,32
3	0,0022	1,50	1,41	28	0,0023	1,50	1,43
4	0,0022	1,52	1,43	29	0,0027	1,68	1,53
5	0,0021	1,50	1,40	30	0,0029	1,62	1,51
6	0,0023	1,51	1,41	31	0,0020	1,42	1,39
7	0,0026	1,58	1,42	32	0,0024	1,58	1,38
8	0,0023	1,48	1,42	33	0,0021	1,48	1,39
9	0,0024	1,58	1,31	34	0,0024	1,58	1,38
10	0,0025	1,58	1,43	35	0,0025	1,57	1,41
11	0,0026	1,57	1,44	36	0,0025	1,58	1,42
12	0,0027	1,56	1,48	37	0,0030	1,68	1,56
13	0,0026	1,58	1,44	38	0,0027	1,55	1,43
14	0,0023	1,47	1,38	39	0,0020	1,38	1,32
15	0,0030	1,68	1,56	40	0,0038	1,70	1,62
16	0,0022	1,52	1,48	41	0,0025	1,62	1,54
17	0,0019	1,42	1,33	42	0,0030	1,68	1,59
18	0,0038	1,70	1,60	43	0,0018	1,38	1,24
19	0,0032	1,62	1,54	44	0,0028	1,57	1,49
20	0,0025	1,53	1,48	45	0,0027	1,56	1,50
21	0,0031	1,68	1,61	46	0,0020	1,48	1,34
22	0,0027	1,56	1,48	47	0,0025	1,51	1,43
23	0,0031	1,68	1,61	48	0,0029	1,60	1,52
24	0,0028	1,56	1,49	49	0,0027	1,58	1,42
25	0,0018	1,38	1,24	50	0,0022	1,53	1,50
			d1	d2			
Média			1,56	1,45	0,0026		
Desvio padrão			0,09	0,09	0,0005		
CV(%)			5,51	6,39	17,79		

d1 = comprimento

d2 = espessura

Os valores obtidos para o tamanho da canola, 1,56 mm e 1,45 mm enquadra-se dentro dos parâmetros estabelecidos pela literatura e demonstram a forma aproximada de uma esfera.

4.3.3 CLASSIFICAÇÃO COMERCIAL

A classificação comercial da canola foi realizada pela COCAMAR com base na avaliação visual de fatores e das tolerâncias estabelecidas, como mostra o Quadro 04, os valores obtidos foram. grãos avariados - 0,0%, grãos verdes - 0,0%, grãos esverdeados - 2,0%, grãos ardidos - 4,0%, grãos semi- ardidos - 3,0% e impurezas - 2,5%. Estes resultados indicam alta qualidade.

4.4 PREPARO DA MATÉRIA PRIMA

Para a determinação da umidade de equilíbrio foi necessário, inicialmente acondicionar o produto nos níveis de umidade de 4,30 e 17,94 % de umidade (base úmida), tendo como base a umidade inicial do produto, de acordo com os resultados mostrados no Quadro 02.

Este procedimento foi realizado através de secagem e umidificação.

4.4.1. SECAGEM

Foi realizada em estufa ventilada à temperatura média de 50°C. Inicialmente, calculou-se a massa da amostra a sofrer secagem. A partir da umidade final desejada, determinou-se a quantidade de água a ser retirada. A secagem foi interrompida quando o peso final calculado foi atingido.

4.4.2. UMIDIFICAÇÃO

Foi realizada através de processo de aspensão de água diretamente sobre o produto, utilizando um pulverizador manual. Inicialmente calculou-se a massa seca da amostra a ser umidificada. Sabendo-se a umidade final desejada determinou-se a quantidade de água a ser adicionada e assim a umidificação pode ser realizada.

Após a secagem e umidificação o produto foi acondicionado em sacos plásticos, impermeáveis e guardados em geladeiras, com temperatura controlada de 4,0°C mais ou menos 1,0 °C por um período aproximado de 10 dias para que ocorresse a uniformização da umidade na amostra de grãos. Após esse período a propriedade foi

determinada. No dia anterior à realização do experimento os sacos plásticos eram retirados da geladeira e deixados no laboratório onde a propriedade seria determinada, de modo que a temperatura dos grãos ficasse em equilíbrio com a temperatura ambiente.

No dia da realização do experimento o nível de umidade do produto foi determinado, em estufa a 130°C / 4h.

5. UMIDADE DE EQUILÍBRIO

5.1. MATERIAL E MÉTODOS

5.1.1. MATERIAL

A umidade de equilíbrio foi estudada em ambiente de umidade relativa controlada por ácido sulfúrico. O ambiente foi constituído por dessecadores de vidro, da Pyrobras, com 21cm de diâmetro e o produto acondicionado em cadinhos de alumínio. O ácido sulfúrico utilizado possuía densidade igual a 1,866 g/ml .

Para a pesagem dos cadinhos foi utilizada uma balança analítica de precisão, com quatro casas decimais e capacidade igual a 200 g, marca Sartorius. Para determinação de umidade foi utilizada uma estufa FANEM LTDA .

5.1.2 MÉTODOS

Em cada dessecador foi estabelecido um ambiente com umidade relativa e temperatura controladas. As umidades relativas usadas foram de 10% a 90%, em intervalos de 10%, utilizando-se ácido sulfúrico para obtenção das soluções, de acordo com os dados fornecidos por FRANCO (1943). As temperaturas utilizadas foram de 25°C, 35°C e 45°C, sempre registradas por um termohigrógrafo.

O produto pesquisado teve a umidade de equilíbrio obtida por dois processos : adsorção e dessorção .

No interior dos dessecadores foram colocados seis cadinhos com aproximadamente 2,0000g cada um, sendo três para o processo de adsorção e três para o processo de dessorção. Foi controlada a perda ou ganho de peso, através de pesagens

regulares, até que o equilíbrio foi atingido (peso constante), o que ocorreu no período de cinco semanas, sendo então determinada a umidade em estufa a 130°C /4 h.

Com os dados foi construída a curva de umidade de equilíbrio, em função da umidade relativa do ambiente e da temperatura, e estabelecida uma equação matemática para descrever o fenômeno, utilizando-se os modelos estabelecidos por HENDERSON (1952) e JORGE (1977), neste último incluindo o termo independente.

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos Quadros 08 a 11 são apresentados os resultados de umidade de equilíbrio da canola em função da umidade relativa e temperatura, para os processos de adsorção e dessorção.

Quadro 08. Valores e média final da umidade de equilíbrio da canola, variedade Iciola 41, a partir da umidade inicial de 17,94%, nas diferentes umidades relativas à temperatura de 25° C.

Umid. relativa (%)	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	Peso final (g)	Umid. equilíbrio (%) b.s.	Média final b.s.
10	2,0046	1,9184	1,9725	2,82	
10	2,1922	2,0654	2,1251	2,89	
10	2,0466	1,9082	1,9645	2,95	2,89
20	2,0206	1,6669	1,7530	5,16	
20	2,0864	1,7273	1,8037	4,42	
20	2,0011	1,6510	1,7249	4,48	4,67
30	2,0084	1,7649	1,8855	6,83	
30	2,0068	1,6470	1,7312	5,11	
30	2,0207	1,6608	1,7382	4,66	5,53
40	2,0101	1,6403	1,7409	6,13	
40	2,0368	1,5151	1,6091	6,20	
40	2,0145	1,6561	1,7610	6,33	6,22
50	2,1202	1,7460	1,8557	6,28	
50	2,1371	1,7152	1,8258	6,44	
50	2,0047	1,6360	1,7573	7,41	6,71
60	2,0129	1,6606	1,7911	7,86	
60	1,9923	1,6108	1,7375	7,87	
60	2,0336	1,5866	1,7173	8,24	7,99
70	2,1742	1,9260	2,1168	9,90	
70	2,1426	1,9260	2,1169	9,91	
70	2,0814	1,5000	1,6714	11,43	10,41
80	2,0060	1,6476	1,8388	11,60	
80	2,0099	1,6494	1,8428	11,73	
80	2,0040	1,6540	1,8467	11,65	11,66
90	* 2,0556	--	--	--	
90	* 2,0098	--	--	--	
90	* 2,0574	--	--	--	--

* As pesagens foram interrompidas em virtude da canola ter apresentado indícios de mofo.

Quadro 09. Valores e média final da umidade de equilíbrio da canola, variedade Iciola 41, a partir da umidade inicial de 4,30%, nas diferentes umidades relativas, à temperatura de 25°C.

Umid. Relativa (%)	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	Peso final (g)	Umid. equilíbrio (%) b. s.	Média final b.s.
10	2,0445	1,9194	1,9715	2,71	
10	2,0388	1,6382	1,6823	2,69	
10	2,0207	1,6685	1,7118	2,59	2,66
20	2,0264	1,9268	1,9981	3,70	
20	2,0881	2,0557	2,1418	4,19	
20	2,0526	1,9541	1,9833	3,61	3,83
30	2,0627	1,8769	1,9800	5,49	
30	2,0042	1,9407	2,0442	5,33	
30	2,5108	2,6789	2,7937	4,26	5,03
40	2,0569	2,5100	2,6439	5,33	
40	2,1247	2,0112	2,1279	5,80	
40	2,1235	2,0086	2,1335	6,22	5,78
50	2,0058	1,8899	2,0165	6,67	
50	2,0056	1,8887	2,1420	6,66	
50	2,0661	1,9585	2,0736	5,88	6,40
60	2,0399	1,8914	2,0466	8,21	
60	2,0048	1,8669	2,0094	7,62	
60	2,0699	1,9385	2,0773	7,20	7,68
70	2,0124	1,8475	2,0375	10,30	
70	2,1108	1,9289	2,1198	9,90	
70	2,0642	1,9068	2,0800	9,10	9,70
80	2,1122	1,9049	2,1232	11,4	
80	2,218	1,9951	2,2206	11,3	
80	2,149	1,9311	2,1504	11,3	11,33
90	* 2,519	--	--	--	
90	* 2,2028	--	--	--	
90	* 2,2058	--	--	--	-

* As pesagens foram interrompidas em virtude da soja ter apresentado indícios de mofo.

Quadro 10. Valores e média final da umidade de equilíbrio da canola, variedade Iciola 41 a partir da umidade inicial de 17,94%, nas diferentes umidades relativas à temperatura de 35°C.

Umid. Relativa (%)	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	Peso final (g)	Umid. Equilíbrio (%) b.s.	Média final b.s.
10	2,1077	1,9001	1,9547	2,87	
10	2,3596	2,1115	2,1752	2,85	
10	2,0630	1,8569	1,9000	2,32	2,68
20	2,1313	1,9229	2,0100	4,52	
20	2,0247	1,8271	1,9119	4,64	
20	2,0617	1,8612	1,9455	4,52	4,56
30	2,1020	1,8201	2,0058	6,13	
30	2,0175	2,0553	1,9224	5,74	
30	2,2725	1,8762	2,1684	5,50	5,79
40	2,0486	1,8762	2,0284	8,11	
40	2,0483	1,8968	2,0453	7,82	
40	2,0349	1,8891	2,0339	7,76	7,89
50	2,0756	1,8851	2,0635	9,46	
50	2,0008	1,8259	2,0004	9,75	
50	2,1047	1,8966	2,1000	10,72	9,98
60	2,0066	1,8161	2,0179	11,11	
60	2,1682	1,9644	2,1834	11,14	
60	1,9792	1,7821	1,9195	11,63	11,29
70	2,0033	1,9048	2,1242	11,50	
70	2,0379	1,9411	2,1604	11,29	
70	2,0179	1,9211	2,1404	11,41	11,40
80	* 2,0014	--	--	--	
80	* 2,1052	--	--	--	
80	* 2,2000	--	--	--	--
90	* 2,0134	--	--	--	
90	* 2,1211	--	--	--	
90	* 2,0342	--	--	--	--

* As pesagens foram interrompidas em virtude da canola ter apresentado mofo.

Quadro 11. Valores e média final da umidade de equilíbrio da canola, variedade Iciola 41 a partir da umidade inicial de 4,30%, nas diferentes umidades relativas à temperatura de 35°C.

Umid. Relativa (%)	Peso inicial (g)	Peso seco (g)	Peso final (g)	Umid. Equilíbrio (%) b.s.	Média final b.s.
10	2,0100	1,9679	2,0122	2,25	
10	1,9512	1,9105	1,9575	2,46	
10	2,0010	1,9648	2,0090	2,25	2,32
20	1,9122	1,8671	1,9329	3,52	
20	2,0312	1,9629	2,0520	4,53	
20	1,9432	1,8812	1,9755	4,48	4,17
30	2,0060	1,8998	2,0132	5,90	
30	1,9012	1,8062	1,9144	6,00	
30	2,1324	2,0453	2,1484	5,00	5,63
40	2,0001	1,8662	2,0184	8,10	
40	2,0273	1,8878	2,0352	7,80	
40	2,1002	1,9811	2,1212	7,10	7,66
50	2,0688	1,9369	2,1000	8,40	
50	2,0358	1,8751	2,0535	9,50	
50	2,0648	1,9167	2,1000	9,50	9,13
60	2,1134	1,9283	2,1200	9,94	
60	2,2001	1,9876	2,2021	10,80	
60	2,1189	1,8998	2,1201	11,50	10,74
70	2,1289	1,9238	2,1300	10,70	
70	2,1000	1,8987	2,1001	10,60	
70	2,0988	1,8751	2,1000	11,90	11,10
80	*2,0872	--	--	--	
80	*2,0341	--	--	--	
80	*2,0028	--	--	--	--
90	*2,0014	--	--	--	
90	*2,1002	--	--	--	
90	*2,1009	--	--	--	--

* As pesagens foram interrompidas em virtude da soja ter apresentado indícios de mofo.

