

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA

Setembro - 1977

"DETERMINAÇÃO DE ALGUMAS PROPRIEDADES
FÍSICAS E MECÂNICAS DA SOJA, VARIEDADE SANTA ROSA"

JOSÉ TADEU JORGE

Eng. de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. André Tosello

Tese de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia de Ali-
mentos e Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

A meus pais, que ajudaram a
construir o meu mundo e a
fazer dele algo de útil, de
dico esta tese.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. André Tosello, pela orientação segura, paciente e objetiva.

Ao Prof. Dr. Sérgio Roberto Dall'Oca, pelas expressivas e úteis sugestões.

Ao Prof. Dr. José Luis Vasconcelos da Rocha, pelo apoio, incentivo e colaboração, nos momentos mais difíceis.

Ao Prof. Dr. Gonzalo Roa Mejia, pelas sugestões apresentadas.

Ao Prof. Dr. Leopold Hartman, pela colaboração na tradução para o inglês, do resumo.

Ao Sr. Dagoberto Favoreto Junior, pela dedicada assistência nos trabalhos de laboratórios.

A todos que auxiliaram e tornaram possível a realização desse trabalho.

3.2.2. Velocidade terminal.....	27
3.2.3. Perda de carga....	29
3.2.4. Coeficientes de atrito.....	30
3.2.5. Fluxo de escoamento.....	30
3.2.5.1. Influência da altura.....	30
3.2.5.2. Influência do tamanho do grão e da área de abertura.....	31
3.2.6. Umidade de equilíbrio.....	31
3.2.7. Resistência à compressão.....	32

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análises iniciais.....	35
4.2. Velocidade terminal.....	38
4.3. Perda de carga.....	41
4.4. Coeficientes de atrito.....	43
4.5. Fluxo de escoamento.....	57
4.6. Umidade de equilíbrio.....	68
4.7. Resistência a compressão.	80

5. CONCLUSÕES

5.1. Velocidade terminal.....	161
5.2. Perda de carga.....	161
5.3. Coeficientes de atrito.....	161
5.4. Fluxo de escoamento.....	162
5.5. Umidade de equilíbrio.....	163
5.6. Resistência à compressão..	164
BIBLIOGRAFIA.....	166
APÊNDICE.....	173

RESUMO

Soja (*Glycine max* (L.) Merr) é um importante produto da agricultura brasileira e a variedade Santa Rosa representa cerca de 70% da produção total de soja do nosso país.

O conhecimento das propriedades físicas é a base para uma sólida infra estrutura de colheita, armazenagem e alguns processamentos da matéria prima. Essas propriedades poucas vezes foram determinadas para as variedades brasileiras.

Visando incentivar a pesquisa nesse campo, o presente trabalho procurou estudar mais detalhadamente algumas propriedades físicas e mecânicas da soja variedade Santa Rosa. Dessa maneira, nosso estudo envolveu a determinação da velocidade terminal, perda de carga, coeficientes de atrito com superfícies, coeficiente de atrito interno, fluxo de escoamento, umidade de equilíbrio e uma análise do comportamento dos grãos de soja quando submetidos a forças de compressão. Aos dados obtidos procurou-se sempre aplicar análises matemáticas e estatísticas para melhor caracterização e descrição dos fenômenos.

Sempre que possível os dados foram comparados com os da literatura existente para outras variedades e outros produtos.

O conteúdo global do trabalho pode oferecer dados de interesse e amplas aplicações práticas para as operações que vão desde a colheita da matéria prima até a sua transformação para consumo, na forma de alimento ou ração.

SUMMARY

Soya (*Glycine max* (L.) Merr) is an important product of the Brazilian agriculture and the variety Santa Rosa accounts for about 70% of our country's total production.

The knowledge of physical properties forms a basis for a solid infra structure of harvest, storage and some processing of the raw material. These properties have been determined only in few cases for Brazilian varieties.

With the purpose of stimulating research in this field, the present work involved a detailed study of some physical and mechanical properties of soya, Santa Rosa variety. Accordingly our study included the determination of terminal velocity, pressure drop, coefficients of friction with surfaces, coefficients of internal friction, flow characteristics, equilibrium humidity and analyses of the behaviour of soya grains when subjected to compression forces. Care was taken to apply always to the data mathematical and statistical analyses in order to obtain a better characterisation and description of the phenomena.

Wherever possible, the data obtained were compared with those reported in the literature for other varieties and other products.

The present work may offer data of interest and wide practical applications for operations starting with the harvesting of the raw material up to its transformation for the consumer market in form of food or rations.

1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento da produção agrícola está provocando, no Brasil, sérios problemas relativos à colheita e ao armazenamento. Além disso, muitos processamentos são realizados sem o conhecimento prévio de características importantes da matéria prima.

A preocupação de inúmeros centros de pesquisa em todo o mundo é, presentemente, determinar as características físicas e mecânicas dos produtos biológicos, que possuem comportamento diverso na maioria dos casos, dos produtos não biológicos.

Essas características, se bem conhecidas, contribuiriam para uma mais completa racionalização e programação dos métodos de colheita, armazenamento e processamento de matérias primas.

Para os produtos agrícolas brasileiros, as pesquisas nesse campo são praticamente inexistentes e em muitos casos utilizamo-nos de dados de produtos similares de outros países que nem sempre são os mais corretos e adequados.

O presente trabalho procura estudar algumas propriedades físicas e mecânicas da soja, cultivar Santa Rosa, incentivando e abrindo possibilidades para futuras pesquisas nesse campo, de primordial importância técnica e econômica.

A escolha da soja justifica-se pelo enorme crescimento de sua produção e pelo excepcional papel que desempenha nas exportações brasileiras. A variedade Santa Rosa representa cerca de 70% da produção total de soja em nosso país.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A IMPORTÂNCIA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS BIO LÓGICOS.

Até 1965, mesmo nos países mais desenvolvidos, o estudo das propriedades físicas era esparso e ocasional. Nesse ano, Moshenin (38) procurou despertar o interesse dos pesquisadores para esse campo, sintetizando as características importantes que precisavam ser determinadas, fazendo referências aos poucos trabalhos já existentes. Destaque especial era dado as propriedades mecânicas e reológicas.

A importância das propriedades físicas foi depois descri
ta por vários autores em seus trabalhos destacando-se: Arnold and Roberts (5), Fiscus et al (23), Alam and Shoves (2), Hoki and Pickett (33), Hall (27), Steele (57), Hoag (32) e Pausen (46).

Atualmente, reconhecida a necessidade de se conhecer as propriedades físicas dos produtos biológicos, intensificam-se as pesquisas nesta área.

2.2. COEFICIENTES 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 contacto. Quando a su
perfície de contacto é formada pelos próprios grãos, temos o cha

mado atrito interno, cujo coeficiente recebe também essa especificação.

As leis que descrevem o fenômeno foram primeiramente descritas por Coulomb e posteriormente adequadas aos produtos biológicos por Sherwood, em 1951.

Dois coeficientes de atrito são considerados para os produtos biológicos: o primeiro é o coeficiente de atrito estático, determinado pela força que inicialmente vence a oposição ao movimento. Após o vencimento desta força, o movimento processa-se com uma determinada velocidade, não deixando de existir o atrito entre os corpos. O atrito dos corpos em movimento é regido pelo coeficiente de atrito dinâmico e varia com a velocidade desses corpos (39).

Os métodos utilizados para a determinação desses coeficientes são os mais variados. Um deles é baseado no ângulo formado por um plano inclinado quando o movimento do produto em contacto com esse plano inicia-se. A tangente desse ângulo é o coeficiente de atrito estático. Esse método foi primeiramente utilizado por Kramer (35), trabalhando com arroz. Após esse trabalho, outros pesquisadores usaram o método para cereais, café e frutas.

Outro método empregado consiste em mover através de um motor a superfície que está em contacto com a matéria prima, sendo que um registrador de força está ligado à estrutura que contém a matéria prima. Esse método foi utilizado para feno, palha e grãos nos trabalhos de Richter (51) e Stewart et al (58).

Método semelhante foi usado para estudar os coeficientes de atrito de vários grãos com superfícies, nos trabalhos de:

Bickert and Buelow (9), milho e cevada em contacto com aço e madeira compensada; Brubaker and Pos (12), milho, soja, trigo, cevada e aveia com diferentes umidades, em contacto com concreto, polietileno, madeira, chapa galvanizada e aço; Snyder et al (56), trigo com várias superfícies.

Alguns métodos menos utilizados são descritos por Moshenin (39).

Clark et al (16) propuseram a utilização do aparelho Instron Universal para a determinação de coeficientes de atrito. O procedimento sugerido permitia a obtenção dos coeficientes de atrito estático e dinâmico, baseados nos gráficos fornecidos pelo aparelho.

Esse método foi modificado por Tosello (59), ainda utilizando o aparelho Instron Universal, mas com o acoplamento de um sistema mais prático de contacto do grão com a superfície ou com o próprio grão.

A influência da força normal nos valores de coeficientes de atrito foi estudada por Buelow (9), Snyder et al (56) e Richter (51). Em todos estes trabalhos a conclusão é da não influência desse valor nos resultados dos coeficientes de atrito, dentro dos limites por eles estudados.

2.3. FLUXO DE ESCOAMENTO

Define-se fluxo de escoamento à quantidade de produto que escoar por uma abertura, num determinado intervalo de tempo.

Ewalt e Buelow (22) apresentaram um estudo sobre o fluxo

de escoamento de grãos através de diferentes tipos de aberturas e com os grãos estando em níveis diferentes de umidade. O fenômeno foi matematicamente equacionado para cada caso.

Ketchum (34) afirma que o fluxo de escoamento varia proporcionalmente ao cubo do diâmetro da abertura.

Beverloo et al (8) desenvolveram também uma equação para fluxo de sólidos e comparou-a com outras desenvolvidas anteriormente. A complexidade dessas equações tornam bastante difícil o seu manuseio para uma utilização mais prática. Essa equação é utilizada por Moshenin (39) para o cálculo do fluxo de escoamento de soja.

Resnick et al (50) fez um estudo a respeito da influência da altura de produto existente em um silo no fluxo de escoamento, concluindo que o fluxo independe dessa altura, o que não acontece com os líquidos.

2.4. UMIDADE DE EQUILÍBRIO

Quando a pressão de vapor da água no grão iguala-se a pressão de vapor da água no ar, temos um equilíbrio que determina o teor de umidade existente na matéria prima.

Com a variação da umidade relativa do ambiente há consequentemente uma alteração na pressão de vapor da água no ar, aumentando esta com o aumento da umidade relativa.

Assim sendo, para cada umidade relativa há uma umidade de equilíbrio para um produto considerado. Esse fator, que também sofre influência da temperatura, é fundamental na realização de um

bom e seguro sistema de armazenamento.

Os produtos que chegam a umidade de equilíbrio por caminhos distintos apresentam diferença no valor final. Assim, o produto que absorve água possui umidade de equilíbrio menor do que a do produto que dessorve água. A explicação desse fenômeno é apresentada por Young e Nelson (64) e Ngoddy e Bakker-Arkema (43).

Henderson (30) sugere a seguinte equação para descrever as curvas de umidade de equilíbrio:

$$1 - \phi = e^{-kTM^n}, \text{ onde:}$$

ϕ = umidade relativa, em decimal

T = temperatura, em graus rankine

M = umidade do produto, base seca, %

k e n = constantes que dependem do produto.

Esta equação, muito utilizada, foi experimentada por Travaglini e Tosello (61) para as curvas de umidade de equilíbrio de café, apresentando bons resultados para café despulpado e beneficiado, e resultados regulares para café em côco.

Chen (14), analisando as curvas de equilíbrio de cevada, sorgo e milho, procurou equações matemáticas que descrevessem o fenômeno. O mesmo objetivo marcou os trabalhos de Dunstan et al (21) com sorgo e de Young (65) com amendoim.

Berry e Dickerson (7) determinam curvas de umidade de equilíbrio, a várias temperaturas, para aveia, milho, soja, ovo em pó e ração para frangos. Chen e Clayton (15) analisam matemati

camente a influência da temperatura na umidade de equilíbrio pesquisando com milho.

Alam e Shove (2) analisam métodos para a determinação das curvas, sugerindo o uso de sais para o controle da umidade relativa e apresentando dados para a soja. Franco (24) utiliza soluções de ácido sulfúrico para o controle da umidade relativa do ambiente, para a determinação de curvas de umidade de equilíbrio.

2.5. CARACTERÍSTICAS AERODINÂMICAS

A perda de carga do fluxo de ar é a perda de pressão que o ar sofre ao atravessar uma camada do produto; é, pois, uma medida da resistência que o fluxo de ar encontra ao atravessar determinada camada do produto.

Shedd (52 e 53) trata de alguns equipamentos para determinar a perda de carga através de camadas de grãos e outros produtos biológicos, bem como faz uma análise de alguns fatores que influenciam na perda de carga (54). Sugere ainda, uma fórmula para relacionar a perda de pressão com o fluxo de ar, descrita matematicamente por

$$Q = a P^b$$

onde: Q = fluxo de ar; pés cúbicos por minuto por pé quadrado

P = perda de pressão por pé de grão; em polegadas de água

a e b = constantes.

Essa fórmula descreve as curvas apresentadas pela American Society of Agricultural Engineers (3). Essas curvas experimentais

são utilizadas para o cálculo de ventiladores para secagem, aer
ção e expurgo. Nessas curvas, a unidade do produto está consignaa
da para uma orientação do projetista.

Crane e Carleton (18) apresentam uma aplicação prática da
perda de carga no transporte pneumático de grãos.

Day (20) estuda a influência da umidade e do peso especí
fico da alfafa na perda de carga apresentada por esse produto. Ra
be e Currence (49) estudam a influência da umidade e da altura da
camada.

Agrawal e Chand (1) analisam vários fatores influentes na
perda da carga de arroz e Steele (57) de amendoim.

Patterson et al (45) estudam 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.

Outra característica aerodinâmica de importância no apro
veitamento de grãos é a velocidade terminal.

Uma partícula em queda livre, em uma corrente de ar ascen
dente, está sujeita a três tipos de forças: a gravitacional, a de
resistência e a devida ao empuxo do ar.

Quando a velocidade da partícula for nula, essas forças
estarão em equilíbrio e a velocidade do ar será a velocidade ter
minal para essa partícula.

Temos, então:

peso - empuxo = força resistente

$$(V_p \gamma_p - V_p \gamma) - F = M (dv/d\theta)$$

Por definição:

$$F = C (v^2/2g) \gamma A$$

Logo:

$$V_t = \sqrt{\frac{2 m g (\gamma_p - \gamma)}{C A \gamma_p \gamma}} \quad (I)$$

Onde:

V_t = velocidade terminal, m/s

g = aceleração da gravidade, m/s²

m = massa da partícula, kg

γ_p = peso específico da partícula, kg

γ = peso específico do fluido, kg/m³

A = área projetada da partícula, m²

C = coeficiente aerodinâmico de arraste.

O coeficiente C depende tanto da velocidade como do número de Reynolds; e as formas irregulares das partículas mostram uma distinta relação entre o coeficiente de arraste e o número de Reynolds (Re).

$$Re = \frac{D \cdot V \cdot \gamma}{\mu} \rightarrow V = \frac{Re \cdot \mu}{D \cdot \gamma} \quad (II)$$

Combinando (I) e (II):

$$CRe^2 = \frac{2 \text{ g m D}^2 \gamma (\gamma_p - \gamma)}{\mu^2 A \gamma_p} \quad (III)$$

sendo:

μ = viscosidade do ar

D = diâmetro médio da partícula.

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 (39).

A velocidade terminal é característica indispensável para estudar-se a possibilidade de separação de produtos e impurezas, bem como para calcular ventiladores para o transporte pneumático.

Ull e Lamp (62) apresentam um estudo a respeito dessas possibilidades para trigo, milho, soja e aveia. Harris et al (28) fazem experimentos para o projeto de um transportador pneumático de feno.

Garrett e Brooker (26) determinam os coeficientes de ar raste para milho, trigo e aveia, bem como as grandezas que neles influem.

Hawk et al (29) e Bilanski et al (11) apresentam valores de velocidade terminal para diversos produtos biológicos, inclusive soja. Conceição Pinheiro et al (17) apresentam valores de velocidade terminal para soja, variedade UFV-1.

Tosello (60) sugere um equipamento para a determinação experimental da velocidade terminal e de transporte, para grãos e farinhas.

2.6. COMPRESSÃO

O estudo do comportamento dos materiais biológicos sujeitos à forças de compressão vem ganhando interesse nos últimos anos, devido às inúmeras situações práticas que representam.

Para frutas, uma série de trabalhos tem sido publicados, visando correlacionar as características mecânicas com as sensoriais, na avaliação da qualidade do produto. Pode-se destacar Fridley e Adrian (25) e Miles et al (37). Chappel e Hamann (13) e Mohsenin et al (41) que analisam as propriedades mecânicas relacionadas com a colheita de maçãs.

No caso de grãos, poucos trabalhos tem sido publicados, merecendo análise e citação. Arnold e Roberts (5) e Arnold e Mohse nin (6) que propuseram teorias para o comportamento de grãos de trigo submetidos a compressão. Este último trabalho propõe fórmulas matemáticas para a determinação do módulo de elasticidade, quando o produto está sujeito a vários tipos de compressão. Shelef e Mohsenin (55) trabalharam com milho para determinar suas características mecânicas quando sujeitos a compressão.

Os trabalhos citados não se preocuparam em determinar pontos críticos do comportamento dos grãos quando submetidos ao tipo de força considerado.

Essa preocupação está presente no trabalho de Zoerb e Hall (66) que estudaram o comportamento do milho, trigo e amendoim sob compressão lenta, a diferentes níveis de umidade; consideraram ainda a influência da velocidade de aplicação da força e da posição do grão. Bilanski (10) estudou a resistência da semente a danos,

quando submetidas a forças de compressão, a diferentes níveis de umidade e posição do grão. Analisou as influências do tamanho, posição e umidade do grão na sua resistência. Segundo esse trabalho, as sementes maiores requerem maior trabalho para causar danos do que as sementes menores. Esse trabalho apresenta dados para soja, entre outros produtos. Narayan e Stout (42) estudaram as características de feijão branco submetido a forças de compressão quase estáticas, utilizando o equipamento Instron. Segundo esse trabalho, o produto apresenta uma umidade ótima de resistência. Prasad e Gupta (48) analisaram a influência da umidade e da velocidade de aplicação da força nos pontos críticos do comportamento de arroz integral quando submetido a compressão. Analisaram grãos com teores de umidade variando de 12 a 24% e chegaram à conclusão de que a força de ruptura diminui com o aumento da umidade e que a deformação sofrida pelo produto atinge um máximo nos grãos com mais ou menos 15% de umidade.

Mohsenin e Göhlich (40) fizeram uma análise das técnicas e equipamentos que podem ser utilizados para o estudo das propriedades mecânicas de frutas e vegetais.

Baseada nesses trabalhos, a American Society of Agricultural Engineers (4) estabeleceu uma recomendação para a metodologia a ser empregada em estudos nesse campo. Esse trabalho, analisa e define alguns pontos importantes para o estudo das características dos produtos biológicos, quando submetidos a compressão.

Estas análises baseiam-se na curva típica força x deformação, apresentada por esses produtos quando da aplicação de for

ças de compressão (gráf. 1).

Os pontos do gráfico, citados na recomendação são:

- a) biofalha: ponto onde um acrêscimo na deformação resulta em um decrêscimo ou manutenção no valor da força;
- b) inflexão: ponto onde a curva apresenta uma mudança de concavidade;
- c) ruptura: ponto caracterizado por um constante decrêscimo da força, devido a quebra do produto.

Seguindo essas recomendações, Paulsen (46) analisou a influência da velocidade de aplicação da força, da posição e da umidade dos grãos, nos valores de força e deformação de sementes de soja, submetidas a força de compressão, no ponto de biofalha. Concluiu que a força necessária para iniciar a ruptura da semente de cresce com o aumento da umidade, no intervalo de 8 a 17%.

No mesmo intervalo, a deformação aumenta com o aumento da umidade e a posição menos resistente a compressão é aquela em que o hilo está vertical. Outra conclusão apresentada é que as sementes menores possuem maior resistência a quebra do que as maiores.



GRÁFICO 1. Curva típica força x deslocamento, apresentada por um produto biológico, quando submetido a força de compressão, destacando os pontos mais importantes do fenômeno.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATERIAL

3.1.1. A Soja

A matéria prima utilizada, era semente recém colhida, pertencente a variedade Santa Rosa e fornecida pela Fazenda Santa Eliza, pertencente ao Instituto Agrônômico de Campinas, da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo.

As sementes de soja estavam livres de impurezas e em condições boas para a utilização. Sessenta quilos desta matéria prima foram levados ao laboratório de Matérias Primas Agropecuárias da Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, local onde se realizaram os experimentos.

3.1.2. Equipamentos

3.1.2.1. Velocidade terminal

Para a determinação desta grandeza foi utilizado um aparelho construído nas oficinas da Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola (fig. 1).

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 um fluxo de ar através de um ventilador centrífugo (marca JOMAR,



FIGURA 1. Equipamento utilizado para determinação da velocidade terminal.

tipo FT2, 1 CV, 2,2 amperes, 3600 rpm e 220/380 volts), fluxo es se que pode ser regulado pelo aumento ou diminuição da tomada de ar do ventilador. A alimentação de grãos é feita pela parte infe rior da coluna, sendo o fluxo regulado manualmente por um sistema de pás rotativas que impedem o escape de ar pelo tubo de alimentaç ão. Na parte intermediária da coluna vertical há adaptações para serem inseridos tubos de "pitot" para a determinação da velocidade do ar.

3.1.2.2. Perda de carga

Esse equipamento, também construído na Faculdade de Engen haria de Alimentos e Agrícola, consiste basicamente de duas par tes adaptadas a um ventilador (fig. 2).

Ligada à saída do ventilador (marca JOMAR, tipo FT2, 1 CV, 2,2 amperes, 3600 rpm e 220/380 volts), está uma coluna de madeii ra, de secção transversal retangular variando de 144,00 a 756,25 cm^2 ; e de altura igual a 60,0 cm. Ao fim dessa parte de madeira, uma outra coluna de acrílico, de secção transversal ret angular constante, de 756,25 cm^2 e altura de 57,5 cm, é encaixada. Nessa coluna, que possui um fundo perfurado, é colocado o produto que vai ser estudado. Há uma régua que permite a medida da altura do produto que está colocado, bem como adaptações para introdução de "pitots" que permitirão determinar a perda de carga do fluxo de ar ao atravessar a camada. Ao final do aparelho há uma adaptação para que o ar passe por um anemômetro, registrando a velocidade.



FIGURA 2. Equipamento utilizado nos experimentos para determinação da perda de carga.

3.1.2.3. Coeficientes de atrito

O equipamento consiste numa caixa retangular sem fundo, construida de acrílico, cujas dimensões são as seguintes: 12,9 cm x 14,6 cm x 8,3 cm.

Essa caixa é dotada de rodinhas que visam diminuir o atrito com qualquer superfície que esteja contactada. A uma das extremidades está adaptada, através de uma roldana, um sistema para aplicação de forças. Esse simples equipamento é colocado sobre a superfície que se quer estudar e no interior da caixa a matéria prima considerada fica diretamente em contacto com a superfície, que é mantida fixa. Através da aplicação de forças ao sistema podemos determinar os coeficientes de atrito com superfícies e a influência da força normal (fig. 3).

Para o estudo do coeficiente de atrito interno utiliza-se um equipamento semelhante, substituindo-se a superfície por uma outra caixa contendo soja (fig. 4).

3.1.2.4. Fluxo de escoamento.

Para a realização deste experimento foi construido um silo de madeirite, possuindo uma altura de 200 cm, de secção transversal quadrada, de 20 cm de lado (fig. 5).

Na parte inferior desse silo de laboratório, existe um sistema de encaixe para as diversas áreas de abertura a serem estudadas. Essas aberturas ($4,00\text{ cm}^2$; $12,25\text{ cm}^2$; $28,09\text{ cm}^2$; $56,25\text{ cm}^2$ e $90,25\text{ cm}^2$) foram construidos em acrílico, permitindo uma boa



FIGURA 3. Vista da determinação de coeficientes de atrito com superfícies.



FIGURA 4. Vista da determinação do coeficiente de atrito interno.

visualização do escoamento na saída do silo (fig. 6). O ângulo de inclinação nas aberturas é de 40°.

3.1.2.5. Umidade de equilíbrio

A realização desta parte da pesquisa exigiu o preparo de soluções de ácido sulfúrico. O reagente utilizado foi da "Carlo Erba", tendo densidade igual a 1,84 g/ml. O ambiente controlado era constituído por dessecadores de vidro, de tamanho médio, da Pyrobras e o produto foi acondicionado em cadinhos de alumínio (fig. 7).

3.1.2.6. Instron, modelo 1130

Para a aplicação das forças de compressão aos grãos de soja, bem como para a determinação dos coeficientes de atrito foi utilizado o aparelho Instron Universal.

Esse equipamento é constituído basicamente de duas partes: um mecanismo de direção, que move, em sentido vertical uma célula de carga, por meio da ação de duas roscas sem fim, com velocidades variáveis de 0,05 a 50 cm/min.; e um sistema de registro de força, em função do deslocamento, com várias velocidades para o papel de gráfico.

Para a determinação de coeficientes de atrito, utiliza-se um acessório na forma de gancho, que é rosqueado à célula de carga do conjunto aplicador de força. A esse gancho é preso o sistema descrito anteriormente para a determinação dos coeficientes de atrito (fig. 8).



FIGURA 5. Silo de madeirite utilizado nos experimentos para deter
minação do fluxo de escoa
mento.



FIGURA 6. Detalhe da "boca" de escoamento, construi
da em acrílico, para boa vizualização do
fenômeno.



FIGURA 7. Vista do experimento para determinação das curvas de umidade de equilíbrio.

Quando o equipamento é utilizado para o estudo da compressão, a célula de carga é rosqueado outro acessório composto por uma haste metálica e uma superfície plana na extremidade. Na parte inferior do aparelho, coloca-se outra superfície plana que servirá de suporte para a amostra a ser colocada para o teste (fig. 9).

3.1.2.7. Outros equipamentos

Durante a realização dos experimentos foram utilizadas as seguintes balanças: Dayton, de capacidade igual a 25 kg em divisões de 10 g; Cozzolino, de capacidade igual a 2 kg em divisões de grama em grama e Sartorius, analítica de precisão com quatro casas decimais e capacidade igual a 200 g.

Para as determinações de umidade foi usada uma estufa Fanem Ltda, modelo 315/4.

Nas determinações da velocidade terminal utiliza-se um "pitot" da F.W. Dwyer Manufacturing Co. com capacidade de medidas até 50 mm H₂O. Esse mesmo "pitot" e mais o anemômetro Georg Rosewüller, de capacidade máxima de 100 m/min, foram utilizados nas determinações de perda de carga.

As medidas de tempo foram realizadas com um cronômetro marca Hanhart, de divisões de 1/5 de segundo.

As variações de temperatura e umidade relativa foram registradas por um termohigrógrafo OTA. Esse equipamento registra temperaturas na faixa de -15°C a 40°C e umidade relativa de 0 a 100%.

Para efetuar a separação por tamanho, da matéria prima,



FIGURA 8. Aparelho Instron Universal, com acessório na forma de gancho, utilizado nas determinações dos coeficientes de atrito.

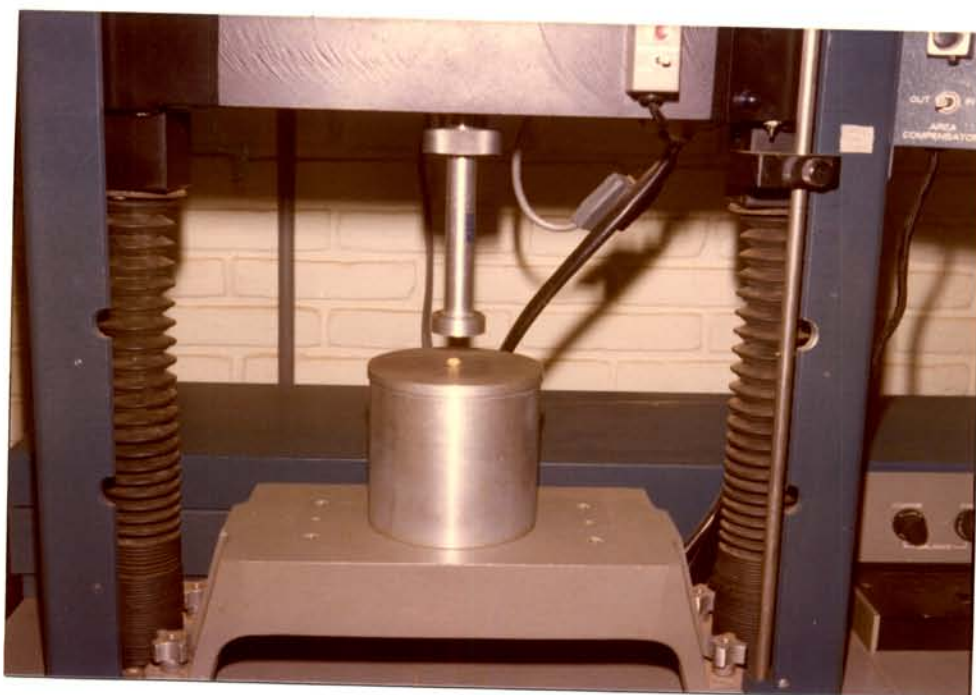


FIGURA 9. Aparelho Instron Universal, com acessório para os ensaios de resistência à compressão.

foi utilizado um conjunto de peneiras, com amplitude de oscilação de 1,5 cm e 360 rpm, aproximadamente.

As dimensões dos grãos de soja foram determinadas com um paquímetro Mitutoyo, com precisão de centésimo de milímetro.

No estudo da resistência de grãos de soja a compressão, foi utilizado o computador da Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola PDP 10/11.

Diversas vidrarias foram usadas no decorrer dos experimentos.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Preparo das amostras

A soja, variedade Santa Rosa, foi primeiramente classificada por tamanho e caracterizada através de seus pesos específicos, real e aparente, pela sua umidade e pela sua distribuição nas peneiras.

O peso específico aparente foi determinado pelo método oficial (63), verificando-se o peso de soja que cabe em uma vasilha padrão de volume igual a um litro, depois que o produto escoar livremente através de um funil.

Para a determinação do peso específico real utilizou-se o princípio de Archimedes: 300 gramas de soja eram colocadas em uma proveta graduada e 500 ml de água eram adicionadas. Pelo volume de água deslocada calculava-se o peso específico real.

A umidade do produto foi sempre determinada com base nas recomendações oficiais da A.O.A.C.

A classificação por tamanho, bem como a separação baseada nessa característica, foram feitas por meio de uma série de peneiras vibratórias. 300 gramas de soja eram colocadas no equipamento e sujeitas a vibração por 3 minutos.

Após esse tempo, as quantidades retidas em cada peneira eram pesadas e calculada a peneira média, baseada na fórmula abaixo:

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^{20} i P_i}{\sum_{i=1}^{20} P_i}, \text{ onde}$$

P_m = peneira média

P_i = peso do produto retido na peneira i

i = número da peneira

3.2.2. Velocidade terminal

Na coluna transparente, procurou-se o ponto de equilíbrio para os grãos de soja, sujeitos ao fluxo de ar, regulando-se a entrada de ar do ventilador. Essa determinação de equilíbrio foi visual e considerada para 50 g do produto sujeitos ao fluxo de ar. No instante em que o equilíbrio é alcançado, a velocidade do ar é calculada com base na leitura do "pitot" adaptado ao aparelho.

Essa velocidade terminal determinada experimentalmente foi comparada com a que se consegue teoricamente, baseada nas características físicas do produto, como peso específico real e dimensões, e nas características do ar, viscosidade e peso específico.



FIGURA 10. Detalhe da coluna para de
terminação da velocidade
terminal, permitindo a vi
sualização do equilíbrio
da soja sujeita ao fluxo
de ar.

Para o cálculo da velocidade terminal teórica tomou-se dez grãos de soja, ao acaso, e individualmente mediu-se as três dimensões características. Com base nesses diâmetros calculou-se o diâmetro equivalente, definido por

$$d_{eq} = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3}, \text{ onde}$$

d_{eq} = diâmetro equivalente

d_1 , d_2 e d_3 = as três dimensões do grão.

Os mesmos grãos foram também pesados. A área projetada do grão (A) foi calculada com base no diâmetro equivalente, considerando-se o grão como uma esfera. As médias desses valores foram utilizadas nas equações (I) e (III).

3.2.3. Perda de carga.

Utilizando-se uma camada de 20,0 cm de soja no equipamento descrito anteriormente, variou-se a vazão de ar fornecida pelo ventilador, tomando-se vários pontos que representam toda a faixa de variação possível. Para cada ponto considerado mediu-se a velocidade do ar emergente da camada de soja e a perda de carga do fluxo de ar ao atravessar essa camada.

Com base nesses dados e utilizando as recomendações da American Society of Agricultural Engineers (3), estabeleceu-se a equação matemática que descreve o fenômeno, através do método dos mínimos quadrados, e o gráfico com a representação dos dados experimentais.

3.2.4. Coeficientes de atrito

Ao sistema de determinação de coeficientes de atrito foi conectado o aparelho Instron Universal.

A força aplicada foi registrada graficamente. A velocidade de aplicação dessa força foi de 20 cm/min e a velocidade da carta de registro foi de 100 cm/min.

Com base nos gráficos pode-se determinar o valor da força inicial de deslocamento e o da força após o deslocamento ter início. As relações dessas forças com as normais aplicadas são respectivamente os coeficientes de atrito estático e dinâmico.

Os experimentos foram realizados com diversos valores para a força normal (5,470 kg; 6,850 kg e 8,400 kg), visando comprovar a constância dos valores dos coeficientes de atrito.

Foram utilizadas as seguintes superfícies: duratex, chapa galvanizada, madeira, alumínio e azulejo. Foi determinado ainda o coeficiente de atrito interno.

3.2.5. Fluxo de escoamento.

3.2.5.1. Influência da altura.

Utilizou-se, nesta parte do experimento, a matéria prima na forma de bica corrida, isto é, sem separação por tamanho. Com uma determinada abertura ($12,25 \text{ cm}^2$), variou-se a altura de soja que era colocada no silo e mediu-se o fluxo de escoamento para cada uma das alturas utilizadas.

Foram usadas as seguintes alturas de soja, variedade Santa Rosa: 200 cm, 180 cm, 160 cm, 140 cm, 120 cm, 100 cm, 80 cm, 60 cm, 40 cm e 20 cm.

A soja existente nessas alturas foi pesada e o tempo necessário ao escoamento foi medido. Assim, calculou-se o fluxo de escoamento para cada caso, em kg/h.

3.2.5.2. Influência do tamanho do grão e da área de abertura.

A matéria prima foi separada em três tamanhos, correspondentes as peneiras 16/64", 15/64" e 14/64". Foi usada também soja na forma "bica corrida".

Para cada tamanho dos grãos de soja, variou-se a abertura de escoamento, determinando-se o fluxo em cada caso, pela relação entre a massa escoada e o tempo gasto no processo.

Com os dados obtidos, tentou-se o equacionamento matemático das variáveis estudadas, tentando meios de prever teoricamente as grandezas estudadas numa aplicação prática.

3.2.6. Umidade de equilíbrio.

Esta parte do trabalho visa determinar a umidade de equilíbrio atingida pela soja em diferentes valores de umidade relativa do ar.

Partindo de soja a 4% de umidade (base seca) podemos construir uma curva de equilíbrio de umidade, em função da umidade relativa do ambiente, equilíbrio esse atingido por um processo de

absorção de água por parte da matéria prima. Por outro lado, se partirmos de soja com 20% de umidade (base seca), chegaremos ao equilíbrio, nas diferentes umidades relativas, através da perda de água para o ambiente (desorção).

Amostras de soja a 4 e 20% de umidade foram colocadas em ambientes com umidade relativa controlada, à temperatura ambiente que foi registrada por um termohigrógrafo.

As umidades relativas utilizadas variaram de 10 a 90%, com intervalos de 10%. A obtenção dessas umidades relativas foi realizada através de soluções de ácido sulfúrico.

Os ambientes eram constituídos por dessecadores, no interior dos quais as amostras de soja foram colocadas.

Controlou-se a perda ou ganho de peso até que se atingiu o equilíbrio, momento em que a umidade final foi calculada.

Com esses dados construiu-se a curva de umidade de equilíbrio, em função da umidade relativa do ambiente e estabeleceu-se uma equação matemática para descrever o fenômeno, através do método dos mínimos quadrados.

3.2.7. Resistência à compressão.

Nessa parte da pesquisa estudou-se as características do grão de soja quando submetido a forças de compressão entre duas superfícies planas. O estudo envolveu a influência da umidade, tamanho e posição do grão nos valores das grandezas consideradas.

Para tais experimentos os grãos foram colocados em diversos níveis de umidade, utilizando-se para isso soluções de ácido

sulfúrico para obter diversos valores de umidade relativa. Essa matéria prima de cada nível de umidade foi separada por tamanho, utilizando-se peneiras de furos circulares de 18/64" a 13/64". Dessa maneira para cada lote de grãos, a uma determinada umidade, foram coletados aleatoriamente 15 grãos de cada peneira.

Cada grão foi submetido primeiramente à determinação de seus três diâmetros característicos e posteriormente à força de compressão aplicada pelo aparelho Instron Universal. Foram estudadas três posições para a aplicação de forças: a posição de equilíbrio de um grão de soja, a posição em que o hilo está vertical e a em que o hilo está horizontal em relação ao plano de suporte do grão.

A velocidade usada para a aplicação da força foi 0,5 cm/min, enquanto que a velocidade da carta onde o gráfico foi registrado foi de 50 cm/min.

Dos gráficos foram retirados os seguintes valores: força e deslocamento no ponto de biofalha, no ponto de biorecrudescimento e no ponto de inflexão da força. Foi calculado ainda o valor do produto força x deslocamento nos pontos considerados.

As pressões exercidas sobre os grãos foram também calculadas. Essas pressões, variam ponto a ponto, pois a força e a área estão variando durante a compressão. Para a realização desses cálculos foi utilizado um computador PDP 10/11 que foi acoplado ao aparelho Instron Universal. Os dados de força e deslocamento obtidos na compressão eram registrados em fita pelo computador. Posteriormente, utilizando esses dados, o computador calculava a pressão máxima durante o experimento e o respectivo deslocamento. Para

isso o grão de soja era considerado como um parabolóide e as suas dimensões fornecidas ao computador (19).

Os dados finais, impressos pelo computador foram: força, deslocamento e área no ponto da biofalha, do biorecrudescimento e da inflexão da força; bem como a pressão máxima, com o deslocamento e a área correspondentes.

Com esses resultados, aplicou-se um teste estatístico de análise de variância (44) para analisar as influências da posição, umidade e tamanho do grão nas grandezas consideradas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISES INICIAIS

No mesmo dia do recebimento da matéria prima, soja, variedade Santa Rosa, determinou-se a umidade, peso específico aparente, peso específico real e peneira média. As tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentam esses resultados.

TABELA 1. Umidade inicial da soja.

nº amostra	Pc	Pc + Pu	Pu	Pc - Ps	Pu - Ps	Umidade (b.u.)
1	7,2593	9,4555	2,2362	9,2327	0,2628	11,75
2	7,4123	9,3851	1,9728	9,1594	0,2257	11,44
3	7,1876	9,2978	2,1102	9,0537	0,2441	11,58
4	7,0490	9,3951	2,2361	9,1368	0,2583	11,55
5	7,2236	9,2577	2,0341	9,0325	0,2252	11,07
Média:						11,48
desvio padrão:						0,25
coef. variação:						2,18%

TABELA 2. Peso específico aparente

nº amostra	peso soja + recipiente (g)	peso da soja (g)	peso específico aparente (g/ml)
1	859,5	753,0	0,753
2	854,5	748,0	0,748
3	859,0	752,5	0,752
4	836,5	730,0	0,730
5	845,0	738,5	0,738
média:			0,744
desvio padrão:			0,010
coef. variação:			1,33%
peso do recipiente = 106,5 g			
volume do recipiente = 1000 ml			

TABELA 3. Peso específico real

nº amostra	volume de água deslocado (ml)	peso específico real (g/ml)
1	270	1,111
2	265	1,132
3	270	1,111
4	265	1,132
5	265	1,132
média:		1,124
desvio padrão:		0,012
coef. variação:		1,02%
peso da soja = 300 g		
volume da água = 500 ml		

TABELA 4. Peneira média

Peneira	Amostras		
	1 peso (g)	2 peso (g)	3 peso (g)
19 (19/64")	4	5	4
18	17	20	15
17	36	38	35
16	65	68	56
15	98	97	101
14	56	56	58
13	19	12	25
12	4	3	5
11	1	1	1
Peneira			
média:	15,44	15,31	15,20
Peneira média $\approx$ 15/64"			

4.2. VELOCIDADE TERMINAL

TABELA 5. Dados obtidos e utilizados no cálculo da velocidade terminal teórica ($\approx 25^{\circ}\text{C}$)

nº amostra	massa (m) (g)	d1 (cm)	d2 (cm)	d3 (cm)	deq (cm)	área (A) (cm ²)
1	0,1786	0,598	0,706	0,682	0,660	0,3421
2	0,1822	0,592	0,730	0,670	0,662	0,3442
3	0,1773	0,560	0,746	0,682	0,658	0,3400
4	0,1809	0,568	0,680	0,642	0,628	0,3097
5	0,1832	0,580	0,768	0,702	0,688	0,3718
6	0,1764	0,608	0,682	0,674	0,654	0,3359
7	0,1791	0,578	0,664	0,632	0,624	0,3058
8	0,1798	0,552	0,708	0,634	0,628	0,3097
9	0,1830	0,592	0,736	0,674	0,664	0,3463
10	0,1806	0,582	0,792	0,664	0,674	0,3568
média:	0,1801				0,654	0,3362

umidade da soja = 10,22% (b.u.)