As análises de regressão do pacote *Statistical Analysis System* (SAS) foi usada para estimar as constantes dos modelos. Para descrever os dados da umidade de equilíbrio média apresentados, foi utilizado modelo estabelecido por JORGE (1977), modificado para incluir o termo independente:

$$Meq = a_0 + a_1\phi + a_2\phi^2 + a_3\phi^3$$

O Quadro 12 mostra as constantes obtidas para a equação do 3º grau, bem com os respectivos coeficientes de correlação e o nível de significância, em todas as condições utilizadas para a canola.

Quadro 12. Constantes da equação do 3º grau.

$$Meq = a_0 + a_1\phi + a_2\phi^2 + a_3\phi^3$$

Isotermas	T° C	a_0	a_1	a_2	a_3	r
Adsorção	25°	0,332	0,278	- 0,0057	52,31x10 ⁶	0,998
Adsorção	35°	1,299	0,079	0,0035	- 36,76x10 ⁶	0,998
Dessorção	25°	0,337	0,409	- 0,0095	84,63x10 ⁶	0,999
Dessorção	35°	2,385	- 0,013	0,0063	- 61,11x10 ⁶	0,998

Significativo ao nível de 0,1 % de F.

Utilizando os mesmos dados e a equação proposta por Henderson , pode-se obter os valores das constantes K e n, através de uma regressão linear.

A equação: $1 - \phi = e^{-KTM^n}$

Quadro 13. Constantes da equação de Henderson:

$$1 - \phi = e^{-KTM_{eq}^n}$$

Isotermas	T°C	K	n	r
Adsorção	25	$3,44 \times 10^{-4}$	1,95	0,995
Adsorção	35	$4,79 \times 10^{-5}$	1,48	0,992
Dessorção	25	$3,82 \times 10^{-4}$	2,05	0,985
Dessorção	35	$5,43 \times 10^{-5}$	1,56	0,991

* Significativo ao nível de 0,1% pelo teste de F.

Nas figuras 02 a 05 são apresentadas as curvas obtidas com a utilização da equação do 3º grau e da equação de HENDERSON, descritas nos Quadros 09 e 10, com as umidades de equilíbrio e temperaturas.

Analisando os Quadros 12 e 13 conclui-se que as equações obtidas podem ser utilizadas para descrever a variação da umidade de equilíbrio, em função da umidade relativa e temperatura, pois apresentaram ótimas correlações para o ajuste dos dados experimentais, sendo que o menor coeficiente de correlação encontrado foi de 0,985, para o processo de dessorção na temperatura de 25° C, na equação de HENDERSON.

De uma maneira geral os valores obtidos de umidade de equilíbrio na temperatura de 35° C são maiores que os da temperatura de 25° C, em discordância com a literatura, CHEN & CLAYTON (1971), DUSTAN et al. (1973), BROOKER et al. (1974).

O efeito histerese, existente entre os processos de adsorção e dessorção, ficou bem caracterizado como pode ser visualizado nas figuras 06 e 07.

As curvas de umidade de equilíbrio da canola que absorveu água foi menor da que perdeu água. Estes dados estão de acordo com a literatura: YOUNG & NELSON (1967); CHUNG & PFOST (1967); NGODDY & BAKKER – ARKEMA (1976).

A umidade de equilíbrio no processo de dessorção na temperatura de 25°C, apresentou um efeito de histerese maior nas umidades relativas na faixa de 20 a 40%,

enquanto que a temperatura de 35°C, apresentou um efeito de histerese maior nas umidades relativas de 45 a 65%.

• Não foi possível realizar o experimento com a temperatura de 45°C, pois logo nas duas primeiras semanas já apareceu grande quantidade de mofo, alterando totalmente o peso. De fato a literatura recomendou para determinação de umidade de equilíbrio da canola, variedade Candle, temperaturas entre 5 a 35°C (MUIR & SINHA, 1986).

5.3 CONCLUSÕES

As equações obtidas, do modelo de 3º grau, e do modelo de Henderson, na faixa de umidade relativa de 10 a 70% e temperatura de 25°C e 35°C, servem para representar os dados experimentais da canola variedade Iciola 41, pois apresentam ótimas correlações.

• O efeito das diferentes temperaturas (25° e 35°) sobre os valores obtidos da umidade de equilíbrio ficaram bem evidentes, embora os resultados não concordem com os geralmente apresentados na literatura.

A temperatura a 45°C não foi propícia, para a determinação.

O efeito histerese ficou bem caracterizado para as temperaturas de 25°C e 35°C.

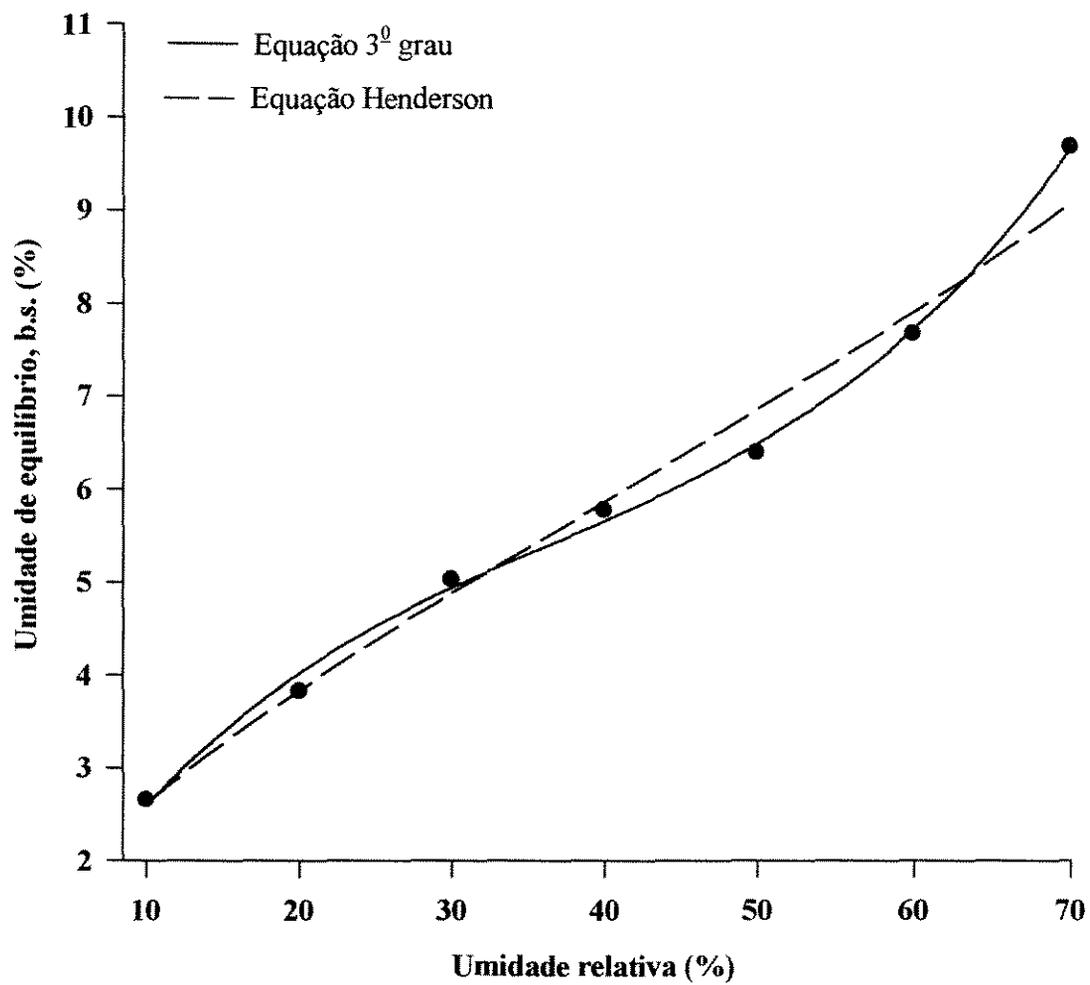


Figura 2. Umidade de equilíbrio na adsorção para temperatura de 25°C.

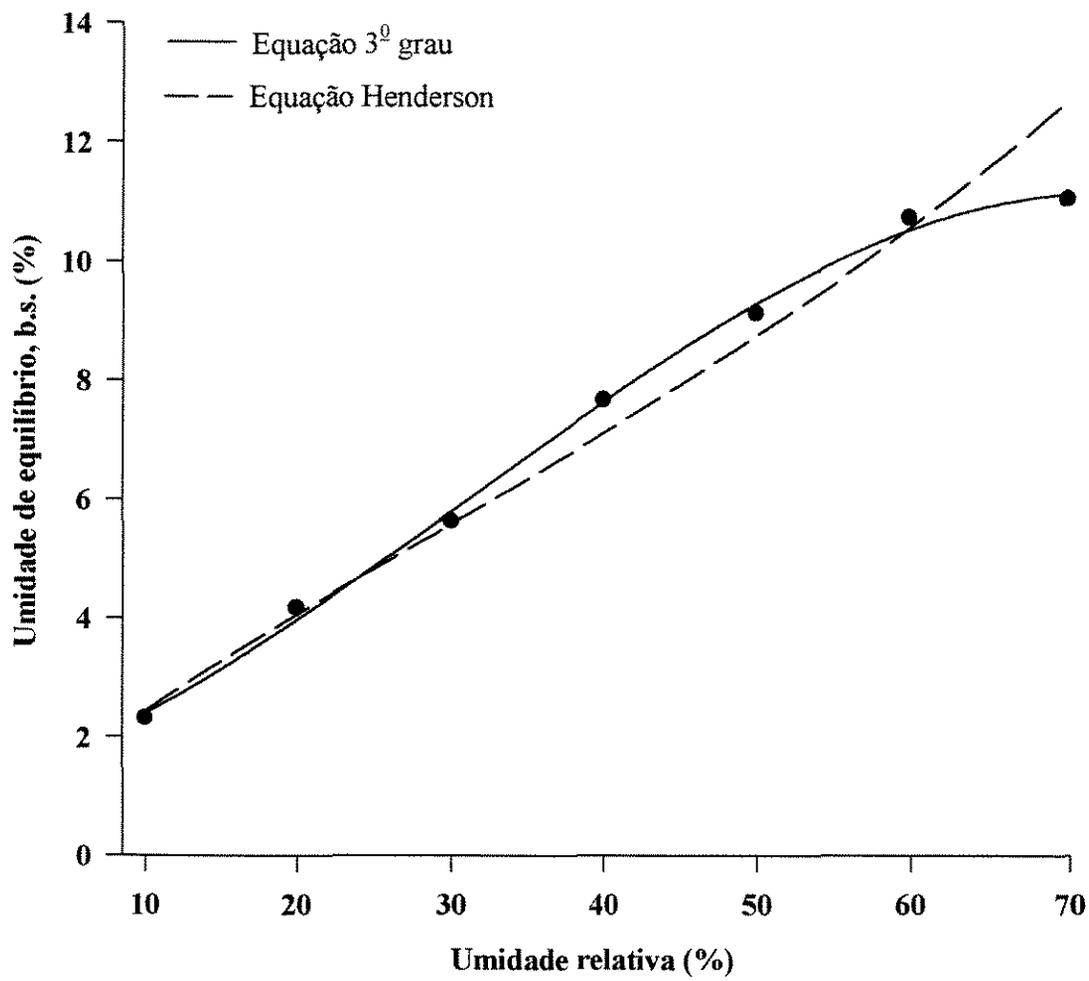


Figura 3. Umidade de equilíbrio na adsorção para temperatura de 35°C.

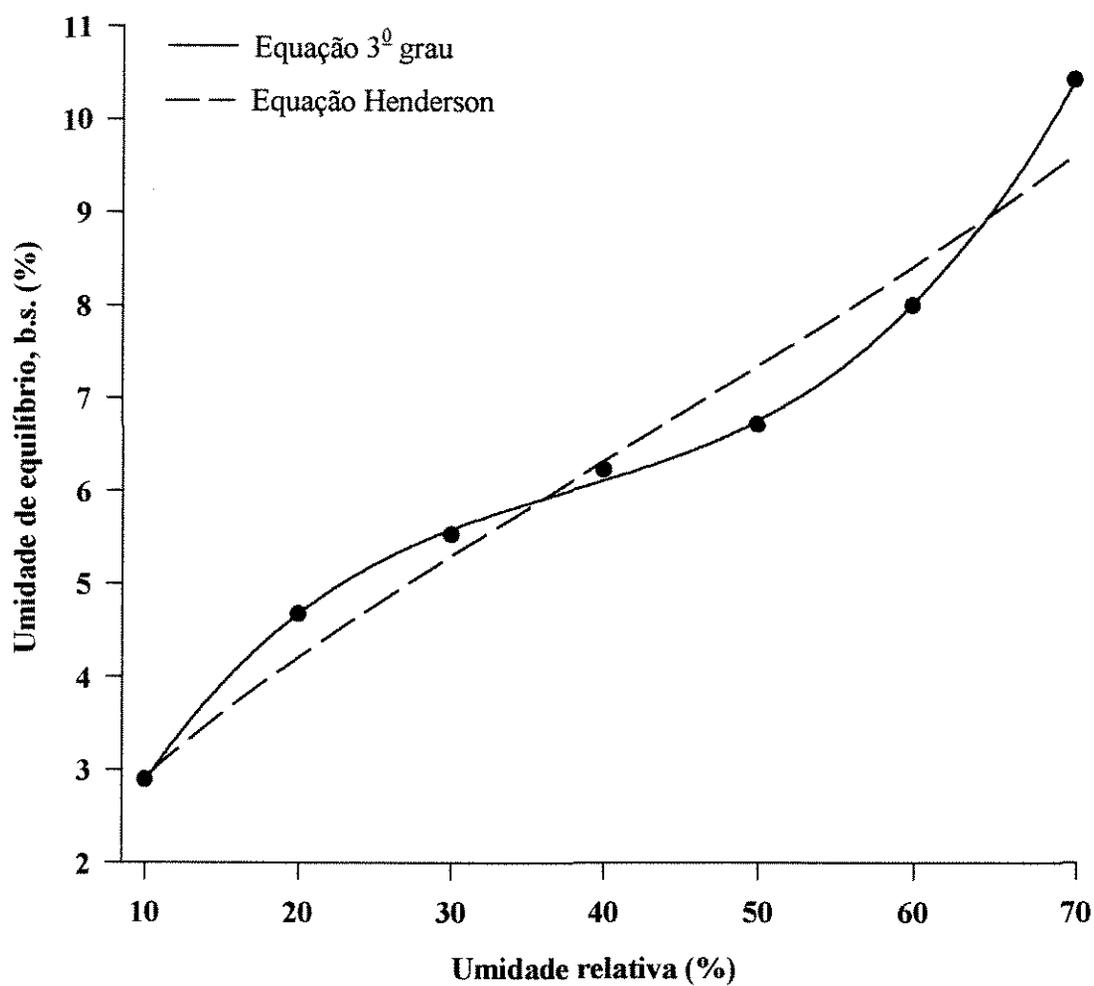


Figura 4. Umidade de equilíbrio na dessecção para temperatura de 25°C.