Com os dados médios da tabela 5, foi calculada a velocidade terminal teórica para os grãos de soja, utilizando-se ainda os seguintes dados:

$$\mu = 0,0181 \text{ centipoises (47) } (\approx 25^{\circ}\text{C})$$

$$\begin{aligned}\gamma &= 0,001293 \text{ g/cm}^3 \quad (47) \quad (\cong 25^\circ\text{C}) \\ \gamma_p &= 1,124 \text{ g/cm}^3 \\ g &= 979 \text{ cm/s}^2 \quad (*)\end{aligned}$$

Assim sendo, aplicando a equação (III), obtemos

$$CRe^2 = 17,5 \times 10^7.$$

Pelo relacionamento entre CRe^2 , C e Re (31), chegamos ao valor de $C = 0,45$ e número de Reynolds, $Re \cong 20.000$.

Calculando a velocidade terminal teórica pela equação (I), obtemos o valor de $V_t = 1425,54 \text{ cm/s}$.

A velocidade terminal experimental foi calculada com base nos valores de perda de pressão do fluxo de ar, pela equação

$$V_t = \sqrt{2 g h}$$

O valor de h (perda de pressão em mm de ar) foi obtido a partir da média de 10 repetições e seu valor, medido experimentalmente, foi $h = 15 \text{ mm H}_2\text{O}$.

A velocidade terminal experimental obtida foi $V_t = 1508,68 \text{ cm/s}$.

(*) Cálculo efetuado para Campinas pela fórmula:

$$g = 9,806056 - 0,025028 \cos \psi - 0,000003 h, \text{ onde } \psi \text{ é a latitude do local e } h, \text{ a altitude (36).}$$

Os valores da velocidade terminal teórica e experimental são bastante próximos, enquanto que o número de Reynolds obtido indica um regime turbulento para o fluxo.

Uhl e Lamp (62) apresentam uma faixa de 30 a 60 pés/s (914,40 a 1828,80 cm/s) para a velocidade terminal da soja, que nos parece exagerada. Nosso valor encontra-se quase no centro da faixa de variação citada. O valor de C encontrado por Uhl e Lamp está entre 0,30 - 0,65. O valor por nós encontrado situa-se, igualmente, quase no centro da faixa de variação.

Hawk et al (29) apresentam a faixa de 39,6 a 44,3 pés/s (1207,01 a 1350,26 cm/s) onde não se enquadra o valor por nós obtido. Apresentam ainda o coeficiente C variando na faixa 0,46 - 0,59, valores um pouco acima que o obtido em nossos experimentos.

Bilanski et al (11) apresentam o valor de 44,3 pés/s (1350,26 cm/s) para a velocidade terminal de soja e de 0,45 para o coeficiente C. O valor do coeficiente coincide exatamente com o que obtivemos, embora a velocidade terminal de nossa experiência seja um pouco maior.

Conceição Pinheiro et al (17) realizaram experimentos com soja, variedade UFV-1 e apresentam resultados para a velocidade terminal teórica de 1460 cm/s e para a velocidade terminal experimental de 1640 cm/s. O valor do coeficiente C apresentado é de 0,40. As velocidades obtidas nesse trabalho são levemente superiores aquelas registradas em nosso experimento, enquanto que o coeficiente de arraste é menor. Um ponto de coincidência nos dados desse trabalho e nos encontrados por nós é a existência do fluxo na região turbulenta.

4.3. PERDA DE CARGA

TABELA 6. Dados experimentais para a determinação da perda de carga.

Velocidade do ar (m/min)	Velocidade do ar (pés/min)	fluxo (pés ³ /min)	Δp (mm H ₂ O)	Δp (pol H ₂ O)	$\Delta p/H$ (pol H ₂ O/pé)
13	42,65	34,55	13,0	0,51	0,77
15	49,21	39,86	13,5	0,53	0,80
18	59,06	47,84	15,5	0,61	0,92
23	75,46	61,12	20,0	0,79	1,20
30	98,43	79,73	29,0	1,14	1,73
33	108,27	87,70	37,5	1,48	2,24
45	147,64	119,59	47,0	1,85	2,80
52	170,61	138,19	56,0	2,20	3,33
59	193,58	156,80	65,5	2,58	3,91
64	209,98	170,08	76,0	2,99	4,53
68	223,11	180,72	81,5	3,21	4,86

área do silo: 756,25 cm² = 0,81 pé²

altura de soja: 20 cm = 0,66 pé

umidade de soja: 10,22% (b.u.)

Esses dados foram utilizados para a construção do gráfico 2, de modo similar ao gráfico da American Society of Agricultural Engineers (3). Utilizou-se o modelo de Sheed (54) afim de verificar se os nossos dados se enquadram dentro de uma equação do tipo $Q = a P^b$.

Esse modelo pode ser transformado em:

$$\log Q = \log a + b \log P,$$

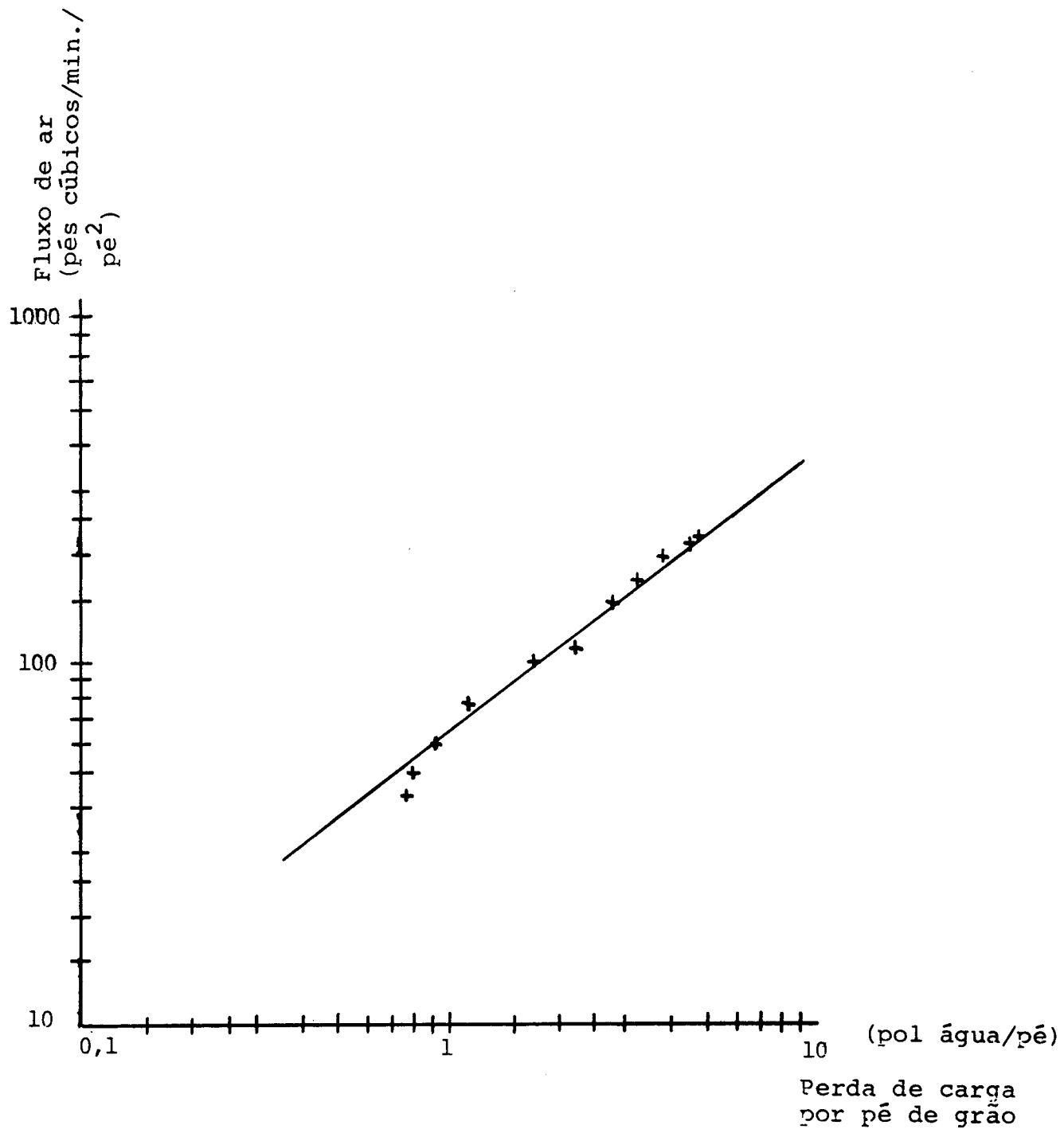


GRÁFICO 2. Perda de carga do fluxo de ar para a soja, variedade Santa Rosa.

ou seja, uma linha reta em papel di-log.

Aplicamos a regressão linear aos dados e obtivemos os seguintes valores para as constantes:

$$a = 62,813$$

$$b = 0,776,$$

ficando a equação: $Q = 62,813 P^{0,776}$, com raio de correlação igual a 0,907 e significância de 0,5% , o que indica a possibilidade da utilização do modelo de Sheed para a soja, variedade Santa Rosa.

4.4. COEFICIENTES DE ATRITO

O método utilizado para essas determinações apresenta os gráficos característicos, de 3 a 20.

Como se pode verificar, as diferentes superfícies apresentam gráficos diferentes. Na parte superior da curva, maior ou menor oscilação, é função da desuniformidade da superfície de contacto. Assim, os gráficos para determinação do coeficiente de atrito interno apresentam as maiores oscilações, devido a maior desuniformidade das superfícies formadas pelos grãos de soja. Por outro lado, quando a superfície é de azulejo, essas oscilações são sensivelmente diminuídas como se pode verificar no gráfico 3.

Pode-se notar ainda o aumento no valor da força, com o aumento no valor da normal aplicada.

Com base nos gráficos foram determinados os valores das forças de atrito. A escala máxima utilizada foi de 5 kg, assim cada divisão do papel de gráfico equivalia a 0,050 kg. Sendo a nor

mal conhecida, o coeficiente de atrito era facilmente calculado.

Para maior clareza apresentamos um exemplo. Tomemos o gráfico do experimento com a superfície de alumínio. Com base no exposto no parágrafo anterior, chegamos ao valor da força igual a 1,950 kg. A normal, previamente conhecida, era igual a 5,470 e portanto o coeficiente de atrito

$$\alpha = \frac{F}{N} = \frac{1,950}{5,470} = 0,356.$$

Clark e Mac Farland (16) apresentam um gráfico obtido utilizando o equipamento Instron Universal. O tipo de gráfico citado difere, em parte, dos obtidos em nossos experimentos. Isso porque não ficou clara a diferenciação que é feita no trabalho citado entre o atrito estático e o dinâmico. Na referência, a força de atrito estático caracteriza-se por situar-se como um pico no início do gráfico, quando o movimento tem início. Tal pico não foi conseguido em nossas experiências, talvez devido a velocidade de aplicação da força. Após esse ponto máximo a força oscila, mas em média é constante e definida por Clark e Mac Farland (16) como proveniente de um atrito dinâmico. Os autores não especificam a velocidade utilizada no equipamento Instron para os ensaios.

Assim sendo, achamos que, baseados em nossos gráficos, as forças de atrito estático são os picos das oscilações de força, enquanto que as forças de atrito dinâmico estariam nos outros pontos.

Brubaker e Pos (12) citam valores dos coeficientes de atrito estático para soja com madeira e folha galvanizada. Para madeira o valor apresentado varia de 0,29 a 0,44 dependendo da umidade.

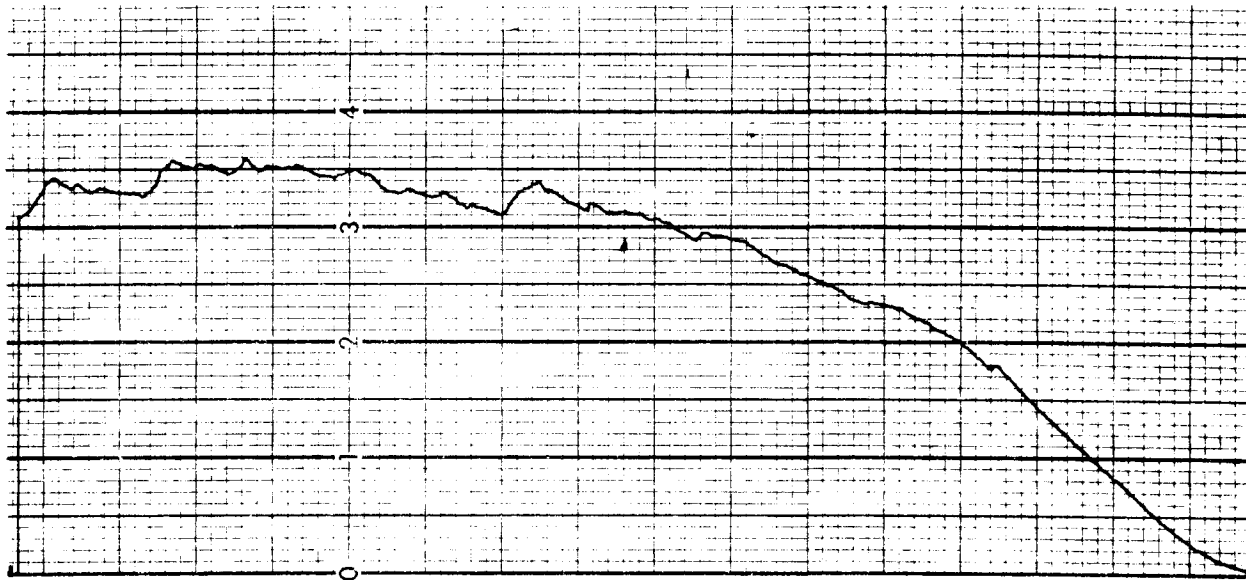


GRÁFICO 3. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com azulejo. Normal de 5,470 kg.

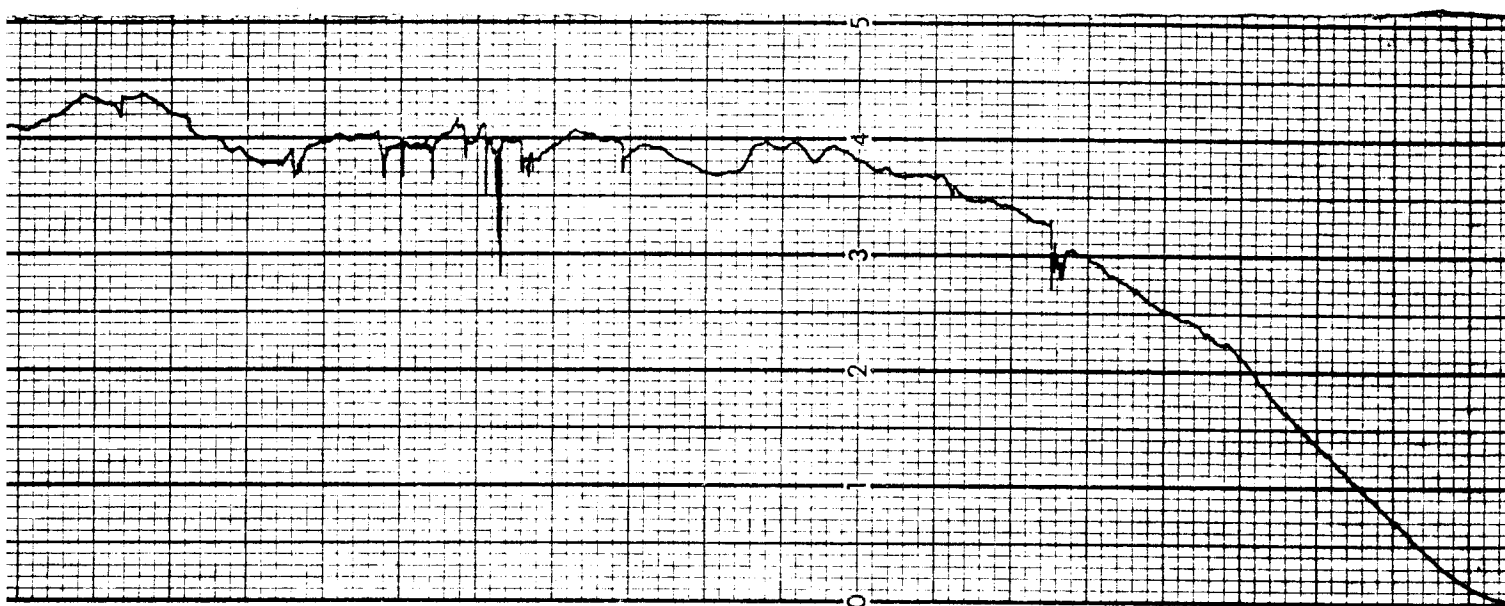


GRÁFICO 4. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com azulejo. Normal de 6,850 kg.

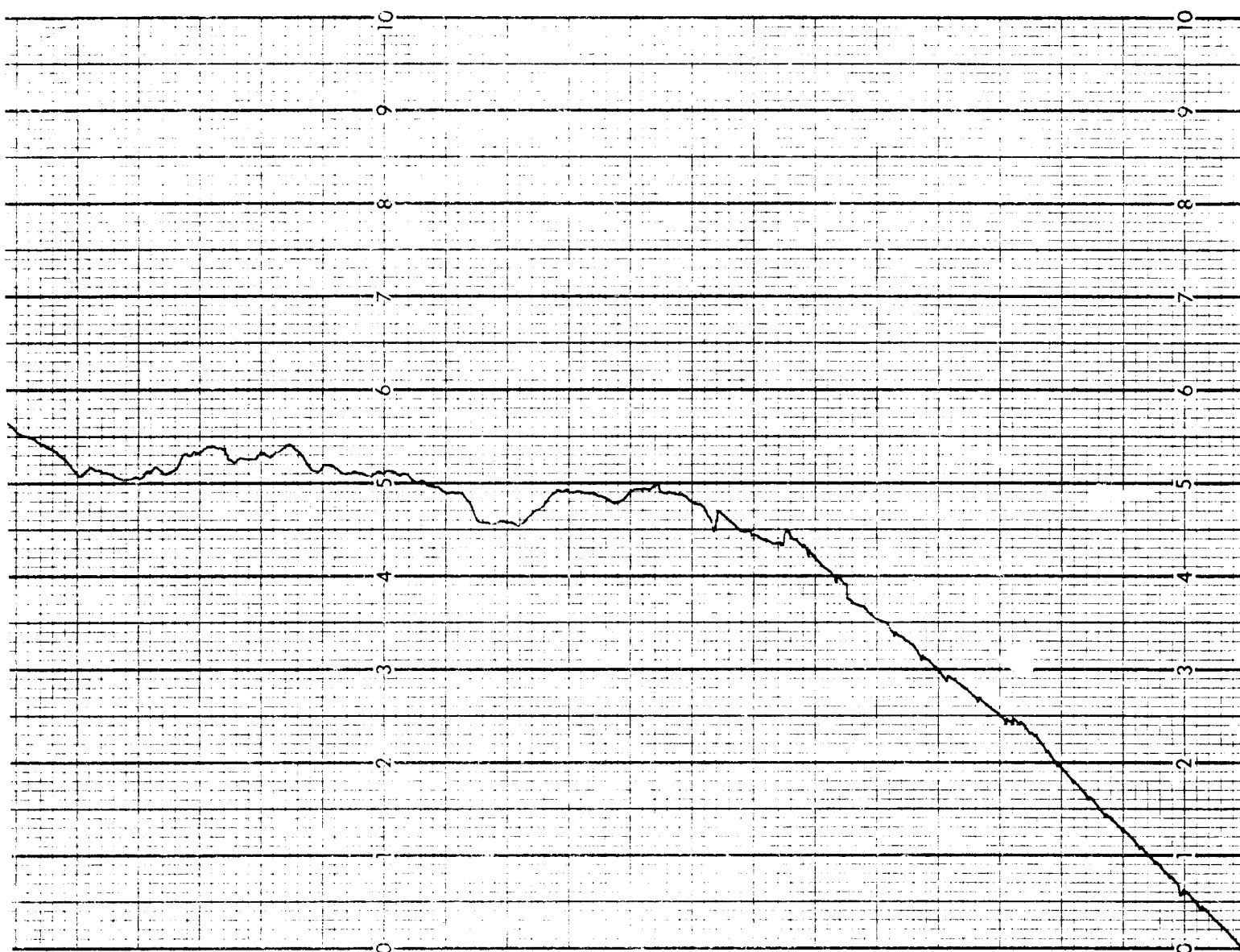


GRÁFICO 5. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com azulejo. Normal de 8,400 kg.

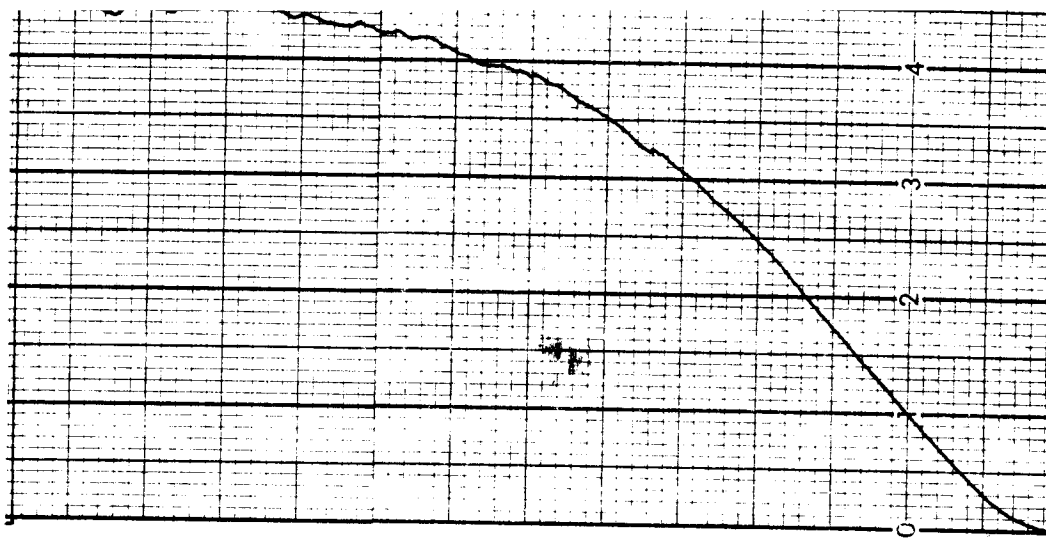


GRÁFICO 6. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com chapa galvanizada. Normal de 5,470 kg.

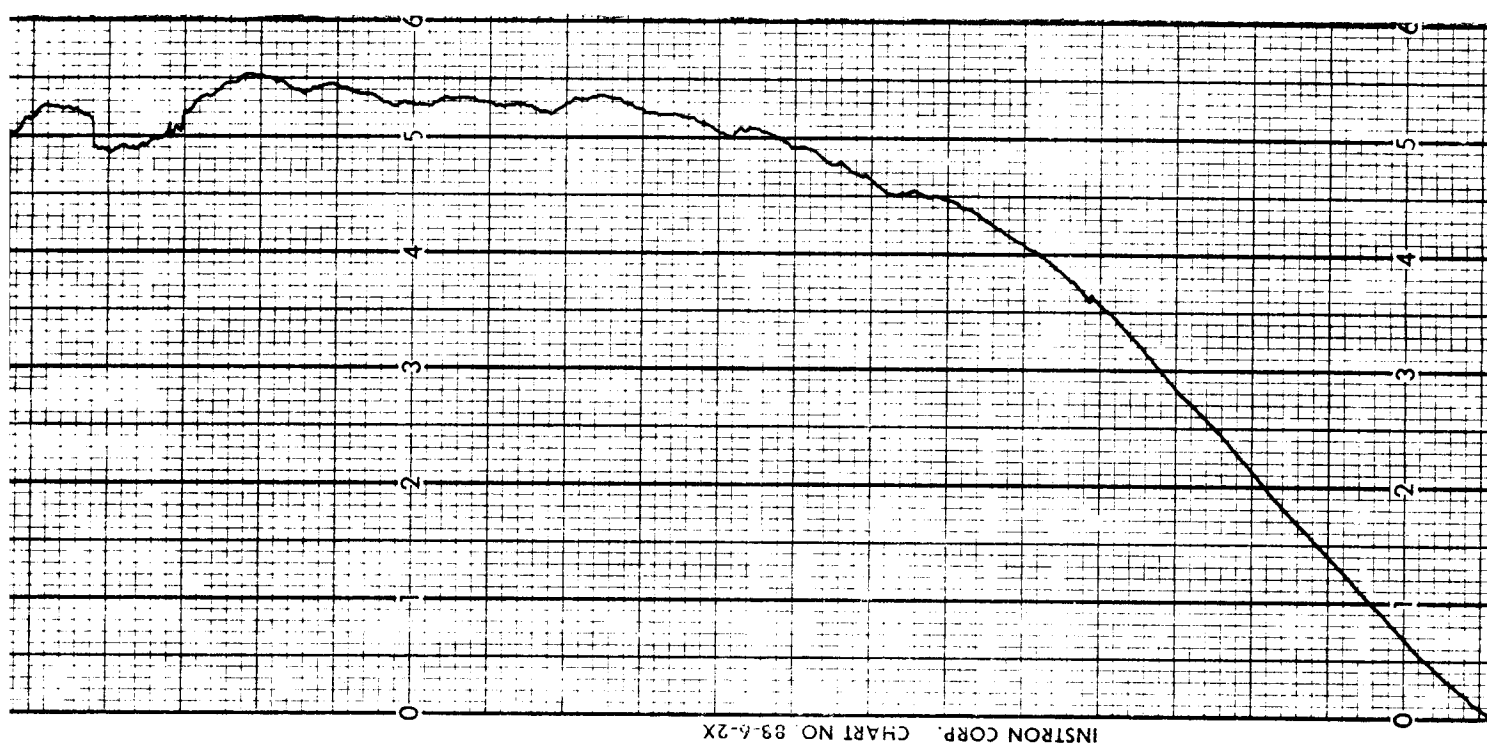


GRÁFICO 7. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com chapa galvanizada. Normal de 6,850 kg.

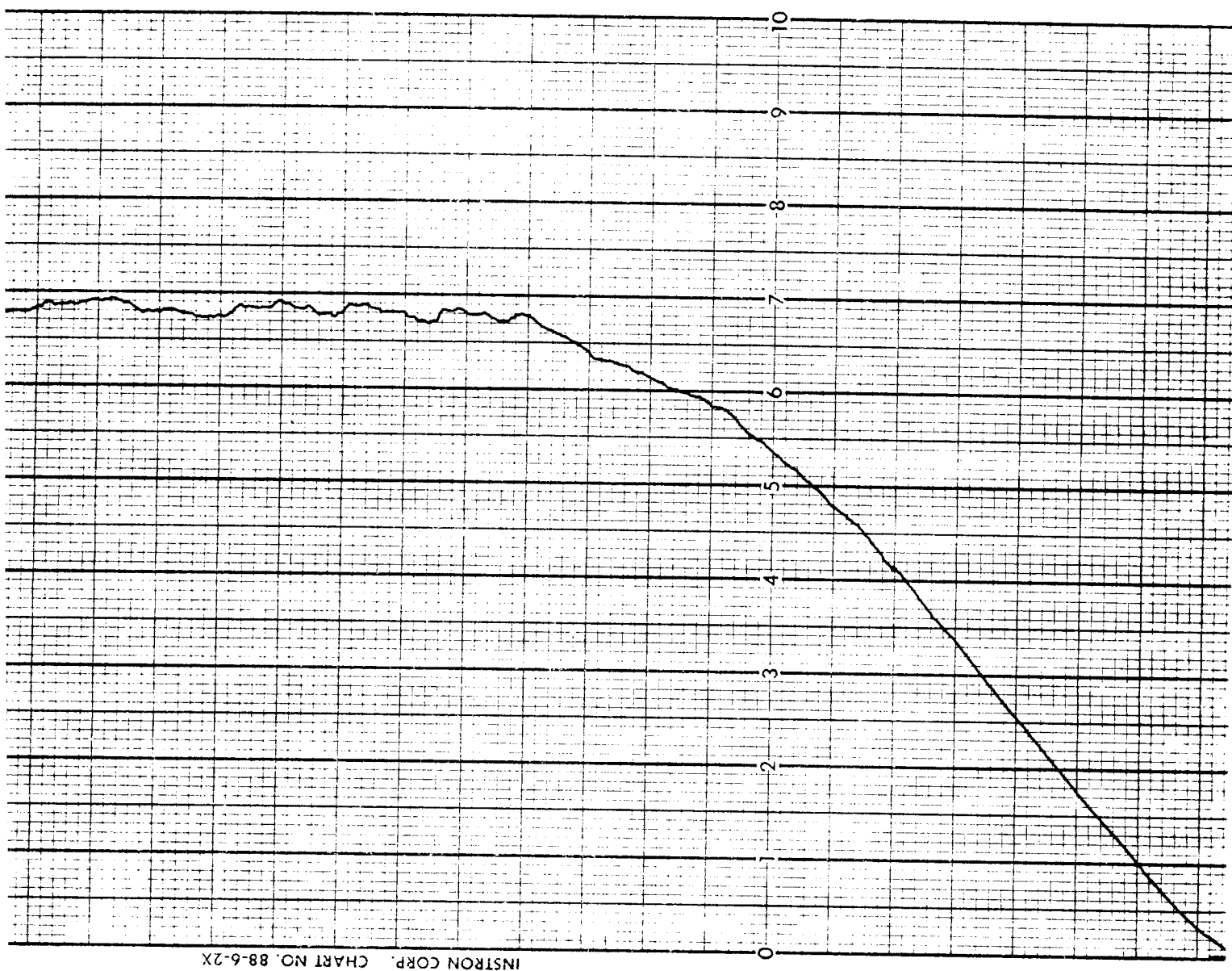


GRÁFICO 8. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com chapa galvanizada. Normal de 8,400 kg.

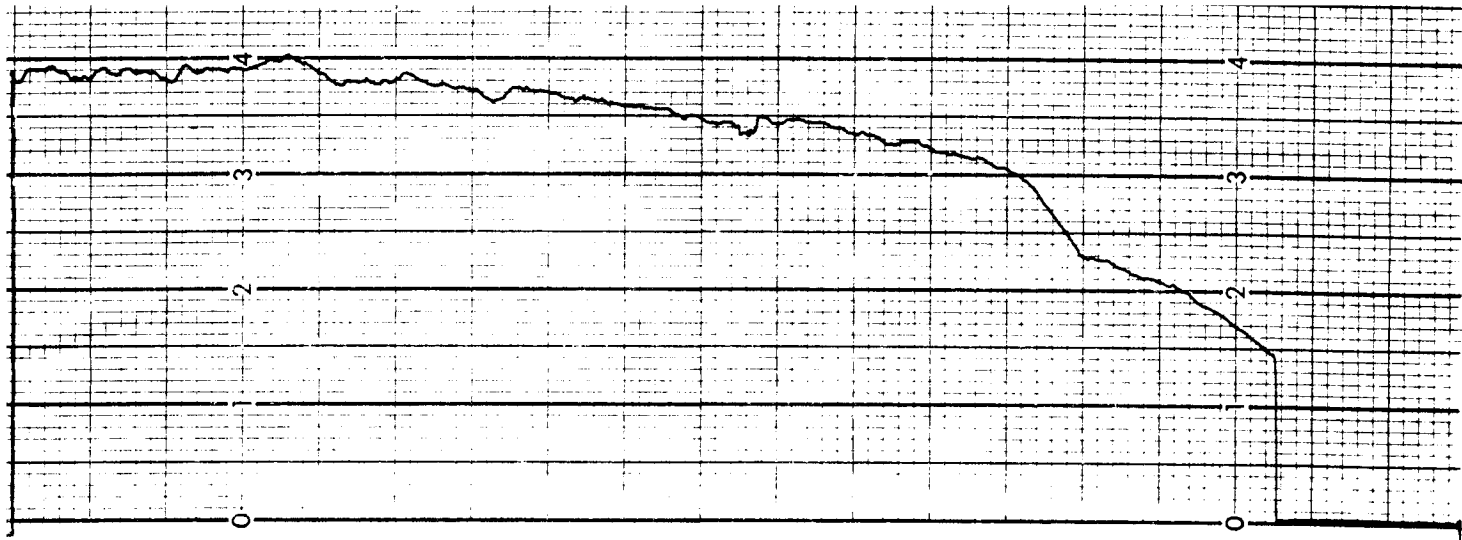


GRÁFICO 9. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com alumínio. Normal de 5,470 kg.

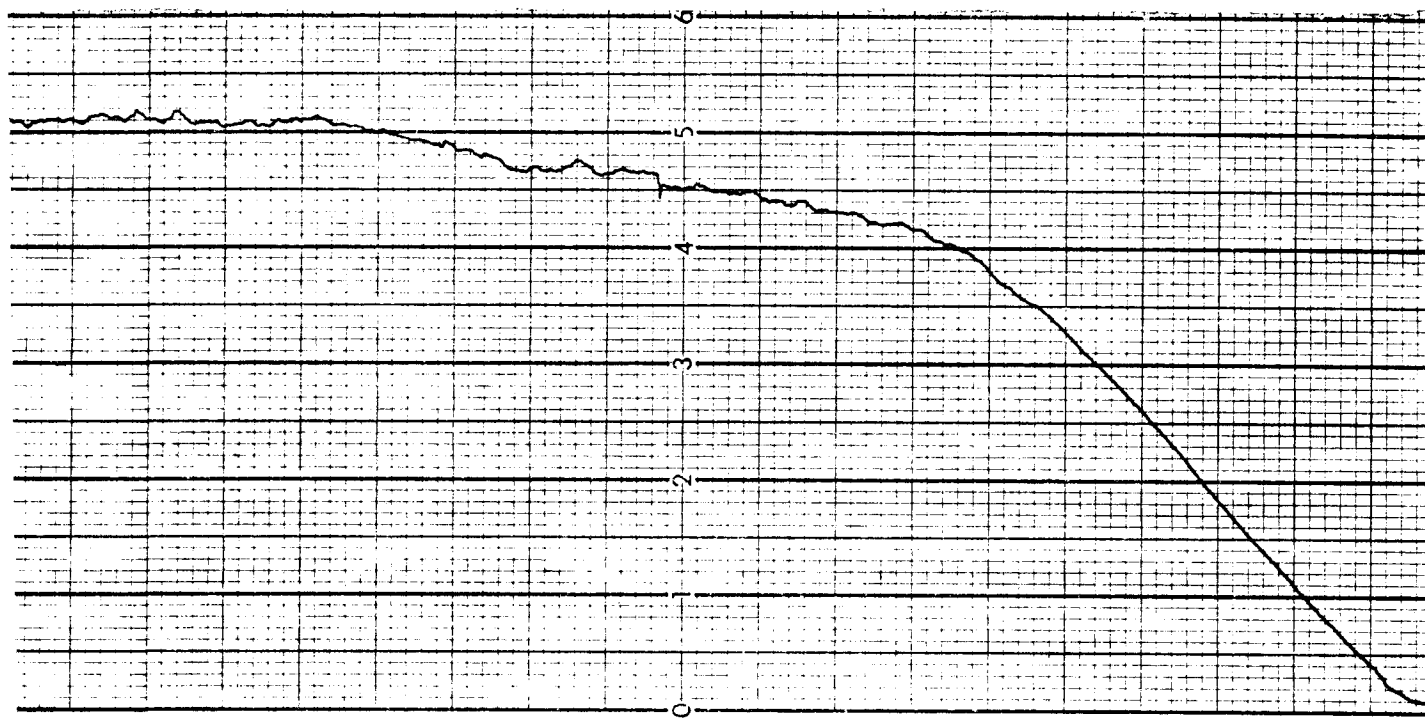


GRÁFICO 10. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com alumínio. Normal de 6,850 kg.

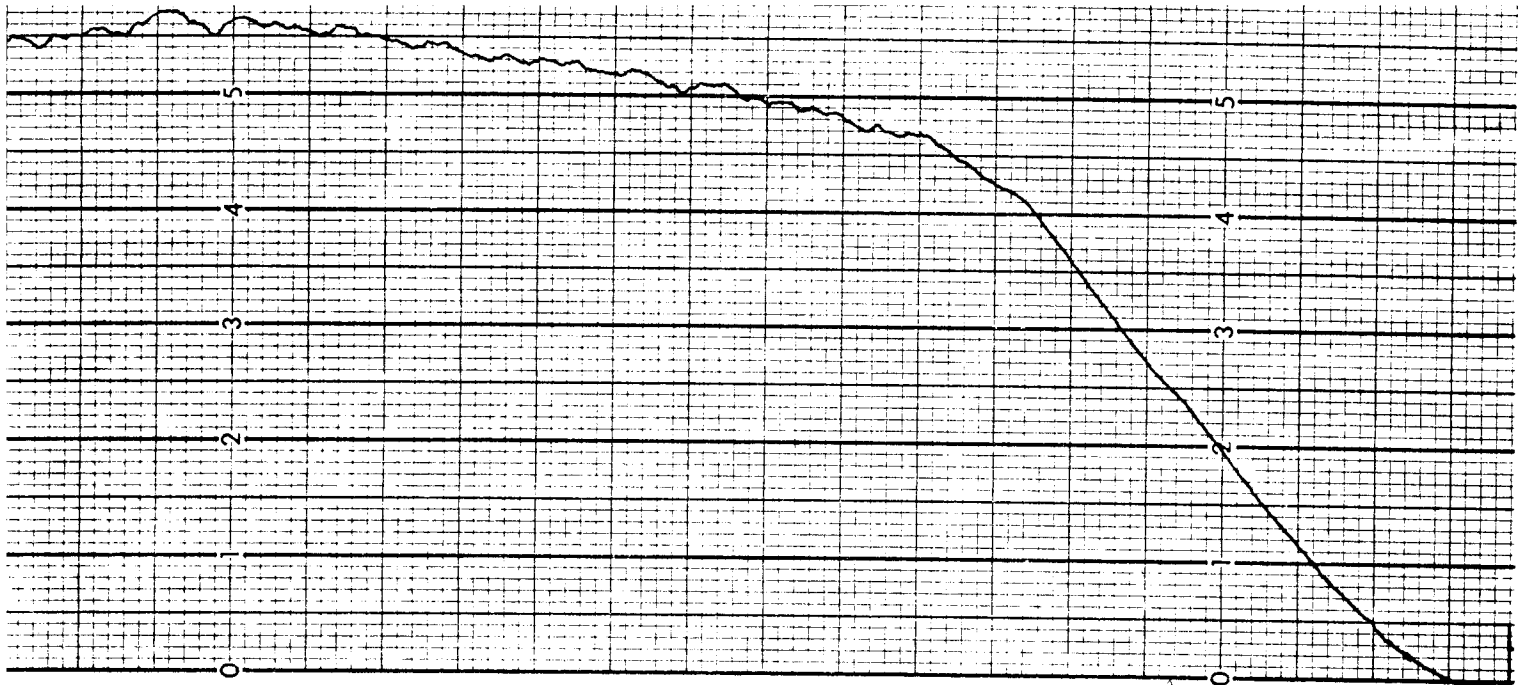


GRÁFICO 11. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com alumínio. Normal de 8,400 kg.

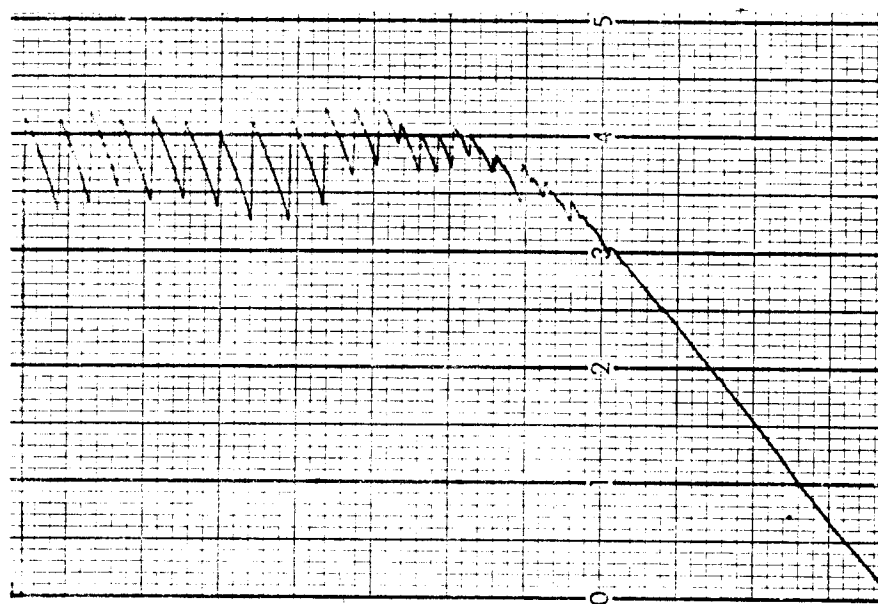


GRÁFICO 12. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com madeira. Normal de 5,470 kg.

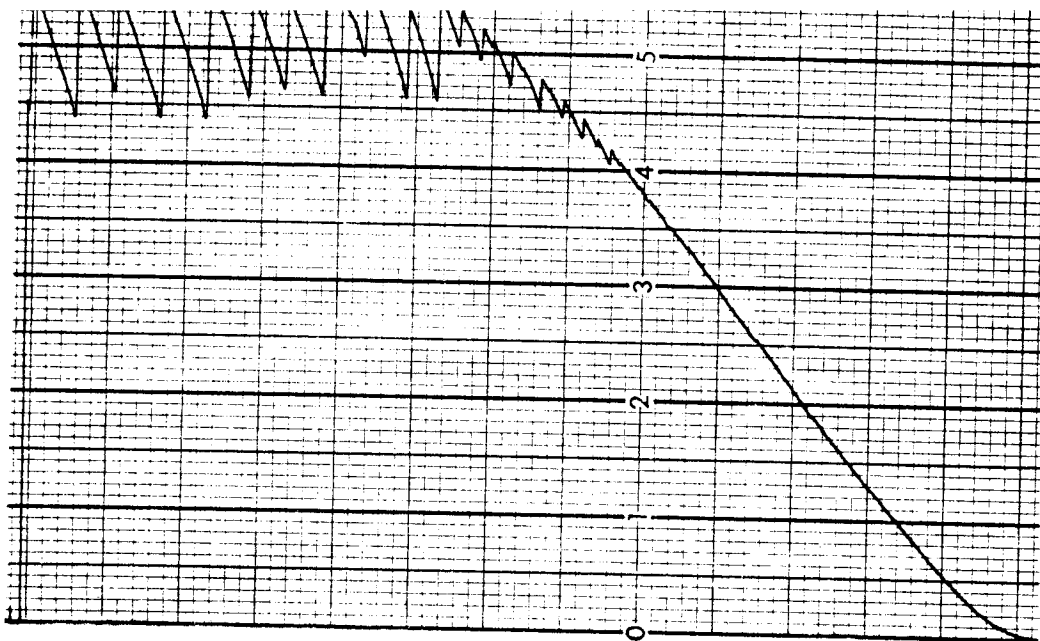


GRÁFICO 13. Força de atrito determinada com o equipamento, Instron Universal. Soja com madeira. Normal de 6,850 kg.

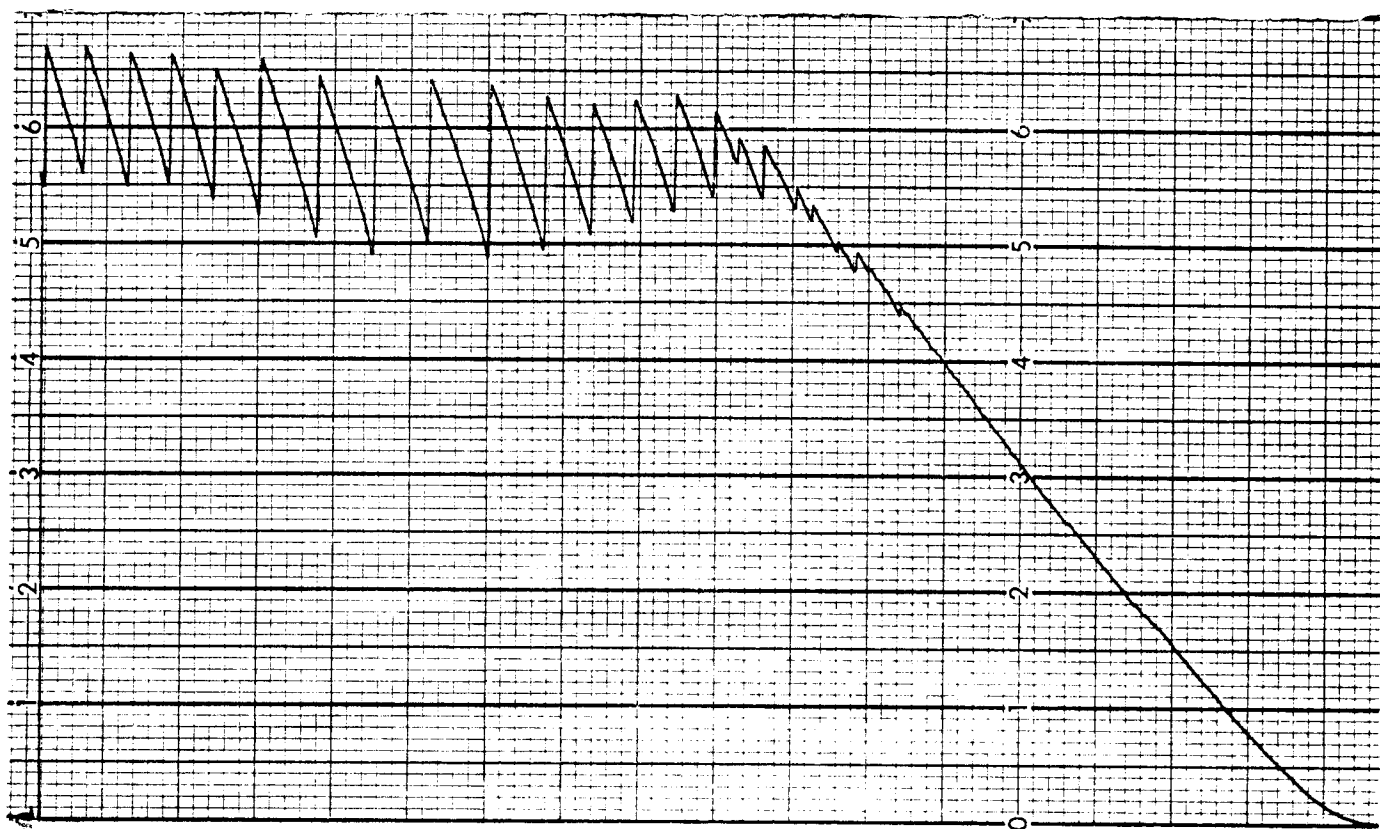


GRÁFICO 14. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com madeira. Normal de 8,400 kg.

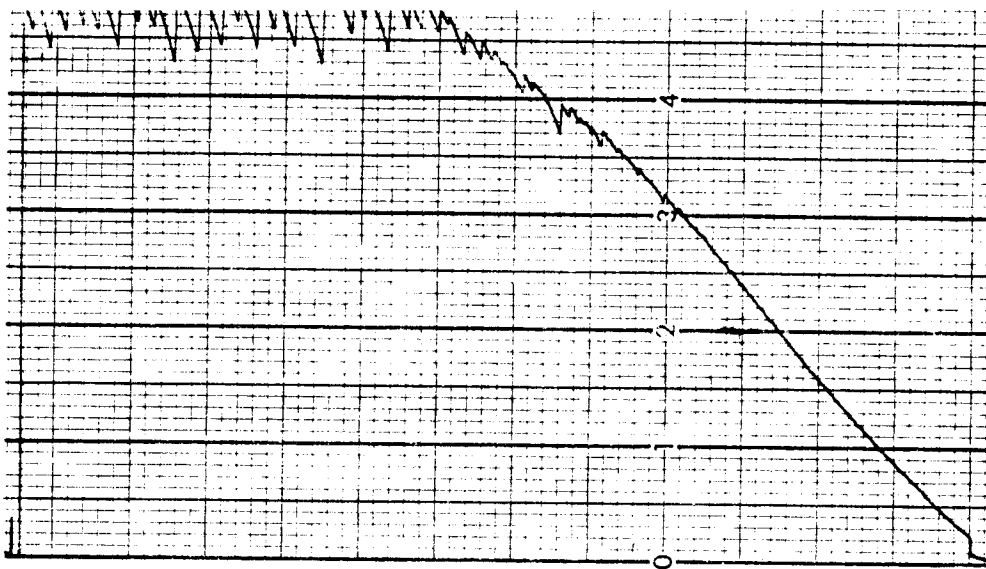


GRÁFICO 15. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com dura tex. Normal de 5,470 kg.

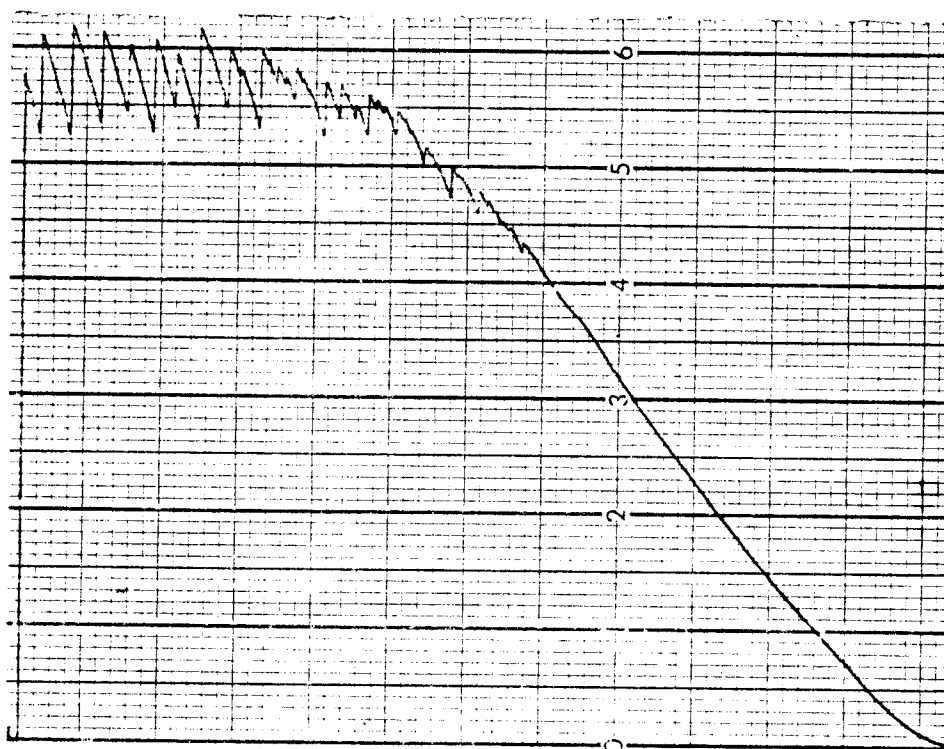


GRÁFICO 16. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com dura tex. Normal de 6,850 kg.

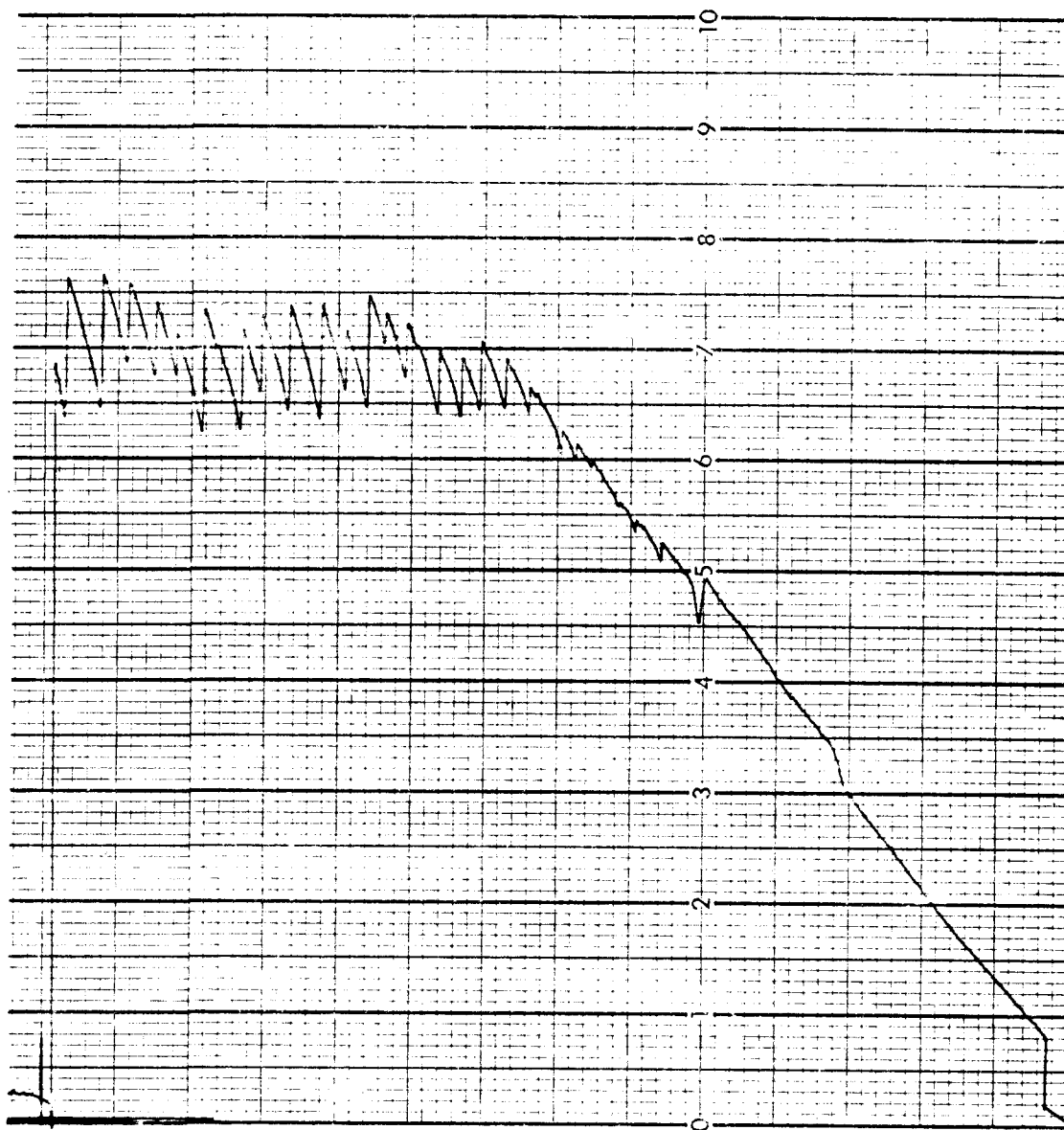


GRÁFICO 17. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Soja com duratex. Normal de 8,400 kg.

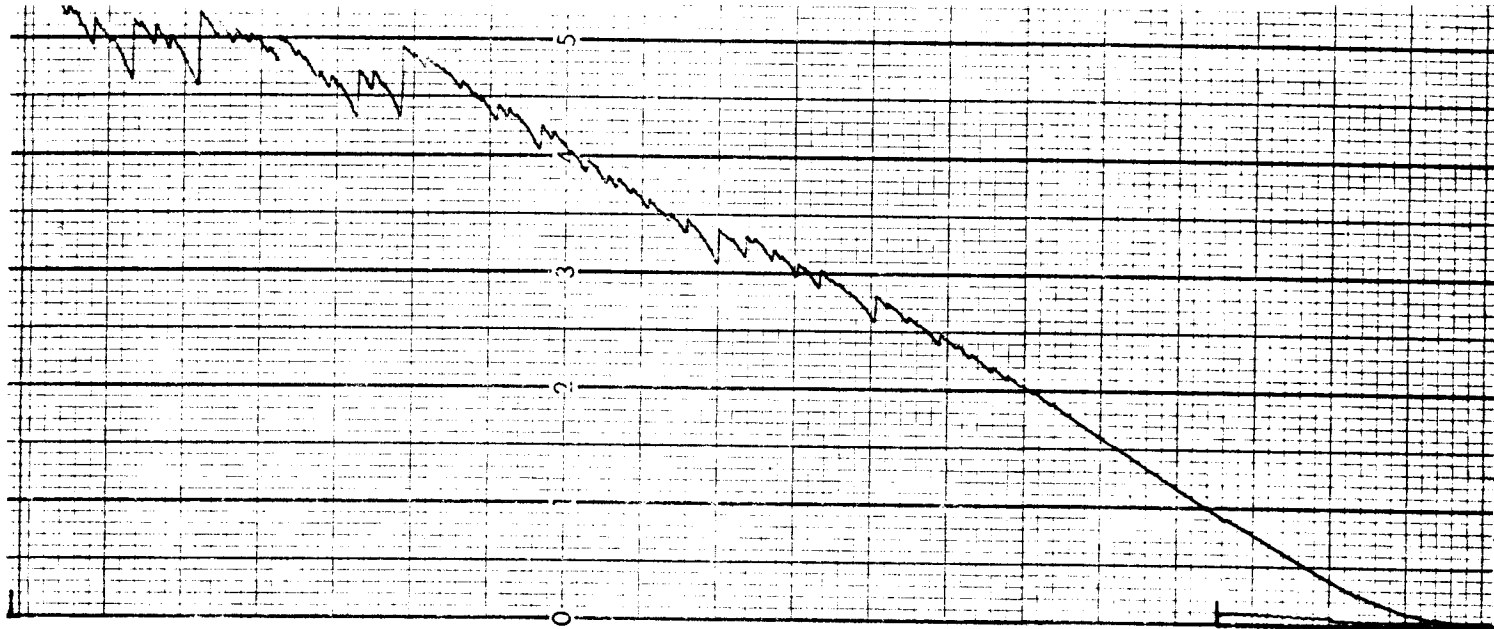


GRÁFICO 18. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Atrito interno. Normal de 6,040 kg.

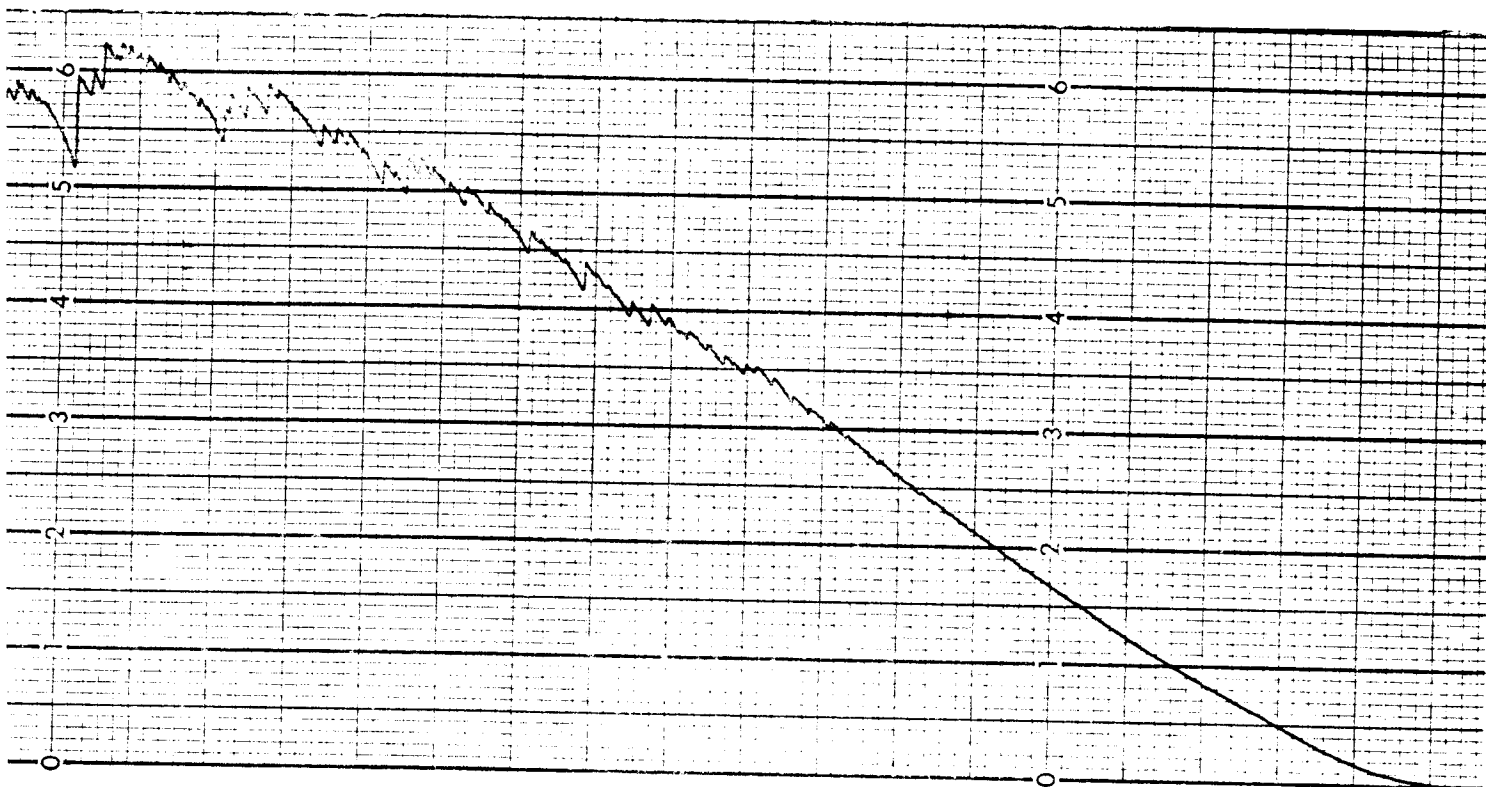


GRÁFICO 19. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Atrito interno. Normal de 7,420 kg.

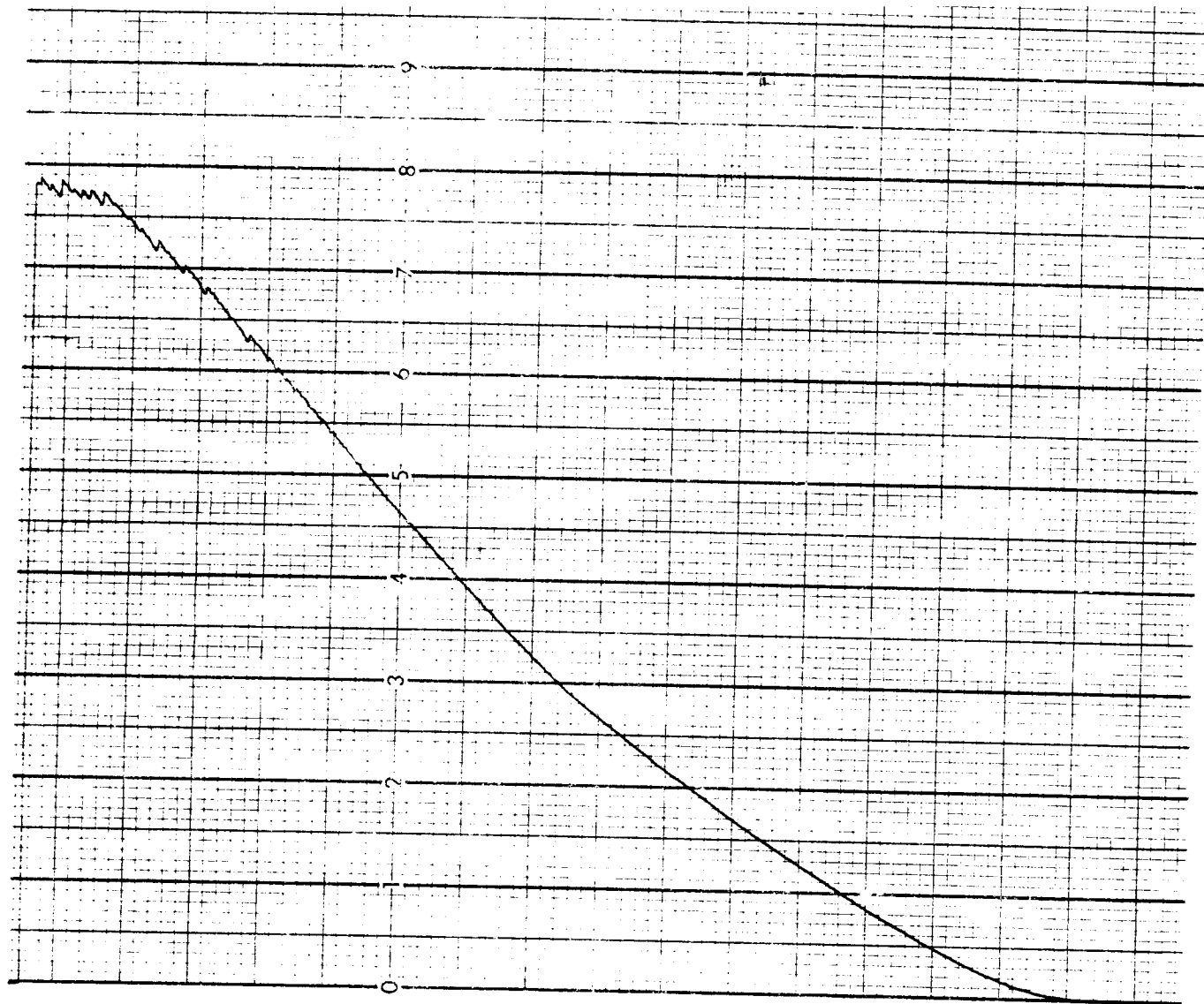


GRÁFICO 20. Força de atrito determinada com o equipamento Instron Universal. Atrito interno. Normal de 8,970 kg.

Para a unidade mais próxima aquela por nós utilizada o valor citado é de 0,32 que não está razoavelmente próximo com o obtido em nossos experimentos que é 0,388. Uma possível explicação para essa diferença é o tipo de madeira. Mas para o atrito com chapa galvanizada a diferença é bem grande, pois o valor apresentado é de 0,20 e o por nós obtido é 0,401, ou seja, duas vezes maior.

TABELA 7. Coeficientes de atrito de soja com vários materiais.

Material	força de atrito (kg)	normal (kg)	coeficiente de atrito	
Alumínio	1,950	5,470	0,356	$\bar{M} = 0,354$
	2,550	6,850	0,372	$\sigma = 0,020$
	2,800	8,400	0,333	CV = 5,54%
Madeira (no sentido das fibras)	2,050	5,470	0,375	$\bar{M} = 0,388$
	2,750	6,850	0,401	$\sigma = 0,013$
	3,250	8,400	0,387	CV = 3,35%
Duratex	2,450	5,470	0,448	$\bar{M} = 0,444$
	3,050	6,850	0,445	$\sigma = 0,004$
	3,700	8,400	0,440	CV = 0,91%
Azulejo	1,750	5,470	0,320	$\bar{M} = 0,309$
	2,050	6,850	0,299	$\sigma = 0,011$
	2,600	8,400	0,309	CV = 3,40%
Chapa galva nizada	2,250	5,470	0,411	$\bar{M} = 0,401$
	2,650	6,850	0,387	$\sigma = 0,013$
	3,400	8,400	0,405	CV = 3,11%
Soja	5,000	6,040	0,828	$\bar{M} = 0,827$
	5,900	7,420	0,795	$\sigma = 0,032$
	7,700	8,970	0,858	CV = 3,81%
umidade da soja = 10,51% (b.u.)				

Por outro lado, nossos resultados confirmam os trabalhos de Bickert e Buelow (9), Richter (51), Snyder et al (56).

4.5. FLUXO DE ESCOAMENTO

A soja utilizada nessa parte dos experimentos possuía unidade igual a 8,22% (b.u.).

As tabelas de 8 a 14 apresentam os dados obtidos na experiência para as diversas aberturas utilizadas.

TABELA 8. Influência da altura nos valores do fluxo de escoamento.

Altura (cm)	Tempo	Peso (kg)	Fluxo (kg/h)
200	3'52" 2/10	50,000	774,860
200	3'52" 3/10	50,000	
200	3'52" 4/10	50,000	
180	3'29" 2/10	44,700	769,952
180	3'28" 8/10	44,700	
180	3'29"	44,700	
160	3'08" 8/10	40,200	768,561
160	3'08"	40,200	
160	3'08" 2/10	40,200	
140	2'44" 3/10	34,300	752,468
140	2'43" 9/10	34,300	
140	2'44" 2/10	34,300	
120	2'21"	29,600	755,745
120	2'21"	29,600	
120	2'21"	29,600	
100	1'56" 8/10	24,300	752,193
100	1'56"	24,300	
100	1'56" 2/10	24,300	
80	1'36" 6/10	20,300	754,180
80	1'37" 2/10	20,300	
80	1'36" 8/10	20,300	
60	1'16" 2/10	16,600	781,176
60	1'16" 8/10	16,600	
60	1'16" 5/10	16,600	
40	53"	11,800	801,509
40	52" 8/10	11,800	
40	52" 8/10	11,800	
20	30" 5/10	6,800	805,263
20	30" 4/10	6,800	
20	30" 3/10	6,800	

abertura utilizada: 12,25 cm²

tamanho: "bica corrida"

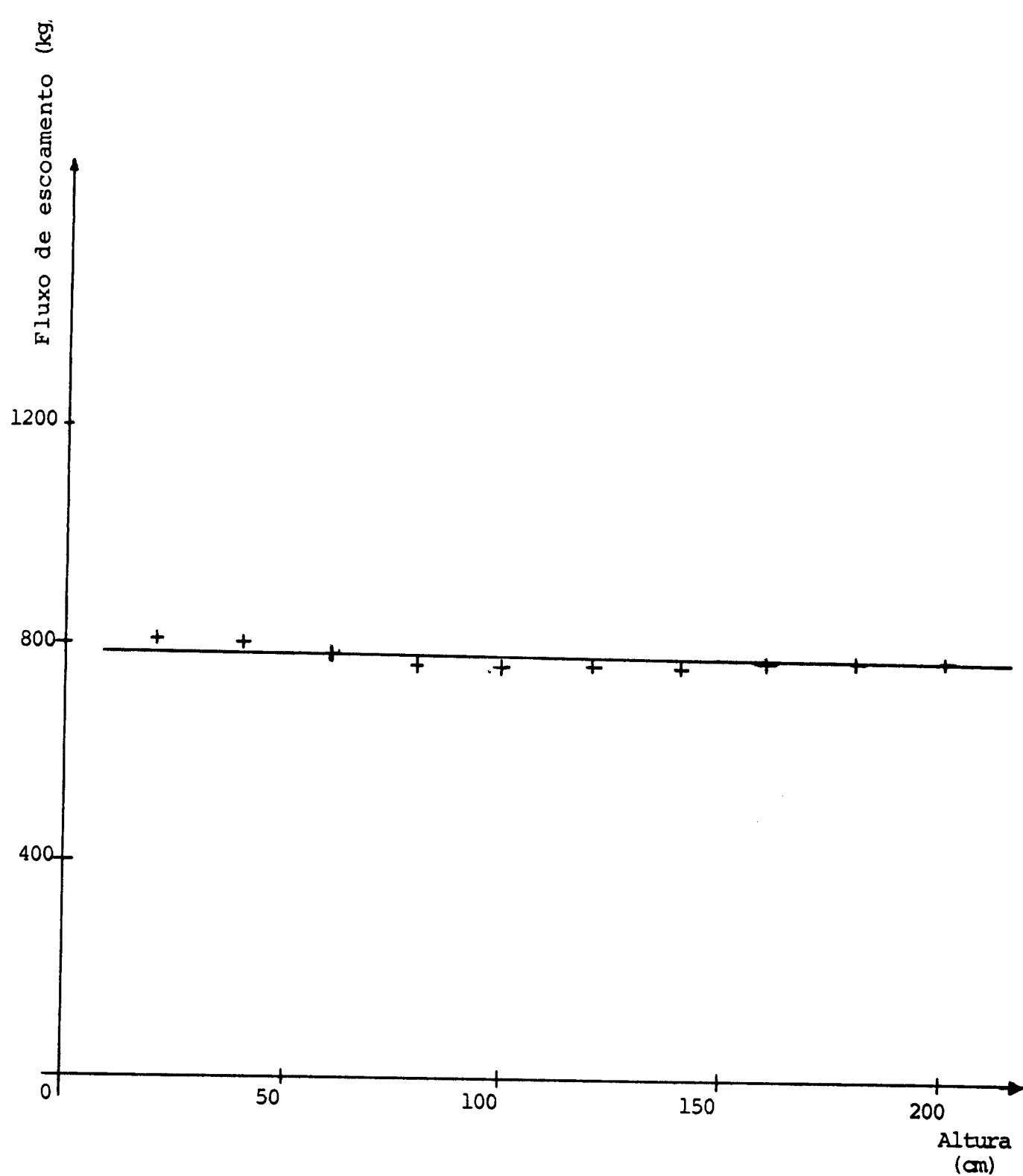


GRÁFICO 21. Influência da altura de soja existente no silo, no fluxo de escoamento.

TABELA 9. Fluxo de escoamento para abertura de 4,00 cm²

Altura de soja: 50 cm

Quantidade de soja: 13,5 kg

Não se verifica escoamento para nenhum tamanho de soja com esta abertura.

TABELA 10. Fluxo de escoamento para abertura de 12,25 cm²

Peneira	Altura (cm)	Peso (kg)	Tempo	Fluxo (kg/h)
16	50	13,500	1'7"	
16	50	13,500	1'6" 8/10	
16	50	13,500	1'7" 2/10	725,373
15	65	16,900	1'20" 6/10	
15	65	16,900	1'20"	
15	65	16,900	1'20" 8/10	753,903
14	50	13,500	56"	
14	50	13,500	57" 2/10	
14	50	13,500	57"	855,634
BC	50	13,500	1'2" 2/10	
BC	50	13,500	1'2" 4/10	
BC	50	13,500	1'2" 2"10	781,350

TABELA 11. Fluxo de escoamento para abertura de 28,09 cm²

Peneira	Altura (cm)	Peso (kg)	Tempo	Fluxo (kg/h)
16	50	13,500	16" 2/10	2981,595
16	50	13,500	16" 5/10	
16	50	13,500	16" 4/10	
15	65	16,900	20"	
15	65	16,900	20"	3042,000
15	65	16,900	20"	
14	50	13,500	15" 3/10	
14	50	13,500	15"	
14	50	13,500	15"	3218,543
BC	50	13,500	16"	3037,500
EC	50	13,500	16"	
BC	50	13,500	16" 2/10	

TABELA 12. Fluxo de escoamento para abertura de 56,25 cm²

Peneira	Altura (cm)	Peso (kg)	Tempo	Fluxo (kg/h)
16	50	13,500	6" 4/10	7593,750
16	50	13,500	6" 4/10	
16	50	13,500	6" 4/10	
15	65	16,900	8"	
15	65	16,900	7" 4/10	7701,266
15	65	16,900	8"	
14	50	13,500	6"	
14	50	13,500	6"	
14	50	13,500	6"	8100,000
BC	50	13,500	6" 2/10	7838,710
BC	50	13,500	6" 4/10	
BC	50	13,500	6" 1/10	

TABELA 13. Fluxo de escoamento para abertura de 90,25 cm²

Peneira	Altura (cm)	Peso (kg)	Tempo	Fluxo (kg/h)
16	50	13,500	3" 8/10	
16	50	13,500	3" 6/10	
16	50	13,500	3" 8/10	12789,473
15	65	16,900	4" 4/10	
15	65	16,900	4" 6/10	
15	65	16,900	4" 4/10	13520,000
14	50	13,500	3" 3/10	
14	50	13,500	3" 3/10	
14	50	13,500	3"	15187,500
BC	50	13,500	3" 5/10	
BC	50	13,500	3" 6/10	
BC	50	13,500	3" 4/10	13885,714

TABELA 14. Quadro geral dos valores obtidos experimentalmente.

Abertura	4,00	12,25	28,09	56,25	90,25
Peneira					
16	-	725,373	2981,595	7593,750	12789,473
15	-	753,903	3042,000	7701,266	13520,000
14	-	855,634	3218,543	8100,000	15187,500
EC	-	781,350	3037,500	7838,710	13885,714

Com base nestes dados estabeleceu-se empiricamente uma equação para descrever o fenômeno:

$$A = 0,0004 (P) (F) + 7,5;$$

onde: A é a área de abertura, em cm²

P é o número da peneira

F é o fluxo de escoamento, em kg/h.

TABELA 15. Quadro geral dos valores obtidos pela equação:

Abertura	4,00	12,25	28,09	56,25	90,25
Peneira					
16	-	742,187	3217,187	7617,187	12929,687
15	-	791,667	3131,668	8125,000	13791,667
14	-	848,214	3676,736	8705,357	14776,786

A equação obtida apresenta valores próximos aos experimentais, com erro máximo de 14,24%.

Destacamos a simplicidade da equação, comparada com as existentes na literatura. Beverloo et al (8) apresentam várias dessas equações e posteriormente a que ele conseguiu em seus experimentos:

$$W = 35 \rho_B \sqrt{g} (D_o - 1,4 d)^{2,5} \text{ [g/min]}, \text{ onde}$$

W = fluxo de escoamento [g/min]

ρ_B = peso específico aparente [g/cm³]

g = aceleração da gravidade [cm/s²]

D_o = diâmetro do orifício circular [cm]

d = tamanho médio da partícula [cm]

Mohsenin (39) utiliza esta equação para calcular o fluxo de escoamento de soja por uma abertura de diâmetro igual a 4,0 cm; ou seja, aproximadamente 13,00 cm² de área. Para soja de tamanho médio igual a 0,66 cm e peso específico aparente 0,75 g/cm³, chega a um valor de fluxo igual a 13540 g/min; ou seja, 812,40 kg/h.

Se entrarmos com alguns desses dados em nossa equação, chegaremos ao valor de 791,67 kg/h, com uma diferença de 2,6% em relação ao valor obtido na citada referência.

Tanto a equação proposta por Beverloo et al (8), quanto a citação de Ketchum (34) propõem uma variação exponencial para o fluxo de escoamento, em função do diâmetro da abertura. Isso nos leva a tentar comprovar a validade da nossa equação. Para isto,

os dados apresentados na tabela 16 servirão de base. A tabela apresenta os valores do fluxo de escoamento para diversas aberturas, calculadas pela equação de Beverloo et al (8) e pela nossa. O gráfico 22 mostra as duas equações e os pontos experimentais.

Vários pontos devem ser analisados. Primeiramente, com $4,00 \text{ cm}^2$ de área de abertura, segundo a equação de Beverloo et al deveríamos ter um fluxo de $78,00 \text{ kg/h}$. Ora, nossos experimentos mostraram que com essa área não há escoamento.

A área de $7,50 \text{ cm}^2$ que de acordo com nossa equação seria a área crítica (abaixo da qual não há escoamento) apresenta, pela equação de Beverloo et al, um fluxo de $340,60 \text{ kg/h}$.

A partir desse valor, temos uma faixa que vai até aproximadamente $100,00 \text{ cm}^2$ da área de abertura em que as duas equações apresentam resultados bem próximos. Para valores acima de $100,00 \text{ cm}^2$ o erro vai tornando-se cada vez maior devido ao comportamento distinto das duas equações.

Achamos, dessa maneira, que a nossa equação pode ser utilizada perfeitamente até aberturas de aproximadamente $100,00 \text{ cm}^2$ de área, o que é razoável pois equivale, numa abertura circular, a $11,28 \text{ cm}$ de diâmetro, valor não distante do real em silos pequenos e médios.

Os dados apresentados na tabela 8 confirmam as citações de Resnick (50) que afirma que o fluxo de escoamento não depende da altura de sólidos existentes no silo, tendo comportamento diferente dos líquidos.

TABELA 16. Valores obtidos na comparação entre a equação de Beverloo et al (8) e a por nós apresentada.