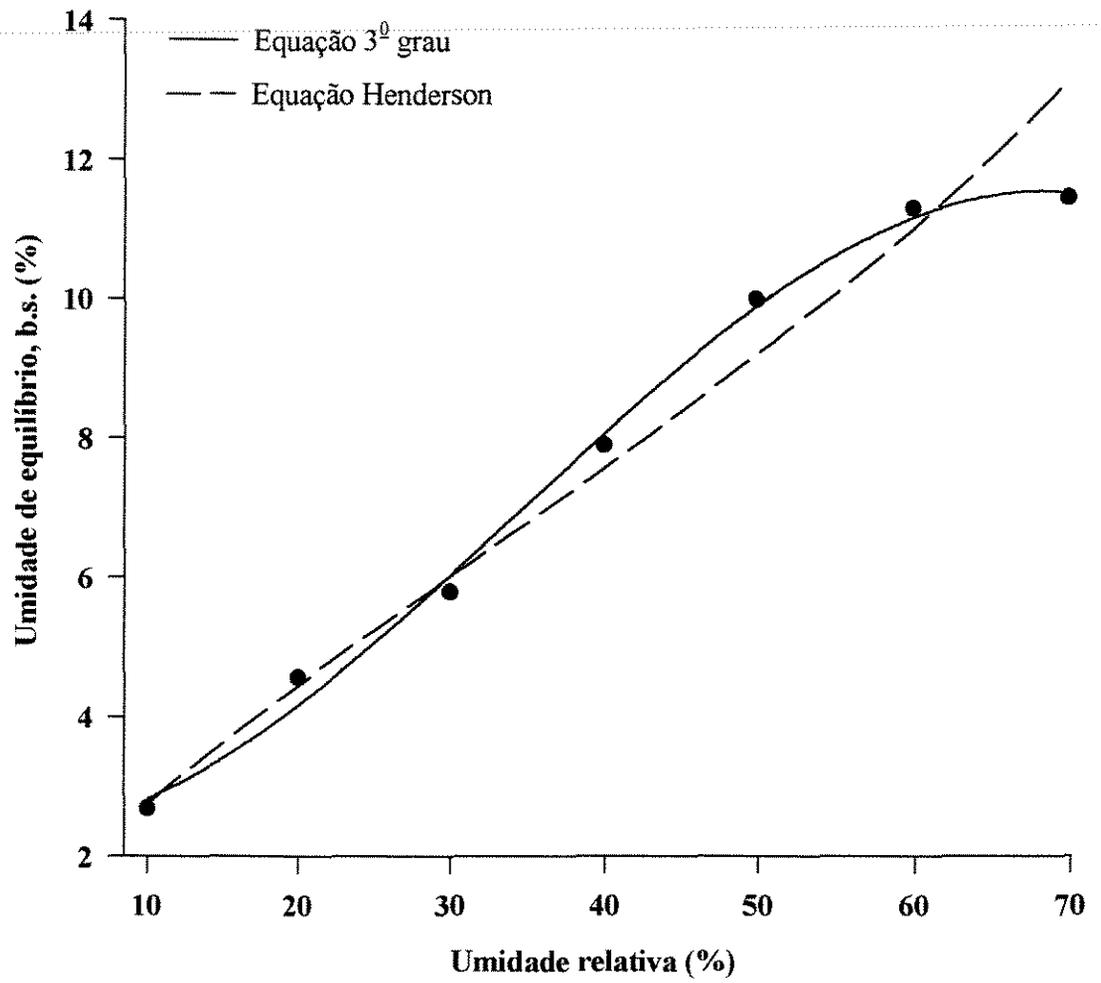


Figura 5. Umidade de equilíbrio na dessecção para temperatura de 35°C.

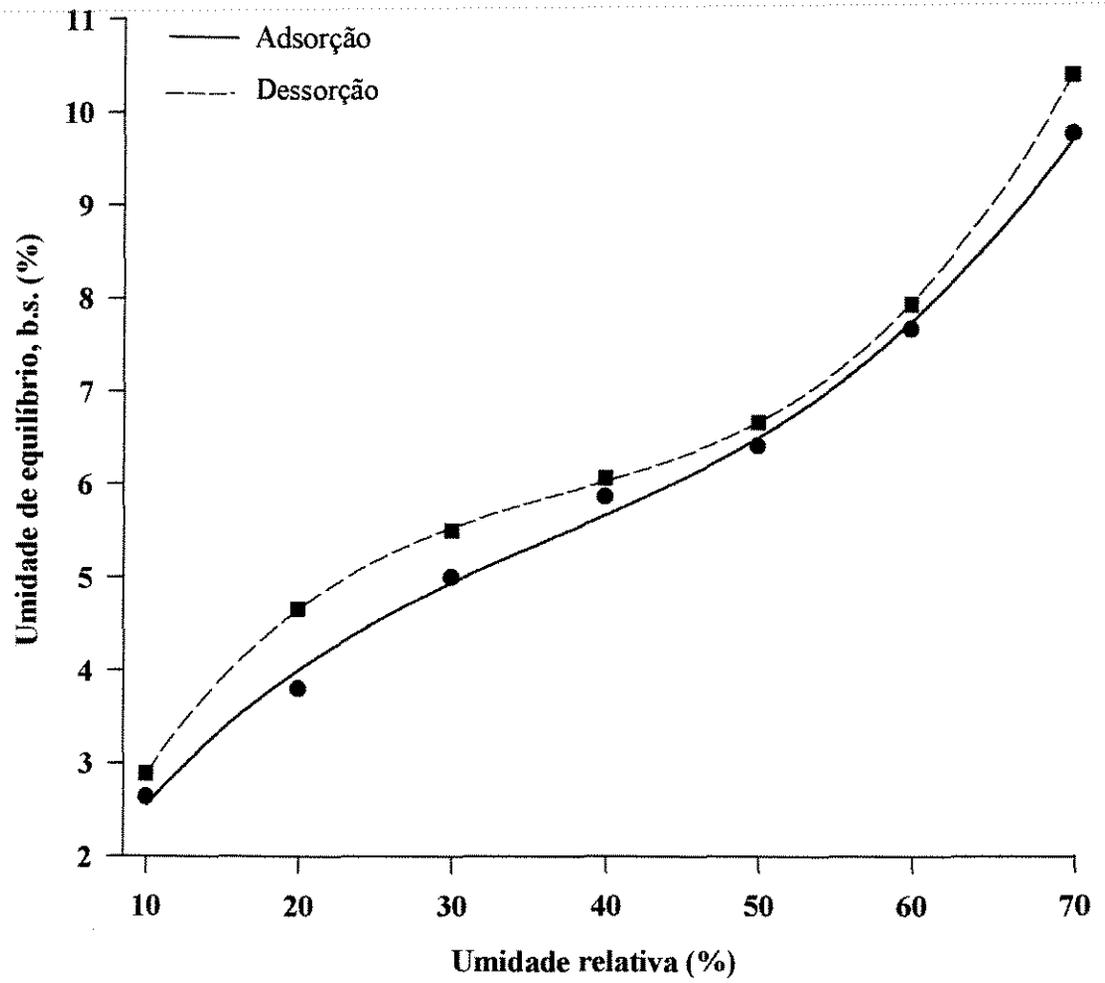


Figura 6. Curvas de umidade de equilíbrio na adsorção e dessorção de temperatura de 25⁰C.

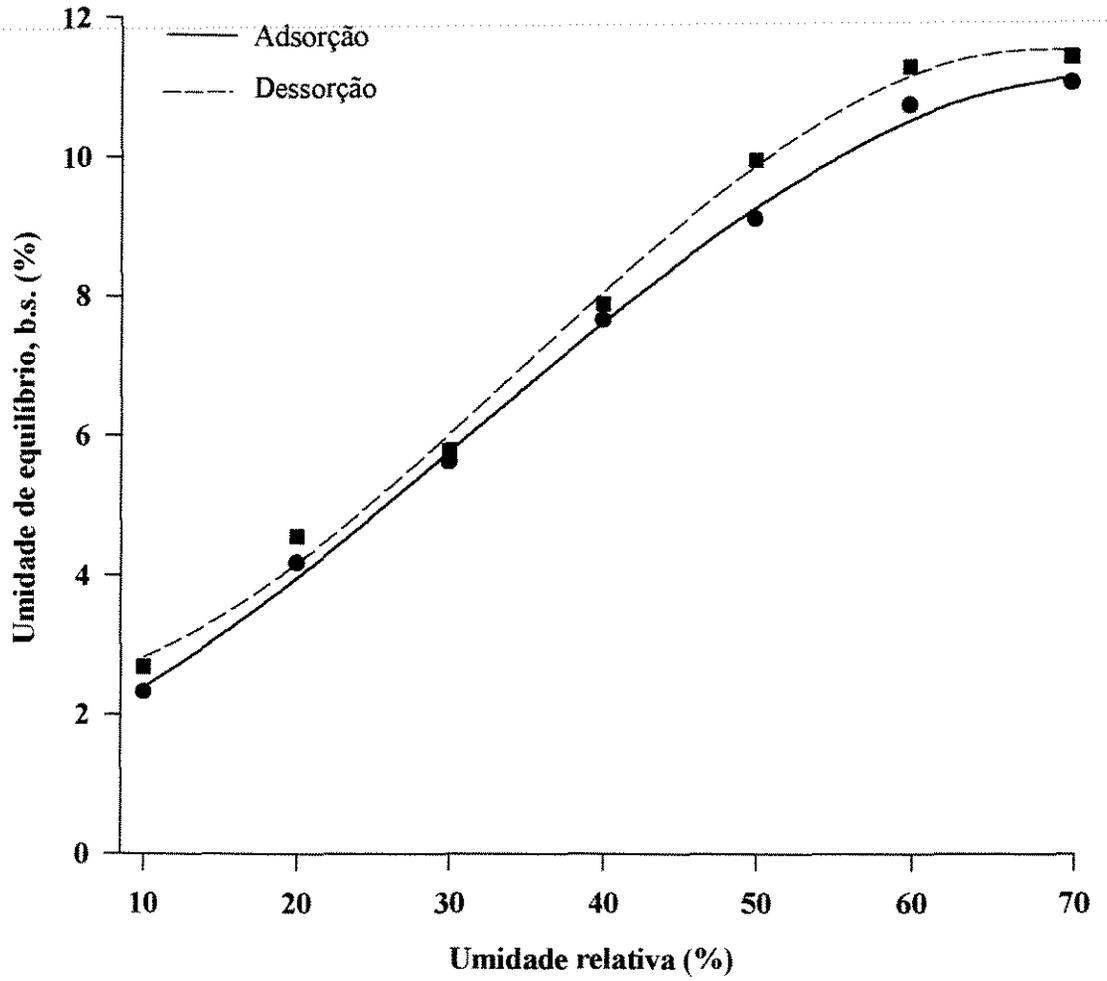


Figura 7. Curvas de umidade de equilíbrio na adsorção e dessorção de temperatura de 35°C.

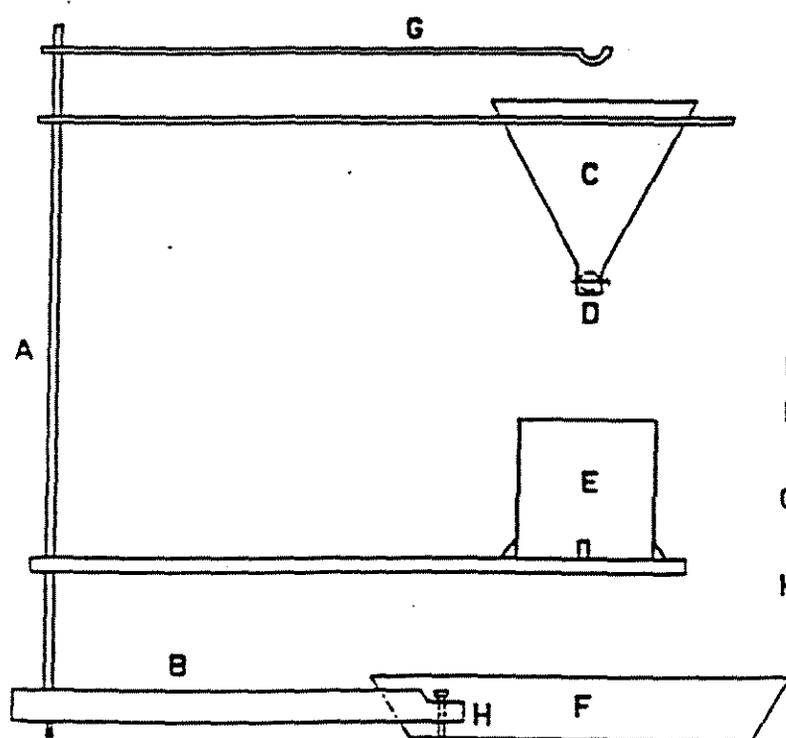
6. PESOS ESPECÍFICOS

6.1 PESO ESPECÍFICO APARENTE

6.1.1 MATERIAL E MÉTODOS

6.1.1.1 MATERIAL

O aparelho utilizado para a determinação do peso específico aparente (Fig.08) é constituído de uma parte semelhante a um funil onde o produto é colocado para a determinação. As dimensões desse funil, são as seguintes: diâmetro superior 19,5 cm, abertura de escoamento 3,3 cm, e altura 12,5 cm. Distante exatamente 7,65 cm (3 polegadas) deste funil, a partir da abertura de escoamento está um recipiente de volume aproximadamente igual a 1 litro, de seção circular de 11,3 cm de diâmetro e altura de 10,6 cm . Foi utilizada uma balança de precisão de 0,1g para pesagem do recipiente de seção circular (BENEDETTI, 1987).