Área de abertura (cm ²)	Diâmetro correspond. (cm)	Fluxo por Beverloo et al (kg/h)	Fluxo pela nossa equação (kg/h)	Erro em relação a Beverloo et al (%)
4	2,26	78,00	0,00	-
7,5	3,09	340,60	0,00	-
12	3,91	760,02	750,00	1,32
25	5,64	2382,52	2916,67	22,42
50	7,98	6523,77	7083,33	8,58
75	9,77	11480,73	11250,00	2,01
100	11,28	17025,32	15416,67	9,45
150	13,82	29460,48	23750,00	19,38
200	15,96	43244,72	32083,33	25,81
300	19,54	73759,55	48750,00	33,91

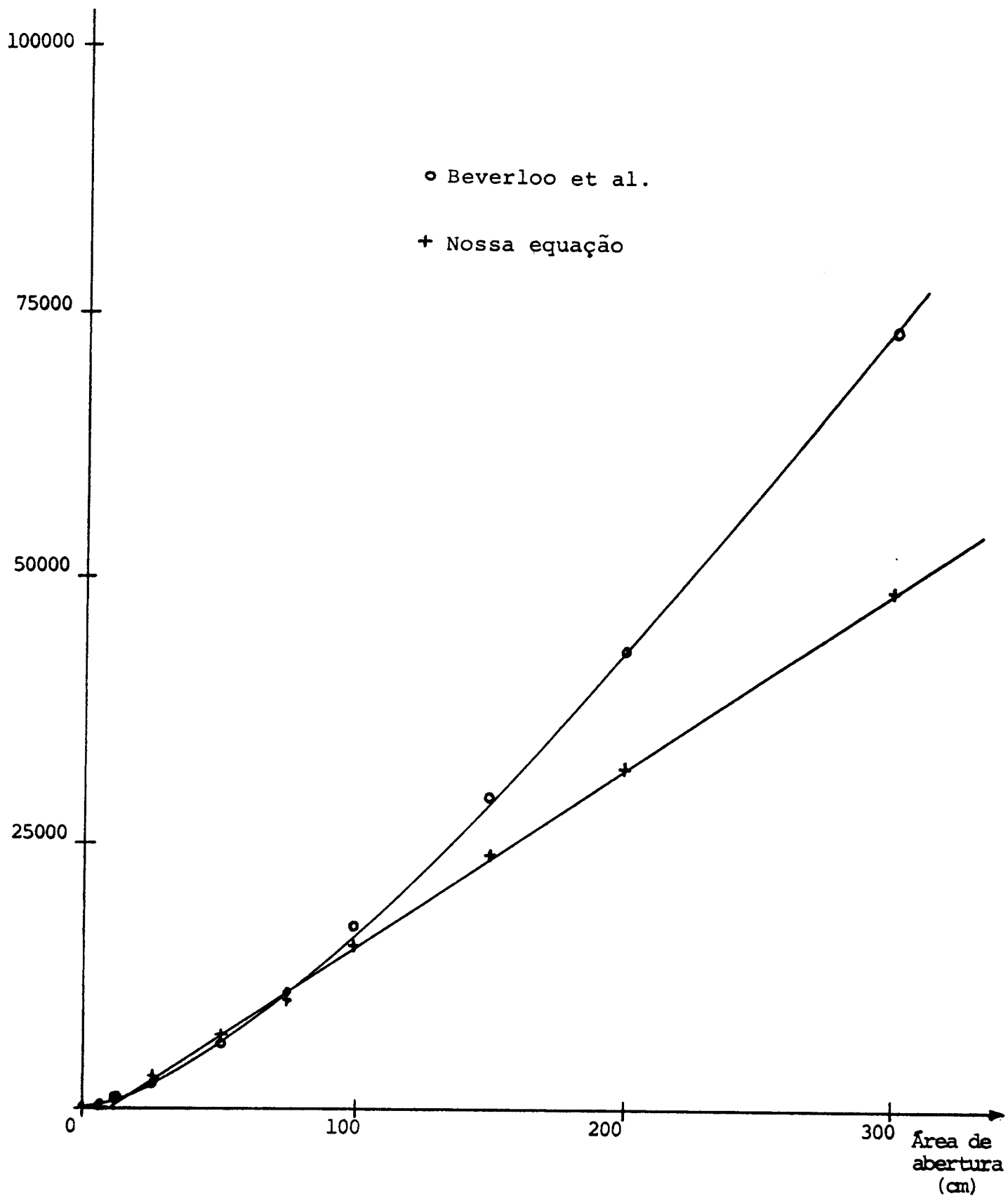


GRÁFICO 22. Comparação entre a equação de Beverloo et al e a por nós proposta.

4.6. UMIDADE DE EQUILÍBRIO

Para conseguir soja com baixo teor de umidade foi necessária a realização de uma secagem em um secador de tunel, a 45°C, durante 10 horas. Abaixo os dados da determinação da umidade final:

nº amostra	Pc	Pc + Pu	Pu	Pc + Ps	Pu - Ps	Umidade (%)
1	6,9255	8,9944	2,0689	8,9087	0,0857	4,14
2	7,0226	9,1275	2,1049	9,0456	0,0799	3,89
3	7,3056	9,4018	2,0962	9,3172	0,0846	4,04
4	7,4193	9,5316	2,1123	9,4459	0,0857	4,06
5	6,8943	9,0500	2,1558	8,9629	0,0871	4,04
média:						4,03
desvio padrão:						0,09
coef. variação:						2,23%

Essa umidade está calculada em base úmida. Em base seca seu valor é 4,20%, calculado pela fórmula $H_s = \frac{H_u}{100-H_u}$, onde Hs é a umidade em base seca e Hu é a umidade em base úmida, ambas em %.

Por outro lado, a obtenção de soja com alto teor de umidade foi possível com a utilização de uma câmara com umidade relativa controlada. A umidade relativa usada foi de 85/90% e a temperava

tura de 149C. Abaixo os dados da determinação da umidade final:

nº amostra	Pc	Pc + Pu	Pu	Pc + pS	Pu - Ps	Umidade (%)
1	7,4196	9,4314	2,0118	9,0310	0,4004	19,90
2	6,8943	8,9283	2,0340	8,5177	0,4146	20,19
3	7,3057	9,3203	2,0146	8,9114	0,4089	20,30
4	6,9255	8,9960	2,0705	8,5820	0,4140	20,00
5	7,0227	9,1123	2,0896	8,6996	0,4127	19,75
média:						20,03
desvio padrão:						0,22
coef. variação:						1,10%

Esta umidade está colocada em base úmida. Em base seca seu valor é 25,05%, calculada pela fórmula citada anteriormente.

TABELA 17. Marcha da variação dos pesos de soja, com umidade inicial de 4,20%.

nº da placa	U.R.	peso da placa	peso da placa + soja	peso 1a. semana	peso 2a. semana	peso 3a. semana	peso 4a. semana	peso 5a. semana
	(%)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
1	10	6,8045	8,8673	8,8471	8,8419	8,8399	8,8394	8,8398
2	10	5,3132	7,3447	7,3236	7,3181	7,3152	7,3143	7,3145
3	10	6,9747	9,0065	9,0150	9,0095	9,0070	9,0063	9,0062
4	20	5,2193	7,2910	7,2861	7,2848	7,2842	7,2845	7,2844
5	20	6,8972	8,9757	8,9725	8,9708	8,9704	8,9707	8,9703
6	20	5,3133	7,3248	7,3206	7,3197	7,3196	7,3197	7,3191
7	30	6,8100	8,8157	8,8218	8,8224	8,8219	8,8220	8,8221
8	30	6,8906	8,8972	8,9035	8,9042	8,9037	8,9040	8,9039
9	30	6,8892	8,9827	8,9903	8,9907	8,9904	8,9906	8,9904
10	40	5,2276	7,3153	7,3380	7,3405	7,3407	7,3413	7,3417
11	40	5,2177	7,2940	7,3160	7,3189	7,3191	7,3197	7,3199
12	40	6,8110	8,8231	8,8455	8,8483	8,8483	8,8490	8,8493
13	50	6,8941	8,9399	8,9825	8,9873	8,9871	8,9880	8,9882
14	50	5,3774	7,3774	7,4193	7,4236	7,4240	7,4251	7,4253
15	50	5,2194	7,2818	7,3231	7,3282	7,3287	7,3294	7,3296
16	60	5,1990	7,2514	7,3429	7,3498	7,3468	7,3473	7,3474
17	60	6,8864	8,9712	9,0678	9,0741	9,0723	9,0737	9,0733
18	60	6,8185	8,8845	8,9808	8,9868	8,9850	8,9866	8,9862
19	70	5,2211	7,3432	7,5032	7,5098	7,5032	7,5043	7,5034
20	70	5,2197	7,2522	7,4043	7,4097	7,4040	7,4059	7,4051
21	70	5,1989	7,2936	7,4491	7,4542	7,4493	7,4502	7,4500
22	80	6,8866	8,9057	9,1421	9,1468	9,1406	9,1407	9,1402
23	80	6,8938	8,9685	9,2121	9,2161	9,2104	9,2100	9,2102
24	80	6,7553	8,8171	9,0528	9,0610	9,0517	9,0507	9,0503
25	90	6,8104	8,8318	9,2451	9,2383	*9,2207	-	-
26	90	6,8158	8,8639	9,2756	9,2764	*9,2564	-	-
27	90	6,9832	8,9832	9,3784	9,3836	*9,3767	-	-

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

TABELA 18. Marcha da variação dos pesos de soja com umidade inicial de 25,05%.

nº da placa	U.R.	peso da placa	peso da placa + soja	pesa 1a. semana	peso 2a. semana	peso 3a. semana	peso 4a. semana	peso 5a. semana
	(%)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
28	10	6,8108	8,8168	8,5019	8,4859	8,4799	8,4782	8,4774
39	10	6,8971	8,9150	8,5835	8,5694	8,5639	8,5622	8,5616
30	10	6,8130	8,8608	8,5300	8,5141	8,5080	8,5063	8,5055
31	20	5,3232	7,4351	7,1004	7,0931	7,0913	7,0904	7,0900
32	20	5,2255	7,2457	6,9246	6,9175	6,9155	6,9147	6,9143
33	20	5,3157	7,3807	7,0578	7,0504	7,0488	7,0481	7,0477
34	30	5,3201	7,3432	7,0380	6,8960	6,8940	6,8935	6,8933
35	30	5,2179	7,3182	6,9993	6,9947	6,9924	6,9915	6,9912
36	30	6,8875	8,9076	8,6036	8,5992	8,5970	8,5961	8,5957
37	40	5,3907	7,4558	7,1606	7,1573	7,1548	7,1543	7,1543
38	40	6,8944	8,9946	8,6937	8,6902	8,6874	8,6868	8,6867
39	40	5,1470	7,2029	6,9109	6,9070	6,9044	6,9037	6,9033
40	50	6,9774	9,0375	8,7623	8,7563	8,7534	8,7532	8,7527
41	50	6,7686	8,7972	8,5219	8,5179	8,5149	8,5144	8,5142
42	50	5,1482	7,1543	6,8857	6,8830	6,8801	6,8800	6,8800
43	60	5,2013	7,2089	6,9700	6,9676	6,9629	6,9629	6,9628
44	60	5,2042	7,2909	7,0352	7,0342	7,0300	7,0304	7,0301
45	60	5,2238	7,3132	7,0667	7,0657	7,0623	7,0628	7,0623
46	70	6,7572	8,8433	8,6433	8,6446	8,6385	8,6387	8,6379
47	70	6,7599	8,8522	8,6412	8,6433	8,6367	8,6366	8,6364
48	70	5,3914	7,4000	7,2056	7,2064	7,2003	7,2003	7,2005
49	80	5,1543	7,1567	7,0355	7,0397	7,0312	7,0322	7,0317
50	80	5,2256	7,3749	7,2373	7,2428	7,2314	7,2327	7,2328
51	80	5,3185	7,3819	7,2465	7,2541	7,2429	7,2429	7,2425
52	90	5,3770	7,4581	7,4530	7,4555	*7,4507	-	-
53	90	6,8877	8,9113	8,9067	8,9134	*8,8955	-	-
54	90	5,2224	7,3127	7,3157	7,3273	*7,3009		

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

TABELA 19. Dados para o cálculo da umidade final da soja, inicialmente a 4,20%, nas diferentes unidades relativas.

nº da placa	U.R. (%)	peso inicial da soja (g)	peso seco de soja (g)	peso final de soja (g)	umidade final (equilíbrio) (%)	média (%)
1	10	2.0627	1.9796	2.0352	2,81	
2	10	2.0315	1.9496	2.0013	2,65	2,71
3	10	2.0618	1.9787	2.0315	2,67	
4	10	2.0717	1.9882	2.0651	3,87	
5	10	2.0785	1.9947	2.0731	3,93	3,90
6	20	2.0115	1.9304	2.0058	3,91	
7	30	2.0057	1.9249	2.0121	4,53	
8	30	2.0066	1.9257	2.0133	4,55	
9	30	2.0935	2.0091	2.1012	4,58	4,55
10	40	2.0877	2.0036	2.1141	5,51	
11	40	2.0763	1.9926	2.1022	5,50	
12	40	2.0121	1.9310	2.0383	5,56	5,52
13	50	2.0452	1.9633	2.0941	6,66	
14	50	2.0000	1.9194	2.0479	6,69	
15	50	2.0624	1.9790	2.1102	6,61	6,65
16	60	2.0524	1.9697	2.1484	9,07	
17	60	2.0848	2.0008	2.1869	9,30	
18	60	2.0660	1.9827	2.1677	9,33	9,23
19	70	2.1221	2.0366	2.2823	12,06	
20	70	2.0325	1.9506	2.1854	12,04	
21	70	2.0947	2.0103	2.2511	11,98	12,03
22	80	2.0191	1.9377	2.2536	16,30	
23	80	2.0747	1.9911	2.3164	16,34	
24	80	2.0616	1.9787	2.2950	15,99	16,21
25	90	2.0214	1.9399	2.4103	24,25	
26	90	2.0481	1.9656	2.4406	24,17	
27	90	2.0000	1.9194	2.3935	24,70	24,37

ABELA 20. Dados para o cálculo da umidade final da soja, inicialmente a 25,05%, nas diferentes umidades relativas.

nº da placa	U.R. (%)	peso inicial de soja (g)	peso seco de soja (g)	peso final de soja (g)	umidade final (equilíbrio) (%)	média (%)
28	10	2.0060	1.6042	1.6666	3,89	
29	10	2.0179	1.6137	1.6645	3,15	
30	10	2.0478	1.6376	1.6925	3,35	3,46
31	20	2.1119	1.6889	1.7668	4,61	
32	20	2.0202	1.6155	1.6888	4,53	
33	20	2.0640	1.6506	1.7310	4,87	4,67
34	30	2.0231	1.6179	1.7003	5,09	
35	30	2.1093	1.6796	1.7733	5,58	
36	30	2.0161	1.6123	1.7082	5,95	5,54
37	40	2.0661	1.6515	1.7636	6,78	
38	40	2.1002	1.0705	1.7023	6,72	
39	40	2.0559	1.6441	1.7563	6,68	6,78
40	50	2.0621	1.6491	1.7753	7,65	
41	50	2.0286	1.6223	1.7456	7,60	
42	50	2.0061	1.6043	1.7318	7,95	7,72
43	60	2.0076	1.6055	1.7615	9,72	
44	60	2.0867	1.6687	1.8259	9,42	
45	60	2.0894	1.6709	1.8385	10,03	9,72
46	70	2.0861	1.6682	1.8807	12,73	
47	70	2.0923	1.6732	1.8765	12,15	
48	70	2.0086	1.6063	1.8091	12,63	12,50
49	80	2.0024	1.6013	1.8774	17,24	
50	80	2.1493	1.7138	2.0072	16,78	
51	80	2.0634	1.6501	1.9240	16,60	16,87
52	90	2.0711	1.6563	2.0737	25,20	
53	90	2.0236	1.6183	2.0088	24,13	
54	90	2.0903	1.6716	2.0785	24,34	24,56

TABELA 21. Resultados finais utilizados na construção dos gráficos 23 e 24.

U.R. (%)	Umidade de equilíbrio (%)	Umidade de equilíbrio (%)	Umidade média
	<u>4,20%</u>	<u>25,05%</u>	
10	2,71	3,46	3,09
20	3,90	4,67	4,29
30	4,55	5,54	5,05
40	5,52	6,78	6,15
50	6,65	7,73	7,19
60	9,23	9,72	9,48
70	12,03	12,50	12,27
80	16,21	16,87	16,54
90	24,37	24,56	24,47

A temperatura média durante o experimento foi $26^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$, calculada com base nos gráficos registrados pelo termohigrografo.

Estabelecemos uma equação para descrever os dados apresentados para a umidade média na tabela 21. Essa equação é do 3º grau, da forma:

$$\text{Meq} = a_1 \phi + a_2 \phi^2 + a_3 \phi^3, \text{ onde}$$

Meq = umidade de equilíbrio, base seca, em %

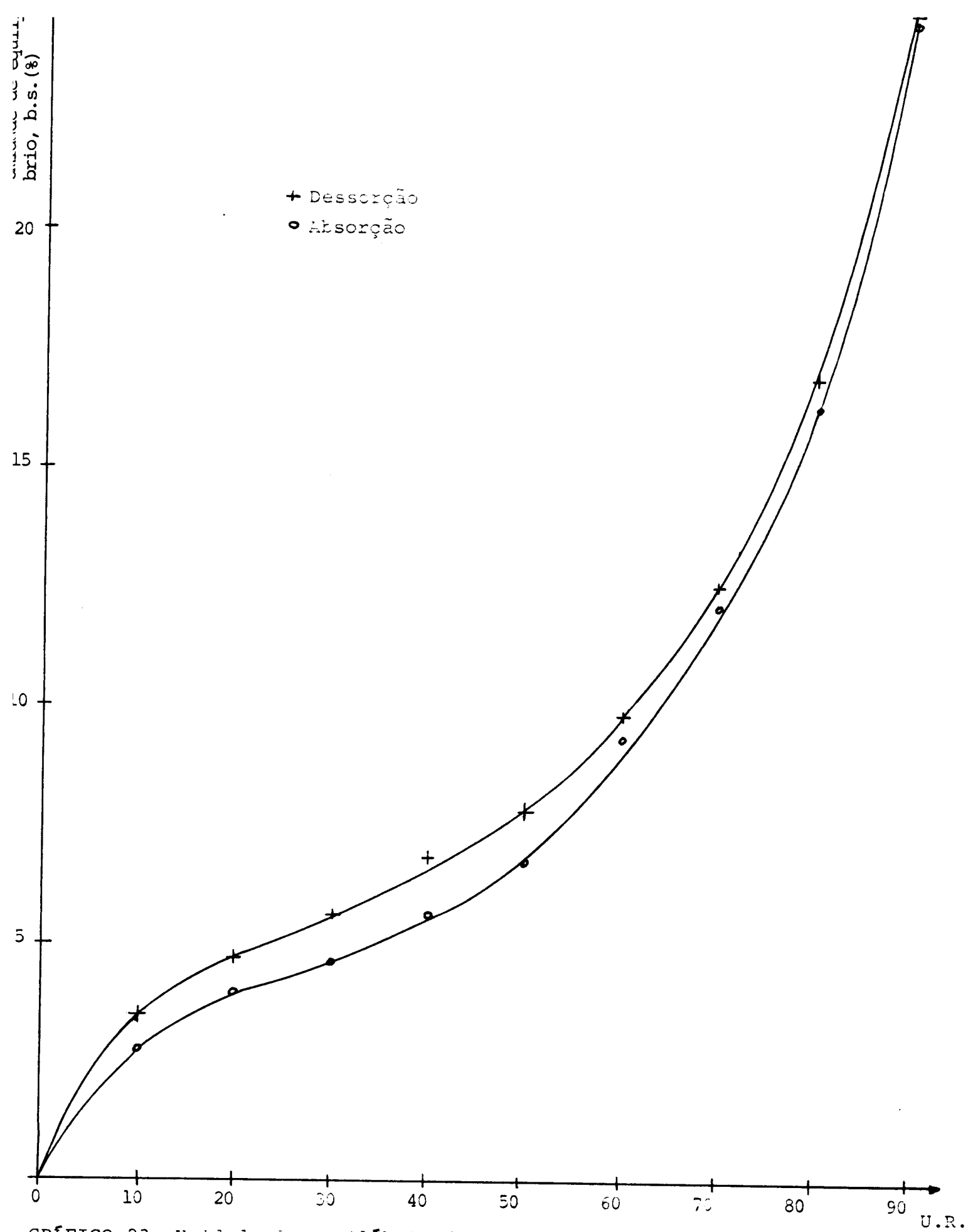


GRÁFICO 23. Umidade de equilíbrio da soja, variedade Santa Rosa, em função da umidade relativa do ambiente.

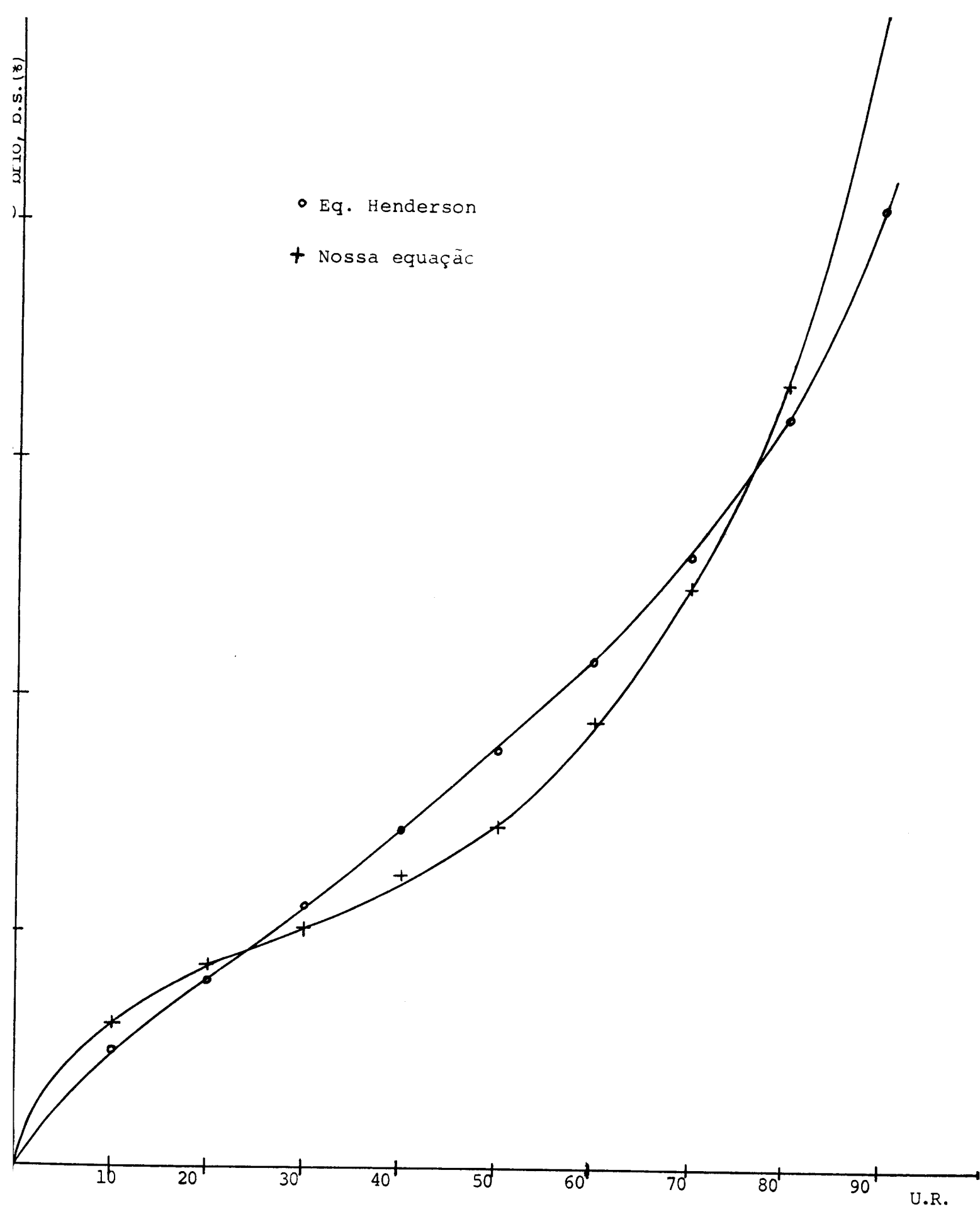


GRÁFICO 24. A equação de Henderson comparada com a equação obtida com nossos da dos experimentais.

ϕ = umidade relativa, em decimal

a_1, a_2 e a_3 = constantes a determinar

Determinaremos a equação usando o método dos mínimos qua
drados

$$SS = \sum (Meq - a_1 \phi - a_2 \phi^2 - a_3 \phi^3)^2$$

$$\frac{\delta SS}{\delta a_1} = 0 = \sum (Meq - a_1 \phi - a_2 \phi^2 - a_3 \phi^3) \phi$$

$$\frac{\delta SS}{\delta a_2} = 0 = \sum (Meq - a_1 \phi - a_2 \phi^2 - a_3 \phi^3) \phi^2$$

$$\frac{\delta SS}{\delta a_3} = 0 = \sum (Meq - a_1 \phi - a_2 \phi^2 - a_3 \phi^3) \phi^3$$

Ou ainda:

$$\sum Meq \phi - a_1 \sum \phi^2 - a_2 \sum \phi^3 - a_3 \sum \phi^4 = 0$$

$$\sum Meq \phi^2 - a_1 \sum \phi^3 - a_2 \sum \phi^4 - a_3 \sum \phi^5 = 0$$

$$\sum Meq \phi^3 - a_1 \sum \phi^4 - a_2 \sum \phi^5 - a_3 \sum \phi^6 = 0$$

Realizando os cálculos para eliminarmos os somatórios, che
gamos ao sistema seguinte:

$$2,85 a_1 + 2,025 a_2 + 1,533 a_3 = 58,27$$

$$2,025 a_1 + 1,533 a_2 + 1,208 a_3 = 43,27$$

$$1,533 a_1 + 1,208 a_2 + 0,978 a_3 = 34,03$$

Um sistema com 3 equações e 3 incógnitas que é facilmente resolvido e obtemos:

$$a_1 = 38,27$$

$$a_2 = -92,59$$

$$a_3 = 89,17$$

E nos leva a equação final:

$$Meq = 38,27 \phi - 92,59 \phi^2 + 89,17 \phi^3,$$

que apresenta um coeficiente de correlação igual a 0,998 e significância a 0,5%.

Utilizando os mesmos dados e a equação proposta Henderson (30), podemos obter os valores das constantes k e n, através de uma regressão linear.

A equação: $1 - \phi = e^{-kTM^n}$, pode ser transformada em

$$-\log_e (1 - \phi) = kTM^n, \text{ ou ainda:}$$

$\log_e (-\log_e (1 - \phi)) = \log_e kT + n \log_e M$, que é a equação de uma reta em papel mono-log.

Por meio da regressão, obtemos os valores de $n = 1,43$ e $k = 5,8 \times 10^{-5}$, ficando a equação:

$$1 - \phi = e^{-5,8 \times 10^{-5} T M^{1,43}},$$

que apresenta um coeficiente de correlação igual a 0,84 e significância a 0,5%.

Os resultados estatísticos mostram que a equação proposta por nós é melhor para descrever os dados obtidos do que a equação de Henderson. Os valores de n e k apresentados pela literatura são respectivamente 1,52 e $3,20 \times 10^{-5}$. O valor de n está bastante próximo do obtido, o mesmo não acontecendo com o valor de k .

As unidades de equilíbrio médias obtidas neste trabalho (tabela 21) são menores do que as apresentadas por Berry e Dickerson (7).

As unidades de equilíbrio obtidas através dos fenômenos de absorção e desorção (tabela 21) são menores que as apresentadas por Alam e Shove (2), com excessão das três unidades relativas mais baixas (10, 20 e 30%).

4.7. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Os gráficos obtidos no equipamento Instron Universal foram analisados para a determinação das características importantes no fenômeno da compressão de um grão de soja.

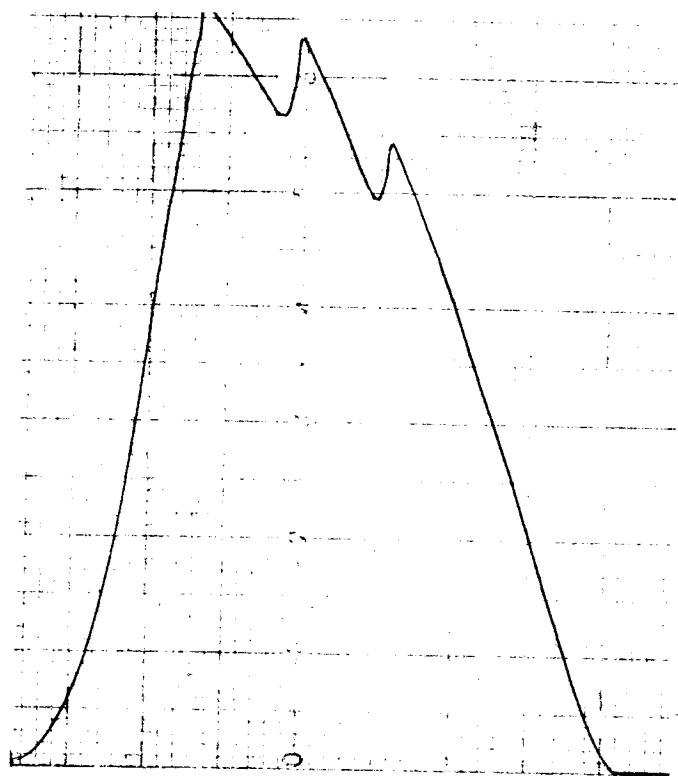
Para que se tenha uma idéia dessas curvas que foram obtidas, nas diferentes condições, apresentamos os gráficos de 25 a 33 que exemplificam as curvas características de grãos de soja submetidos às forças de compressão.

O gráfico 34 serve como exemplo para a maneira que os dados foram determinados nos experimentos. O ponto de inflexão da força foi caracterizado pela força correspondente e pelo deslocamento, o mesmo acontecendo com o ponto de biofalha e do biorecrudescimento.

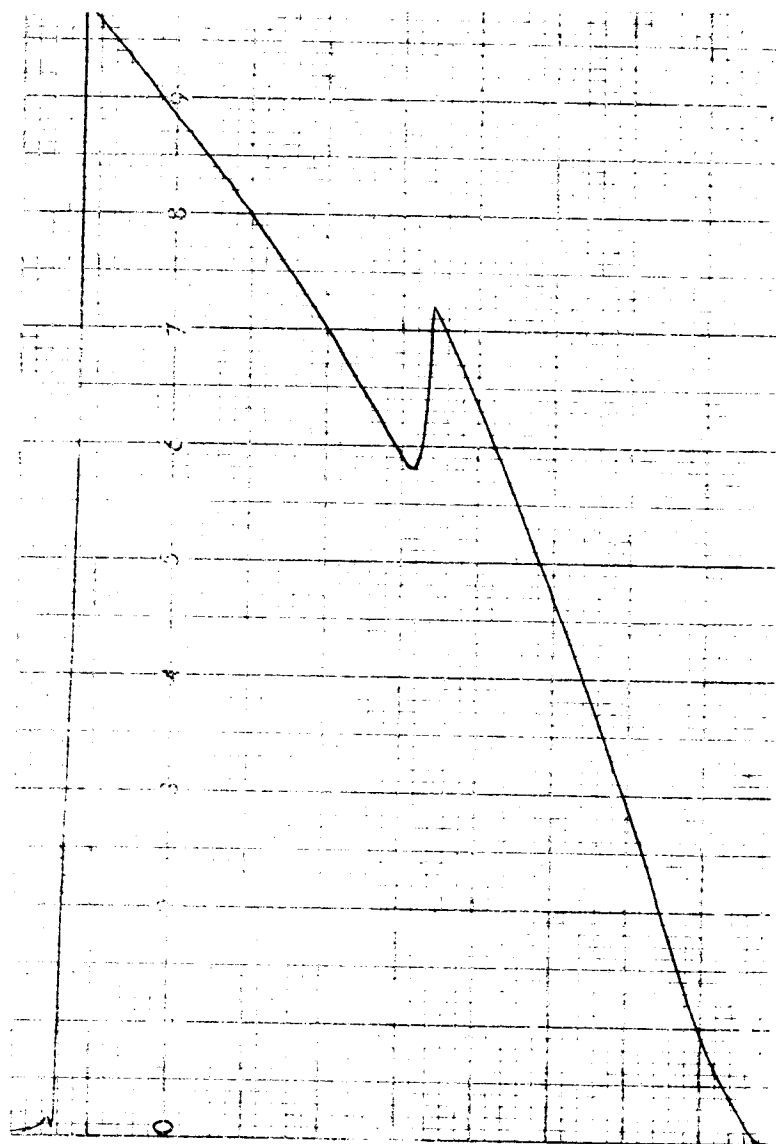
Analiseemos o ponto da biofalha. O deslocamento pode ser obtido medindo-se a distância que vai do início do gráfico (momento em que a força começa a ser registrada) até o ponto em que há um decréscimo no valor da força. Esse valor é representado no gráfico, por e_2 . Como sabemos a velocidade de aplicação da força (0,5 cm/min) e a velocidade do papel (50 cm/min), obtem-se o valor real do deslocamento, no grão, multiplicando o valor e_2 pela relação entre as velocidades. Para a curva do gráfico 34 temos:

$$59,5 \text{ mm} \times \frac{0,5}{50} = 0,595 \text{ mm}$$

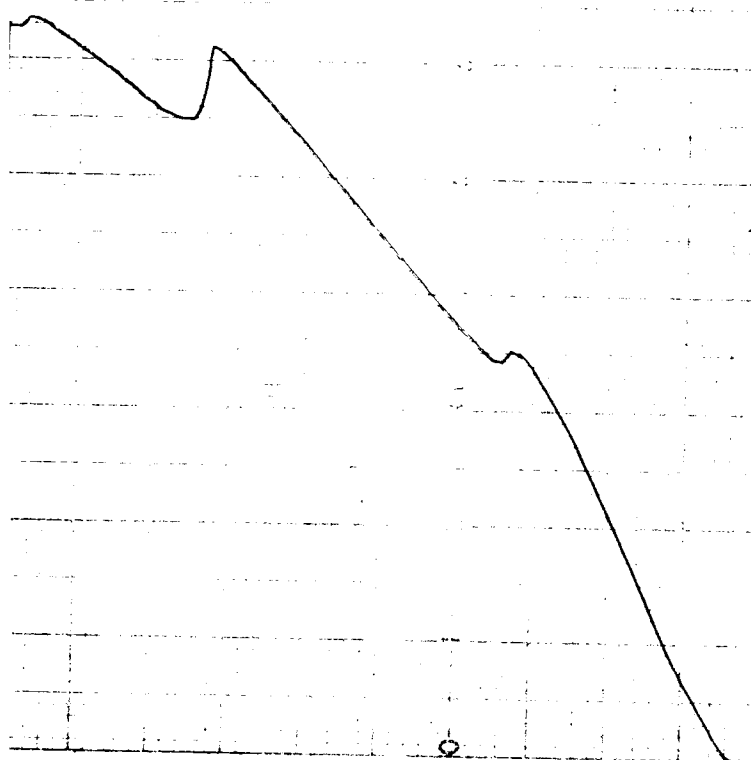
A força correspondente a esse ponto possui valor de 7,0 kgf por



Graf. 25

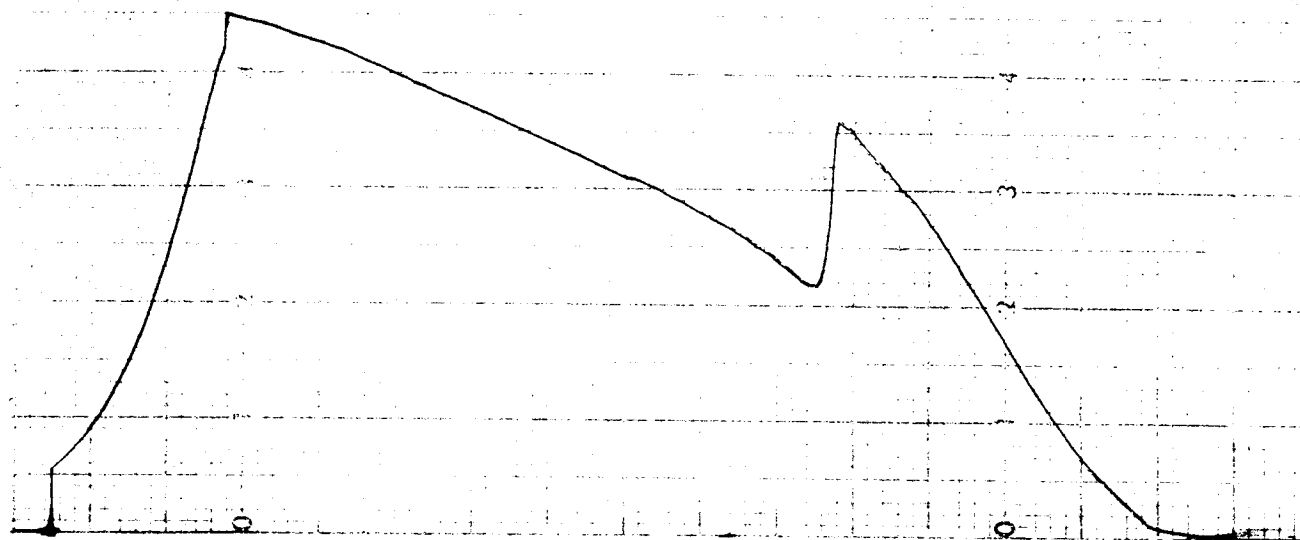


Graf. 26

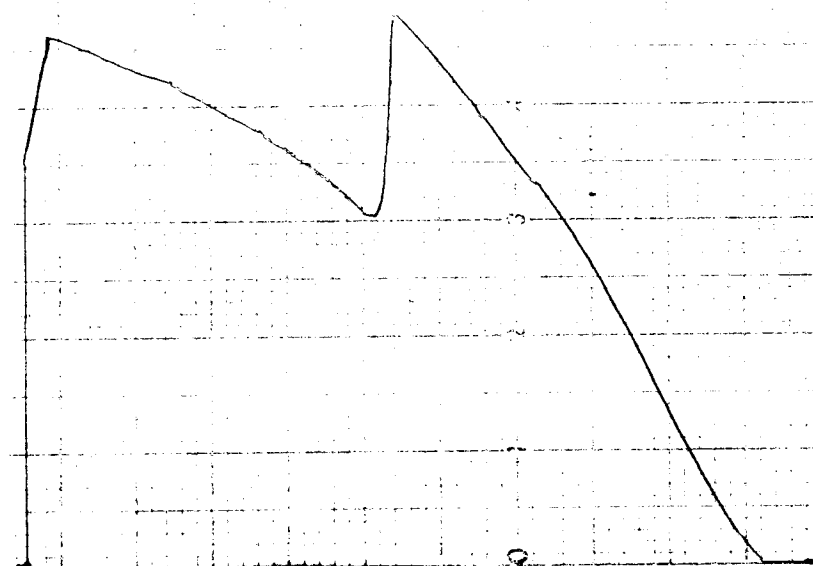


Graf. 27

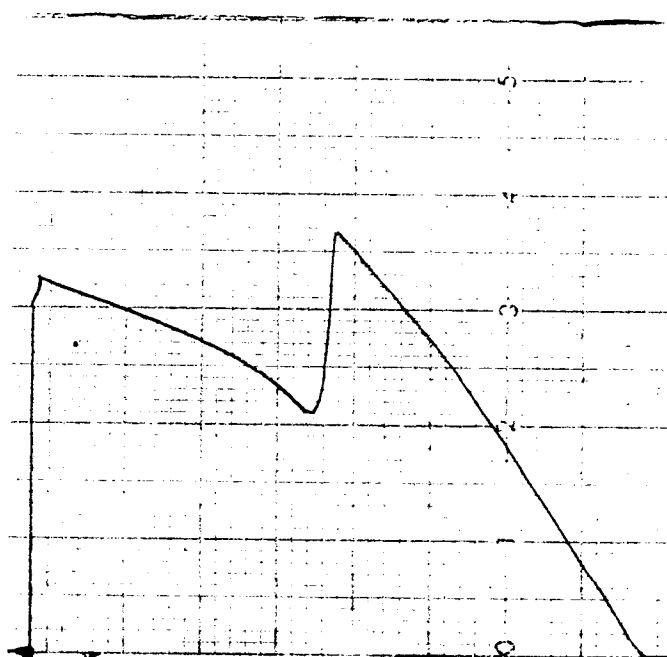
GRÁFICOS 25, 26 e 27. Curvas força x deslocamento obtidas na compressão de grãos de soja, na posição de equilíbrio. Baixo teor de umidade.



Graf. 28



Graf. 29



Graf. 30

GRÁFICOS 28, 29 e 30. Curvas força x deslocamento obtidas na compressão de grãos de soja, na posição em que o hilo está vertical e na em que o hilo está horizontal. Baixo teor de umidade.

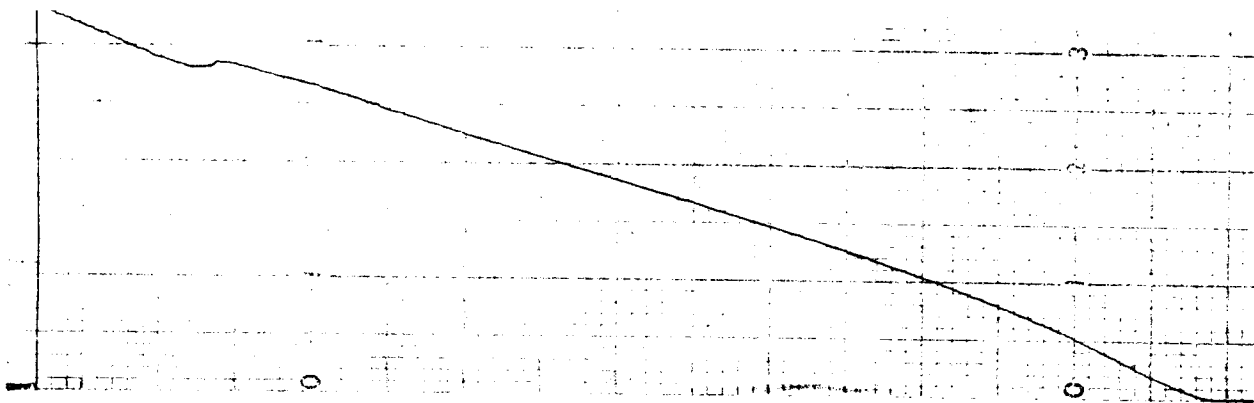
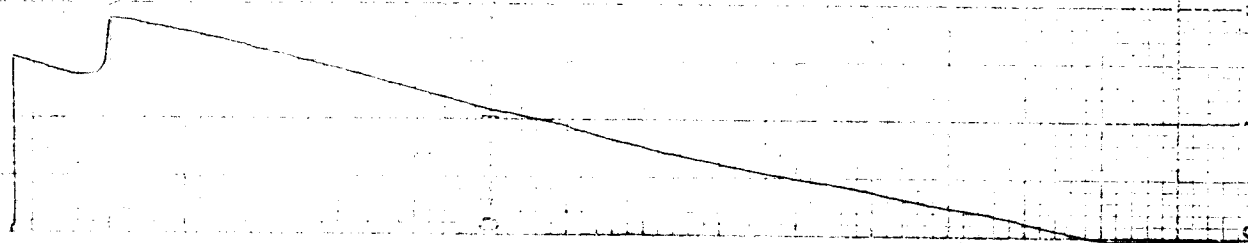
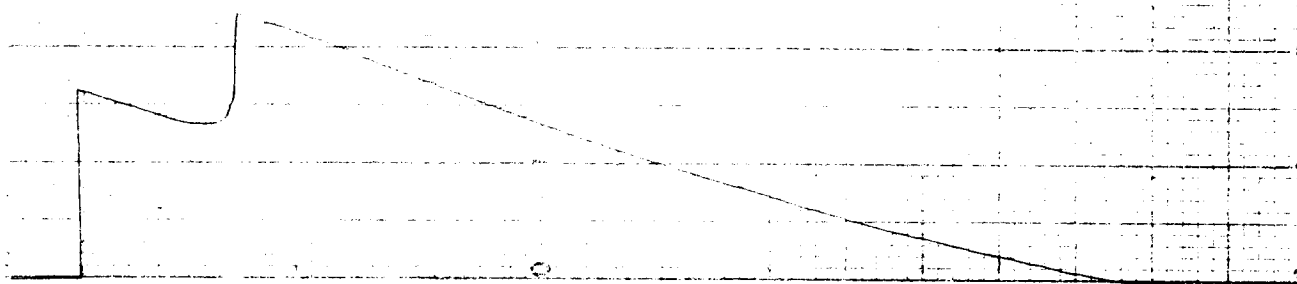


GRÁFICO 31. Curva força x deslocamento obtidas na compressão de grãos de soja, na posição de equilíbrio. Alto teor de umidade.



Graf. 32



Graf. 33

GRÁFICOS 32 e 33. Curvas força x deslocamento obtidas na compressão de grãos de soja, nas posições: hilo vertical e hilo horizontal. Alto teor de umidade.

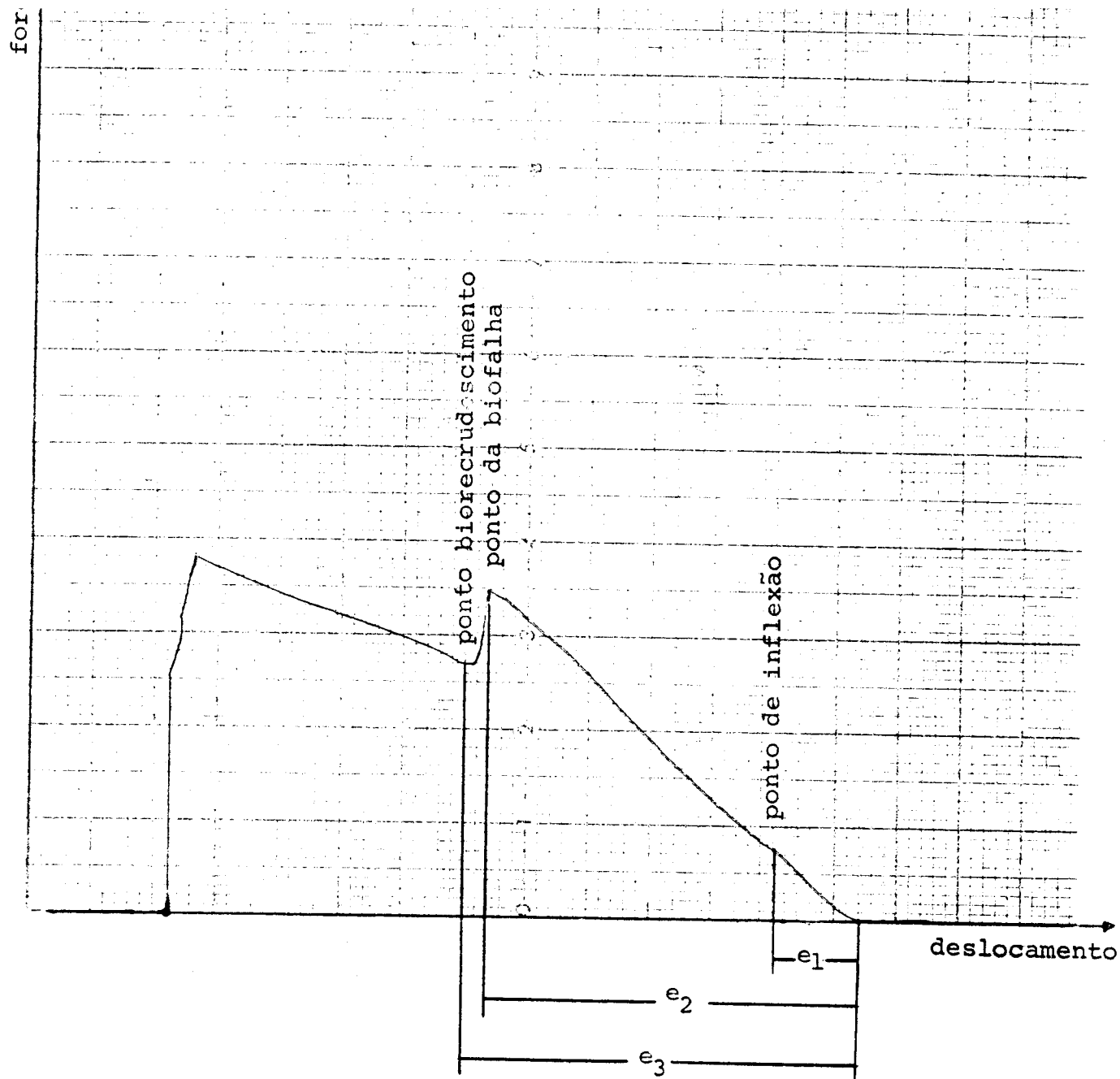


GRÁFICO 34. Curva força x deslocamento obtida na compressão de um grão de soja, mostrando os pontos importantes, considerações na pesquisa. e_1 = deslocamento no ponto de inflexão da força, e_2 = deslocamento no ponto da biofalha, e_3 = deslocamento no ponto do biorecrudescimento.

que a escala máxima equivale a 20,0 kgf e portanto cada divisão do papel vale 0,2 kgf.

Esse procedimento foi realizado para todos os gráficos, individualmente, obtendo-se os valores que caracterizam o ponto de inflexão, da biofalha e do biorecrudescimento. Os resultados obtidos no ponto do biorecrudescimento e no ponto de inflexão da força não foram positivos. Houve demasiada variação e nenhuma relação com as variáveis estudadas pode ser conseguida.

Nossa atenção recaiu, então, sobre o ponto da biofalha. As tabelas de 22 a 51 apresentam os resultados obtidos nessa parte dos experimentos.

Quanto aos testes estatísticos para esses experimentos, foi utilizado um modelo estudado por Ostle (44) que se propõem a avaliar as influências do tamanho, posição e umidade do grão nos valores das grandezas determinadas experimentalmente.

Para o tipo de análise da variância realizado há o consenso de que o coeficiente de variação apresentado pelos valores analisados deve ser menor do que 30% para um perfeito uso do modelo. Em nossos resultados, todas as análises obedecem a essa recomendação.

Quanto aos quadros apresentados com os resultados da análise de variância faz-se necessário alguns comentários. As influências estatísticas das interações umidade x peneira e umidade x posição não aparecem nos respectivos quadros, embora tenham sido consideradas. Acontece que suas influências são não significativas. Assim sendo, os resíduos existentes devido a essas interações, bem como os graus de liberdade foram transferidos

aos erros experimentais, o que dá uma maior precisão na análise de variância realizada. Poderíamos ter utilizado o mesmo caminho para a interação posição x peneira, porém, nesse caso, nos pareceu interessante a manutenção, pois são dois fatores que a princípio poderiam parecer bastante relacionados. Tal fato, como se pode verificar nos quadros, não aconteceu, mas mantivemos os cálculos da citada interação para maior clareza e porque envolve o menor número de graus de liberdade das interações consideradas, ou seja, sua passagem para os erros experimentais não aumentaria em muito a precisão dos resultados.

Devemos ainda salientar que não nos utilizamos apenas dos tradicionais níveis de significância de 1% e 5% porque como primeiro estudo achamos conveniente especificar mais precisamente as influências verificadas nas grandezas pesquisadas.

Analisando a tabela 38, o quadro 1, referente a análise estatística e gráficos 35, 36 e 37, vemos que a força no ponto da biofalha é influenciada em grande escala pela umidade, posição e tamanho do grão de soja. O valor da força decresceu com o aumento do teor de umidade, após ter atingido um valor máximo na umidade de 6,09%, aproximadamente. Em linhas gerais essa afirmativa confere com os experimentos de Bilanski (10) e de Paulsen (46). Nessas referências, o valor máximo a que nos referimos não é encontrado, embora Bilanski tenha trabalhado na faixa de 1% a 16% de umidade. A posição que resistiu a maior força é a de equilíbrio, enquanto que a menor resistência foi verificada quando o hilo estava na posição horizontal. Também aqui estamos de acordo com Bilanski (10) e Paulsen (46) que estudaram apenas estas

duas posições citadas. De uma maneira geral, pode-se notar que os grãos maiores resistiram a uma força maior. Até certo valor no teor de umidade esses dados estão de acordo com Paulsen diferindo nos valores de umidade.

A partir dos dados constantes na tabela 38, foram obtidos os dados para a tabela 39, utilizada na construção dos gráficos 38, 39 e 40. Essa tabela apresenta os valores da relação força no ponto da biofalha/área do grão. A área do grão foi calculada com base na peneira em que este se situou. Assim, os grãos da peneira 17, apresentam um diâmetro equivalente médio de 6,75 mm, que corresponde a uma área de $35,75 \text{ mm}^2$ se considerarmos a forma esférica para o grão de soja. O mesmo raciocínio foi utilizado para as outras peneiras: 16 (diâmetro equivalente = 6,35 mm e área = $31,67 \text{ mm}^2$) 15 (5,95 mm e $27,83 \text{ mm}^2$) 14 (5,56 mm e $24,25 \text{ mm}^2$) e 13 (5,16 mm e $20,91 \text{ mm}^2$).

Esse procedimento justifica-se para que possamos verificar o comportamento dos grãos de soja de diversos tamanhos na resistência à quebra por forças de compressão. Os dados da tabela 38 não nos permitem uma conclusão definitiva a respeito da resistência pois o valor da força medida está apresentado sem que se leve em conta a área em que ela está aplicada. A divisão pela área do grão torna os valores mais adequados e específicos para uma análise desse tipo. O quadro 2 mostra os resultados da análise estatística realizada. Como nas considerações a respeito da tabela 38, a influência da posição e da umidade são altamente significativas. A influência do tamanho passa agora a ser menor, mas ainda a níveis bem significativos. De uma maneira geral, os

grãos menores resistem mais do que os maiores. Isso está de acordo com Paulsen (46) que utilizou-se do volume do grão ao invés da área, como fator corretivo.

A tabela 40, o quadro 3 e o gráfico 41, mostram os resultados referentes ao deslocamento no ponto da biofalha. Aqui, a influência da umidade é a que se faz sentir mais. A influência do tamanho é também considerável e os testes estatísticos indicam que a posição não influenciou significativamente no valor do deslocamento. Um ponto interessante deve ser observado nesses resultados. Nos baixos teores de umidade a posição de equilíbrio resistiu menos que as outras no que se refere ao deslocamento. A medida que a umidade vai aumentando, essa tendência vai se invertendo, até que nas altas umidades, a posição de equilíbrio suporta um deslocamento maior do que as outras posições. Mas, o deslocamento sempre aumenta com o acréscimo do teor de umidade. Esses resultados estão plenamente de acordo com Paulsen (46), embora em seu trabalho não se possa notar a tendência comentada acima. Prasad e Gupta (48) apresentam um pico para o deslocamento, em função da umidade, quando o grão é arroz integral. Para a soja este pico não foi verificado em nenhum trabalho. A influência do tamanho é marcada, de modo geral, por um menor deslocamento nos grãos menores, o que está de acordo com Paulsen (46).

A tabela 41, o quadro 4 e o gráfico 42, servem para a análise do produto força x deslocamento, no ponto da biofalha. O tamanho do grão foi a maior influência verificada, com resultados bastante significativos. A umidade ficou para segundo plano, mas ainda com influência considerável. A posição, mais uma vez,

não influenciou, o que aparentemente está de acordo com Bilanski (10). A energia absorvida pelo grão, expressa em termos de força x deslocamento, aumentou com o acréscimo do teor de umidade, o que também está de acordo com o trabalho de Bilanski (10). Quanto maior o tamanho do grão, maior também foi o valor da energia absorvida.

Quanto aos valores da tensão máxima, podemos analisar a tabela 50, o quadro 5 e o gráfico 43. Os resultados estatísticos mostram que a grandeza considerada não depende do tamanho do grão. Somente com a tensão esse fato foi verificado. A posição e a umidade exercem influência altamente significativa nos valores das tensões. O valor da tensão diminuiu com o acréscimo do teor de umidade do grão. A posição que resistiu a maior tensão foi aquela em que o hilo estava na posição vertical e a de menor resistência foi com o hilo na posição horizontal.

A tabela 51 e os gráficos 44, 45 e 46 compostos pelos valores médios das tabelas 42 a 49, mostram as variações causadas pelo tamanho, posição e umidade, no valor da área no ponto da biofalha. O quadro 6 apresenta os resultados da análise de variança realizada. Nota-se que a área no ponto da biofalha sofre influência do teor de umidade e da posição, a níveis altamente significativos. A influência do tamanho do grão, embora menor, não é desprezível e deve ser considerada.

De uma maneira geral, podemos dizer que a área no ponto da biofalha aumentou com o acréscimo do teor de umidade. A posição de equilíbrio do grão é a que resistiu até uma maior área, sendo a posição em que o hilo está vertical a de menor área no

ponto da biofalha. Os grãos menores , apresentaram também menor área no ponto considerado.

TABELA 22. Dimensões e diâmetros equivalentes dos grãos utilizados nos experimentos. Umidade de 4,00%.

	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₃ (mm)	d _{eq} (mm)
Peneira 17	7,56	5,60	6,34	6,45
Posição:	7,78	5,88	7,00	6,84
Equilíbrio	7,62	5,96	7,02	6,83
	7,96	5,54	6,78	6,69
	7,56	6,06	6,86	6,78
Peneira 17	7,86	5,70	6,94	6,77
Posição:	8,28	5,60	6,86	6,83
Hilo vertical	7,52	6,18	6,82	6,82
	7,56	5,92	6,60	6,66
	8,12	5,38	6,70	6,64
Peneira 17	7,44	5,54	6,86	6,56
Posição:	6,88	6,30	6,84	6,67
Hilo horizontal	7,24	5,64	6,48	6,42
	7,28	5,34	6,44	6,30
	7,46	5,78	6,98	6,70
Peneira 16	6,98	5,76	6,60	6,43
Posição:	6,94	5,76	6,66	6,43
Equilíbrio	7,06	5,52	6,32	6,27
	6,72	5,82	6,48	6,33
	7,64	5,08	6,46	6,31
Peneira 16	7,26	5,56	6,54	6,41
Posição:	7,10	5,72	6,46	6,40
Hilo vertical	6,92	5,56	6,48	6,29
	7,60	5,48	6,68	6,53
	7,28	5,38	6,46	6,32
Peneira 16	6,90	5,38	6,56	6,24
Posição:	6,64	5,46	6,26	6,10
Hilo horizontal	7,18	5,74	6,66	6,50
	7,00	5,64	6,32	6,23
	7,28	5,26	6,44	6,27
Peneira 15	6,78	5,50	6,14	6,12
Posição:	6,68	5,28	6,26	6,04
Equilíbrio	5,88	5,58	6,12	6,17
	6,58	5,54	6,18	6,08
	6,52	5,70	6,16	6,12
Peneira 15	6,74	5,30	6,28	6,08
Posição:	7,26	5,26	6,18	6,18
Hilo vertical	6,76	5,28	6,22	6,06
	7,06	4,98	6,08	5,98
	6,52	5,26	6,22	5,98
Peneira 15	6,46	5,62	6,20	6,08
Posição:	6,84	5,38	6,34	6,16
Hilo horizontal	6,38	5,30	6,10	5,91

	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)	d_{eq} (mm)
	7,00	5,12	6,14	6,04
	6,68	4,98	5,94	5,82
Peneira 14	6,14	4,54	5,58	5,38
Posição:	6,40	5,28	5,84	5,82
Equilíbrio	6,38	4,84	5,66	5,59
	6,40	4,82	5,92	5,67
	6,08	4,88	5,74	5,54
Peneira 14	6,34	4,72	5,58	5,51
Posição:	6,14	5,06	5,68	5,61
Hilo vertical	6,34	5,16	5,68	5,71
	6,04	4,80	5,68	5,48
	6,26	4,66	5,64	5,48
Peneira 14	6,24	5,22	6,02	5,81
Posição:	6,48	4,92	5,74	5,68
Hilo horizontal	6,16	4,72	5,58	5,45
	6,22	4,90	5,76	5,60
	5,86	4,82	5,66	5,43
Peneira 13	5,76	4,42	5,32	5,14
Posição:	5,94	4,74	5,50	5,37
Equilíbrio	5,96	4,46	5,46	5,26
	5,74	4,82	5,62	5,38
	6,00	4,82	5,52	5,42
Peneira 13	5,94	4,52	5,34	5,23
Posição:	5,66	3,96	5,26	4,90
Hilo vertical	6,14	4,32	5,38	5,23
	5,58	4,36	5,34	5,06
	6,26	4,40	5,42	5,30
Peneira 13	5,76	4,44	5,26	5,12
Posição:	6,32	4,58	5,44	5,40
Hilo horizontal	6,02	4,30	5,14	5,11
	6,02	4,58	5,86	5,45
	6,12	4,54	5,60	5,38

TABELA 23. Dimensões e diâmetros equivalentes dos grãos utilizados nos experimentos. Umidade de 5,33%.

	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)	d_{eq} (mm)
Peneira 17	7,50	5,64	6,90	6,63
Posição:	8,12	5,78	6,92	6,87
Equilíbrio	6,96	5,68	6,82	6,46
	6,98	6,22	7,02	6,73
	7,74	6,18	7,06	6,96
Peneira 17	8,24	6,00	7,14	7,07
Posição:	7,36	5,90	6,74	7,64
Hilo vertical	7,68	5,88	6,90	6,78
	7,44	5,68	6,76	6,59
	7,98	5,72	7,04	6,85
Peneira 17	7,84	5,72	7,96	7,09
Posição:	7,46	5,86	6,88	6,70
Hilo horizontal	7,78	5,84	7,16	6,92
	7,18	5,86	6,76	6,58
	8,24	6,12	7,10	7,10
Peneira 16	6,82	5,60	6,46	6,27
Posição:	7,36	5,76	6,56	6,53
Equilíbrio	7,10	5,62	6,50	6,38
	6,74	5,80	6,38	6,29
	7,08	5,62	6,64	6,42
Peneira 16	7,52	5,40	6,34	6,36
Posição:	7,86	5,34	6,48	6,48
Hilo vertical	7,30	5,60	6,38	6,39
	7,46	5,88	6,76	6,67
	7,16	5,40	6,52	6,32
Peneira 16	6,80	5,86	6,48	6,37
Posição:	7,26	5,52	6,38	6,35
Hilo horizontal	6,94	5,52	6,34	6,24
	7,10	5,68	6,58	6,43
	6,64	5,54	6,34	6,16
Peneira 15	7,04	5,62	6,38	6,32
Posição:	7,08	5,52	6,34	6,28
Equilíbrio	7,00	5,34	6,38	6,20
	6,36	5,08	6,06	5,81
	6,66	5,44	6,38	6,14
Peneira 15	6,96	5,52	6,30	6,23
Posição:	6,84	5,22	6,18	6,04
Hilo vertical	6,70	5,50	6,28	6,14
	6,78	5,16	6,20	6,01
	6,44	5,66	6,36	6,14
Peneira 15	6,90	5,34	6,20	6,11
Posição:	6,48	5,58	6,22	6,08
Hilo horizontal	6,52	5,30	6,12	5,96

	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)	d_{eq} (mm)
	6,48	5,14	6,10	5,88
	6,66	5,68	6,38	6,23
Peneira 14	6,32	4,78	5,72	5,57
Posição:	6,44	5,26	5,78	5,81
Equilíbrio	6,42	5,04	5,90	5,76
	6,26	4,70	5,58	5,48
	5,96	5,22	5,96	5,53
Peneira 14	6,12	4,88	5,66	5,50
Posição:	6,44	4,56	5,66	6,05
Hilo vertical	6,38	6,04	5,76	5,54
	6,12	4,90	5,66	5,69
	6,48	4,84	5,88	5,65
Peneira 14	6,70	4,84	5,56	5,50
Posição:	6,40	4,62	5,64	5,56
Hilo horizontal	5,78	5,08	5,86	5,84
	6,70	5,08	5,84	5,70
	6,10	4,86	5,74	5,54
Peneira 13	6,28	4,42	5,40	5,31
Posição:	6,08	4,66	5,68	5,44
Equilíbrio	5,88	4,74	5,40	5,32
	6,10	4,62	5,34	5,32
	6,38	4,50	5,36	5,36
Peneira 13	6,14	4,58	5,66	5,42
Posição:	5,66	4,72	5,58	5,30
Hilo vertical	6,30	4,44	5,30	5,29
	6,32	4,80	5,38	5,46
	5,88	4,76	5,36	5,31
Peneira 13	6,26	4,54	5,50	5,39
Posição:	6,64	4,48	5,48	5,46
Hilo horizontal	6,14	4,72	5,54	5,44
	5,98	4,56	5,48	5,31
	6,26	4,74	5,56	5,48

TABELA 24. Dimensões e diâmetros equivalentes dos grãos utilizados nos experimentos. Unidade de 6,09%.

	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)	d_{eq} (mm)
Peneira 17	7,36	6,50	7,38	7,07
Posição:	7,78	6,36	7,44	7,17
Equilíbrio	7,90	6,72	6,90	7,16
	7,64	6,02	7,12	6,89
	7,46	5,92	6,94	6,74
Peneira 17	7,26	6,12	7,06	6,79
Posição:	8,36	6,04	7,02	7,08
Hilo vertical	7,86	5,90	7,02	6,88
	6,74	6,08	6,82	6,54
	7,88	6,40	7,36	7,19
Peneira 17	7,58	6,58	7,34	7,15
Posição:	8,18	5,48	6,82	6,74
Hilo horizontal	8,32	6,20	7,38	7,25
	7,62	6,08	7,28	7,23
	7,80	5,68	6,96	6,76
Peneira 16	6,88	5,78	6,58	6,40
Posição:	6,86	5,78	6,46	6,35
Equilíbrio	7,76	5,24	6,64	6,46
	6,62	5,62	6,38	6,19
	6,96	5,50	6,58	6,32
Peneira 16	7,38	5,80	6,50	6,53
Posição:	6,94	5,46	6,38	6,23
Hilo vertical	8,08	5,40	6,74	6,65
	6,80	6,00	6,62	6,46
	6,64	5,58	6,52	6,23
Peneira 16	6,72	5,52	6,48	6,22
Posição:	6,90	5,62	6,58	6,34
Hilo horizontal	6,52	5,66	6,36	6,15
	6,82	5,56	6,48	6,26
	7,14	5,58	6,40	6,34
Peneira 15	6,82	5,30	6,18	6,07
Posição:	7,00	5,50	6,24	6,22
Equilíbrio	6,54	5,12	6,18	5,91
	6,88	5,48	6,28	6,19
	6,50	5,16	6,20	5,92
Peneira 15	6,80	5,46	6,20	6,13
Posição:	6,64	5,78	6,32	6,24
Hilo vertical	7,00	5,16	6,04	6,02
	6,82	5,36	6,24	6,11
	6,70	5,30	6,28	6,06
Peneira 15	6,62	5,20	6,08	5,94
Posição:	6,80	5,28	5,96	5,98
Hilo horizontal	6,24	5,12	5,96	5,75

	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)	d_{eq} (mm)
	6,68	5,46	6,26	6,11
	6,62	5,36	6,18	6,03
Peneira 14	6,24	4,32	5,46	5,28
Posição:	6,04	4,78	5,66	5,47
Equilíbrio	6,02	4,48	5,54	5,31
	6,00	4,62	5,68	5,40
	6,20	4,82	5,78	5,57
Peneira 14	5,92	5,08	5,70	5,56
Posição:	6,36	4,76	5,88	5,63
Hilo vertical	6,02	5,08	5,76	5,61
	5,98	4,52	5,64	5,34
	6,62	4,78	5,78	5,68
Peneira 14	5,78	4,54	5,60	5,28
Posição:	6,62	4,52	5,58	5,51
Hilo horizontal	6,84	4,82	5,70	5,73
	6,06	5,14	5,78	5,65
	6,24	5,08	5,96	5,74
Peneira 13	5,64	4,28	5,16	4,99
Posição:	6,10	4,82	5,44	5,43
Equilíbrio	5,92	4,36	5,38	5,18
	5,82	4,34	5,26	5,10
	5,96	4,70	5,40	5,33
Peneira 13	6,28	4,68	5,60	5,48
Posição:	6,02	4,66	5,42	5,34
Hilo vertical	6,58	4,84	5,70	5,66
	6,28	4,72	5,40	5,43
	6,22	4,56	5,52	5,39
Peneira 13	5,88	4,50	5,52	5,27
Posição:	6,02	4,20	5,32	5,12
Hilo horizontal	5,72	5,22	5,44	5,46
	5,90	4,48	5,36	5,21
	5,60	4,46	5,34	5,11

TABELA 25. Dimensões e diâmetros equivalentes dos grãos utilizados nos experimentos. Unidade de 7,04%.

	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₃ (mm)	d _{eq} (mm)
Peneira 17	7,48	6,18	7,72	7,09
Posição:	7,10	6,08	6,74	6,63
Equilíbrio	7,50	6,18	6,96	6,86
	8,04	6,02	6,98	6,96
	7,06	5,96	6,82	6,60
Peneira 17	7,88	5,84	7,06	6,87
Posição:	7,92	5,90	7,08	6,92
Hilo vertical	7,30	5,82	6,76	6,60
	7,66	6,08	7,00	6,88
	7,12	6,08	6,98	6,71
Peneira 17	7,36	6,36	7,06	6,91
Posição:	7,16	5,90	6,82	6,60
Hilo horizontal	8,00	5,66	7,00	6,82
	7,62	5,58	6,70	6,58
	7,68	5,90	7,00	6,82
Peneira 16	7,08	5,72	6,60	6,44
Posição:	7,00	5,82	6,58	6,45
Equilíbrio	7,10	5,76	6,56	6,45
	7,22	5,18	6,38	6,20
	6,60	5,70	6,36	6,21
Peneira 16	7,24	5,86	6,64	6,56
Posição:	7,10	5,62	6,58	6,40
Hilo vertical	6,80	5,68	6,42	6,28
	7,04	5,62	6,64	6,40
	7,38	5,48	6,62	6,45
Peneira 16	7,16	5,02	6,48	6,15
Posição:	7,04	5,58	6,48	6,34
Hilo horizontal	6,50	6,62	6,48	6,19
	7,16	5,42	6,48	6,31
	7,42	5,38	6,38	6,34
Peneira 15	6,58	5,56	6,38	6,12
Posição:	6,88	5,22	6,30	6,09
Equilíbrio	6,74	5,50	6,44	6,20
	7,02	5,20	6,22	6,10
	6,52	5,74	6,40	6,21
Peneira 15	7,36	5,66	6,18	6,36
Posição:	6,52	5,52	6,20	6,07
Hilo vertical	6,64	5,06	6,28	5,95
	6,18	5,28	6,00	5,81
	6,70	5,34	6,18	6,05
Peneira 15	7,00	5,84	6,26	6,35
Posição:	6,74	5,18	6,18	6,00
Hilo horizontal	6,60	5,00	6,10	5,86

	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)	d_{eq} (mm)
	6,68	5,44	6,28	6,11
	6,46	5,32	6,28	6,00
Peneira 14	6,18	5,28	5,84	5,75
Posição:	6,70	4,42	5,56	5,48
Equilíbrio	6,58	4,70	5,50	5,54
	6,34	5,00	5,58	5,61
	6,38	4,74	5,86	5,62
Peneira 14	6,18	4,72	5,80	5,53
Posição:	6,08	5,82	5,74	5,88
Hilo vertical	6,28	4,72	5,56	5,48
	6,68	4,84	5,76	5,71
	6,32	4,64	5,66	5,50
Peneira 14	6,20	5,10	6,14	5,79
Posição:	6,60	5,20	5,88	5,87
Hilo horizontal	6,10	5,08	5,70	5,61
	6,08	5,06	5,76	5,62
	6,34	4,90	5,70	5,62
Peneira 13	6,90	4,74	5,54	5,66
Posição:	6,00	4,52	5,44	5,28
Equilíbrio	6,34	4,46	5,36	5,33
	6,10	4,22	5,30	5,15
	5,90	4,52	5,48	5,27
Peneira 13	6,20	4,44	5,26	5,25
Posição:	6,02	4,54	5,30	5,25
Hilo vertical	6,68	4,44	5,50	5,46
	6,06	4,48	5,60	5,34
	5,86	4,48	5,40	5,21
Peneira 13	5,74	4,52	5,42	5,20
Posição:	5,84	4,34	5,12	5,06
Hilo horizontal	6,62	4,48	5,46	5,45
	5,72	4,28	5,30	5,06
	5,84	4,52	5,44	5,24

TABELA 26. Dimensões e diâmetros equivalentes dos grãos utilizados nos experimentos. Umidade de 7,82%.

	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₃ (mm)	d _{eq} (mm)
Peneira 17	7,12	6,08	6,86	6,67
Posição:	7,06	5,98	6,82	6,60
Equilíbrio	8,36	5,70	7,06	6,95
	7,56	5,90	7,04	6,80
	7,00	5,86	6,74	6,51
Peneira 17	8,44	5,80	6,72	6,90
Posição:	7,30	5,92	6,70	6,62
Hilo vertical	8,08	5,78	6,74	6,80
	7,46	5,60	6,82	6,58
	7,58	5,90	6,98	6,78
Peneira 17	8,34	6,02	7,00	7,06
Posição:	7,96	6,10	7,04	6,99
Hilo horizontal	7,40	5,08	7,10	6,44
	7,86	5,38	6,70	6,57
	7,10	5,98	6,88	6,64
Peneira 16	7,36	5,94	6,60	6,61
Posição	7,20	5,62	6,46	6,39
Equilíbrio	6,70	5,68	6,54	6,29
	6,54	5,58	6,48	6,26
	7,50	5,44	6,38	6,38
Peneira 16	7,00	5,66	6,56	6,38
Posição:	6,58	5,52	6,26	6,10
Hilo vertical	7,38	5,24	6,38	6,27
	7,66	5,46	6,30	6,41
	7,46	5,40	6,58	6,42
Peneira 16	7,26	5,82	6,42	6,47
Posição:	7,32	5,80	6,84	6,62
Hilo horizontal	6,31	5,72	6,38	6,15
	7,22	5,30	6,34	6,24
	6,78	5,50	6,48	6,23
Peneira 15	6,50	5,30	6,14	5,96
Posição:	6,48	5,22	6,08	5,90
Equilíbrio	6,48	5,64	6,30	6,13
	6,40	5,54	6,30	6,07
	6,58	5,50	6,18	6,07
Peneira 15	6,58	5,36	6,20	6,02
Posição:	6,28	5,32	6,00	5,85
Hilo vertical	7,06	5,20	6,28	6,13
	6,98	5,70	6,52	6,38
	6,66	5,60	6,28	6,16
Peneira 15	6,48	5,68	6,20	6,11
Posição:	6,78	5,20	6,00	5,96
Hilo horizontal	6,72	5,32	6,18	6,05

	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)	d_{eq} (mm)
	6,34	5,36	6,02	5,89
	6,98	5,38	6,34	6,20
Peneira 14	6,34	4,66	5,74	5,54
Posição:	6,26	4,92	5,78	5,63
Equilíbrio	6,18	5,00	5,94	5,68
	5,86	4,98	5,56	5,45
	7,36	4,58	5,80	5,80
Peneira 14	6,00	4,82	5,72	5,49
Posição:	5,66	4,44	5,40	5,14
Hilo vertical	6,34	5,00	5,92	5,73
	7,02	5,00	5,66	5,84
	6,32	5,02	5,84	5,70
Peneira 14	6,42	4,72	5,88	5,63
Posição:	6,08	4,84	5,86	5,57
Hilo horizontal	6,02	5,18	6,80	5,96
	7,56	4,96	5,88	6,04
	6,48	5,32	6,08	5,94
Peneira 13	5,60	4,34	5,28	5,04
Posição:	6,12	4,72	5,52	5,42
Equilíbrio	6,28	4,46	5,32	5,30
	5,72	4,66	5,38	5,23
	6,44	4,30	5,20	5,24
Peneira 13	5,40	4,58	5,26	5,07
Posição:	5,98	4,12	5,24	5,05
Hilo vertical	6,28	5,08	5,78	5,69
	5,84	4,20	5,38	5,09
	6,06	4,74	5,28	5,33
Peneira 13	6,12	4,62	5,40	5,34
Posição:	6,18	4,52	5,22	5,26
Hilo horizontal	6,12	4,46	5,38	5,28
	6,56	4,52	5,34	5,41
	5,90	4,78	5,44	5,35

TABELA 27. Dimensões e diâmetros equivalentes dos grãos utilizados nos experimentos. Umidade de 10,53%.

	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₃ (mm)	d _{eq} (mm)
Peneira 17	7,46	6,14	6,84	6,79
Posição:	7,36	5,92	6,68	6,63
Equilíbrio	8,96	5,12	6,78	6,78
	7,12	5,64	6,76	6,47
	7,78	5,76	7,10	6,83
Peneira 17	6,86	5,94	6,62	6,46
Posição:	7,18	5,88	6,72	6,57
Hilo vertical	8,68	6,36	7,32	7,39
	9,08	6,26	7,20	7,42
	6,88	5,64	6,64	6,36
Peneira 17	7,26	6,04	6,94	6,73
Posição:	7,02	5,70	6,82	6,49
Hilo horizontal	8,06	5,58	6,78	6,73
	7,36	6,02	6,72	6,68
	7,06	5,86	6,64	6,50
Peneira 16	7,32	5,56	6,64	6,47
Posição:	6,96	5,16	6,18	6,05
Equilíbrio	7,86	5,22	6,48	6,43
	7,32	5,18	6,54	6,28
	6,84	5,68	6,48	6,31
Peneira 16	7,42	5,32	6,58	6,38
Posição:	6,98	5,34	6,30	6,17
Hilo vertical	6,64	5,82	6,48	6,30
	6,80	5,58	6,28	6,20
	7,04	5,88	6,78	6,55
Peneira 16	7,08	5,40	6,34	6,24
Posição:	6,78	5,76	6,38	6,29
Hilo horizontal	7,68	5,78	6,56	6,63
	7,14	5,56	6,58	6,39
	7,08	5,96	6,58	6,52
Peneira 15	6,82	5,54	6,16	6,15
Posição:	6,54	5,50	6,22	6,07
Equilíbrio	7,04	5,54	6,38	6,29
	6,44	5,56	6,16	6,04
	6,76	4,88	5,78	5,76
Peneira 15	6,28	4,74	6,99	5,93
Posição:	7,14	4,90	6,02	5,95
Hilo vertical	6,86	5,14	5,92	5,93
	6,96	4,78	6,08	5,87
	6,54	5,32	6,24	6,01
Peneira 15	6,64	4,92	5,98	5,80
Posição:	6,36	5,12	6,08	5,83
Hilo horizontal	6,38	5,36	6,18	5,96

	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)	d_{eq} (mm)
	6,56	5,40	6,24	6,04
	6,36	4,66	5,90	5,59
Peneira 14	6,82	4,96	5,78	5,80
Posição:	6,52	4,44	5,70	5,48
Equilíbrio	6,14	4,76	5,78	5,53
	6,52	4,38	5,40	5,36
	6,28	4,46	5,52	5,37
Peneira 14	6,64	4,58	5,60	5,54
Posição:	6,42	4,74	5,62	5,55
Hilo vertical	6,44	4,68	5,86	5,61
	5,44	4,74	5,60	5,25
	6,14	4,92	5,86	5,61
Peneira 14	6,44	4,82	5,74	5,63
Posição:	6,22	4,70	5,64	5,48
Hilo horizontal	6,36	4,56	5,58	5,45
	6,10	5,06	5,72	6,61
	6,22	4,58	5,52	5,40
Peneira 13	6,72	4,16	5,26	5,28
Posição:	6,08	4,48	5,32	5,26
Equilíbrio	6,06	3,94	5,14	4,97
	5,36	4,52	5,24	5,03
	6,18	4,34	5,36	5,24
Peneira 13	5,74	4,82	5,48	5,33
Posição:	6,24	4,52	5,48	5,37
Hilo vertical	5,72	5,30	5,24	5,42
	6,58	4,58	5,36	5,45
	5,68	4,16	5,12	4,95
Peneira 13	5,58	3,92	5,12	4,82
Posição:	6,10	4,58	5,26	5,28
Hilo horizontal	7,42	4,72	5,28	5,70
	5,04	4,44	5,12	4,86
	6,14	4,88	5,48	5,48

TABELA 28. Dimensões e diâmetros equivalentes dos grãos utilizados nos experimentos. Umidade de 13,30%.