- A-haste metálica
- B-base
- C-funil
- D-válvula de saída do material
- E-recipiente Standard
- F-recipiente para recolher o excesso do produto
- G-nivelador para centralizar o funil
- H-nivelador do equipamento

Figura 08. (Fonte: LEITÃO (1983)) Equipamento para determinação do peso específico aparente.

6.1.1.2 MÉTODOS

6.1.1.2.1. CALIBRAÇÃO DO RECIPIENTE

O recipiente foi pesado em uma balança de precisão 0,1 g, mantendo-o no prato. Certa quantidade de água foi colocada até seu quase completo enchimento, completando-se o volume, cuidadosamente, através de uma bureta. O peso de água utilizado foi anotado.

Com um termômetro foi medida a temperatura de água e através de uma tabela foi determinada a densidade correspondente a esta temperatura. O volume do recipiente foi calculado pela relação:

$$V_r = \frac{m_a}{\rho_a} \quad (10)$$

V_r - volume do recipiente, em ml

m_a - massa de água, em g

ρ_a - densidade da água (corrigida para temperatura, em g/ml)

6.1.1.2.2. DETERMINAÇÃO DO PESO ESPECÍFICO APARENTE

A distância entre o funil e o recipiente foi conferida. O produto foi colocado no funil e a válvula para escoamento, aberta. O escoamento foi constante e livre, sem qualquer interferência. Uma espátula foi passada pelo recipiente para retirar o excesso de produto existente e pesado em uma balança de precisão 0,1g. Por diferença entre este valor e o peso do recipiente, o peso do produto existente é calculado. O peso específico aparente foi calculado pela relação:

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V_{ap}} \quad (11)$$

onde :

ρ_{ap} - peso específico aparente, em g/ml

m - massa do produto em g

V_{op} - volume do recipiente, em ml

Foram realizadas dez repetições , calculando-se média, desvio padrão e coeficiente de variação.

6.2 PESO ESPECÍFICO REAL

6.2.1 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1.1 MATERIAL

Para a determinação desta grandeza foram utilizadas provetas de 100ml. Foi utilizada uma balança semi- analítica, marca STANTON D42T, com precisão de 0,01 g para pesagem do produto .

6.2.1.2 MÉTODOS

Para a determinação do peso específico real foi utilizado o princípio de Arquimedes : 30 g do produto foi colocada na proveta graduada, contendo 60ml de tolueno.

Pelo volume de tolueno deslocado calcula-se o peso específico real, pela relação:

$$\rho_r = \frac{m}{V_d} \quad (12)$$

onde :

ρ_r - peso específico real em g/ml

m - massa do produto em g

V_d - volume deslocado em ml

Foram realizadas dez repetições, calculando-se média, desvio padrão e coeficiente de variação.

6.3 POROSIDADE

Após a determinação do peso específico aparente e do peso específico real foi calculada a porosidade pela relação :

$$P = \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_r}\right) * 100 \quad (13)$$

onde:

P - porosidade em porcentagem

6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O recipiente utilizado na determinação do peso específico aparente foi calibrado apresentando o valor de 1017,20 ml para seu volume.

O Quadro 14 apresenta os resultados das medições efetuadas para peso específico aparente, peso específico real e o cálculo da porosidade, com base nos valores médios dos pesos específicos aparente e real, para o produto estudado.

Quadro 14. Resultados para peso específico aparente, peso específico real e porosidade, da canola, variedade Iciola 41.

Repetições	m	ρ_{ap}	Vd	ρ_r	P
n°	(g)	(g/ml)	(ml)	(g/ml)	%
1	681,1	0,669	24,0	1,083	
2	679,7	0,668	23,5	1,105	
3	680,4	0,669	23,5	1,105	
4	681,9	0,670	24,0	1,083	
5	680,4	0,669	23,5	1,105	
6	678,0	0,666	23,0	1,129	
7	679,3	0,668	24,0	1,083	
8	678,8	0,667	23,0	1,129	
9	678,7	0,667	23,0	1,129	
10	677,7	0,666	23,0	1,129	
Média		0,668		1,183	43,53
Desvio Padrão		0,001		0,228	
CV (%)		0,21		1,82	

Analisando o Quadro 14., constata-se que os desvios padrões dos dados experimentais da canola, apresentaram valores pequenos e o coeficiente de variação foi de 0,21% para peso específico aparente e 1,84% para peso específico real. Pode-se concluir que as metodologias empregadas para determinações dos pesos específicos, aparente e real, são boas.

Para variedade Iciola 41, em estudo neste trabalho, com 7,03% de umidade (b.u.), foi obtido o valor de peso específico aparente - 668kg/m^3 , incluso no intervalo encontrado pelos autores MUIR & SINHA (1988) e JAYAS et al.(1989), para variedades de canola canadense. Já para o peso específico real, não houve concordância

com o intervalo dos valores para as variedades de canola canadense pesquisadas. Foram determinados os valores de 1093 a 1129 kg/m³ para o peso específico real. O valor obtido pela para variedade de canola em estudo foi superior:- 1183 kg/m³. Já para a canola variedade Iciola 41 com 5,30% de umidade os valores obtidos de pesos específicos; aparente e real por VERDIANI et al.(1996) não estão incluso no intervalo de valores encontrados.

A partir desses dados é previsível que o valor da porosidade para a canola em estudo seja superior aos encontrados na literatura, o que foi confirmado pela obtenção do valor 43,53%.

Ficam assim confirmadas as citações encontradas na literatura, de que o teor de umidade exerce influência sobre a densidade e porosidade do produto CORDEIRO, (1987) e BENEDETTI, (1987).

6.5 CONCLUSÕES

Os testes realizados com a variedade Iciola 41, produzida pela COCAMAR LTDA no estado do Paraná, com 7,03% de umidade (base úmida), apresentaram os seguintes resultados médios: peso específico aparente – 668kg/m³; peso específico real – 1183kg/m³; porosidade - 43,53%.

As metodologias empregadas nas determinações dos pesos específicos, aparente e real são boas.

7. ÂNGULO DE TALUDE

7.1 MATERIAL E MÉTODOS

7.1.1 MATERIAL

Para a determinação desta propriedade foi utilizado um aparelho construído na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. Este aparelho consiste de uma caixa retangular com dimensões: 50 cm de comprimento; 20 cm de largura e 40 cm de altura, toda construída em acrílico transparente, o que permite a visualização perfeita da determinação. É dotado de um recipiente triangular onde a matéria prima em estudo é colocada em uma moega para o escoamento da mesma para o interior da caixa. (Fig. 09). Foi utilizado um dispositivo dotado de um transferidor para medir o ângulo formado com a horizontal (BENEDETTI, 1987).

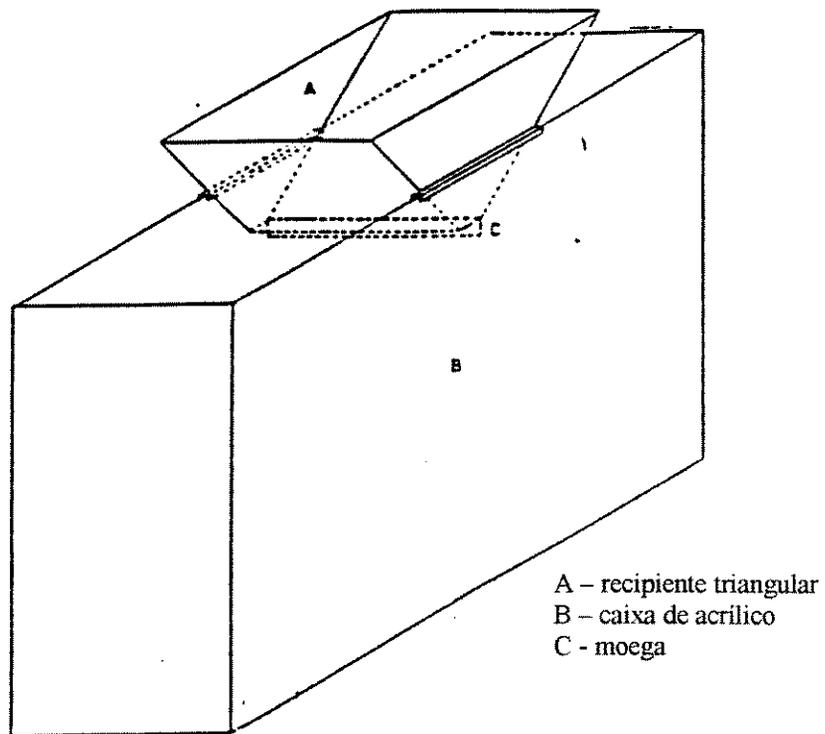


Figura 09. (Fonte: LEITÃO (1983)) Equipamento para determinação do ângulo de talude.

7.1.2 MÉTODOS

A matéria prima estudada foi colocada no recipiente triangular e através da moega escoou com fluxo constante para o interior da caixa, formando o ângulo de talude característico. Foram medidos, através de um dispositivo dotado de um transferidor, os quatro ângulos formados pela matéria prima com o nível do fundo da caixa (dois ângulos de cada lado), sendo que a média destas medidas forneceu o ângulo de talude do produto em estudo. Foram realizadas dez repetições e os dados obtidos analisados estatisticamente, calculando-se média, desvio padrão e coeficiente de variação.

7.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 15 mostra os resultados obtidos experimentalmente para o ângulo de talude da canola com a respectiva média, desvio padrão e coeficiente de variação.

Quadro 15. Ângulo de Talude, para a canola, variedade Iciola 41.

Repetições n.º	Angulo A (º)	Ângulo B (º)	Ângulo C (º)	Ângulo D (º)	Ângulo médio (º)
1	31,50	31,00	32,00	31,50	31,50
2	31,00	29,00	29,00	31,00	30,00
3	31,00	31,50	31,00	31,00	31,12
4	31,00	30,00	31,00	31,00	30,75
5	31,00	30,00	31,00	30,00	30,50
6	31,00	30,00	30,00	30,00	30,25
7	31,00	30,00	31,00	31,00	30,75
8	29,00	31,00	30,00	31,00	30,25
9	31,00	30,00	31,00	31,00	30,75
10	31,00	29,00	31,00	30,00	30,25
Média					30,6
Desvio padrão					0,46
CV (%)					1,49

Analisando o Quadro 15, observa-se que os valores obtidos de desvio padrão (0,46) e coeficiente de variação (1,49%) permite afirmar que a metodologia empregada para determinação do ângulo de talude é muito boa.

A média obtida para o ângulo de talude neste experimento, de 30,6°, está acima dos valores 25 a 27° apresentados na literatura por MUIR & SINHA (1988), para as variedades Altex, Regent, Candle e Torch, de canola canadense, com 8,1% de umidade (b.u.) e por VERDIANI, et al (1996) para canola, variedade Iciola 41, com 5,3% umidade (b.u.).

Comparando a canola, variedade Iciola 41, com 7,03% de umidade (b.u.) com a mesma variedade a 5,3% de umidade (b.u.), fica confirmada a citação de FOWLER & WYATT (1960); BENEDETTI (1987), de que o valor do ângulo de talude é influenciado pelo teor de umidade.

7.3 CONCLUSÕES

O ângulo de talude encontrado é maior do que o citado na literatura para a variedade Iciola 41, provavelmente pela influência do teor de umidade.

O valor do ângulo de talude do produto em estudo foi de 30,06°.

A metodologia empregada é muito boa para determinar o ângulo de talude

8. COEFICIENTE DE ATRITO

8.1 MATERIAL E MÉTODOS

8.1.1 MATERIAL

O equipamento utilizado para a determinação do coeficiente de atrito, desenvolvido por TOSELLO (1975), consiste de um dispositivo especialmente construído para este fim. Tal dispositivo foi acoplado ao aparelho OTTAWA TEXTURE MEASURE SYSTEM, o qual aplica e registra forças de tração e compressão (Fig. 10).

O instrumento OTTAWA consiste basicamente de duas partes: um cabeçote que se movimenta no sentido vertical, fazendo o trabalho de tração e compressão, por meio de uma engrenagem central em forma de rosca, um sistema registrador, que através de uma carta quadriculada, imprime continuamente gráficos dos valores da força aplicada ao conjunto. Na base do OTTAWA, foi adaptado um suporte de madeira, devidamente nivelado, servindo de apoio para as diferentes superfícies em estudo, e o carrinho contendo o produto, uma roldana guia por onde passa o fio de cobre, fazendo conexão entre o ponto de aplicação de força e o carrinho. A roldana guia foi ajustada, de maneira que a aplicação da força seja na mesma linha vertical do cabeçote do equipamento OTTAWA.

O carrinho é uma caixa retangular, sem fundo, construído de acrílico, com as seguintes dimensões: 14,8 cm de comprimento, 13,0 cm de largura e 8,2 cm de altura. Esse carrinho está apoiado sobre rolamentos que visam diminuir o atrito do sistema e manter a base do carrinho afastada dois milímetros da superfície de atrito, permitindo

manter a base do carrinho afastada dois milímetros da superfície de atrito, permitindo assim, que só o produto entre em contato com a superfície. Foram estudadas as superfícies de concreto, chapa galvanizada, alumínio, madeirite, aço inox e atrito interno.