	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)	d_{eq} (mm)
Peneira 17	8,04	5,96	6,72	6,85
Posição:	7,88	5,98	6,90	6,88
Equilíbrio	7,92	5,82	6,64	6,74
	7,96	5,12	6,68	6,48
	7,92	5,48	6,74	6,64
Peneira 17	8,24	6,18	6,72	6,99
Posição:	7,72	5,88	6,88	6,78
Hilo vertical	8,46	5,68	7,12	6,99
	7,78	5,88	6,94	6,82
	7,58	5,48	6,92	6,60
Peneira 17	7,04	5,88	6,78	6,55
Posição:	7,68	5,58	6,78	6,62
Hilo horizontal	7,72	5,88	7,04	6,84
	7,06	5,78	6,52	6,43
	8,24	5,78	6,76	6,85
Peneira 16	7,04	5,74	6,58	6,43
Posição:	6,76	5,82	6,54	6,36
Equilíbrio	6,80	5,48	6,52	6,24
	6,88	5,82	6,42	6,36
	7,12	5,48	6,46	6,32
Peneira 16	6,88	5,62	6,52	6,32
Posição:	7,08	5,56	6,42	6,32
Hilo vertical	7,06	5,72	6,72	6,47
	6,74	5,58	6,28	6,18
	7,28	5,58	6,40	6,38
Peneira 16	7,34	5,42	6,32	6,31
Posição:	7,16	5,74	6,38	6,40
Hilo horizontal	6,98	5,56	6,44	6,30
	7,06	5,36	6,28	6,19
	7,04	5,68	6,62	6,42
Peneira 15	6,92	5,06	6,08	5,97
Posição:	7,04	4,94	6,04	5,94
Equilíbrio	6,02	4,58	5,56	5,35
	6,48	5,26	6,08	5,92
	6,06	4,72	5,72	5,47
Peneira 15	6,36	4,94	5,76	5,66
Posição:	6,42	4,98	5,92	5,74
Hilo vertical	6,42	5,26	6,08	5,90
	6,34	5,04	5,96	5,75
	6,58	4,66	5,74	5,60
Peneira 15	7,00	5,32	6,18	6,13
Posição:	6,62	5,14	6,28	5,98
Hilo horizontal	6,54	5,22	6,10	5,93

	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)	d_{eq} (mm)
	6,42	5,08	5,80	5,74
	6,50	4,92	6,00	5,77
Peneira 14	6,00	4,76	5,62	5,43
Posição:	6,32	4,68	5,58	5,49
Equilíbrio	6,68	4,50	5,34	5,43
	5,98	4,92	5,74	5,53
	6,46	4,74	5,92	5,66
Peneira 14	6,12	4,52	5,58	3,34
Posição:	6,14	4,84	5,76	5,55
Hilo vertical	6,78	4,72	5,70	5,67
	6,20	4,92	5,64	5,56
	6,88	4,72	5,64	5,68
Peneira 14	6,26	4,84	5,88	5,63
Posição:	6,12	4,78	5,74	5,52
Hilo horizontal	6,28	4,50	5,62	5,42
	6,12	4,68	5,26	5,32
	6,58	4,74	5,62	5,60
Peneira 13	6,44	3,98	4,90	5,01
Posição:	6,08	3,90	4,32	4,68
Equilíbrio	6,40	4,10	5,16	5,13
	6,26	4,16	5,00	5,07
	5,58	4,10	5,22	4,92
Peneira 13	6,00	4,30	5,20	5,12
Posição:	5,06	4,32	5,30	4,87
Hilo vertical	5,44	4,12	5,06	4,84
	6,26	4,20	5,26	5,17
	6,18	3,76	4,84	4,83
Peneira 13	5,80	3,80	4,86	4,75
Posição:	5,02	4,00	5,00	4,65
Hilo horizontal	5,40	3,84	4,74	4,61
	5,76	4,06	5,26	4,97
	5,38	4,01	4,92	4,73

TABELA 29. Dimensões e diâmetros equivalentes dos grãos utilizados nos experimentos. Unidade de 18,04%.

	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₃ (mm)	d _{eq} (mm)
Peneira 17	7,54	5,98	6,68	6,70
Posição:	7,46	5,80	6,64	6,60
Equilíbrio	8,22	5,68	6,78	6,82
	7,64	5,56	6,62	6,55
	7,38	5,46	6,54	6,41
Peneira 17	7,60	5,88	6,74	6,70
Posição:	8,06	5,56	6,64	6,68
Hilo vertical	7,96	5,66	6,82	6,75
	7,56	5,64	6,58	6,55
	7,34	5,78	6,66	6,56
Peneira 17	7,90	5,62	6,68	6,67
Posição:	7,88	5,94	6,74	6,81
Hilo horizontal	7,78	5,92	6,68	6,75
	7,72	5,50	6,64	6,56
	7,50	5,90	6,84	6,71
Peneira 16	7,38	5,46	6,42	6,37
Posição:	6,94	5,40	6,52	6,25
Equilíbrio	7,16	5,62	6,28	6,32
	7,04	5,42	6,36	6,24
	7,10	5,58	6,38	6,32
Peneira 16	7,36	5,30	6,34	6,28
Posição:	7,96	5,48	6,52	6,58
Hilo vertical	7,50	5,80	6,46	6,55
	7,26	5,38	6,24	6,25
	7,10	5,22	6,32	6,17
Peneira 16	7,14	5,48	6,54	6,35
Posição:	7,64	5,30	6,22	6,32
Hilo horizontal	6,88	5,26	6,38	6,13
	7,08	5,28	6,46	6,23
	8,02	5,44	6,50	6,57
Peneira 15	7,06	5,18	6,16	6,08
Posição:	7,06	5,16	5,96	6,01
Equilíbrio	6,60	5,74	6,12	6,14
	6,38	5,28	6,92	6,15
	6,98	5,18	6,14	6,06
Peneira 15	6,88	5,28	6,08	6,04
Posição:	6,76	5,28	6,16	6,04
Hilo vertical	7,12	5,38	6,00	6,13
	7,14	5,36	6,18	6,18
	6,88	5,44	6,08	6,11
Peneira 15	7,32	5,16	6,04	6,11
Posição:	7,02	5,28	6,06	6,08
Hilo horizontal	6,84	5,34	6,14	6,08

	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)	d_{eq} (mm)
	7,04	5,48	6,14	6,19
	7,02	5,24	6,16	6,10
Peneira 14	5,98	4,82	5,58	5,44
Posição:	6,22	4,92	5,52	5,53
Equilíbrio	6,64	4,64	5,64	5,58
	6,38	4,86	5,74	5,63
	6,46	5,82	5,80	6,02
Peneira 14	6,24	5,20	5,62	5,67
Posição:	6,28	4,80	5,52	5,50
Hilo vertical	6,82	4,80	5,72	5,72
	6,56	5,26	5,80	5,85
	6,64	5,14	5,60	5,76
Peneira 14	6,64	4,58	5,64	5,56
Posição:	6,32	4,68	5,70	5,52
Hilo horizontal	6,28	4,88	5,84	5,94
	6,38	4,94	5,78	5,67
	5,98	6,04	5,80	5,94

Nas tabelas 30 a 37 e 42 a 49 os números abaixo da coluna marcada por * representam, de cima para baixo, respectivamente, a média, desvio padrão e coeficiente de variação, para a grandeza obtida, nas condições especificadas.

TABELA 30. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da biofalha, pelo gráfico do aparelho Instron Universal. Umidade de 4,00%.

	Força (kgf)	*	Desloca camento (mm)	*	Força x Desloca mento (kgf.mm)	*
Peneira 17	15,3		0,32		4,896	
Posição:	6,4		0,18		1,152	
Equilíbrio	12,1	10,5	0,26	0,23	3,146	2,591
	9,8	3,4	0,24	0,06	2,352	1,512
	8,8	32,38	0,16	26,09	1,408	58,36
Peneira 17	11,8		0,39		4,602	
Posição:	10,6		0,25		2,650	
Hilo vertical	7,6	10,1	0,28	0,33	2,128	3,236
	14,2	3,2	0,30	0,07	4,260	1,114
	6,2	31,68	0,41	21,21	2,542	34,43
Peneira 17	5,9		0,31		1,829	
Posição:	7,7		0,31		2,387	
Hilo horizontal	9,8	8,4	0,45	0,42	4,410	3,687
	10,2	2,0	0,60	0,14	6,120	1,965
	-	23,81	-	33,33	-	53,30
Peneira 16	10,0		0,19		1,900	
Posição:	9,5		0,22		2,090	
Equilíbrio	12,1	10,1	0,26	0,22	3,146	2,203
	10,0	1,3	0,24	0,04	2,400	0,624
	8,7	12,87	0,17	18,18	1,479	28,33
Peneira 16	12,4		0,40		4,960	
Posição:	10,2		0,35		3,570	
Hilo vertical	10,0	10,0	0,32	0,34	3,200	3,405
	10,4	1,9	0,26	0,05	2,704	0,954
	7,2	19,00	0,36	14,71	2,592	28,02
Peneira 16	9,6		0,50		4,800	
Posição:	7,1		0,51		3,621	
Hilo horizontal	8,7	8,1	0,30	0,40	2,610	3,268
	6,8	1,3	0,30	0,12	2,040	1,213
	-	16,05	-	30,00	-	37,12
Peneira 15	10,1		0,22		2,222	
Posição:	9,5		0,21		1,995	
Equilíbrio	9,7	10,8	0,24	0,24	2,328	2,670
	13,1	1,5	0,30	0,04	3,930	0,775
	11,5	13,89	0,25	16,67	2,875	29,03
Peneira 15	11,4		0,41		4,674	
Posição:	12,0		0,62		7,440	
Hilo vertical	8,2	9,7	0,26	0,34	2,132	3,572
	7,3	2,0	0,20	0,18	1,460	2,486
	9,8	20,62	0,22	52,94	2,156	69,60

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	9,3		0,50		4,650	
Posição:	12,4		0,54		6,696	
Hilo horizontal	9,2	10,5	0,48	0,47	4,416	4,984
	9,9	1,5	0,46	0,06	4,554	0,961
	11,8	14,29	0,39	12,77	4,602	19,28
Peneira 14	6,4		0,16		1,024	
Posição:	6,8		0,21		1,428	
Equilíbrio	8,2	7,7	0,18	0,19	1,476	1,445
	7,4	1,3	0,17	0,02	1,258	0,376
	9,7	16,88	0,21	10,53	2,037	26,02
Peneira 14	6,5		0,30		1,950	
Posição:	7,9		0,30		2,370	
Hilo vertical	9,6	8,4	0,38	0,35	3,648	2,930
	9,4	1,3	0,38	0,04	3,572	0,747
	8,4	15,48	0,37	11,43	3,108	25,49
Peneira 14	9,4		0,27		2,538	
Posição:	10,6		0,48		5,088	
Hilo horizontal	8,6	9,8	0,41	0,44	3,526	4,331
	9,0	1,1	0,52	0,11	4,680	1,303
	11,2	11,22	0,52	25,00	5,824	30,09
Peneira 13	7,0		0,19		1,330	
Posição:	5,2		0,14		0,728	
Equilíbrio	6,8	6,8	0,18	0,18	1,224	1,244
	8,7	1,3	0,22	0,03	1,914	0,439
	6,4	19,12	0,16	16,67	1,024	35,29
Peneira 13	7,6		0,35		2,660	
Posição:	7,8		0,34		2,652	
Hilo vertical	5,3	7,0	0,22	0,30	1,166	2,126
	8,0	1,2	0,33	0,06	2,640	0,729
	6,3	17,14	0,24	20,00	1,512	34,29
Peneira 13	9,0		0,45		4,050	
Posição:	8,1		0,47		3,807	
Hilo horizontal	9,7	9,1	0,51	0,48	4,947	4,404
	8,6	0,8	0,49	0,02	4,214	0,540
	10,0	8,79	0,50	4,17	5,000	12,26

TABELA 31. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da biofalha, pelo gráfico do aparelho Instron Universal.
Umidade de 5,33%.

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 17	9,8		0,22		2,156	
Posição:	10,2		0,24		2,448	
Equilíbrio	10,6	10,7	0,26	0,25	2,758	2,718
	9,7	1,4	0,24	0,03	2,328	0,696
	13,0	13,08	0,30	12,00	3,900	25,61
Peneira 17	13,8		0,50		6,900	
Posição:	10,9		0,37		4,033	
Hilo vertical	13,2	11,4	0,56	0,42	7,392	5,026
	10,5	2,1	0,43	0,12	4,515	2,113
	8,8	18,42	0,26	28,57	2,288	42,04
Peneira 17	11,8		0,51		6,018	
Posição:	10,0		0,46		4,600	
Hilo horizontal	13,0	11,2	0,55	0,50	7,150	5,579
	11,4	1,3	0,45	0,04	5,130	1,020
	9,8	11,61	0,51	8,00	4,998	18,28
Peneira 16	7,0		0,17		1,190	
Posição:	12,0		0,27		3,240	
Equilíbrio	11,6	10,7	0,22	0,23	2,552	2,529
	9,6	2,5	0,21	0,04	2,016	0,976
	13,5	23,36	0,27	17,39	3,645	38,59
Peneira 16	5,0		0,27		1,350	
Posição:	9,8		0,41		4,018	
Hilo vertical	8,6	7,8	0,33	0,30	2,838	2,478
	9,4	2,1	0,32	0,08	3,008	1,198
	6,2	26,92	0,19	26,67	1,178	48,35
Peneira 16	10,2		0,47		4,794	
Posição:	7,8		0,36		2,808	
Hilo horizontal	10,4	9,1	0,48	0,42	4,992	3,872
	8,3	1,2	0,38	0,05	3,154	0,977
	8,6	13,19	0,42	11,90	3,612	25,23
Peneira 15	13,2		0,24		3,168	
Posição:	10,4		0,22		2,288	
Equilíbrio	16,0	11,8	0,34	0,25	5,440	3,032
	9,4	2,8	0,23	0,05	2,162	1,414
	10,0	23,73	0,21	20,00	2,100	46,64
Peneira 15	7,2		0,30		2,160	
Posição:	9,6		0,32		3,072	
Hilo vertical	9,3	8,9	0,33	0,33	3,069	2,999
	9,0	1,0	0,36	0,03	3,240	0,495
	9,6	11,24	0,36	9,09	3,456	16,51

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	9,8		0,40		3,920	
Posição:	6,2		0,30		1,860	
Hilo horizontal	10,4	8,3	0,55	0,38	5,720	3,321
	6,6	2,2	0,27	0,13	1,782	1,881
	-	26,51	-	34,21	-	56,64
Peneira 14	8,6		0,21		1,806	
Posição:	10,2		0,25		2,550	
Equilíbrio	8,0	9,0	0,23	0,23	1,840	2,042
	8,6	0,9	0,23	0,02	1,978	0,300
	9,7	10,00	0,21	8,70	2,037	14,69
Peneira 14	9,2		0,30		2,760	
Posição:	9,2		0,39		3,588	
Hilo vertical	8,1	7,8	0,41	0,30	3,321	2,453
	5,8	1,5	0,22	0,10	1,276	1,096
	6,6	19,23	0,20	33,33	1,320	44,68
Peneira 14	12,2		0,37		4,514	
Posição:	7,2		0,36		2,592	
Hilo horizontal	8,6	10,5	0,40	0,41	3,440	4,446
	13,8	2,7	0,51	0,06	7,038	1,674
	10,8	25,71	0,43	14,63	4,644	37,65
Peneira 13	8,1		0,21		1,701	
Posição:	9,5		0,23		2,185	
Equilíbrio	5,4	7,8	0,15	0,19	0,810	1,525
	5,9	2,2	0,13	0,04	0,767	0,700
	10,3	28,21	0,21	21,05	2,163	45,90
Peneira 13	9,7		0,45		4,365	
Posição:	8,0		0,28		2,320	
Hilo vertical	9,1	7,3	0,42	0,32	3,822	2,561
	5,4	2,3	0,32	0,13	1,728	1,545
	4,4	31,51	0,13	40,63	0,572	60,33
Peneira 13	8,6		0,44		3,784	
Posição:	5,8		0,28		1,624	
Hilo horizontal	7,0	7,7	0,35	0,38	2,450	2,952
	6,6	1,8	0,40	0,06	2,640	1,064
	10,4	23,38	0,41	15,79	4,264	36,04

TABELA 32. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da biofalha, pelo gráfico do aparelho Instron Universal. Umidade de 6,09%.

	Força (kgf)	*	Desloca mento (mm)	*	Força x Desloca mento (kgf.mm)	*
Peneira 17	12,6		0,30		3,780	
Posição:	9,8		0,20		1,960	
Equilíbrio	11,8	11,2	0,27	0,26	3,186	3,060
	15,6	3,4	0,31	0,05	4,836	1,344
	6,4	30,36	0,24	19,23	1,536	43,92
Peneira 17	8,5		0,30		2,550	
Posição:	9,8		0,30		2,940	
Hilo vertical	10,2	9,9	0,42	0,37	4,284	3,748
	10,2	0,9	0,35	0,09	3,570	1,133
	10,8	9,09	0,50	24,32	5,400	30,23
Peneira 17	10,7		0,49		5,243	
Posição:	10,6		0,49		5,194	
Hilo horizontal	7,4	12,5	0,32	0,45	2,368	5,835
	18,3	4,3	0,51	0,08	9,333	2,572
	15,3	34,40	0,46	17,78	7,038	44,08
Peneira 16	10,8		0,24		2,592	
Posição:	9,3		0,21		1,953	
Equilíbrio	14,0	10,5	0,29	0,23	4,060	2,504
	8,8	2,1	0,20	0,04	1,760	0,923
	9,8	20,00	0,22	17,39	2,156	36,86
Peneira 16	10,2		0,60		6,120	
Posição:	8,9		0,42		3,738	
Hilo vertical	12,4	9,7	0,28	0,39	3,472	3,778
	8,0	1,7	0,29	0,13	2,320	1,414
	9,0	17,53	0,36	33,33	3,240	37,43
Peneira 16	9,8		0,45		4,410	
Posição:	8,6		0,46		3,956	
Hilo horizontal	10,4	10,5	0,47	0,50	4,888	5,040
	12,3	1,4	0,56	0,05	6,888	1,119
	11,5	13,33	0,44	10,00	5,060	22,20
Peneira 15	12,2		0,28		3,416	
Posição:	13,2		0,31		4,092	
Equilíbrio	7,8	10,4	0,24	0,26	1,872	2,782
	10,8	2,4	0,26	0,04	2,808	1,009
	8,2	23,08	0,21	15,38	1,722	36,27
Peneira 15	10,4		0,50		5,200	
Posição:	9,3		0,29		2,697	
Hilo vertical	10,1	9,3	0,31	0,38	3,131	3,593
	10,4	1,8	0,50	0,11	5,200	1,552
	6,2	19,35	0,28	28,95	1,736	43,20

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	10,2		0,41		4,182	
Posição:	8,4		0,53		4,452	
Hilo horizontal	10,1	9,3	0,47	0,48	4,747	4,411
	9,5	0,9	0,49	0,04	4,655	0,309
	8,2	9,68	0,49	8,33	4,018	7,01
Peneira 14	8,7		0,25		2,175	
Posição:	8,2		0,21		1,722	
Equilíbrio	6,8	8,6	0,21	0,23	1,428	2,005
	9,4	1,2	0,25	0,02	2,350	0,413
	9,8	13,95	0,25	8,70	2,352	20,60
Peneira 14	8,7		0,35		3,045	
Posição:	9,0		0,40		3,600	
Hilo vertical	8,9	9,0	0,32	0,37	2,848	3,360
	7,6	1,1	0,32	0,06	2,432	0,946
	10,6	12,22	0,46	16,22	4,876	28,15
Peneira 14	8,8		0,39		3,432	
Posição:	7,2		0,41		2,952	
Hilo horizontal	4,8	7,0	0,29	0,39	1,392	2,805
	7,1	1,4	0,49	0,07	3,479	0,847
	7,1	20,00	0,39	17,95	2,769	30,20
Peneira 13	6,3		0,18		1,134	
Posição:	12,4		0,25		3,100	
Equilíbrio	8,2	9,4	0,21	0,22	1,722	2,111
	10,6	2,3	0,23	0,03	2,438	0,741
	9,4	24,47	0,23	13,64	2,162	35,10
Peneira 13	10,6		0,54		5,724	
Posição:	9,3		0,42		3,906	
Hilo vertical	10,6	10,0	0,47	0,48	4,982	4,810
	8,2	1,2	0,55	0,06	4,510	0,668
	11,2	12,00	0,44	12,50	4,928	13,89
Peneira 13	8,7		0,49		4,263	
Posição:	4,4		0,27		1,188	
Hilo horizontal	9,4	7,9	0,45	0,41	4,230	3,380
	8,3	2,0	0,52	0,11	4,316	1,361
	8,8	25,32	0,33	26,83	2,904	40,27

TABELA 33. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da biofalha, pelo gráfico do aparelho Instron Universal.
 Unidade de 7,04%.

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 17	10,8		0,25		2,700	
Posição:	13,0		0,30		3,900	
Equilíbrio	15,6	13,0	0,33	0,31	5,148	4,019
	12,1	1,8	0,28	0,05	3,388	1,038
	13,4	13,85	0,37	16,13	4,958	25,83
Peneira 17	10,6		0,40		4,240	
Posição:	11,6		0,32		3,712	
Hilo vertical	9,0	10,6	0,40	0,42	3,600	4,458
	11,4	1,0	0,49	0,07	5,586	0,879
	10,3	9,43	0,50	16,67	5,150	19,72
Peneira 17	8,8		0,37		3,256	
Posição:	8,5		0,48		4,080	
Hilo horizontal	9,0	9,2	0,58	0,48	5,220	4,461
	8,3	1,3	0,44	0,08	3,652	1,172
	11,5	14,13	0,53	16,67	6,095	26,27
Peneira 16	10,7		0,30		3,210	
Posição:	9,8		0,29		2,842	
Equilíbrio	9,3	10,1	0,26	0,28	2,418	2,834
	11,4	0,9	0,29	0,02	3,306	0,428
	9,2	8,91	0,26	7,14	2,392	15,10
Peneira 16	10,6		0,47		4,982	
Posição:	8,9		0,61		5,429	
Hilo vertical	7,5	9,4	0,35	0,43	2,625	4,052
	10,6	1,3	0,41	0,12	4,346	1,251
	9,6	13,83	0,30	27,91	2,880	30,87
Peneira 16	12,2		0,46		5,612	
Posição:	9,2		0,41		3,772	
Hilo horizontal	10,6	10,1	0,57	0,55	6,042	5,485
	9,6	1,3	0,50	0,15	4,800	1,291
	9,0	12,87	0,80	27,27	7,200	23,54
Peneira 15	11,4		0,28		3,192	
Posição:	11,6		0,33		3,828	
Equilíbrio	10,0	10,0	0,28	0,28	2,800	2,804
	9,8	1,7	0,25	0,04	2,450	0,780
	7,3	17,00	0,24	14,29	1,752	27,82
Peneira 15	7,6		0,34		2,584	
Posição:	8,8		0,48		4,224	
Hilo vertical	8,2	8,6	0,44	0,43	3,608	3,785
	7,8	1,2	0,33	0,10	2,574	1,393
	10,6	13,95	0,56	23,26	5,936	36,80

	Força	*	Desloca mento (mm)	*	Força x Desloca mento (kgf.mm)	*
Peneira 15	9,3		0,55		5,115	
Posição:	8,3		0,50		4,150	
Hilo horizontal	8,7	8,9	0,51	0,51	4,437	4,538
	11,7	1,9	0,51	0,03	5,967	1,099
	6,3	21,35	0,48	5,88	3,024	24,21
Peneira 14	8,8		0,22		1,936	
Posição:	12,6		0,29		3,654	
Equilíbrio	10,0	9,7	0,26	0,25	2,600	2,484
	7,9	1,8	0,25	0,03	1,975	0,706
	9,4	18,56	0,24	12,00	2,256	28,42
Peneira 14	7,7		0,42		3,234	
Posição:	6,8		0,40		2,720	
Hilo vertical	7,7	7,2	0,42	0,36	3,234	2,650
	7,0	0,4	0,36	0,08	2,520	0,696
	7,0	5,56	0,22	22,22	1,540	26,26
Peneira 14	6,4		0,28		1,792	
Posição:	9,8		0,52		5,096	
Hilo horizontal	7,5	8,2	0,38	0,41	2,850	3,446
	5,4	1,3	0,41	0,09	3,444	1,243
	8,8	15,85	0,46	21,95	4,048	36,07
Peneira 13	7,3		0,25		1,825	
Posição:	9,1		0,21		1,911	
Equilíbrio	11,4	8,0	0,26	0,23	2,964	1,860
	6,6	2,3	0,23	0,03	1,518	0,697
	5,7	28,75	0,19	13,04	1,083	37,47
Peneira 13	6,9		0,45		3,105	
Posição:	6,8		0,45		3,060	
Hilo vertical	5,7	6,7	0,40	0,42	2,280	2,827
	6,9	0,5	0,50	0,07	3,450	0,539
	7,0	7,46	0,32	16,67	2,240	19,07
Peneira 13	6,4		0,38		2,432	
Posição:	6,5		0,45		2,925	
Hilo horizontal	6,6	6,6	0,40	0,43	2,640	2,832
	6,8	0,2	0,49	0,05	3,332	0,390
	-	3,03	-	11,63	-	13,77

TABELA 34. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da biofalha, pelo gráfico do aparelho Instron Universal.
Umidade de 7,82%.

	Força (kgf)	*	Desloca mento (mm)	*	Força x Desloca mento (kgf.mm)	*
Peneira 17	9,7		0,38		3,686	
Posição:	15,4		0,42		6,468	
Equilíbrio	15,4	12,4	0,40	0,38	6,160	4,799
	9,0	3,5	0,32	0,04	2,880	1,785
	-	28,23	-	10,53	-	37,20
Peneira 17	10,5		0,33		3,465	
Posição:	7,2		0,32		2,304	
Hilo vertical	8,5	9,2	0,38	0,35	3,230	3,257
	10,6	1,6	0,38	0,03	4,028	0,718
	-	17,39	-	8,57	-	22,04
Peneira 17	7,9		0,51		4,028	
Posição:	7,5		0,43		3,225	
Hilo horizontal	7,6	8,3	0,49	0,45	3,724	3,714
	10,2	1,3	0,38	0,06	3,876	0,349
	-	15,66	-	13,33	-	9,40
Peneira 16	8,2		0,26		2,132	
Posição:	9,8		0,28		2,744	
Equilíbrio	10,2	10,6	0,30	0,31	3,060	3,377
	10,1	2,5	0,30	0,05	3,030	1,470
	14,8	23,58	0,40	16,13	5,920	43,53
Peneira 16	8,0		0,29		2,320	
Posição:	7,0		0,61		4,270	
Hilo vertical	8,4	8,1	0,50	0,49	4,200	3,930
	8,8	0,8	0,56	0,14	4,928	1,122
	-	9,88	-	28,57	-	31,09
Peneira 16	12,4		0,51		6,324	
Posição:	4,1		0,36		1,476	
Hilo horizontal	4,4	6,1	0,39	0,38	1,716	2,562
	3,3	3,7	0,19	0,12	0,627	2,225
	6,2	60,66	0,43	31,58	2,666	86,85
Peneira 15	7,6		0,25		1,900	
Posição:	12,0		0,43		5,160	
Equilíbrio	8,0	8,9	0,30	0,31	2,400	2,880
	7,7	1,9	0,30	0,07	2,310	1,302
	9,4	21,35	0,28	22,58	2,632	45,21
Peneira 15	7,8		0,41		3,198	
Posição:	3,9		0,27		1,053	
Hilo vertical	7,4	7,0	0,66	0,44	4,884	3,208
	8,8	2,1	0,42	0,16	3,696	1,601
	-	30,00	-	36,36	-	49,91

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	2,0		0,43		0,860	
Posição:	10,5		0,51		5,355	
Hilo horizontal	7,2	6,2	0,37	0,44	2,664	2,798
	6,7	3,2	0,52	0,07	3,484	1,743
	4,4	51,61	0,37	15,91	1,628	62,29
Peneira 14	5,8		0,22		1,276	
Posição:	7,0		0,26		1,820	
Equilíbrio	8,6	8,7	0,45	0,31	3,870	2,785
	12,4	2,6	0,34	0,09	4,216	1,268
	9,8	29,89	0,28	29,03	2,744	45,53
Peneira 14	6,4		0,43		2,752	
Posição:	6,0		0,45		2,700	
Hilo vertical	7,0	6,6	0,57	0,49	3,790	3,274
	6,0	0,8	0,57	0,07	3,420	0,546
	7,8	12,12	0,45	14,29	3,510	16,68
Peneira 14	5,0		0,43		2,150	
Posição:	8,8		0,56		4,928	
Hilo horizontal	7,2	6,4	0,36	0,44	2,592	2,858
	4,4	2,0	0,40	0,09	1,760	1,422
	-	31,25	-	20,45	-	49,76
Peneira 13	5,7		0,23		1,311	
Posição:	6,6		0,26		1,716	
Equilíbrio	7,2	6,7	0,20	0,23	1,440	1,542
	7,0	0,6	0,24	0,02	1,680	0,168
	7,1	8,96	0,22	8,70	1,562	10,89
Peneira 13	5,6		0,30		1,680	
Posição:	6,1		0,60		3,660	
Hilo vertical	5,5	6,7	0,25	0,42	1,375	2,866
	6,9	1,6	0,45	0,14	3,105	1,325
	9,4	23,88	0,48	33,33	4,512	46,23
Peneira 13	7,6		0,50		3,800	
Posição:	6,5		0,39		2,535	
Hilo horizontal	7,3	6,6	0,53	0,46	3,869	3,064
	5,4	0,9	0,37	0,08	1,998	0,808
	6,0	13,64	0,52	17,39	3,120	26,37

TABELA 35. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da biofalha, pelo gráfico do aparelho Instron Universal.
Umidade de 10,53%.

	Força (kfg)	*	Desloca mento (mm)	*	Força x Desloca mento (kgf.mm)	*
Peneira 17	9,0		1,15		10,350	
Posição:	9,5		1,13		10,735	
Equilíbrio	10,6	10,4	0,89	1,09	9,434	11,274
	11,0	1,2	1,39	0,21	15,290	2,300
	12,0	11,54	0,88	19,27	10,560	20,40
Peneira 17	3,8		0,55		2,090	
Posição:	4,2		0,61		2,562	
Hilo vertical	5,0	7,0	0,76	0,79	3,800	6,205
	10,9	3,7	0,92	0,24	10,028	4,764
	11,1	52,86	1,13	30,38	12,543	76,78
Peneira 17	8,4		0,57		4,788	
Posição:	7,4		0,57		4,218	
Hilo horizontal	10,1	6,8	0,98	0,64	9,898	4,666
	4,2	2,7	0,62	0,19	2,604	3,159
	3,8	39,71	0,48	29,69	1,824	67,70
Peneira 16	9,7		0,87		8,439	
Posição:	7,9		0,75		5,925	
Equilíbrio	11,2	8,7	0,74	0,75	8,288	6,585
	7,6	1,7	0,67	0,07	5,092	1,656
	7,1	19,54	0,73	9,33	5,183	25,15
Peneira 16	3,5		0,43		1,505	
Posição:	3,6		0,58		2,088	
Hilo vertical	5,1	4,4	0,75	0,59	3,825	2,633
	4,2	0,9	0,52	0,12	2,184	1,007
	5,4	20,45	0,66	20,34	3,564	38,25
Peneira 16	4,2		0,69		2,898	
Posição	4,2		0,58		2,436	
Hilo horizontal	5,0	4,6	0,59	0,67	2,950	3,149
	4,2	0,6	0,71	0,09	2,982	0,776
	5,6	13,04	0,80	13,43	4,480	24,64
Peneira 15	8,6		1,01		8,686	
Posição:	8,1		1,01		8,181	
Equilíbrio	9,2	8,7	1,04	1,01	9,568	8,833
	9,0	0,4	1,08	0,06	9,720	0,783
	8,8	4,60	0,91	5,94	8,008	8,86
Peneira 15	4,4		1,00		4,400	
Posição:	3,0		0,63		1,890	
Hilo vertical	5,0	4,4	0,66	0,78	3,300	3,458
	4,4	0,8	0,80	0,15	3,520	0,987
	5,1	18,18	0,82	19,23	4,182	28,54

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	2,6		0,44		1,144	
Posição:	3,8		0,69		2,622	
Hilo horizontal	4,3	3,4	0,75	0,62	3,225	2,244
	4,6	1,2	0,72	0,14	3,312	1,142
	1,8	35,29	0,51	22,58	0,918	50,89
Peneira 14	8,5		0,95		8,075	
Posição:	7,3		0,90		6,570	
Equilíbrio	3,4	6,5	0,72	0,82	2,448	5,432
	6,0	1,8	0,79	0,10	4,740	2,102
	7,2	29,23	0,74	12,12	5,328	38,70
Peneira 14	7,9		0,85		6,715	
Posição:	2,8		0,50		1,400	
Hilo vertical	5,1	4,7	1,20	0,77	6,120	3,867
	4,4	2,0	0,73	0,27	3,212	2,430
	3,2	42,55	0,59	35,06	1,888	62,84
Peneira 14	5,6		0,85		4,760	
Posição:	4,0		0,71		2,840	
Hilo horizontal	2,8	4,1	0,41	0,68	1,148	2,909
	3,3	1,1	0,68	0,16	2,244	1,359
	4,8	26,83	0,74	23,53	3,552	46,72
Peneira 13	7,2		0,70		5,040	
Posição:	6,8		0,58		3,944	
Equilíbrio	6,3	6,7	0,82	0,72	5,166	4,750
	6,3	0,4	0,77	0,10	4,851	0,553
	-	5,97	-	13,89	-	11,64
Peneira 13	4,2		0,70		2,940	
Posição:	3,7		0,59		2,183	
Hilo vertical	7,2	4,6	0,84	0,72	6,048	3,349
	4,1	1,5	0,64	0,11	2,624	1,541
	3,6	32,61	0,82	15,28	2,952	46,01
Peneira 13	3,5		0,88		3,080	
Posição:	3,8		0,74		2,812	
Hilo horizontal	6,0	4,1	0,78	0,74	4,680	3,080
	3,1	1,1	0,50	0,14	1,550	1,120
	4,1	26,83	0,80	18,92	3,280	36,36

TABELA 36. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da biofalha, pelo gráfico do aparelho Instron Universal.
Umidade de 13,30%.

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 17	8,0		1,30		10,400	
Posição:	7,6		1,61		12,236	
Equilíbrio	8,8	7,7	1,24	1,34	10,912	10,353
	6,5	1,0	1,21	0,18	7,865	1,830
	-	12,99	-	13,43	-	17,68
Peneira 17	6,0		1,31		7,860	
Posição:	4,5		1,11		4,995	
Hilo vertical	9,6	6,8	1,87	1,53	17,952	10,834
	7,5	1,9	1,88	0,34	14,100	5,166
	6,3	27,94	1,47	22,22	9,261	47,68
Peneira 17	3,0		0,94		2,820	
Posição:	3,4		1,20		4,080	
Hilo horizontal	3,7	3,6	1,30	1,20	4,810	4,363
	3,6	0,5	1,34	0,16	4,824	0,934
	4,4	13,89	1,20	13,33	5,280	21,41
Peneira 16	5,8		1,25		7,250	
Posição:	6,7		2,04		13,668	
Equilíbrio	6,2	6,2	1,35	1,56	8,370	9,802
	6,2	0,4	1,60	0,35	9,920	2,800
	-	6,45	-	22,44	-	28,57
Peneira 16	5,7		1,30		7,410	
Posição:	6,3		1,16		7,308	
Hilo vertical	4,6	5,2	1,16	1,17	5,336	6,065
	4,4	0,8	1,08	0,08	4,752	1,215
	4,8	15,38	1,15	6,84	5,520	20,03
Peneira 16	3,2		0,95		3,040	
Posição:	3,8		1,02		3,876	
Hilo horizontal	2,2	2,9	0,63	0,95	1,386	2,834
	2,6	0,6	1,03	0,18	2,678	0,919
	2,9	20,69	1,10	18,95	3,190	32,43
Peneira 15	4,8		1,35		6,480	
Posição:	10,2		1,86		18,972	
Equilíbrio	5,0	6,1	1,26	1,45	6,300	9,214
	5,2	2,3	1,42	0,24	7,384	5,471
	5,1	37,70	1,36	16,55	6,936	59,38
Peneira 15	4,2		1,04		4,368	
Posição:	3,4		0,90		3,060	
Hilo vertical	3,4	4,1	1,04	1,09	3,536	4,679
	3,5	1,1	0,98	0,24	3,430	2,463
	6,0	26,83	1,50	22,02	9,000	52,64

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	3,5		1,25		4,375	
Posição:	2,0		0,92		1,840	
Hilo horizontal	2,9	2,6	1,33	1,04	3,857	2,789
	1,7	0,7	0,69	0,26	1,173	1,339
	2,7	26,92	1,00	25,00	2,700	48,01
Peneira 14	3,6		1,40		5,040	
Posição:	4,6		1,04		4,784	
Equilíbrio	4,0	4,0	0,96	1,02	3,840	4,042
	4,0	0,4	0,98	0,25	3,920	0,949
	3,7	10,00	0,71	24,51	2,627	23,48
Peneira 14	4,3		1,30		5,590	
Posição:	4,3		1,05		4,515	
Hilo vertical	3,3	3,4	0,99	0,97	3,267	3,494
	2,3	0,9	0,66	0,24	1,518	1,599
	3,0	26,47	0,86	24,74	2,580	45,76
Peneira 14	3,0		0,73		2,190	
Posição:	2,2		0,68		1,496	
Hilo horizontal	2,6	2,7	1,02	0,81	2,652	2,160
	3,0	0,3	0,82	0,13	2,460	0,447
	2,5	11,11	0,80	16,05	2,000	20,69
Peneira 13	3,6		0,91		3,276	
Posição:	4,1		1,27		5,207	
Equilíbrio	4,3	3,8	0,95	1,02	4,085	3,930
	4,1	0,5	1,01	0,14	4,141	0,881
	3,0	13,16	0,98	13,73	2,940	22,42
Peneira 13	2,5		0,84		2,100	
Posição:	3,4		1,04		3,536	
Hilo vertical	3,2	2,6	1,00	0,98	3,200	2,535
	2,0	0,7	1,02	0,08	2,040	0,778
	1,8	26,92	1,00	8,16	1,800	30,69
Peneira 13	2,4		0,95		2,280	
Posição:	2,4		1,00		2,400	
Hilo horizontal	2,6	2,5	1,20	1,07	3,120	2,656
	2,5	0,1	1,13	0,12	2,825	0,388
	-	4,00	-	11,21	-	14,61

TABELA 37. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da biofalha, pelo gráfico do aparelho Instron Universal.
Umidade de 18,04%.

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 17	6,6		1,98		13,068	
Posição:	5,1		1,72		8,772	
Equilíbrio	7,4	6,0	1,93	1,83	14,282	11,066
	4,6	1,1	1,55	0,19	7,130	3,005
	6,1	18,33	1,98	10,38	12,078	27,16
Peneira 17	3,7		1,27		4,699	
Posição:	2,3		1,07		2,461	
Hilo vertical	2,5	3,2	0,61	1,13	1,525	3,822
	4,4	0,9	1,46	0,32	6,424	1,917
	3,2	28,13	1,25	28,32	4,000	50,16
Peneira 17	2,2		1,20		2,640	
Posição:	2,1		1,02		2,142	
Hilo horizontal	2,8	2,1	1,55	1,15	4,340	2,520
	1,9	0,4	1,03	0,24	1,957	1,094
	1,6	19,05	0,95	20,87	1,520	43,41
Peneira 16	6,0		1,86		11,160	
Posição:	6,8		2,07		14,076	
Equilíbrio	6,2	6,3	1,96	1,97	12,152	12,400
	6,2	0,3	1,95	0,08	12,090	1,063
	6,2	4,76	2,02	4,06	12,524	8,57
Peneira 16	3,1		1,24		3,844	
Posição:	4,2		1,38		5,796	
Hilo vertical	4,3	3,9	1,42	1,40	6,106	5,495
	4,4	0,6	1,56	0,11	6,864	1,168
	3,5	15,38	1,39	7,86	4,865	21,26
Peneira 16	3,6		2,22		7,992	
Posição:	1,7		1,22		2,074	
Hilo horizontal	1,2	2,8	0,58	1,69	0,696	5,587
	3,0	1,4	2,20	0,76	6,600	4,122
	4,7	50,00	2,25	44,97	10,575	73,78
Peneira 15	6,2		1,96		12,152	
Posição:	6,5		1,91		12,415	
Equilíbrio	4,5	5,9	1,81	1,95	8,145	11,622
	5,9	0,9	2,09	0,10	12,331	1,974
	6,6	15,25	1,98	5,13	13,068	16,99
Peneira 15	4,4		1,46		6,424	
Posição:	4,0		1,50		6,000	
Hilo vertical	3,0	3,5	1,13	1,30	3,390	4,574
	2,9	0,7	1,14	0,18	3,306	1,512
	3,0	20,00	1,25	13,85	3,750	33,06

	Força	*	Desloca_ mento	*	Força x Desloca_ mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	4,8		2,23		10,704	
Posição:	2,6		1,46		3,786	
Hilo horizontal	3,7	3,2	1,76	1,69	6,512	5,746
	2,9	1,1	1,80	0,39	5,220	3,154
	2,1	34,38	1,19	23,08	2,499	54,89
Peneira 14	3,0		1,45		4,350	
Posição:	5,8		1,90		11,020	
Equilíbrio	3,1	3,7	1,23	1,42	3,813	5,609
	2,0	1,5	0,91	0,37	1,820	3,553
	4,4	40,54	1,60	26,06	7,040	63,34
Peneira 14	2,6		1,14		2,964	
Posição:	2,8		1,24		3,472	
Hilo vertical	2,6	2,8	1,02	1,07	2,652	2,982
	3,0	0,2	0,95	0,12	2,850	0,303
	3,0	7,14	0,99	11,21	2,970	10,16
Peneira 14	1,7		0,76		1,292	
Posição:	1,7		0,95		1,615	
Hilo horizontal	1,5	1,8	0,90	0,95	1,350	1,707
	1,7	0,3	0,90	0,18	1,530	0,597
	2,2	16,67	1,25	18,95	2,750	34,97

TABELA 38. Força (em kgf) no ponto da biofalha, nas diferentes posições, peneiras e umidades.

Peneira	Posição	Umidade (b.u.) (%)							
		4,00	5,33	6,09	7,04	7,82	10,53	13,30	18,04
17	<u>Equilí</u> <u>brio</u>	10,5	10,7	11,2	13,0	12,4	10,4	7,7	6,6
16		10,1	10,7	10,5	10,1	10,6	8,7	6,2	6,3
15		10,8	11,8	10,4	10,0	8,9	8,7	6,1	5,9
14		7,7	9,0	8,6	9,7	8,7	6,5	4,0	3,7
13		6,8	7,8	9,4	8,0	6,7	6,7	3,8	-
17	<u>Hilo</u> <u>Verti</u> <u>cal</u>	10,1	11,4	9,9	10,6	9,2	7,0	6,8	3,2
16		10,0	7,8	9,7	9,4	8,1	4,4	5,2	3,9
15		9,7	8,9	9,3	8,6	7,0	4,4	4,1	3,5
14		8,4	7,8	9,0	7,2	6,6	4,7	3,4	2,8
13		7,0	7,3	10,0	6,7	6,7	4,6	2,6	-
17	<u>Hilo</u> <u>Horizon</u> <u>tal</u>	8,4	11,2	12,5	9,2	8,3	6,8	3,6	2,1
16		8,1	9,1	10,5	10,1	6,1	4,6	2,9	2,8
15		10,5	8,3	9,3	8,9	6,2	3,4	2,6	3,2
14		9,8	10,5	7,0	8,2	6,4	4,1	2,7	1,8
13		9,1	7,7	7,9	6,6	6,6	4,1	2,5	-

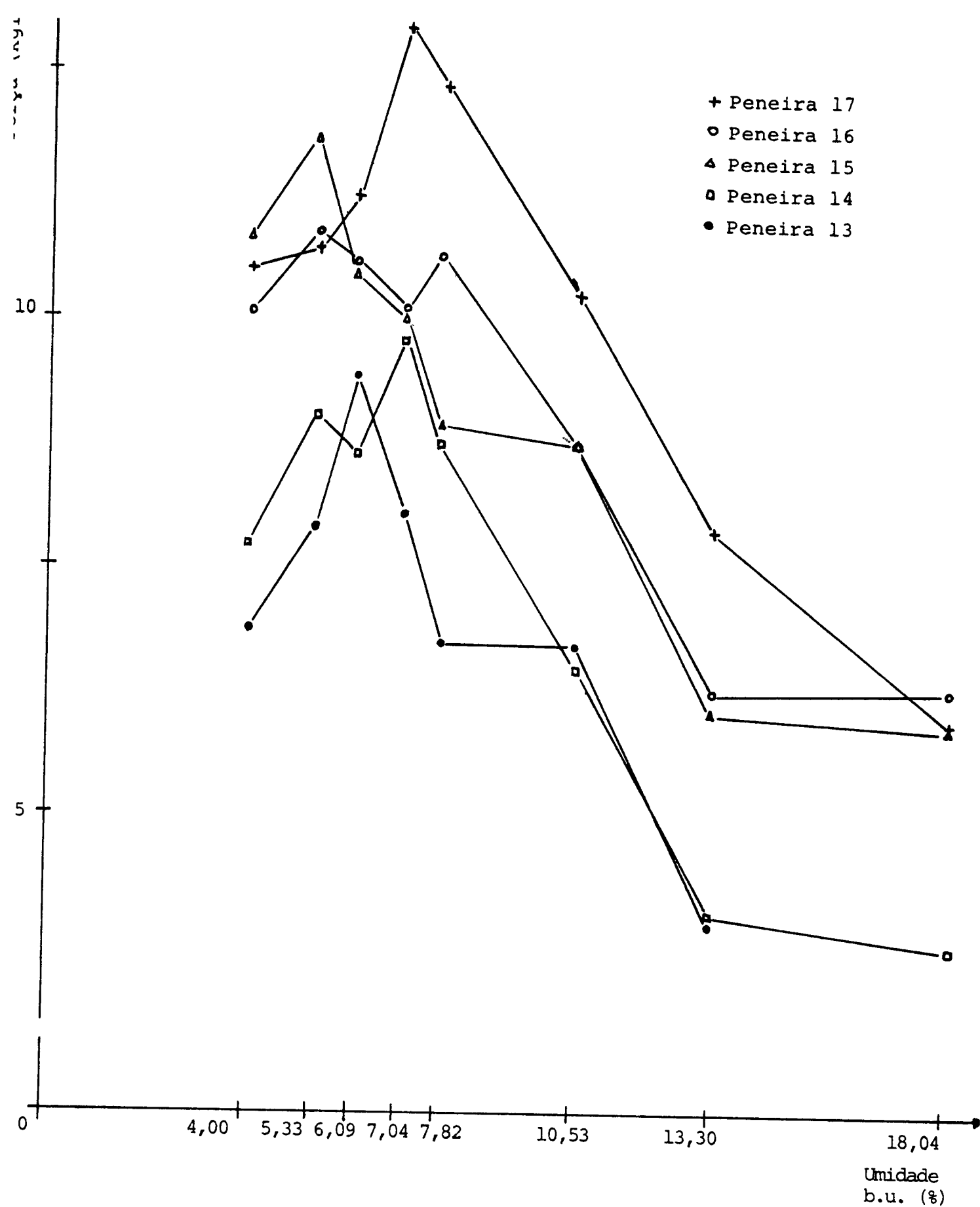


GRÁFICO 35. Força no ponto da biofalha, em função da umidade do grão, nas diversas peneiras. Posição de equilíbrio.

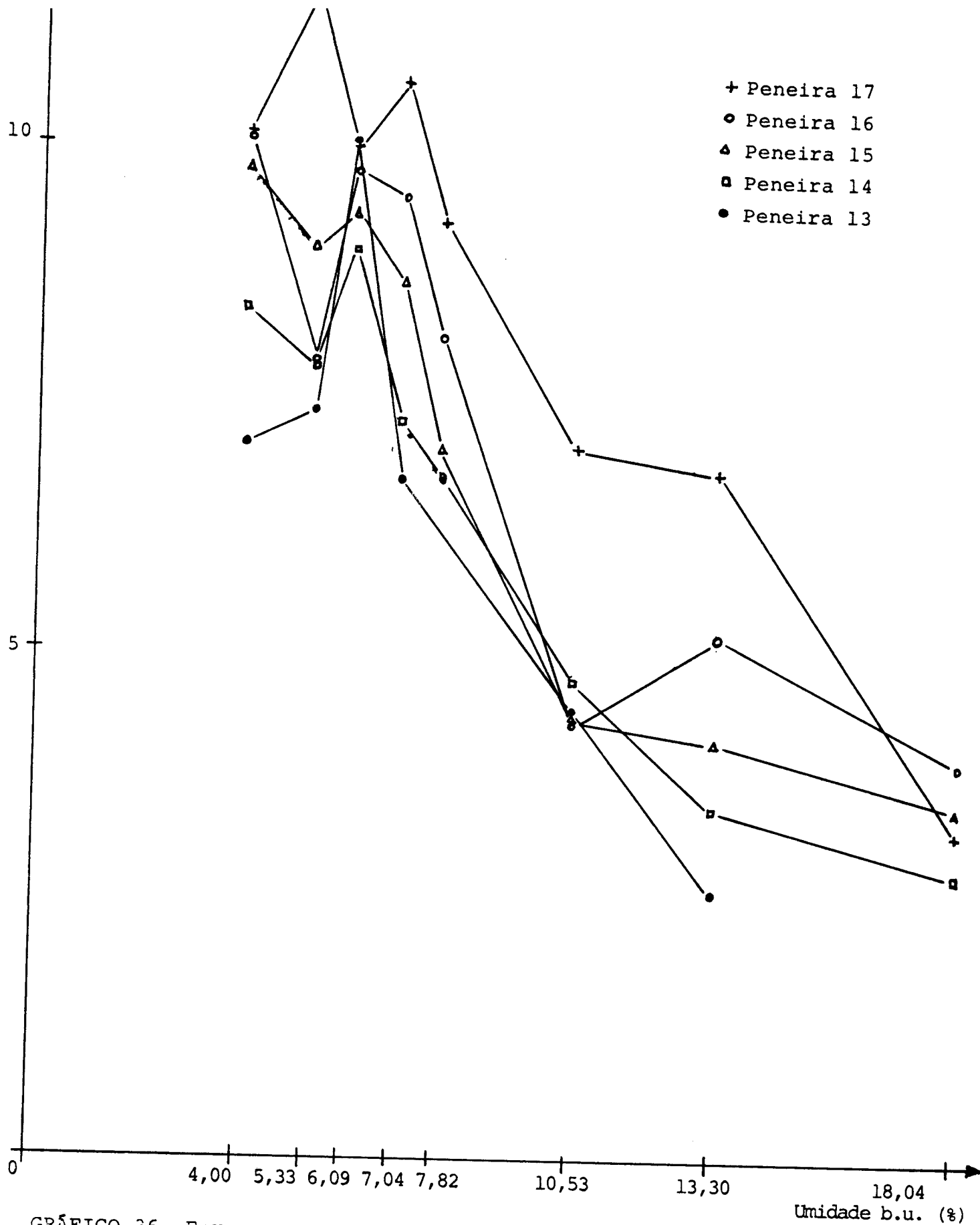


GRÁFICO 36. Força no ponto da biofalha, em função da umidade do grão, nas diversas peneiras. Posição: hilo vertical.

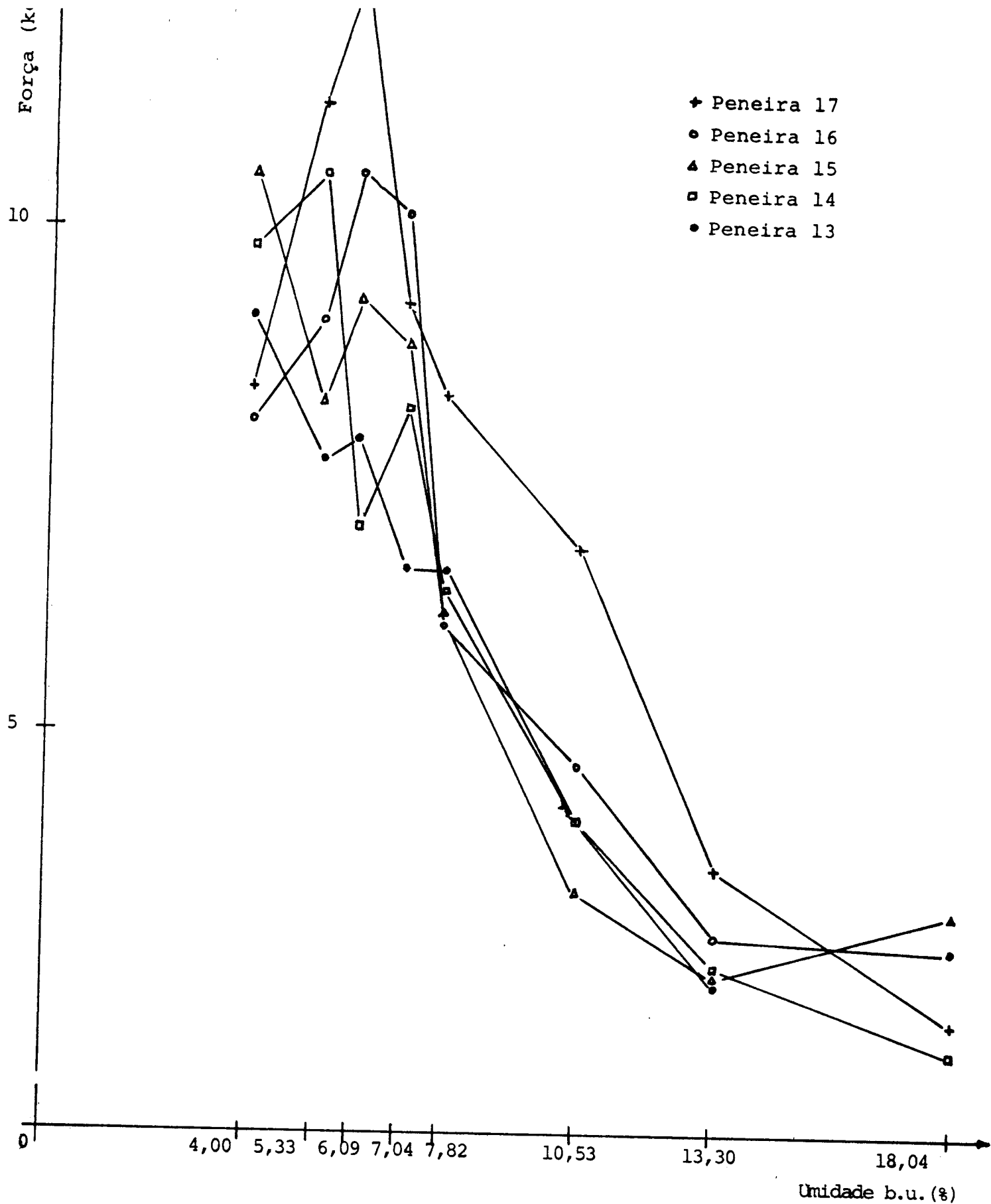


GRÁFICO 37. Força no ponto da biofalha, em função da umidade do grão, nas diversas peneiras. Posição: hilo horizontal.

TABELA 39. Relação força (em kgf)/área (em mm²) do grão, no ponto da biofalha, nas diferentes posições, peneiras e umidades.

Peneira	Posição	Umidade (b.u.) (%)							
		4,00	5,33	6,09	7,04	7,82	10,53	13,30	18,04
17	<u>Equilí</u> <u>brio</u>	0,29	0,30	0,31	0,36	0,35	0,29	0,22	0,17
16		0,32	0,34	0,33	0,32	0,33	0,27	0,20	0,20
15		0,39	0,42	0,37	0,36	0,32	0,31	0,22	0,21
14		0,32	0,37	0,35	0,40	0,36	0,27	0,16	0,15
13		0,33	0,37	0,45	0,38	0,32	0,32	0,18	-
17	<u>Hilo</u> <u>Verti</u> <u>cal</u>	0,28	0,32	0,28	0,30	0,26	0,20	0,19	0,09
16		0,32	0,25	0,31	0,30	0,26	0,14	0,16	0,12
15		0,35	0,32	0,33	0,31	0,25	0,16	0,15	0,13
14		0,35	0,32	0,37	0,30	0,27	0,19	0,14	0,12
13		0,33	0,35	0,48	0,32	0,32	0,22	0,12	-
17	<u>Hilo</u> <u>Horizon</u> <u>tal</u>	0,24	0,31	0,35	0,26	0,23	0,19	0,10	0,06
16		0,26	0,29	0,33	0,32	0,19	0,15	0,09	0,09
15		0,38	0,30	0,33	0,32	0,22	0,12	0,09	0,12
14		0,40	0,43	0,29	0,34	0,26	0,17	0,11	0,07
13		0,44	0,37	0,38	0,32	0,32	0,20	0,12	-

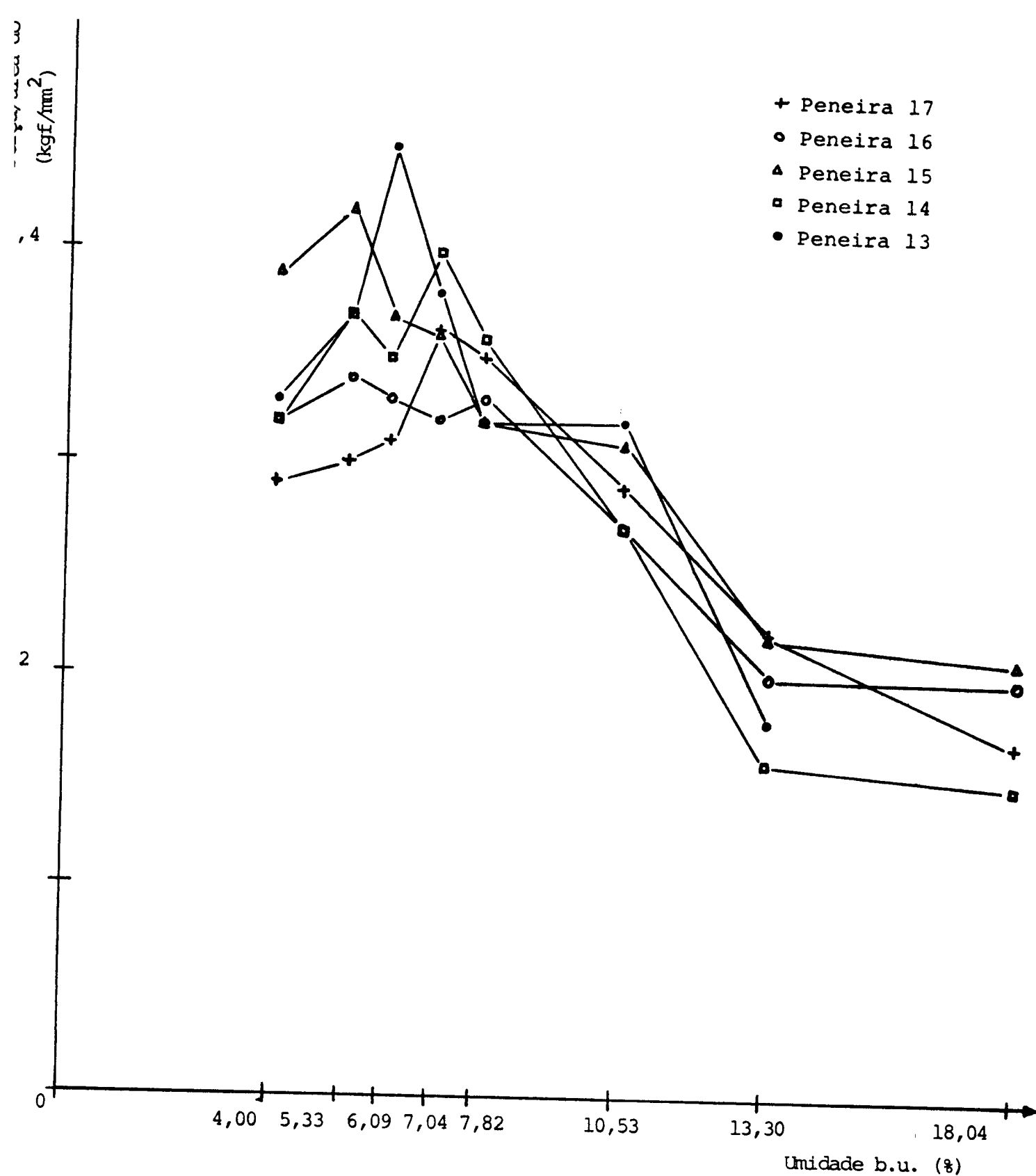


GRÁFICO 38. Relação força/área do grão, no ponto da biofalha, em função da umidade do grão, nas diversas peneiras. Posição: equilíbrio.

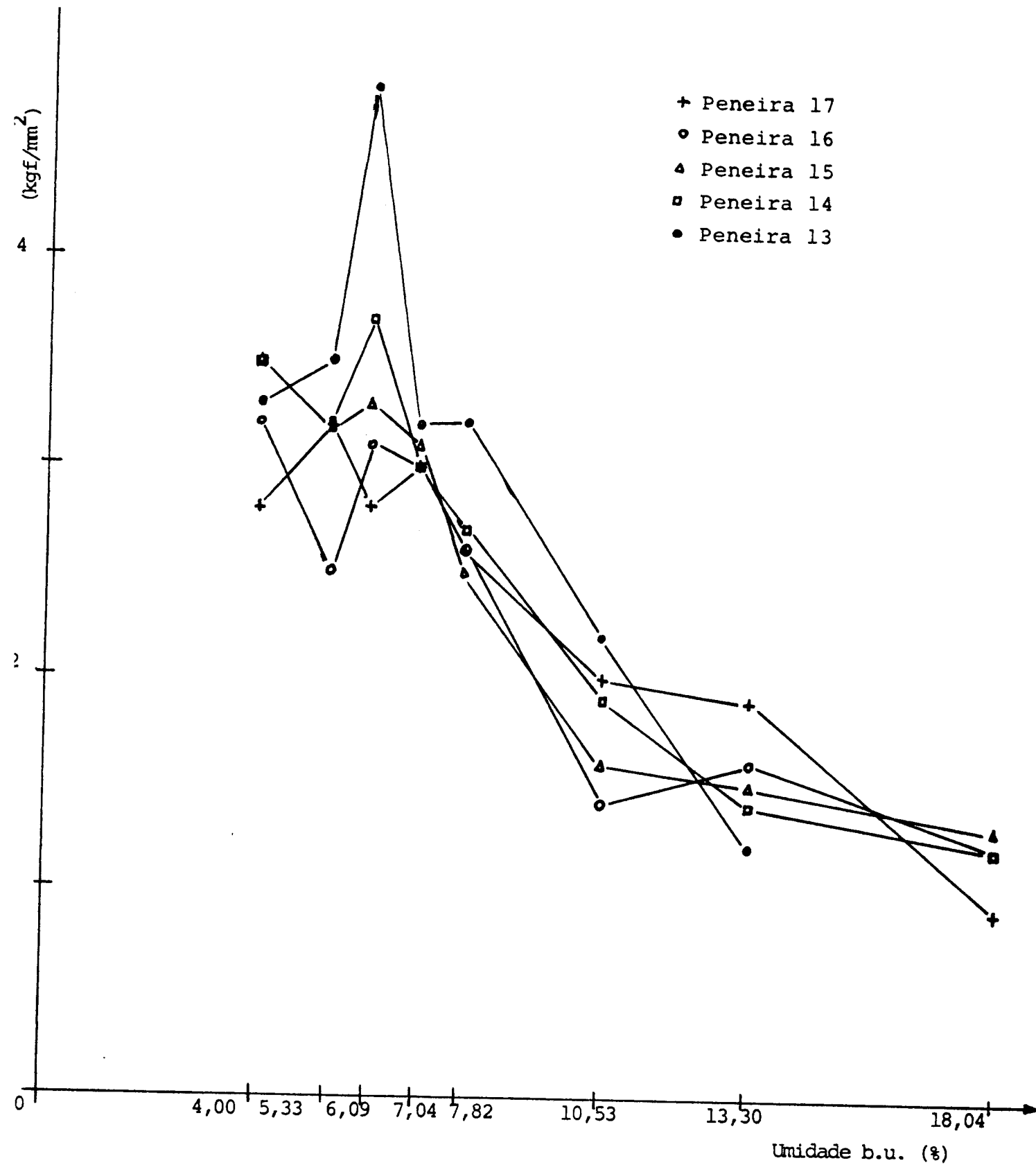


GRÁFICO 39. Relação força/área do grão, no ponto da biofalha, em função da umidade do grão, nas diversas peneiras. Posição: hilo vertical.

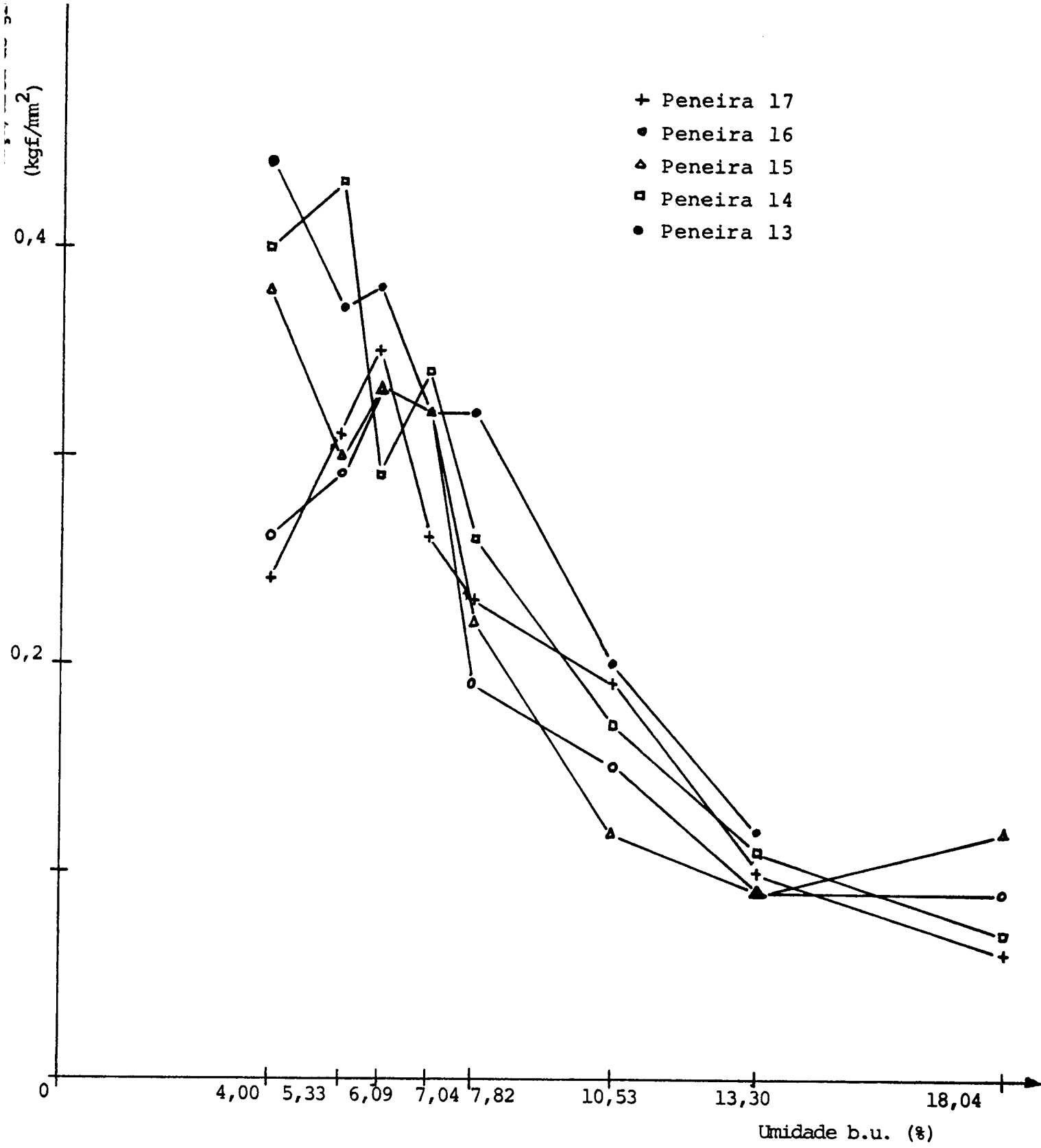


GRÁFICO 40. Relação força/área do grão, no ponto da biofalha, em função da umidade do grão, nas diversas peneiras. Posição: hilo horizontal.

QUADRO 1. Resultados da análise de variância para os dados obtidos, da força, no ponto da biofalha, pelos gráficos do equipamento Instron Universal.

	G.L.	SQ	QM	F	
Média	1	6366,507	6366,507		
Tratamentos:					
Umidade	7	687,877	98,268	88,45	*
Posição	2	73,703	36,852	33,17	*
Peneira	4	131,960	32,990	29,69	*
Peneira x posição	8	14,844	1,856	1,67	N.S.
Erro experim.	98	108,895	1,111		
Total	120	7383,786			

* Significativo ao nível de 0,05%.

QUADRO 2. Resultados da análise de variância para os dados obtidos, da relação força/área do grão, no ponto da biofalha.

	G.L.	SQ	QM	F	
Média	1	8,250	8,250		
Tratamento:					
Umidade	7	0,961	0,137	68,50	*
Posição	2	0,083	0,042	21,00	*
Peneira	4	0,023	0,006	3,00	**
Peneira x posição	8	0,009	0,001	0,50	N.S.
Erro experim.	98	0,204	0,002		
Total	120	9,530			

* Significativo ao nível de 0,05%

** Significativo ao nível de 2,5%

TABELA 40. Deslocamento (em mm) no ponto da biofalha, nas diferentes posições, peneiras e umidades.

Peneira	Posição	Umidade (b.u.) (%)							
		4,00	5,33	6,09	7,04	7,82	10,53	13,30	18,04
17	<u>Equilí</u> brio	0,23	0,25	0,26	0,31	0,38	1,09	1,34	1,83
16		0,22	0,23	0,23	0,28	0,31	0,75	1,56	1,97
15		0,24	0,25	0,26	0,28	0,31	1,01	1,45	1,95
14		0,19	0,23	0,23	0,25	0,31	0,82	1,02	1,42
13		0,18	0,19	0,22	0,23	0,23	0,72	1,02	-
17	<u>Hilo</u> <u>Verti</u> cal	0,33	0,42	0,37	0,42	0,35	0,79	1,53	1,13
16		0,34	0,30	0,39	0,43	0,49	0,59	1,17	1,40
15		0,34	0,33	0,38	0,43	0,44	0,78	1,09	1,30
14		0,35	0,30	0,37	0,36	0,49	0,77	0,97	1,07
13		0,30	0,32	0,48	0,42	0,42	0,72	0,98	-
17	<u>Hilo</u> <u>Horizon</u> tal	0,42	0,50	0,45	0,48	0,45	0,64	1,20	1,15
16		0,40	0,42	0,50	0,55	0,38	0,67	0,95	1,69
15		0,47	0,38	0,48	0,51	0,44	0,62	1,04	1,69
14		0,44	0,41	0,39	0,41	0,44	0,68	0,81	0,95
13		0,48	0,38	0,41	0,43	0,46	0,74	1,07	-

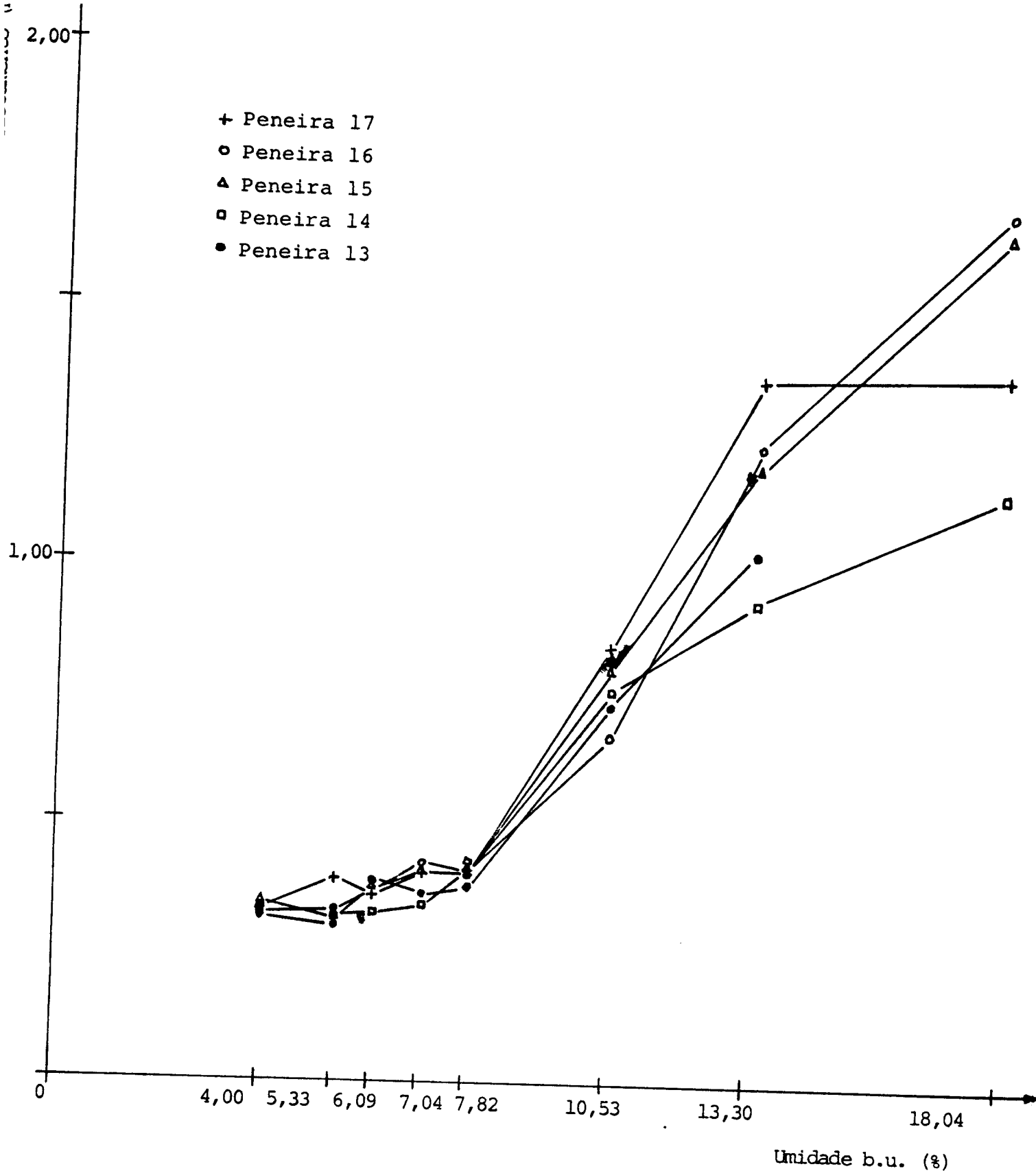


GRÁFICO 41. Deslocamento no ponto da biofalha, em função da umidade do grão, nas diversas peneiras.

TABELA 41. Força x deslocamento (em kgf.mm) no ponto da biofalha, nas diferentes posições, peneiras e unidades.

Peneira	Posição	Umidade (b.u.) (%)							
		4,00	5,33	6,09	7,04	7,82	10,53	13,30	18,04
17	<u>Equilí</u> <u>brio</u>	2,591	2,718	3,060	4,019	4,799	11,274	10,353	11,066
16		2,203	2,529	2,504	2,834	3,377	6,585	9,802	12,400
15		2,670	3,032	2,782	2,804	2,880	8,833	9,214	11,622
14		1,445	2,042	2,005	2,484	2,785	5,432	4,042	5,609
13		1,244	1,525	2,111	1,860	1,542	4,750	3,930	-
17	<u>Hilo</u> <u>Verti</u> <u>cal</u>	3,236	5,026	3,748	4,458	3,257	6,025	10,834	3,822
16		3,405	2,478	3,778	4,052	3,930	2,633	6,065	5,495
15		3,572	2,999	3,593	3,785	3,208	3,458	4,679	4,574
14		2,930	2,453	3,360	2,650	3,274	3,867	3,494	2,982
13		2,126	2,561	4,810	2,827	2,866	3,349	2,535	-
17	<u>Hilo</u> <u>Horizon</u> <u>tal</u>	3,687	5,579	5,835	4,461	3,714	4,666	4,363	2,520
16		3,268	3,872	5,040	5,485	2,562	3,149	2,834	5,587
15		4,984	3,321	4,411	4,539	2,798	2,244	2,789	5,746
14		4,331	4,446	2,805	3,446	2,858	2,909	2,160	1,707
13		4,404	2,952	3,380	2,832	3,064	3,080	2,656	-

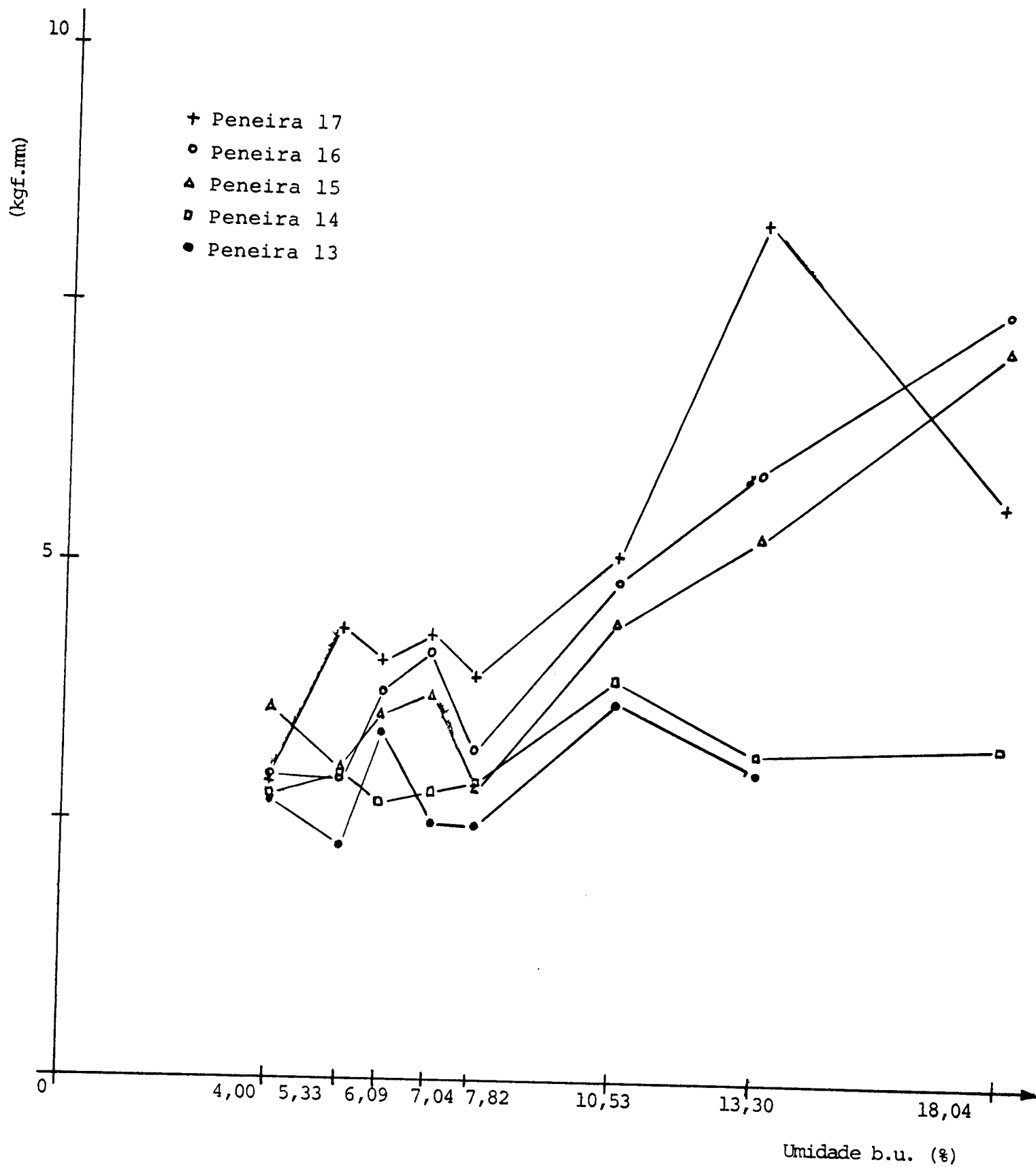


GRÁFICO 42. Força x deslocamento no ponto da biofalha, em função da umidade do grão, nas diversas peneiras.

QUADRO 3. Resultados da análise de variância para os dados obtidos, do deslocamento, no ponto da biofalha, pelos gráficos do equipamento Instron Universal.

	G.L.	SQ	QM	F	
Média	1	43,657	43,657		
Tratamentos:					
Umidade	7	13,888	1,984	29,18	*
Posição	2	0,021	0,011	0,16	N.S.
Peneira	4	1,067	0,267	3,93	**
Peneira x posição	8	0,150	0,019	0,28	N.S.
Erro experim.	98	6,655	0,068		
Total	120	65,438			

* Significativo ao nível de 0,05%.

** Significativo ao nível de 1,00%.

QUADRO 4. Resultados da análise de variância para os dados obtidos, do produto força x deslocamento, no ponto da biofalha pelos gráficos do equipamento Instron Universal.

	G.L.	SQ	QM	F	
Média	1	1728,091	1728,091		
Tratamentos:					
Umidade	7	74,938	10,705	3,00	**
Posição	2	13,753	6,877	1,93	N.S.
Peneira	4	92,452	23,113	6,48	*
Peneira x posição	8	20,315	2,539	0,71	N.S.
Erro experim.	98	349,441	3,566		
Total	120	2278,990			

* Significativo ao nível de 0,05%

** Significativo ao nível de 1,00%

TABELA 42. Tensão máxima (em kgf/mm²) e área (em mm²) no ponto da biofalha, calculadas pelo computador pdp 10/11. Umidade de 4,00%.