Para aplicação da força normal, foram utilizadas placas de ferro com dimensões ligeiramente inferiores às do carrinho. Para o estudo do coeficiente de atrito interno foi utilizado o mesmo equipamento usado na determinação dos coeficientes de atrito com superfícies, substituindo-se a superfície por outra caixa de dimensões iguais a: 19,5 cm de comprimento, 15,0 cm de largura e 0,8 cm de altura, onde estará contido o produto em estudo.

O produto foi pesado através de uma balança semi-analítica, com capacidade para 2000g e divisão de 1g.

A- cabeçote móvel
 B- barras rosqueadas
 C- dinamômetro
 D- registrador de força
 E- base do Instron
 F- suporte da superfície em estudo
 G- superfície de atrito

H- roldana guia
 I- fio de aço
 J- ponto de aplicação da força
 L- carrinho portador da canola
 M- rolamentos
 N- carga normal (placas de ferro)
 O- plataforma rígida

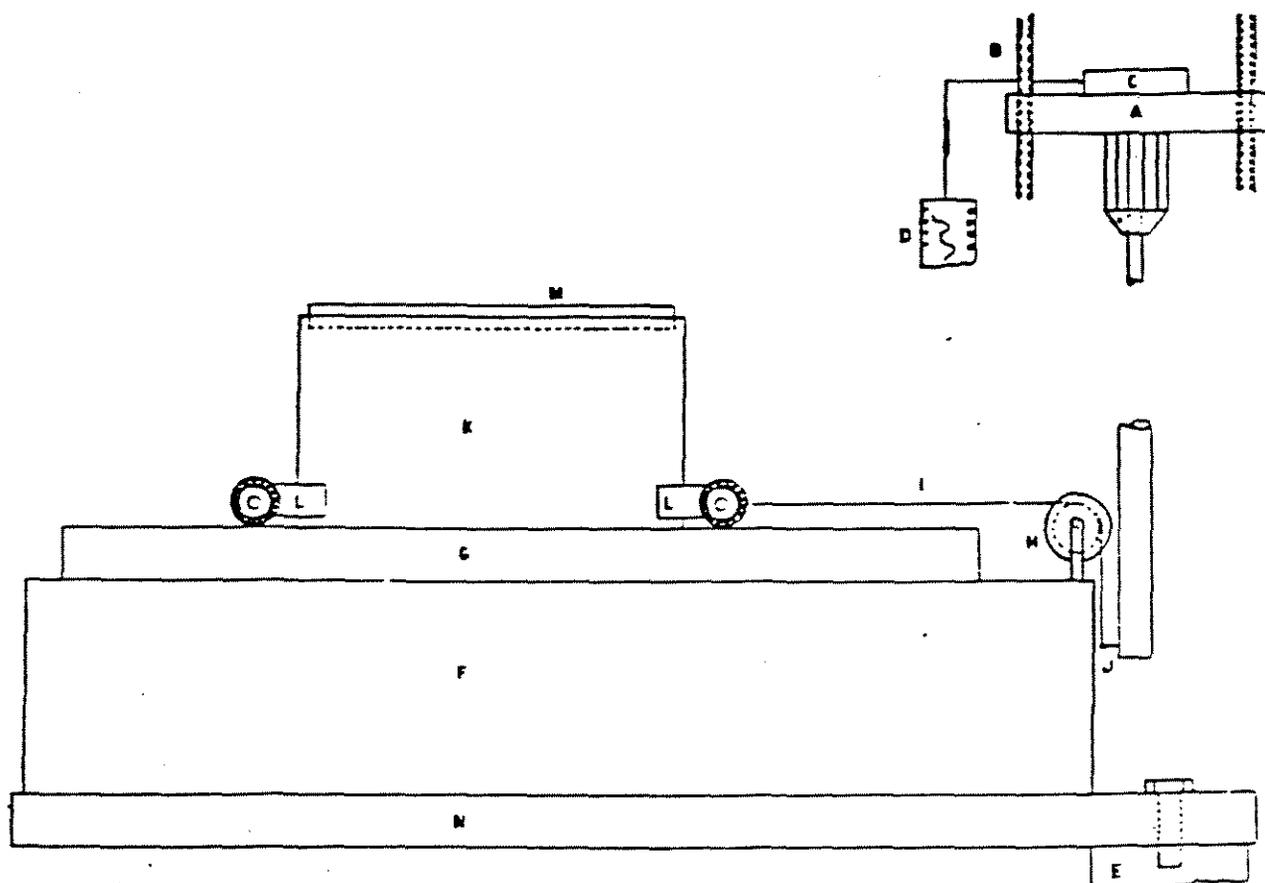


Figura 10. (Fonte: LEITÃO (1983)) Esquema do equipamento Instron Universal para a determinação dos coeficientes de atrito com superfícies.

8.1.2 MÉTODOS

Para o estudo dos coeficientes de atrito com as diversas superfícies, o equipamento OTTAWA, foi ligado duas horas antes, para que o mesmo entrasse em regime de funcionamento estável. Foi feita a calibração do equipamento através de testes preliminares para definir a melhor velocidade do cabeçote em cm/min e velocidade da carta em cm/min. E ficou determinado: velocidade do cabeçote 2,22cm/min e velocidade da carta de 30,0cm/min.

O coeficiente de atrito foi determinado registrando-se graficamente a força necessária para ocorrer o deslocamento dos grãos sobre a superfície. Foi colocado 650 g do produto dentro do carrinho sem fundo, para que os grãos fiquem em contato com as superfícies. Com valores para a força normal de: 3.400kg, 4.324kg, 5.058kg , 6.330kg, 7.100kg.

Para a determinação dos coeficientes de atrito interno, (Fig. 11) a caixa retangular sem fundo foi colocada sobre a outra que continha o produto em estudo. A caixa sem fundo recebeu o produto, ficando desta maneira em contato grão com grão, dentro das duas caixas de acrílico. O processo de determinação do atrito interno foi semelhante à determinação feita para o atrito com as diversas superfícies.

Com base nos gráficos obtidos em cada teste, determinou-se a força de atrito e, conseqüentemente o coeficiente de atrito .

Foram realizadas cinco repetições para cada normal.

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente: média, desvio padrão e coeficiente de variação.

A- cabeçote móvel
 B- barras rosqueadas
 C- dinamômetro
 D- registrador de força
 E- base de Instron
 F- carrinho fixo portador da canola
 G- carrinho móvel portador da canola

H- roldana guia
 I- fio de aço
 J- ponto de aplicação da força
 L- rolamentos
 M- carga normal
 N- plataforma rígida

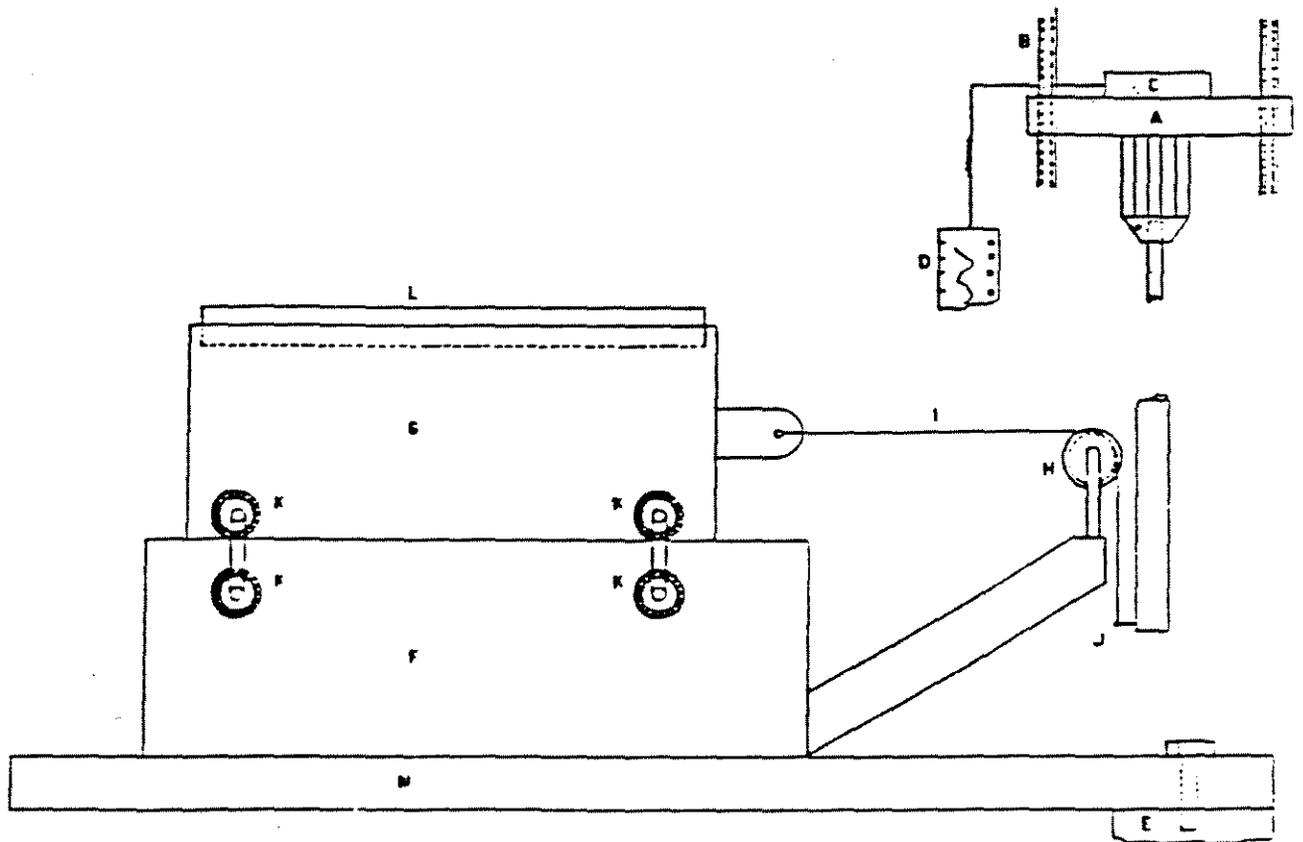


Figura 11. (Fonte: LEITÃO (1983)) Esquema do equipamento acoplado ao Instron Universal para determinação do coeficiente de atrito interno.

8.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Propriedades Físico-Mecânicas do Departamento de Máquinas Agrícolas da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. A temperatura do laboratório permaneceu constante, a $28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, durante o transcorrer do experimento.

O Quadro 16 apresenta os dados experimentais do coeficiente de atrito da canola com as várias superfícies e o atrito interno.

Quadro 16. Dados experimentais de coeficiente de atrito com diversas superfícies e coeficientes de atrito interno para canola, variedade Iciola - 41.

Superfície	Coeficiente de Atrito			
Chapa galvanizada	N1	0,260		
	N2	0,250	M	0,251c
	N3	0,223	DP	0,102
	N4	0,264	CV(%)	6,52
	N5	0,257		
Madeirite	N1	0,402		
	N2	0,398	M	0,402ab
	N3	0,401	DP	0,002
	N4	0,404	CV(%)	0,62
	N5	0,404		
Concreto	N1	0,449		
	N2	0,458	M	0,453a
	N3	0,458	DP	0,005
	N4	0,449	CV(%)	0,02
	N5	0,451		
Aço inox	N1	0,275		
	N2	0,241	M	0,261c
	N3	0,281	DP	0,019
	N4	0,241	CV(%)	7,27
	N5	0,268		
Alumínio	N1	0,318		
	N2	0,462	M	0,351b
	N3	0,313	DP	0,063
	N4	0,318	CV(%)	18,05
	N5	0,342		
Atrito interno	N1	0,444		
	N2	0,435	M	0,444a
	N3	0,454	DP	0,008
	N4	0,437	CV(%)	1,83
	N5	0,450		

* As letras iguais indicam não existir diferença significativa entre os valores médios.

Como se pode verificar, as diferentes superfícies apresentam valores de coeficiente de atrito sensivelmente diferentes.

A pequena variação dos valores dos coeficientes de atrito observada quando se estuda o mesmo material de superfície, variando a força normal, é em função da desuniformidade da superfície de contato, pela maior ou menor acumulação dos grãos da canola.

Com base nos gráficos foram determinados os valores das forças de atrito. A escala máxima utilizada foi de 5 kgf, assim cada divisão do papel de gráfico equivalia a 0,050 kgf. Sendo a normal conhecida, o coeficiente de atrito foi facilmente calculado. Tomemos os gráficos do experimento com a superfície aço inox e atrito interno como exemplo (Fig.12 e 13).

Com base no parágrafo anterior chegamos aos valores das forças respectivamente, 1,400kgf e 2,200kgf. A normal, previamente conhecida, é respectivamente 4,974 e 5,058kg. Portanto o coeficiente de atrito:

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{1,400}{4,974} = 0,281 *$$

*** Coeficiente de atrito na superfície de aço inox**

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{2,200}{5,058} = 0,435 *$$

*** Coeficiente de atrito interno**

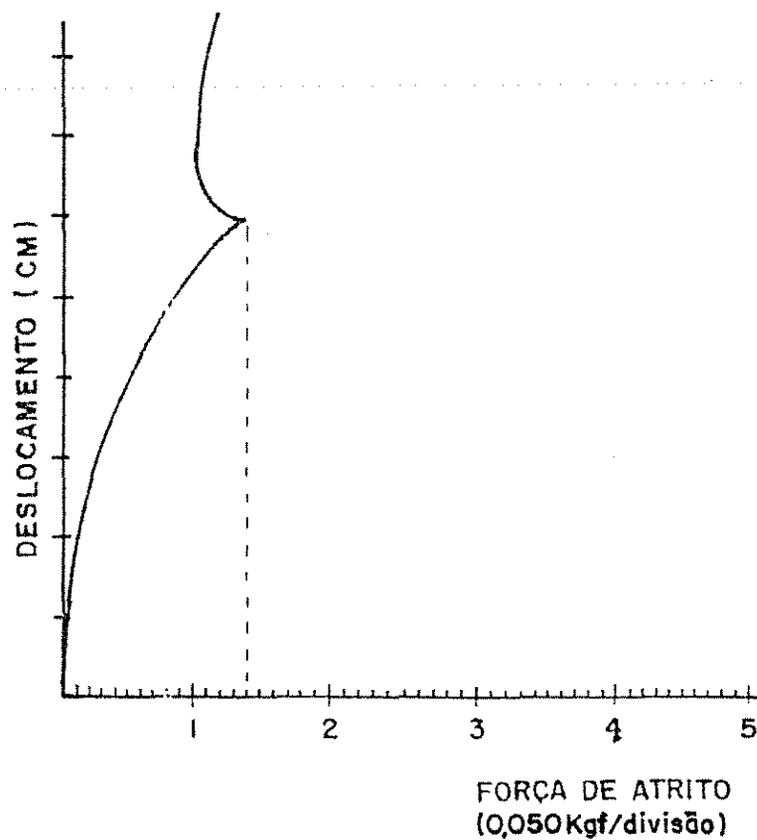


FIGURA 12 · GRÁFICO CARACTERÍSTICO DE FORÇA DE ATRITO X DESLOCAMENTO PARA A CANOLA, VARIEDADE ICIOLA 41 COM 7,03% DE UMIDADE (b.u.), PARA SUPERFÍCIE DE AÇO-INOX.

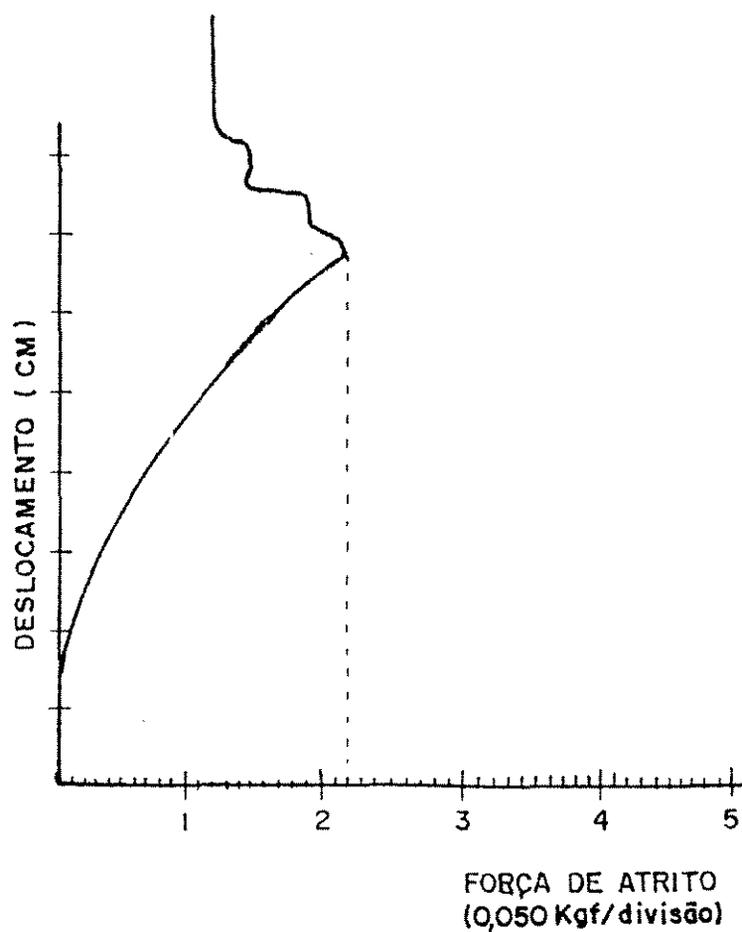


FIGURA 13 - GRÁFICO CARACTERÍSTICO DE FORÇA DE ATRITO X DESLOCAMENTO PARA A CANOLA, VARIEDADE ICIOLA 41, COM 7,03% DE UMIDADE (b.u.), ATRITO INTERNO.

KUKELKO et al.(1988) obtiveram, para canola com 7,5% de umidade, coeficiente de atrito de 0,25 para chapa galvanizada com aço; madeirite - 0,54; concreto - 0,57; atrito interno - 0,41. Para variedade Iciola 41 neste trabalho, com 7,3% de umidade, foram obtidos os seguintes valores: chapa galvanizada - 0,251; próximo ao encontrado pelos autores, madeirite - 0,402, abaixo; concreto - 0,453, abaixo; alumínio - 0,351; abaixo; atrito interno 0,444, próximo; mas diferente dos valores obtidos por VERDIANI et al (1996), utilizando a mesma variedade de canola.

Estatisticamente houve diferença significativa entre os tipos de superfície pelo teste de F a 1% de significância. Pelo teste de Tukey a 5% de significância verificou-se que o maior coeficiente de atrito foi, em ordem decrescente; concreto, atrito interno, madeirite, que não diferiram entre si, e em seguida alumínio, aço inox e chapa galvanizada.

8.3 CONCLUSÃO

Os Valores médios para o coeficiente de atrito da canola, variedade Iciola-41, foram: concreto – 0,453; Atrito Interno – 0,444; Madeirite – 0,402; Alumínio – 0,351; Aço Inox – 0,261 e Chapa Galvanizada – 0,251.

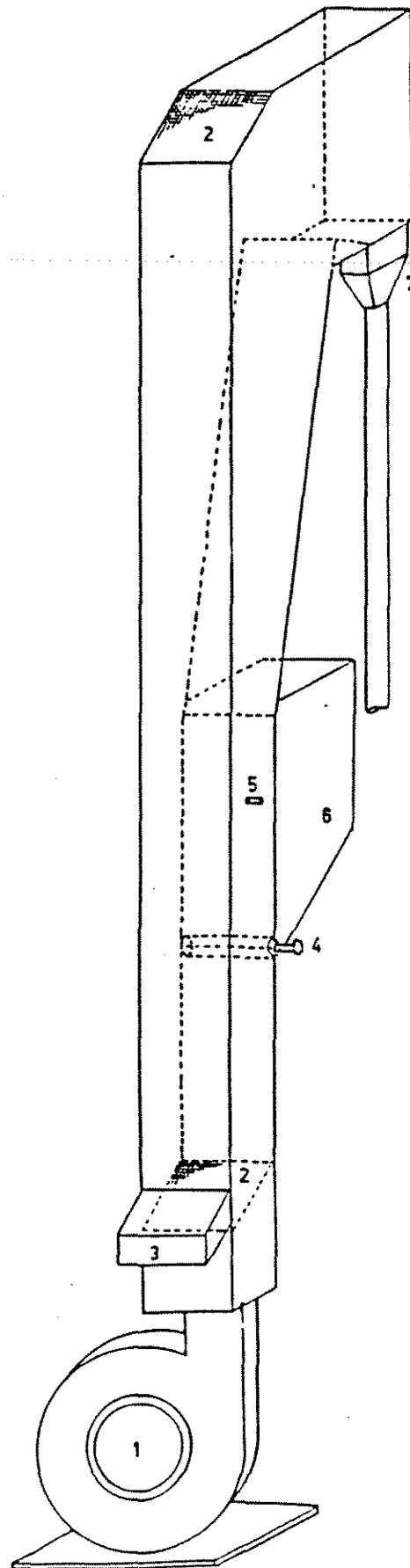
9. VELOCIDADE TERMINAL

9.1 MATERIAL E MÉTODOS

9.1.1 MATERIAL

Para a determinação desta propriedade foi utilizado um aparelho que foi construído na Faculdade de Engenharia Agrícola, da UNICAMP (Fig.14).

O aparelho consiste, basicamente, em uma coluna vertical de seções transversais de forma retangular, construída de acrílico, o que permite a visualização do fenômeno. Nessa coluna pode ser injetado o fluxo de ar através de um ventilador centrífugo (marca JOMAR, tipo FT2, 1 CV, 2,2 amperes, 3520 RPM e 220/380 volts), fluxo esse que pode ser regulado pelo aumento ou diminuição da tomada de ar do ventilador. A alimentação de grãos é feita pela parte inferior da coluna, sendo o fluxo regulado manualmente por um sistema de pás rotativas que impede o escape de ar pelo tubo de alimentação. Na parte intermediária da coluna vertical há adaptações para serem inseridos tubos de “pitot” para a determinação da velocidade dos ar (BENEDETTI, 1987). A velocidade do ar foi determinada através do “pitot” com capacidade de medida até 4572 cm/s. Para pesagem foi utilizada uma balança semi analítica marca STANTON.



- 1- ventilador centrífugo
- 2- tela
- 3- saída do produto
- 4- registro de entrada do produto
- 5- adaptação para o tubo "Pitot"
- 6- depósito do material
- 7- saída do material leve

Figura 14. (Fonte: LEITÃO (1983)) Esquema da coluna pneumática para separação e determinação da velocidade terminal.

9.1.2 MÉTODOS

Foi procurado na coluna de vidro de acrílico, o ponto de equilíbrio para as amostras dos grãos, submetidos ao fluxo de ar, regulando-se a entrada de ar do ventilador. Cada amostra foi constituída de cinqüenta gramas de canola. No momento em que o equilíbrio for alcançado, a velocidade do ar foi calculada, com base na leitura do "pitot" adaptado ao aparelho.

Foram realizadas dez repetições. A temperatura do ar foi medida no momento do experimento.

Essa velocidade terminal experimental foi comparada com a velocidade terminal teórica, que foi obtida com base nas características físicas do produto e nas características do ar.

Para o cálculo da velocidade terminal teórica foi tomado cinqüenta grãos do produto ao acaso e foram medidas as duas dimensões características (considerando que o diâmetro d_2 e d_3 são iguais). Os mesmos grãos foram pesados (Quadro 18).

Baseando-se nas dimensões foi calculado o diâmetro equivalente, definido por MOHSENIN (1970) como.

$$Deq = (d_1 d_2 d_3)^{\frac{1}{3}} \quad (14)$$

onde:

Deq - diâmetro equivalente, em cm .

d_1, d_2, d_3 - as três dimensões do grão, em cm.

Considerando o grão como uma esfera, o diâmetro equivalente para o cálculo da área projetada, definida por MOHSENIN (1970), como:

$$A_p = \frac{\pi}{4} Deq^2 \quad (15)$$

onde:

A_p - área projetada, em cm^2

As médias dos valores da massa do grão, do diâmetro equivalente foram utilizadas nas equações (6) e (8).

Os dados de velocidade terminal e experimental foram analisados estatisticamente: média, desvio padrão e coeficiente de variação.

9.2 RESULTADO E DISCUSSÃO

O Quadro 17 apresenta os dados experimentais da velocidade terminal da canola.

Quadro 17. Dados experimentais de velocidade terminal da canola, variedade Iciola-41.

Repetição n.º	Velocidade terminal		
	pés/minuto	cm/m	cm/s
1	1200,0	36576,0	609,6
2	1300,0	39624,0	660,4
3	1250,0	38100,0	635,0
4	1200,0	36576,0	609,6
5	1200,0	36576,0	609,6
6	1250,0	38100,0	635,0
7	1200,0	36576,0	609,6
8	1200,0	36576,0	609,6
9	1250,0	38100,0	635,0
10	1200,0	36576,0	609,6
Média			622,30
Desvio padrão			7,96
CV (%)			2,89

Para o cálculo da velocidade terminal teórica foram utilizados os valores apresentados no Quadro 18. O valor de $g = 979\text{cm/s}^2$ foi extraído de JORGE (1977).

As características do ar, densidade e viscosidade, foram extraídas de PERRY & CHILTON (1980) levando em consideração os valores da temperatura. A densidade do fluido (ar) utilizada nos cálculos foi de $\rho_f = 0,0012928 \text{ g/cm}^3$.

Quadro 18. Dados utilizados para o cálculo da velocidade terminal teórica.

Produto	Deq (cm)	Ap (cm)	m (g)	T (°C)	ρ_p (g/cm ³)	μ_{ar} (poiser)
Canola	0,148	0,171	0,0026	22	1,183	0,00017

Esses dados foram utilizados na equação (8) com os valores de CRE^2 , C e RE, encontrados em HENDERSON & PERRY (1970) chegamos ao valor de C e RE teórico. Pela equação (6) foi calculada a velocidade terminal teórica (V_u). Os resultados para CRE^2 , C e RE são apresentados no Quadro 19.

Quadro 19. Velocidade terminal teórica (V_u), CRE^2 , C e RE teórico, para a canola.

Produto	CRE^2	C	RE teórico	V_u (cm/s)
Canola	274×10^3	0,495	959	681,52

A faixa apresentada pelo número de Reynolds indicou, para nosso experimento, correspondente às velocidades terminais em regime laminar.

Nota-se que a velocidade terminal teórica foi maior que a velocidade terminal experimental. Isto pode ser explicado, em parte, pelo fato de que para o cálculo da velocidade terminal teórica os grãos foram considerados uma esfera, com a utilização de seu diâmetro equivalente, o que implicaria em uma rotação dos grãos em torno de si mesmo, com possíveis desvios para a velocidade terminal experimental.

Outro fator, foi a determinação da velocidade terminal experimental com grande quantidade de grãos, enquanto que a velocidade terminal teórica era determinada com base na medidas do grão individualmente.

9.3 CONCLUSÕES

O coeficiente aerodinâmico de arraste, C , foi 0,495.

O fluxo de ar, correspondente às velocidades terminais, apresentou regime laminar.

A velocidade terminal experimental apresentou o valor médio de 622,30 cm/s.

A velocidade terminal teórica foi calculada em 681,52 cm/s.

10. PERDA DE CARGA

10.1 MATERIAL E MÉTODOS

10.1.1 MATERIAL

Para a determinação desta grandeza foi utilizado um equipamento construído na Faculdade de Engenharia Agrícola (Fig. 15) e que consiste basicamente de duas partes adaptadas a um ventilador.

Ligada a saída do ventilador (marca JOMAR, tipo FT2, ICV, 2,2 ampéres, 3600 rpm e 220 volts), está uma coluna de madeira, de secção transversal, acoplada em um plenum com um pequeno silo de PVC de diâmetro 18,2 cm, com alturas já determinadas de 15 cm a 55 cm onde é colocado o produto. Através de um manômetro em "U" determina-se a perda de carga ao atravessar a camada. Ao final do aparelho há uma adaptação para que o ar passe por um anemômetro, registrando a velocidade.

Com base nesses dados e utilizando as recomendações da *American Society of Agricultural Engineers* (1977), foi estabelecida a equação matemática que descreve o fenômeno, através do método dos mínimos quadrados, e o gráfico com a representação dos dados experimentais .

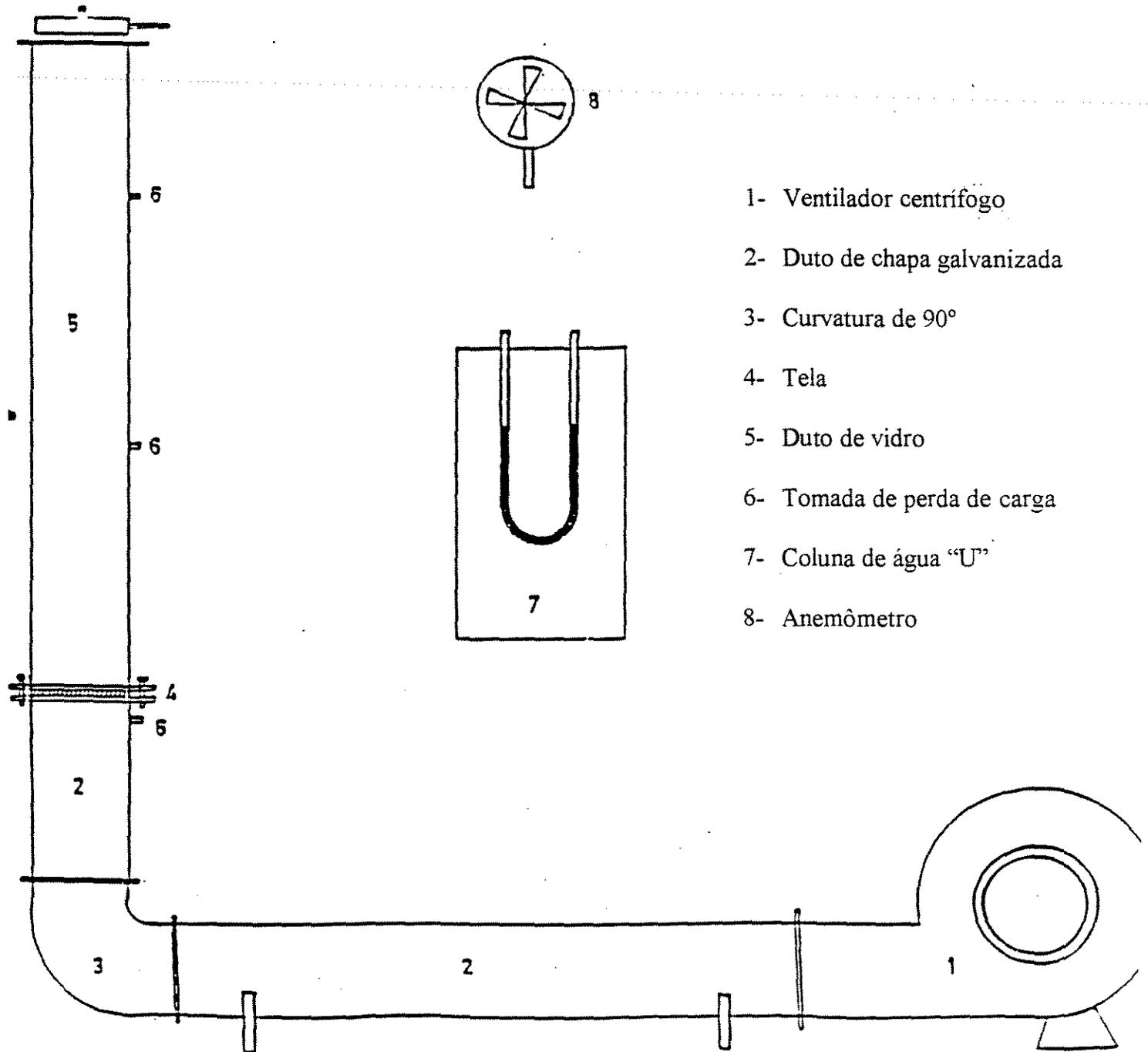


Figura 15. (Fonte: LEITÃO (1983)) Esquema do equipamento para determinação da perda de carga.

10.1.2 MÉTODOS

Foi colocada uma camada de 55 cm do produto no equipamento descrito anteriormente, variando a vazão de ar fornecida pelo ventilador, tomando-se oito pontos, que representaram toda a faixa de variação possível. Para cada ponto considerado foi medida a velocidade do ar emergente da camada do produto e a perda de carga do fluxo do ar ao atravessar essa camada.

Foram realizadas cinco repetições, com oito vazões cada.

Através dos dados obtidos foram construídos os gráficos, e testada a equação de SHEED.

10.2.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os quadros 20 a 24 apresentam os resultados experimentais da perda de carga.

Quadro 20. Valores experimentais para o cálculo da perda de carga da canola, variedade Iciola-41

1ª repetição

Velocidade do ar(m/s)	Velocidade do ar(pés/min)	ΔP (cm H ₂ O)	ΔP (pol. H ₂ O)	Fluxo (pés ³ /min)	$\Delta P/H$ (Pol.H ₂ O/pés)
0,80	158,40	12,00	4,68	178,99	2,57
0,85	168,30	13,00	5,07	190,18	2,76
0,98	194,04	15,00	5,85	219,42	3,21
1,05	207,90	17,00	6,63	234,43	3,64
1,10	219,78	18,00	7,02	248,36	3,86
1,15	227,70	19,00	7,41	257,30	4,07
1,19	235,62	20,00	7,80	262,86	4,26
1,21	239,58	21,00	8,19	270,73	4,50

Área do silo: 1048,28 cm² 1,13 pés²

Altura da canola: 55cm 1,82 pés

Umidade da canola: 7,03%

Quadro 21. Valores experimentais para o cálculo da perda de carga da canola, variedade Iciola-41.

2ª repetição

Velocidade do ar(m/s)	Velocidade do ar(pés/min)	ΔP (cm H ₂ O)	ΔP (Pol. H ₂ O)	Fluxo (Pés ³ /min)	$\Delta P/H$ (Pol.H ₂ O/pés)
0,83	164,34	12,30	4,80	185,70	2,64
0,93	184,14	13,50	5,27	208,08	2,90
0,99	196,02	15,00	5,85	221,50	3,21
1,06	209,88	16,50	6,44	237,16	3,54
1,20	221,76	17,50	6,83	250,59	3,75
1,16	229,68	18,50	7,22	259,54	3,97
1,19	235,62	19,30	7,58	266,26	4,16
1,20	237,60	19,50	7,61	268,49	4,18

Área do silo: 1048,28 cm² 1,13 pés²
 Altura da canola: 55 cm 1,82 pés
 Umidade da canola: 7,03%

Quadro 22. Valores experimentais para o cálculo da perda de canola, variedade Iciola 41.

3ª repetição

Velocidade do ar(m/s)	Velocidade do ar (pés/min)	ΔP (cm H ₂ O)	ΔP (Pol. H ₂ O)	Fluxo (Pés ³ /min)	$\Delta P/H$ (Pol.H ₂ O/pés)
0,79	156,42	12,30	4,80	176,75	2,64
0,89	176,22	14,50	5,66	199,13	3,11
0,95	188,10	15,30	5,97	212,55	3,28
1,00	198,00	16,30	6,36	223,74	3,49
1,04	205,92	17,00	6,63	232,69	3,64
1,10	217,80	18,30	7,13	246,11	3,92
1,13	223,74	19,00	7,41	252,83	4,07
1,14	225,72	19,10	7,45	255,10	4,09

Área do silo: 1048,28 cm² 1,13 pés²
 Altura da canola: 55 cm 1,82 pés
 Umidade da canola: 7,03%

Quadro 23. Valores experimentais para o cálculo da perda de carga da canola, variedade Iciola 41.

4° repetição

Velocidade do ar (m/s)	Velocidade do ar (pés/min)	ΔP (cm H ₂ O)	ΔP (Pol. H ₂ O)	Fluxo (Pés ³ /min)	$\Delta P/H$ (Pol.H ₂ O/pés)
0,78	154,44	12,20	4,76	174,52	2,62
0,89	176,22	14,50	5,66	199,13	3,11
0,93	184,14	15,10	5,89	208,10	3,24
0,99	196,02	16,30	6,36	221,50	3,49
1,05	207,90	17,40	6,77	234,93	3,72
1,08	213,84	17,80	6,94	241,64	3,81
1,12	221,76	18,50	7,22	250,59	3,97
1,13	223,74	19,10	7,45	252,83	4,09

Área do silo: 1048,28 cm² 1,13 pés²
 Altura da canola: 55 cm 1,82 pés
 Umidade da canola: 7,03%

Quadro 24. Valores experimentais para o cálculo da perda De carga da canola, variedade, Iciola - 41.

5° repetição

Velocidade do Ar (m/s)	Velocidade do ar (pés/min)	ΔP (cm H ₂ O)	ΔP (Pol. H ₂ O)	Fluxo (Pés ³ /min)	$\Delta P/H$ (Pol.H ₂ O/pés)
0,79	156,42	12,40	4,84	176,75	2,66
0,84	166,32	14,20	5,54	187,94	3,04
0,93	184,14	15,00	5,85	208,08	3,21
0,99	196,02	16,20	6,32	221,50	3,47
1,10	217,80	16,90	6,59	245,21	3,62
1,12	221,76	18,30	7,14	250,59	3,92
1,13	223,74	19,00	7,41	252,83	4,10
1,14	225,72	19,20	7,49	255,10	4,12

Área do silo: 1048,28 cm² 1,13 pés²
 Altura da canola: 55 cm 1,82 pés
 Umidade da canola: 7,03%

Esses dados foram utilizados para a construção dos gráficos, de forma similar ao gráfico da *American Society of Agricultural Engineers*, a fim de verificar se os nossos dados se enquadram dentro de uma equação do tipo $Q=aP^b$ (Fig. 16)

Esse modelo pode ser transformado em:

$\text{Log } Q = \log a + b \log P$, ou seja, uma linha reta em papel di-log.

O Quadro 25 mostra os valores das constantes da equação de Seed

Quadro 25. Constantes da equação de Sheed

$$Q = aP^b$$

Repetições n°	a	b	Equação	r	Significância (%)
1	87,297	0,770	$Q=87,297P^{0,770}$	0,998	0,1
2	89,536	0,772	$Q=89,536P^{0,772}$	0,995	0,1
3	77,446	0,847	$Q=77,446P^{0,847}$	0,998	0,1
4	74,302	0,877	$Q=74,302P^{0,877}$	0,999	0,1
5	70,141	0,929	$Q=70,141P^{0,929}$	0,973	0,1

De acordo com a literatura, MUIR & SINHA (1986); JAYAS et al.(1981) utilizaram a equação de Sheed, para a determinação de perda de carga de canola e obtiveram ótimos coeficientes de correlação próximos de 1.

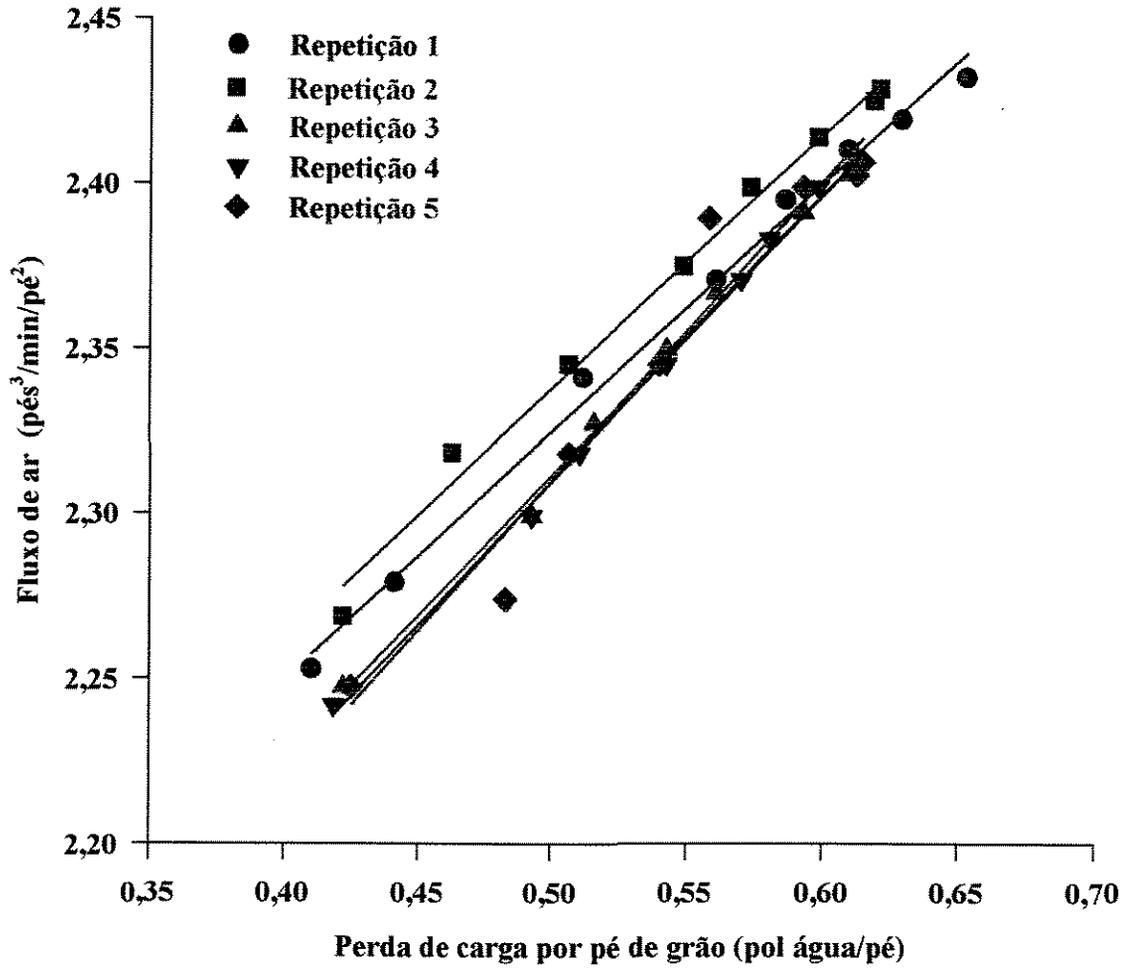


Figura 16. Curvas de perda de carga por repetição.

10.3 CONCLUSÃO

O modelo de Sheed para descrever matematicamente a perda de carga foi considerado bom para representar os dados, com coeficientes de correlação variando de 0,973 a 0,999; nível de significância de 0,1%.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAVAL, K. K & CLAND, P. Pressure drop across fixed beds of rough rice. *Transactions of ASAE*, St. Joseph, MI, v. 17, n. 3, p. 560-3, 1974.

ALAM, A & SHOVE, G. C. Hygroscopicity and thermal properties of soybeans. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, MI, v.16, n.4, p.707-9, 1973.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Resistance to air flow through grains and storage components. *ASAE Data: ASAE D272*. In: *Agricultural Engineers Yearbook*. 1977, p.397.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. *ASAE Standards* 1985. Am. Soc. Agric. Eng., St. Josep, Mich., 1985.

BAIER, A. C. Colza. *Globo Rural*, p. 76-79, ago. 1990.

BENEDETTI, B. C. *Influência do teor de umidade sobre as propriedades físicas de vários grãos*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1987, 125 p. (Dissertação de mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola - (FEAGRI/UNICAMP).

BICKERT, W. G & BUELOW, F. H. Kinetic friction of grains or surfaces. *Transaction of the ASAE*. St. Joseph, MI, v.9, n.1, p.129-131, 1966.

BROWNE, D. A. Variation of the bulk density of cereals with moisture content. *J.Agric. Eng. Res.*, London, v.7, n.4, p.288-290, 1962.

BROOKER, D. B. , BAKKER - ARKEMA, F. W & HALL, C. W. *Drying cereal grains*. Westport, Conn., AVI Pub., 1974. 265 p.

BUHR, N. Mechanical pressing. In: ERICSON, D. R., ed *Edible fats and oils processing: basic principles and modern practices*, Champaign, Illinois, American OIL chemist's Society, 1990. v. 3, p. 43-48.

CANOLA COUNCIL OF CANADA, *Canola Growers Manual (Grow with Canola)*. Canadá: Main Street, Winnipeg, Manitoba. p. 301-433, Fev. de 1992.

CARRARO, M. I. Canola uma oleaginosa de inverno. *Informativo ABRATES*, Cascavél, n. 2, p. 13-14, 1993.

CHEN, C. S. & CLAYTON, J. T. The effect of temperature on sorption isotherms of biological materials. *Transactions of the ASAE*, St Joseph, MI, v.14, n.5, p. 987-989, 1971.

CHUNG, D. S & PFOST, H.B. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. *Transactions of the ASAE*, St Joseph, MI, v.10, n.4, p. 549-557, 1967.

CLARK, R. L & McFARLAND, H. A. Granular materials friction apparatus. *Transactions of the ASAE*. St. Joseph, MI, v.16, n.6, p. 1198-1199, 1973.

COOPERATIVA DE CAFEICULTORES E AGROPECUARISTAS DE MARINGÁ. *Canola : Informações Gerais*. COCAMAR-Paraná, 1996, 45p.

Counselor and ATTACHE Reports. Official Statistics, USDA Estimates, set. 1998.

CORDEIRO, João Amaro B. (Coord). *Curso de armazenagem de grãos*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 1987. 134p. Convênio UNICAMP/FEAGRI/ SILOGRANEL, 1987.

DALCOMO, E. L. *Coefficiente de atrito de forrageiras picadas em várias superfícies*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1980, 70p. (Dissertação de mestrado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, (FEA/FEAGRI UNICAMP).

DAUN, J. K. The relation between rapessed chlorophyll, rapessed oil chorophyll and percentagen green seeds . *Journal of the American Oil Chemit's Society*, v.59, n.1, p.15-18, 1982.

- DAUN, J.K & BUSHUK, W. Oilseeds grading-quality control in oilseeds marketing. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. v.61, n.6, p.1117-1122, 1984.
- DAUN, J.K & BUSHUK, W. Rapessed. In: *Wolff Handboob of processing and utilization and agriculture*, v.1, p. 257-292 (1982).
- DICK, J. Canola oil processing requirements. In: LUSAS, E. W.; HERNANDEZ, E.; WATKINS, L, *Processing of vegetable oils*, College Station, Texas: A & M. University, 1993.
- DUNSTAN, E. R. , CHUNG, D . S. & HODGES, T. O. Adsorption and desorption characteristics of grain sorghum. *Transactions of the ASAE*, St . Joseph, MI, v.16, n.4, p. 667-70, 1973.
- FAO. - Dietary fats and oil in human nutrition. *FAO Foods and Nutrition series 20* . Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 1980.
- FOWLER, R. T & WYATT, F. A. The effect of moisture content or the angle of repose of granular solids. *Austr. J. Chem. Eng.* , p. 5-8, Jun. 1960.
- FRANCO, C.M.. Estudo sobre a conservação de sementes. *Bragantia*, Campinas, SP, v.3: p. 137-50, 1943.
- GRIMALDI, R. *Adequação tecnológica para extração e refino do óleo de canola/colza*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1994, 93 p. (Dissertação de mestrado)- Faculdade de Engenharia de Alimentos – (FEA- UNICAMP).
- HAWK, A. L. , BROOKER, D. B & CASSIDY, J. J. Aerodynamic characteristics of seleted farm grains. *Transactions of ASAE*. St joseph, MI, v.9, n. 1, p.48-51, 1966.
- HENDERSON, S. M. A. basic concept of equilibrium moisture. *Agric. Eng.*, St Joseph, MI, v. 33,n.1, p. 29-33, 1952.
- HENDERSON, S. M & PERRY, R. L. *Agricultural process engineering*. 2. ed. S.l.p., S. c.p. , cl966, 1970. 430p.
- JAYAS, D.S. et al Airflow resistance of Canola (rapessed) . *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.30 ,n.5, p.1484- 1488, 1987.

- JAYAS, D.S. , SOKHANSANJ,S.& WHITE, N.D.G. Bulk density and porosity of two Canola species. *Transactions of the ASAE*, v.32,n.1, p.291-294,1989.
- JORGE, J. T. *Determinação de algumas propriedades físicas e mecânicas da soja, variedade Santa Rosa*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1977. 173 p. (Dissertação de mestrado)- Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, (FEA/FEAGRI,UNICAMP).
- KRAMER, H. A. Factors influencing the desing of bulk storage bins for rough rice. *Agric. Eng.*. St. Joseph, MI, v. 25, n.12, p. 463-466, 1944.
- KUKELO, D. A & JAYAS, D. S. & WHITE, D. G. et al. Physical properties of canola (rapeseed) meal. *Canadian agricultural Engineering*, v. 30, n. 1, p. 61-64, Jan. 1988.
- LEITÃO, A. M. *Algumas propriedades físicas e mecânicas da pimenta do reino preta, variedade Kalluvally*. Campinas:Universidade Estadual de Campinas, 1983, 109 p. (dissertação de mestrado)- Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola (FEA/FEAGRI, UNICAMP).
- MOHSENIN, N. N. Physical properties of agricultural products. *Transactions of ASAE*. St. Joseph, MI, v. 8, n.1, p. 25-9, 1965.
- MOHSENIN, N. N. *Physical properties of plant and animal materials*. New York, Gordon and Breach Science, 1970. v.1, 734 p.
- MUIR, W. E. & SINHA, R. N. Theoretical rates of flow of air at near – ambient conditions required to dry rapeseed. *Canadian Agricultural Engineering*, v. 28, n.1, p.45-49, Jan,1986.
- MUIR, W.E. & SINHA, R.N. Physical properties of cereal and oilseed cultivars grown in western Canda. *Canadian Agricultural Engineering*, v. 30, p. 51-55,1988.
- NGODDY, P.O. & BAKKER- ARKEMA, F. W . A. generalized theory of sorption phenomena in biological materials (Part I - The isotherm equation). *Transactions of the ASAE*, St Joseph, MI, v.13, n.5, p. 612-17, 1970
- PATTERSON, H. B. W. *Handling and storage of oilseeds,oils, fats and meal*. Elsevier Science Publishers , England, 1989. 394 p.

- PATTERSON, R. J. , BAKKER-ARKEMA, F. W. & BICKERT, W. G. Static pressure air flow relationships in packed beds of granular biological materials such as grain. *ASAE*. - n. 69 -334, 1969.
- PERRY, R. H. & CLILTON, C. H. *Manual de Engenharia Química*. Rio de Janeiro, Guanabara dois, 1980. Iv. (paginação irregular).
- PICKARD, M. D. Quality and processing distinctions of canadian oil processing. In: *American Oil Chemists Society Meeting*, 80. , Cincinnati, Ohio, May 3-6 1989.
- PRITCHARD, J.R, Oilseed quality requirements for processing. *Journal of the American Oil Chemists Society* v.60, n.2, p.322-332, 1983.
- PUZZI, D. *Abastecimento e armazenagem de grãos* . São Paulo: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 603p.
- RECCO, Rogério. Canola já é cultura de expressão mundial. *Jornal de Serviço COCAMAR Maringá* , mar. 1993.
- RICHTER, D. W. Friction coefficients of some agricultural materials. *Agric. Eng.*. St. Joseph, MI, v.35, n.6, p. 411-3, 1954.
- ROA, G. & ROSSI, S. J. Determinação experimental de curvas de teor de umidade de equilíbrio. *Rev. Brasil. de armazenamento*, Viçosa, MG, v. 2, n.2,p. 17-22, 1977.
- ROBERTO, J. G. Departamento operacional de grãos. Cooperativa de cafeicultores e Agopecuaristas de Maringá -, Nov. de 1998.
- ROSSI, S. J. , FIORESE, R. , CAVALCANTE, V. M. S. & FARIAS, H. R. Curvas de teor de umidade de equilíbrio e calor latente de vaporização para castanhas de cajú e raspas de mandioca. *Rev. Brasil. De Armazenamento*, Viçosa , MG, v. 6, n. 2, p. 5-10, 1981.
- SHEDD, C. K. Resistance of grains and seeds to air flow. *Agricultural Engineering*. v. 34, n. 9, p. 616-619, 1953.
- SHEDD, C. K. Some new data on resistance of grains to air flow. *Agricultural Engineering*. v.2, n. 9, p. 493-495, 1951.

SILVA, I. J. O. *Perda de pressão em grãos de arroz em casca (Oriza sativa L.) e milho (Zea mays) em função do teor de umidade, nível de impureza, altura da camada e taxa de fluxo de ar.* Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1992, 74 p. (Dissertação de mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, (FEA UNICAMP).

SNYDER, L. H., ROLLER, W. L & HALL, G. E. Coefficients of kinetic friction of wheat on various metal surface. *Transactions of the ASAE*. St. Joseph, MI, v.10, n. 3, p. 411-413, 419, 1967.

STROHMAN, R. D. & YOERGER, R. R. A. New equilibrium moisture content equation. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, MI, v.10, n .5, p.675-677, 1967.

THOMAS, A. Desired quality attributes in winter and summer rapeseed. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v.59, n.1, p.1-6, 1982.

TOSELLO, A. Equipamento experimental para determinação do coeficiente de atrito de grãos; atrito interno e atrito com paredes de diversos materiais; em conjulgação com o equipamento Instron Universal. *Ciência e Cult. Supl.*. São Paulo, v. 27, n. 7, p. 491, 1975.

TOSELLO, A. & JORGE, J. T. Equipamento experimental para a determinação do ângulo de talude. *Ciência. e Cult. Supl.*. São Paulo, v. 28, n. 7, p. 852, 1976.

UNGER, E. H. Commercial processing of canola and Rapeseed : crushing and oil extraction. In: SHAHIDI, F. ,ed. *Canola and rapeseed: production, chemistry, nutrition and processing technology*. New York: Van Nostrand Reinhold,1990. Chap. 14, p. 235-249.

VAISEY-GENSER,M. & ESKIN, N.A. M. *Canola oil – properties and performance*. Ottawa, Ed. Dawn F.G, Harris, 1989,p.50.

VERDIANI, S. A. T. , GODOI, L. F. G., PARK. K. J. Propriedades Físicas de Sementes de Canola (variedade Iciola 41) produzidas no Estado do Paraná / Brasil. *Engenharia Rural*, Piracicaba, v. 7, único, p. 23-32, dez. 1996.

VLES, R. O. & GOTTENBOS, J.J. Nutritional characteristics and food uses vegetable oils. In: ROBBELEN, G. ; DOWNEY, R. K. and ASHRI, A. ed, *Oils Crops of the Word*. New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1989. Chap.4, p.63-86.