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 17	3,46		5,17	
Posição:	2,25		3,68	
Equilíbrio	3,51	3,03	4,71	3,99
	2,55	0,59	2,41	1,23
	3,38	19,47	-	30,83
Peneira 17	3,79		3,02	
Posição:	5,25		1,91	
Hilo vertical	2,95	3,98	2,38	2,39
	5,91	1,62	2,26	0,46
	1,98	40,70	-	19,25
Peneira 17	1,93		2,84	
Posição:	1,29		4,64	
Hilo horizontal	2,30	1,97	3,06	3,90
	2,46	0,45	3,82	0,99
	1,85	22,84	5,13	25,38
Peneira 16	4,13		2,27	
Posição:	3,12		5,06	
Equilíbrio	3,39	3,52	3,51	3,74
	3,72	0,41	2,69	1,33
	3,22	11,65	5,16	35,56
Peneira 16	3,73		2,86	
Posição:	3,47		2,53	
Hilo vertical	3,80	3,76	1,98	2,65
	4,96	0,77	3,21	0,52
	2,83	20,48	-	19,62
Peneira 16	2,17		4,58	
Posição:	2,54		4,90	
Hilo horizontal	1,41	2,28	2,86	3,81
	2,95	0,57	2,88	1,08
	2,32	25,00	-	28,61
Peneira 15	3,79		2,53	
Posição:	3,65		2,44	
Equilíbrio	2,92	3,60	3,18	2,83
	3,98	0,40	3,18	0,40
	3,68	11,11	-	14,13
Peneira 15	3,81		2,83	
Posição:	2,83		1,69	
Hilo vertical	4,42	4,30	1,71	1,98
	5,02	1,03	1,68	0,57
	5,43	23,95	-	28,79

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 15	2,22		4,13	
Posição:	2,73		4,45	
Hilo horizontal	2,37	2,69	4,04	3,93
	2,37	0,63	4,05	0,55
	3,76	23,42	2,99	13,99
Peneira 14	3,27		3,99	
Posição:	3,35		1,82	
Equilíbrio	3,58	3,50	2,20	2,51
	3,17	0,39	2,32	0,85
	4,14	11,14	2,20	33,86
Peneira 14	3,19		2,21	
Posição:	3,39		2,47	
Hilo vertical	3,64	3,43	2,63	2,42
	3,51	0,17	2,35	0,18
	3,40	4,96	-	7,44
Peneira 14	2,07		4,07	
Posição:	1,75		2,62	
Hilo horizontal	2,31	2,32	3,60	3,44
	2,29	0,53	3,72	0,55
	3,18	22,84	3,21	15,99
Peneira 13	3,46		1,96	
Posição:	3,48		3,40	
Equilíbrio	2,99	3,52	2,24	2,71
	3,90	0,35	2,14	0,84
	3,76	9,94	3,81	31,00
Peneira 13	3,53		2,02	
Posição:	4,16		1,73	
Hilo vertical	3,88	3,92	1,36	1,74
	3,74	0,31	2,07	0,31
	4,30	7,91	1,51	17,82
Peneira 13	2,73		3,17	
Posição:	2,13		3,34	
Hilo horizontal	2,72	2,53	3,31	3,40
	2,46	0,25	3,78	0,26
	2,59	9,88	-	7,65

TABELA 43. Tensão máxima (em kgf/mm²) e área (em mm²) no ponto da biofalha, calculadas pelo computador pdp 10/11. Umidade de 5,33%.

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 17	2,88		3,29	
Posição:	2,74		6,72	
Equilíbrio	3,03	2,82	3,31	4,43
	2,77	0,13	4,39	1,61
	2,70	4,61	-	36,34
Peneira 17	3,37		3,96	
Posição:	3,23		4,40	
Hilo vertical	2,89	3,36	3,22	3,40
	3,13	0,50	2,01	1,05
	4,20	14,88	-	30,88
Peneira 17	2,52		4,49	
Posição:	2,28		4,19	
Hilo horizontal	2,40	2,23	5,28	4,43
	1,73	0,35	2,71	1,10
	-	15,70	5,47	24,83
Peneira 16	1,97		5,39	
Posição:	2,81		4,27	
Equilíbrio	2,62	2,81	2,94	3,90
	3,72	0,63	3,00	1,17
	2,93	22,42	-	30,00
Peneira 16	6,63		1,93	
Posição:	2,84		1,48	
Hilo vertical	2,10	3,68	1,08	1,88
	3,02	1,76	2,66	0,63
	3,82	47,83	2,27	33,51
Peneira 16	2,98		2,37	
Posição:	2,08		4,26	
Hilo horizontal	1,15	1,93	2,60	3,09
	2,33	0,80	3,12	0,84
	1,10	41,45	-	27,18
Peneira 15	1,47		3,21	
Posição:	3,89		2,72	
Equilíbrio	3,65	3,30	3,58	3,17
	4,18	1,24	3,18	0,35
	-	37,58	-	11,04
Peneira 15	5,48		1,61	
Posição:	6,53		1,40	
Hilo vertical	2,43	4,22	2,76	2,24
	3,61	1,72	2,53	0,69
	3,04	40,76	2,92	30,80

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 15	2,69		3,18	
Posição:	2,70		3,54	
Hilo horizontal	2,59	2,50	3,57	3,48
	2,35	0,24	2,51	0,77
	2,15	9,60	4,62	22,13
Peneira 14	1,66		3,27	
Posição:	2,01		3,24	
Equilíbrio	3,07	2,99	2,69	2,76
	3,34	1,26	2,93	0,65
	4,85	42,14	1,68	23,55
Peneira 14	2,74		1,69	
Posição:	5,47		2,03	
Hilo vertical	4,31	3,60	2,73	2,53
	3,36	1,33	3,67	0,87
	2,10	36,94	-	34,39
Peneira 14	3,91		1,55	
Posição:	3,74		2,53	
Hilo horizontal	1,39	2,89	3,84	2,90
	1,81	1,19	3,69	1,08
	3,58	41,18	-	37,24
Peneira 13	2,11		4,90	
Posição:	3,85		1,98	
Equilíbrio	3,62	3,03	2,43	3,29
	2,55	0,84	3,83	1,33
	-	27,72	-	40,43
Peneira 13	6,28		2,40	
Posição:	6,01		2,54	
Hilo vertical	3,47	4,73	2,77	2,38
	4,33	1,33	1,78	0,37
	3,58	28,12	2,42	15,55
Peneira 13	2,49		1,98	
Posição:	3,32		2,29	
Hilo horizontal	2,32	2,69	3,55	2,77
	2,09	0,55	3,07	0,63
	3,23	20,45	2,97	22,74

TABELA 44. Tensão máxima (em kgf/mm²) e área (em mm²) no ponto da biofalha, calculadas pelo computador pdp 10/11. Unidade de 6,09%.

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 17	3,19		3,85	
Posição:	3,40		2,93	
Equilíbrio	4,93	3,51	3,02	3,86
	3,51	0,88	4,38	0,92
	2,51	25,07	5,10	23,83
Peneira 17	2,82		2,90	
Posição:	4,06		2,35	
Hilo vertical	2,85	3,18	3,42	3,03
	3,00	0,51	3,29	0,43
	3,18	16,04	3,21	14,19
Peneira 17	1,82		3,73	
Posição:	2,34		3,11	
Hilo horizontal	3,27	2,52	5,47	4,40
	2,99	0,60	4,96	0,96
	2,18	23,81	4,74	21,82
Peneira 16	3,52		3,01	
Posição:	3,78		2,37	
Equilíbrio	3,30	3,55	4,38	2,95
	3,41	0,20	2,41	0,84
	3,72	5,63	2,57	28,47
Peneira 16	3,24		2,87	
Posição:	2,77		3,12	
Hilo vertical	6,11	3,63	1,97	2,74
	3,09	1,40	2,62	0,48
	2,92	38,57	3,14	17,52
Peneira 16	2,52		3,77	
Posição:	2,14		4,02	
Hilo horizontal	2,38	2,44	4,28	4,21
	2,43	0,21	4,91	0,43
	2,73	8,61	4,09	10,21
Peneira 15	3,30		3,54	
Posição:	3,84		3,54	
Equilíbrio	2,60	3,31	2,83	3,38
	3,72	0,50	2,83	0,50
	3,11	15,11	4,05	14,79
Peneira 15	4,04		2,67	
Posição:	4,09		2,33	
Hilo vertical	4,56	3,88	2,11	2,33
	3,96	0,68	2,26	0,21
	2,73	17,53	2,29	9,01

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 15	2,52		3,99	
Posição:	1,68		4,96	
Hilo horizontal	2,84	2,25	3,45	4,14
	2,36	0,48	3,90	0,57
	1,84	21,33	4,40	13,77
Peneira 14	3,72		2,22	
Posição:	3,57		2,20	
Equilíbrio	2,69	3,41	5,69	3,10
	3,50	0,41	2,64	1,47
	3,55	12,02	2,75	47,42
Peneira 14	3,50		2,37	
Posição:	3,29		2,62	
Hilo vertical	3,71	3,60	2,41	2,44
	3,99	0,26	1,85	0,40
	3,52	7,22	2,95	16,39
Peneira 14	2,74		1,45	
Posição:	2,85		2,92	
Hilo horizontal	2,04	2,16	3,51	2,58
	1,26	0,65	2,44	0,87
	1,93	30,09	-	33,72
Peneira 13	1,56		4,39	
Posição:	1,70		4,23	
Equilíbrio	2,90	2,87	3,77	3,44
	4,45	1,26	2,69	1,00
	3,73	43,90	2,11	29,07
Peneira 13	7,11		1,45	
Posição:	6,08		1,51	
Hilo vertical	3,00	4,48	3,42	2,19
	3,24	1,97	1,56	0,95
	2,95	43,97	3,02	43,38
Peneira 13	3,05		3,33	
Posição:	2,22		3,52	
Hilo horizontal	3,73	2,82	2,92	2,96
	2,49	0,59	3,45	0,81
	2,62	20,92	1,56	27,36

TABELA 45. Tensão máxima (em kgf/mm²) e área (em mm²) no ponto da biofalha, calculadas pelo computador pdp 10/11. Unidade de 7,04%.

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 17	3,05		3,60	
Posição:	3,47		3,81	
Equilíbrio	4,80	3,51	3,14	3,76
	3,16	0,74	3,82	0,46
	3,05	21,08	4,41	12,23
Peneira 17	2,84		4,04	
Posição:	4,75		2,50	
Hilo vertical	2,96	3,19	2,96	3,48
	2,96	0,89	3,81	0,71
	2,46	27,90	4,08	20,40
Peneira 17	2,70		3,06	
Posição:	1,93		4,39	
Hilo horizontal	1,69	2,17	5,37	4,25
	2,20	0,39	3,63	0,92
	2,33	17,97	4,82	21,65
Peneira 16	2,78		3,75	
Posição:	2,96		3,24	
Equilíbrio	3,03	3,06	5,98	3,97
	3,41	0,23	3,96	1,20
	3,13	7,52	2,92	30,23
Peneira 16	2,75		3,81	
Posição:	2,43		3,63	
Hilo vertical	2,68	3,05	2,81	3,14
	3,14	0,72	3,30	0,67
	4,25	23,61	2,15	21,34
Peneira 16	2,59		3,51	
Posição	2,04		5,16	
Hilo horizontal	1,68	2,28	6,45	4,65
	2,84	0,45	4,16	1,17
	2,26	19,74	3,96	25,16
Peneira 15	3,87		2,85	
Posição	2,78		4,11	
Equilíbrio	3,41	3,34	5,06	3,40
	3,76	0,50	2,38	1,14
	2,87	14,97	2,61	33,53
Peneira 15	3,32		2,19	
Posição:	2,46		3,52	
Hilo vertical	2,73	3,00	2,92	2,84
	3,37	0,39	2,23	0,62
	3,10	13,00	3,36	21,83

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 15	1,78		5,16	
Posição	1,94		4,26	
Hilo horizontal	2,46	2,26	3,29	3,95
	3,31	0,65	3,45	0,77
	1,79	28,76	3,60	19,49
Peneira 14	3,64		2,28	
Posição:	3,41		3,53	
Equilíbrio	3,07	3,35	3,32	3,17
	3,05	0,28	2,44	0,82
	3,58	8,36	4,27	25,87
Peneira 14	2,48		3,07	
Posição:	2,07		3,27	
Hilo vertical	2,46	2,77	3,10	2,88
	1,95	1,21	3,51	0,82
	4,89	43,68	1,44	28,47
Peneira 14	2,73		2,81	
Posição:	2,21		4,53	
Hilo horizontal	2,31	2,44	3,16	3,45
	2,55	0,20	3,17	0,66
	2,42	8,20	3,57	19,13
Peneira 13	2,44		3,28	
Posição:	3,53		2,67	
Equilíbrio	3,53	2,96	3,10	3,70
	2,35	0,57	5,31	1,04
	2,96	19,26	4,12	28,11
Peneira 13	3,33		1,97	
Posição:	3,07		2,13	
Hilo vertical	2,66	2,97	2,09	2,21
	2,37	0,45	2,82	0,34
	3,42	15,15	2,05	15,38
Peneira 13	2,25		2,82	
Posição:	2,10		3,24	
Hilo horizontal	2,23	2,17	2,58	2,87
	2,11	0,08	2,85	0,27
	-	3,69	-	9,41

TABELA 46. Tensão máxima (em kgf/mm²) e área (em mm²) no ponto de biofalha, calculadas pelo computador pdp 10/11. Unidade de 7,82%.

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 17	2,12		4,49	
Posição:	3,02		5,09	
Equilíbrio	2,53	2,56	8,27	5,89
	2,74	0,34	5,46	1,46
	2,37	13,28	6,15	24,79
Peneira 17	4,62		2,31	
Posição:	2,92		2,51	
Hilo vertical	2,18	3,33	2,68	2,45
	2,98	0,96	2,30	0,18
	3,95	28,83	-	7,35
Peneira 17	1,37		5,52	
Posição:	1,75		4,13	
Hilo horizontal	1,95	2,03	3,69	4,11
	2,92	0,58	3,30	0,85
	2,15	28,57	3,92	20,68
Peneira 16	2,51		3,35	
Posição:	3,01		3,28	
Equilíbrio	3,07	2,88	3,35	3,77
	3,09	0,25	3,54	0,87
	2,73	8,68	5,32	23,08
Peneira 16	1,56		5,35	
Posição:	3,41		2,42	
Hilo vertical	1,75	2,10	4,12	3,96
	1,97	0,75	3,94	1,20
	1,82	35,71	-	30,30
Peneira 16	2,69		4,81	
Posição:	1,25		5,00	
Hilo horizontal	1,74	1,87	4,18	4,37
	1,90	0,52	4,55	0,68
	1,76	27,81	3,29	15,56
Peneira 15	2,71		2,79	
Posição:	2,67		4,38	
Equilíbrio	2,67	2,68	3,05	3,32
	2,38	0,22	3,16	0,62
	2,99	8,21	3,21	18,67
Peneira 15	2,59		2,83	
Posição:	2,12		3,15	
Hilo vertical	1,97	2,27	3,62	3,27
	2,05	0,31	3,38	0,30
	2,62	13,66	3,35	9,17

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 15	1,60		3,39	
Posição:	2,51		3,93	
Hilo horizontal	2,16	1,84	3,23	4,20
	1,58	0,48	4,18	1,23
	1,36	26,09	6,29	29,29
Peneira 14	2,06		5,62	
Posição:	2,56		2,91	
Equilíbrio	2,05	2,56	4,87	4,31
	3,72	0,68	3,31	1,15
	2,43	26,56	4,82	26,68
Peneira 14	2,18		2,90	
Posição:	2,16		3,18	
Hilo vertical	2,04	2,26	2,86	2,93
	1,97	0,39	2,77	0,18
	2,93	17,26	-	6,14
Peneira 14	1,51		3,06	
Posição:	1,57		3,66	
Hilo horizontal	2,26	1,60	3,64	3,74
	1,35	0,39	4,61	0,64
	1,30	24,38	-	17,11
Peneira 13	2,40		4,57	
Posição:	2,49		4,73	
Equilíbrio	3,05	2,61	5,38	4,13
	2,72	0,28	3,57	1,17
	2,37	10,73	2,39	28,33
Peneira 13	2,80		1,93	
Posição:	1,76		3,24	
Hilo vertical	1,78	2,45	2,21	2,59
	3,70	0,82	2,96	0,62
	2,22	33,47	-	23,94
Peneira 13	2,67		3,61	
Posição:	1,72		4,32	
Hilo horizontal	2,17	2,07	3,01	3,79
	1,71	0,46	4,22	0,61
	-	22,22	-	16,09

TABELA 47. Tensão máxima (em kgf/mm²) e área (em mm²) no ponto da biofalha, calculadas pelo computador pdp 10/11. Unidade de 10,53%.

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 17	1,13		10,52	
Posição:	0,67		18,78	
Equilíbrio	1,17	0,96	11,20	12,35
	0,87	0,23	8,90	4,39
	-	23,96	-	35,55
Peneira 17	1,39		7,96	
Posição:	0,78		5,10	
Hilo vertical	0,92	1,08	3,56	5,24
	1,23	0,24	4,10	1,70
	1,06	22,22	5,49	32,44
Peneira 17	0,77		4,48	
Posição:	0,87		4,65	
Hilo horizontal	0,71	0,76	4,21	4,83
	0,69	0,07	5,30	0,56
	0,77	9,21	5,53	11,59
Peneira 16	0,50		9,80	
Posição:	1,02		11,74	
Equilíbrio	0,73	0,87	19,60	13,12
	1,13	0,26	10,41	3,97
	0,99	29,89	14,03	30,26
Peneira 16	1,45		5,05	
Posição:	0,68		5,18	
Hilo vertical	0,84	0,97	5,62	4,97
	0,90	0,33	4,01	0,68
	-	34,02	-	13,68
Peneira 16	0,87		5,77	
Posição:	0,68		5,13	
Hilo horizontal	0,66	0,74	6,41	5,83
	0,89	0,13	5,07	0,75
	0,61	17,57	6,75	12,86
Peneira 15	0,61		8,76	
Posição:	0,96		12,80	
Equilíbrio	0,82	0,95	12,45	11,31
	1,54	0,35	10,35	1,71
	0,83	36,84	12,19	15,12
Peneira 15	1,44		8,71	
Posição:	0,52		4,66	
Hilo vertical	0,86	0,97	4,42	5,25
	1,22	0,36	3,36	2,04
	0,81	37,11	5,10	38,86

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 15	0,82		5,72	
Posição:	0,49		3,65	
Hilo horizontal	0,63	0,72	5,93	5,19
	0,78	0,16	5,43	0,90
	0,88	22,22	5,20	17,34
Peneira 14	0,25		9,18	
Posição:	0,80		13,40	
Equilíbrio	0,57	0,67	6,67	9,29
	0,71	0,28	9,01	2,53
	1,00	41,79	7,96	27,38
Peneira 14	1,73		5,87	
Posição:	0,85		5,92	
Hilo vertical	0,67	0,97	5,70	5,28
	0,78	0,43	5,30	0,97
	0,83	44,33	3,59	18,37
Peneira 14	0,84		6,99	
Posição:	0,28		5,12	
Hilo horizontal	0,41	0,60	5,51	5,72
	0,91	0,27	5,26	0,86
	0,56	45,00	-	15,03
Peneira 13	0,54		4,98	
Posição:	1,11		11,01	
Equilíbrio	0,74	0,91	13,27	8,57
	1,33	0,31	5,40	3,57
	0,84	34,07	8,21	41,66
Peneira 13	1,36		7,62	
Posição:	1,01		4,17	
Hilo vertical	0,86	1,19	4,28	4,86
	1,61	0,30	4,14	1,55
	1,11	25,21	4,08	31,89
Peneira 13	0,82		4,13	
Posição:	0,70		6,52	
Hilo horizontal	0,58	0,86	6,43	5,37
	1,32	0,33	4,38	1,29
	-	38,37	-	24,02

TABELA 48. Tensão máxima (em kgf/mm²) e área (em mm²) no ponto da biofalha, calculadas pelo computador pdp 10/11. Umidade de 13,30%.

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 17	0,60		24,66	
Posição:	0,58		22,39	
Equilíbrio	0,42	0,53	21,54	22,86
	0,51	0,08	22,83	1,32
	-	15,09	-	5,77
Peneira 17	1,05		9,20	
Posição:	0,96		8,70	
Hilo vertical	0,57	0,76	7,89	8,38
	0,45	0,29	7,74	0,69
	-	38,16	-	8,23
Peneira 17	0,62		15,61	
Posição:	0,27		15,62	
Hilo horizontal	0,27	0,34	12,50	12,93
	0,27	0,16	8,66	2,89
	0,27	47,06	12,25	22,35
Peneira 16	0,27		14,04	
Posição:	0,27		11,48	
Equilíbrio	0,59	0,32	17,14	14,98
	0,25	0,15	14,61	2,50
	0,22	46,88	17,62	16,69
Peneira 16	0,85		2,85	
Posição:	0,80		9,13	
Hilo vertical	0,96	0,69	10,27	7,36
	0,37	0,25	8,02	2,88
	0,48	36,23	6,51	39,13
Peneira 16	0,34		9,04	
Posição:	0,33		7,22	
Hilo horizontal	0,32	0,35	7,52	7,31
	0,35	0,03	5,83	1,16
	0,39	8,57	6,92	15,87
Peneira 15	0,23		11,94	
Posição:	0,30		21,03	
Equilíbrio	0,32	0,42	8,70	14,30
	0,50	0,20	13,33	4,69
	0,73	47,62	16,51	32,80
Peneira 15	0,68		8,85	
Posição:	0,69		9,97	
Hilo vertical	0,65	0,63	9,25	8,28
	0,51	0,08	5,42	1,76
	-	12,70	7 90	21,26

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 15	0,47		9,23	
Posição:	0,51		5,16	
Hilo horizontal	0,28	0,40	6,61	6,99
	0,32	0,11	6,96	1,68
	-	27,50	-	24,03
Peneira 14	0,49		13,29	
Posição:	0,55		12,75	
Equilíbrio	0,58	0,54	15,98	12,96
	0,53	0,04	8,81	2,62
	-	7,41	13,99	20,22
Peneira 14	0,37		6,92	
Posição:	0,50		6,50	
Hilo vertical	0,39	0,47	4,60	5,45
	0,51	0,09	4,54	1,16
	0,59	19,15	4,67	21,28
Peneira 14	0,75		4,43	
Posição:	0,37		4,79	
Hilo horizontal	0,76	0,52	4,72	4,92
	0,35	0,22	6,32	0,80
	0,35	42,31	4,36	16,26
Peneira 13	0,51		15,86	
Posição:	0,51		6,30	
Equilíbrio	0,48	0,50	8,96	9,01
	0,33	0,12	10,32	4,62
	0,68	24,00	3,60	51,28
Peneira 13	0,34		4,54	
Posição:	0,28		6,26	
Hilo vertical	0,67	0,66	4,50	4,65
	0,36	0,58	3,29	1,22
	1,66	87,88	-	26,24
Peneira 13	0,84		5,03	
Posição:	0,48		4,55	
Hilo horizontal	0,57	0,66	3,87	4,80
	0,75	0,16	5,76	0,80
	-	24,24	-	16,67

TABELA 49. Tensão máxima (em kgf/mm²) e área (em mm²) no ponto da biofalha, calculadas pelo computador pdp 10/11. Umidade de 18,04%.

	Tensão (kgf/mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 17	0,45		25,38	
Posição	0,19		17,93	
Equilíbrio	0,21	0,27	25,73	22,09
	0,21	0,12	18,89	3,60
	-	44,44	22,54	16,30
Peneira 17	0,36		8,47	
Posição:	0,41		6,85	
Hilo vertical	0,39	0,38	8,45	8,08
	0,39	0,02	8,30	0,69
	0,36	5,26	8,32	8,54
Peneira 17	0,28		2,81	
Posição:	0,27		7,89	
Hilo horizontal	0,28	0,41	5,55	5,58
	0,90	0,28	5,83	1,81
	0,30	68,29	5,83	32,44
Peneira 16	0,22		20,94	
Posição:	0,22		10,40	
Equilíbrio	0,24	0,23	21,06	20,33
	0,23	0,01	25,53	5,87
	0,23	4,35	23,72	28,87
Peneira 16	1,29		5,37	
Posição:	0,84		9,26	
Hilo vertical	0,26	0,59	7,90	7,51
	0,28	0,46	7,52	1,61
	0,28	77,97	-	21,44
Peneira 16	0,21		3,28	
Posição:	0,20		3,72	
Hilo horizontal	0,27	0,20	2,34	3,03
	0,12	0,06	2,78	0,60
	-	30,00	-	19,80
Peneira 15	0,55		21,22	
Posição:	0,23		22,36	
Equilíbrio	0,23	0,35	4,52	15,22
	0,37	0,15	7,24	8,60
	-	42,86	20,77	56,50
Peneira 15	0,41		7,83	
Posição:	0,40		8,21	
Hilo vertical	0,42	0,41	6,42	7,34
	0,41	0,01	6,67	0,77
	0,39	2,44	7,59	10,49

	Tensão (kgf.mm ²)	*	Área (mm ²)	*
Peneira 15	0,31		5,84	
Posição:	0,31		4,91	
Hilo horizontal	0,31	0,31	3,97	5,18
	0,31	0,01	5,98	0,93
	0,32	3,23	-	17,95
Peneira 14	0,27		7,60	
Posição:	0,55		21,56	
Equilíbrio	0,55	0,49	12,93	10,55
	0,55	0,13	7,01	6,99
	0,55	26,53	3,67	66,26
Peneira 14	0,59		1,63	
Posição:	0,55		6,33	
Hilo vertical	0,55	0,55	4,95	4,59
	0,51	0,03	3,96	1,91
	0,54	5,45	6,10	41,61
Peneira 14	0,50		4,56	
Posição:	0,55		6,12	
Hilo horizontal	0,55	0,60	4,30	6,14
	0,60	0,13	6,38	2,01
	0,82	21,67	9,34	32,74

TABELA 50. Tensão máxima nas diferentes posições, tamanhos e umidades.

Peneira	Posição	Umidade (b.u.) (%)							
		4,00	5,33	6,09	7,04	7,82	10,53	13,30	18,04
17	Equilí brio	3,03	2,82	3,51	3,51	2,56	0,96	0,53	0,27
16		3,52	2,81	3,55	3,06	2,88	0,87	0,32	0,23
15		3,60	3,30	3,31	3,34	2,68	0,95	0,42	0,35
14		3,50	2,99	3,41	3,35	2,56	0,67	0,54	0,49
13		3,52	3,03	2,87	2,96	2,61	0,91	0,50	-
17	Hilo Verti cal	3,98	3,36	3,18	3,19	3,33	1,08	0,76	0,38
16		3,76	3,68	3,63	3,05	2,10	0,97	0,69	0,59
15		4,30	4,22	3,88	3,00	2,27	0,97	0,63	0,41
14		3,43	3,60	3,60	2,77	2,26	0,97	0,47	0,55
13		3,92	4,73	4,48	2,97	2,45	1,19	0,66	-
17	Hilo Horizon tal	1,97	2,23	2,52	2,17	2,03	0,76	0,34	0,41
16		2,28	1,93	2,44	2,28	1,87	0,74	0,35	0,20
15		2,69	2,50	2,25	2,26	1,84	0,72	0,40	0,31
14		2,32	2,89	2,16	2,44	1,60	0,60	0,52	0,60
13		2,53	2,69	2,82	2,17	2,07	0,86	0,66	-

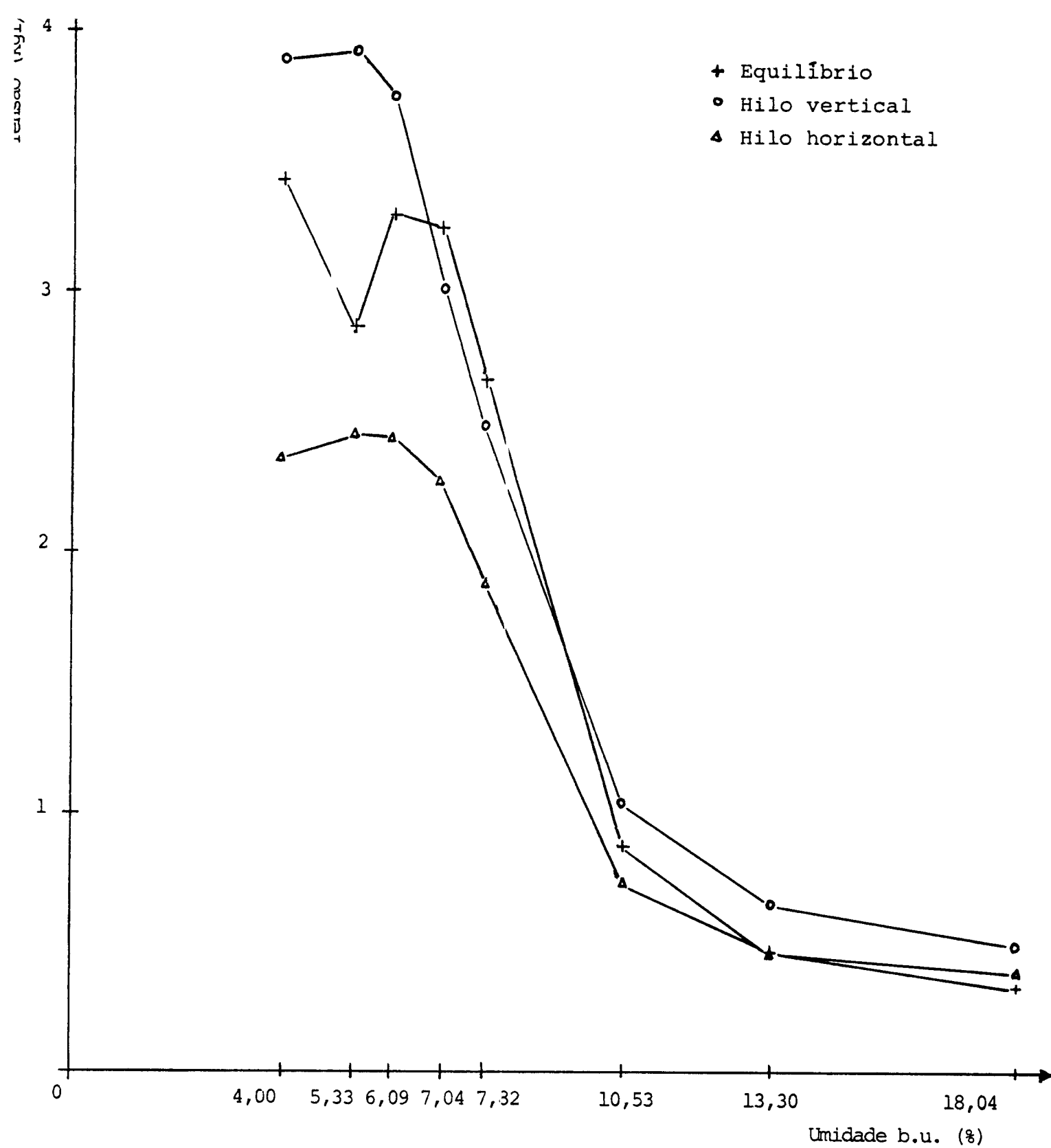


GRÁFICO 43. Tensão máxima, em função da umidade do grão, nas diversas posições.

QUADRO 5. Resultados da análise de variância para os dados obtidos, da tensão máxima, calculada pelo computador pdp 10/11.

	G.L.	SQ	QM	F	
Média	1	501,475	501,475		
Tratamento:					
Umidade	7	166,320	23,760	162,74	*
Posição	2	12,526	6,263	42,90	*
Peneira	4	0,207	0,052	0,36	N.S.
Peneira x posição	8	0,873	0,109	0,75	N.S.
Erro experim.	98	14,284	0,146		
Total	120	695,685			

* Significativo ao nível de 0,05%.

TABELA 51. Área no ponto da biofalha, nas diferentes posições, peneiras e umidades.

Peneira	Posição	Umidade (b.u.) (%)							
		4,00	5,33	6,09	7,04	7,82	10,53	13,30	18,04
17	<u>Equilí</u> <u>brio</u>	3,99	4,43	3,86	3,76	5,89	12,35	22,86	22,09
16		3,74	3,90	2,95	3,97	3,77	13,12	14,98	20,33
15		2,83	3,17	3,38	3,40	3,32	11,31	14,30	15,22
14		2,51	2,76	3,10	3,17	4,31	9,24	12,96	10,55
13		2,71	3,29	3,44	3,70	4,13	8,57	9,01	-
17	<u>Hilo</u> <u>Verti</u> <u>cal</u>	2,39	3,40	3,03	3,48	2,45	5,24	8,38	8,08
16		2,65	1,88	2,74	3,14	3,96	4,97	7,36	7,51
15		1,98	2,24	2,33	2,84	3,27	5,25	8,28	7,34
14		2,42	2,53	2,44	2,88	2,93	5,28	5,45	4,59
13		1,74	2,38	2,19	2,21	2,59	4,86	4,65	-
17	<u>Hilo</u> <u>Horizon</u> <u>tal</u>	3,90	4,43	4,40	4,25	4,11	4,83	12,93	5,58
16		3,81	3,09	4,21	4,65	4,37	5,83	7,31	3,03
15		3,93	3,48	4,14	3,95	4,20	5,19	6,99	5,18
14		3,44	2,90	2,58	3,45	3,74	5,72	4,92	6,14
13		3,40	2,77	2,96	2,87	3,79	5,37	4,80	-

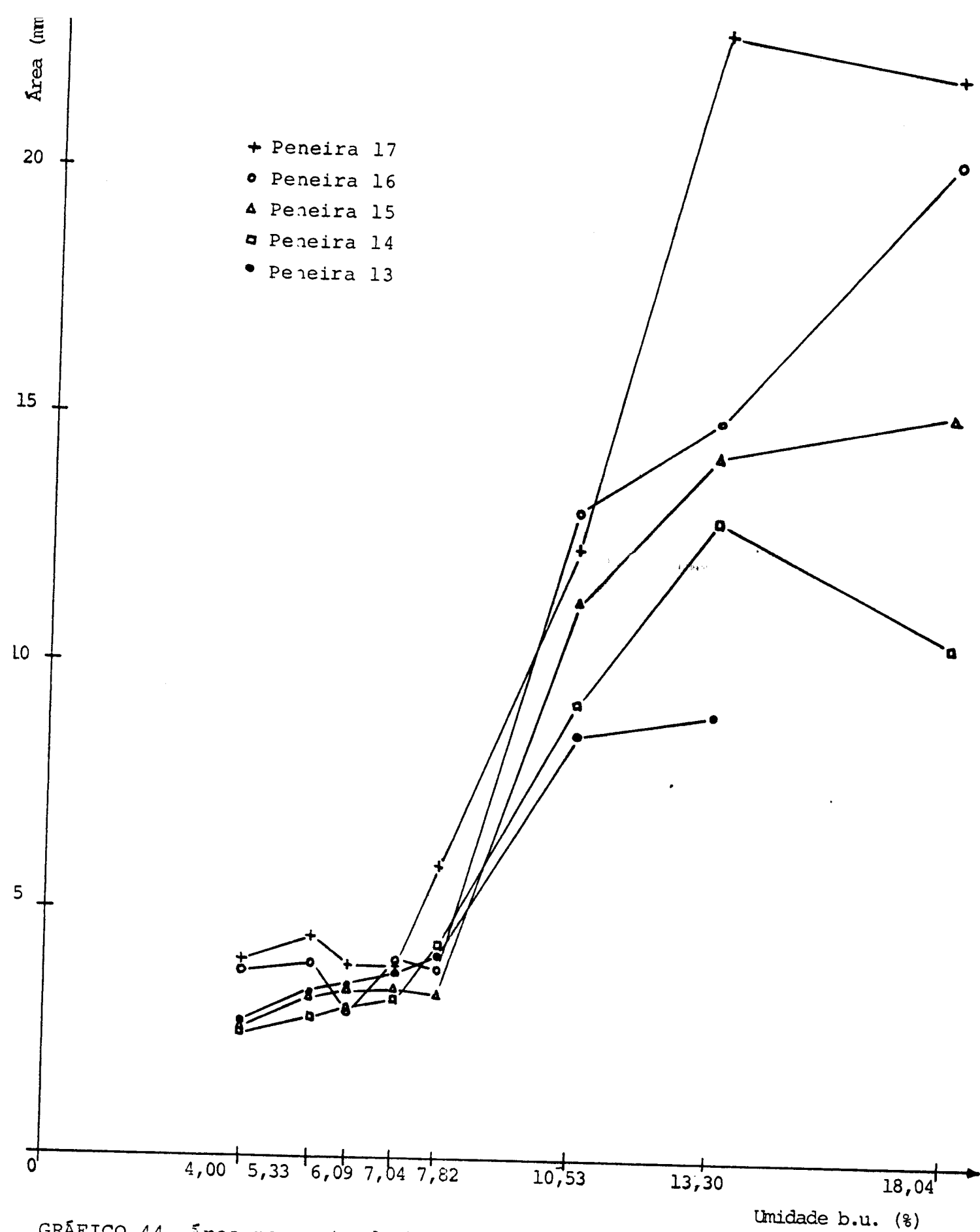


GRÁFICO 44. Área no ponto da biofalha, em função da umidade do grão, nas diversas peneiras. Posição: equilíbrio.

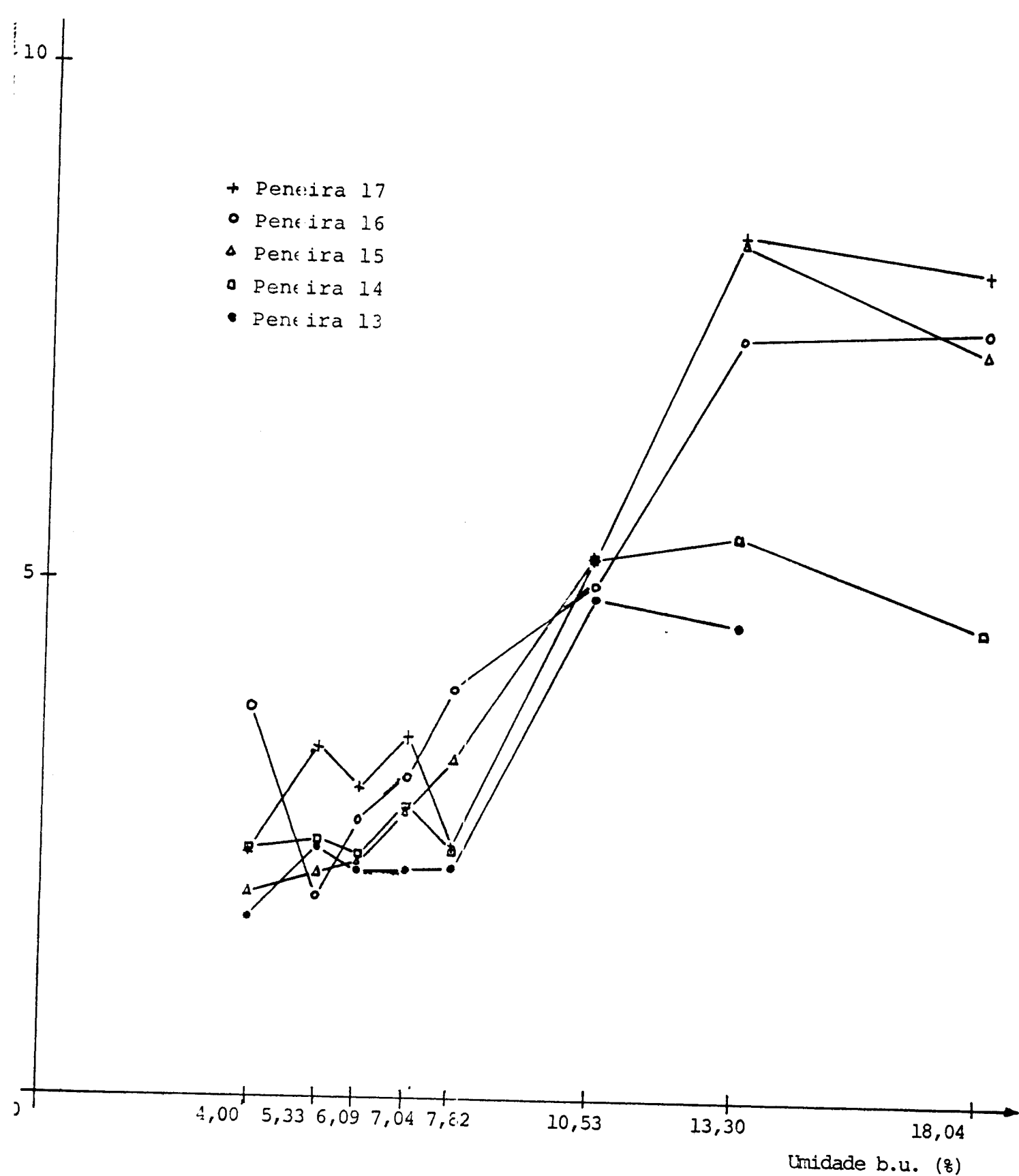


GRÁFICO 45. Área no ponto da biofalha, em função da umidade do grão, nas diversas peneiras. Posição: hilo vertical.

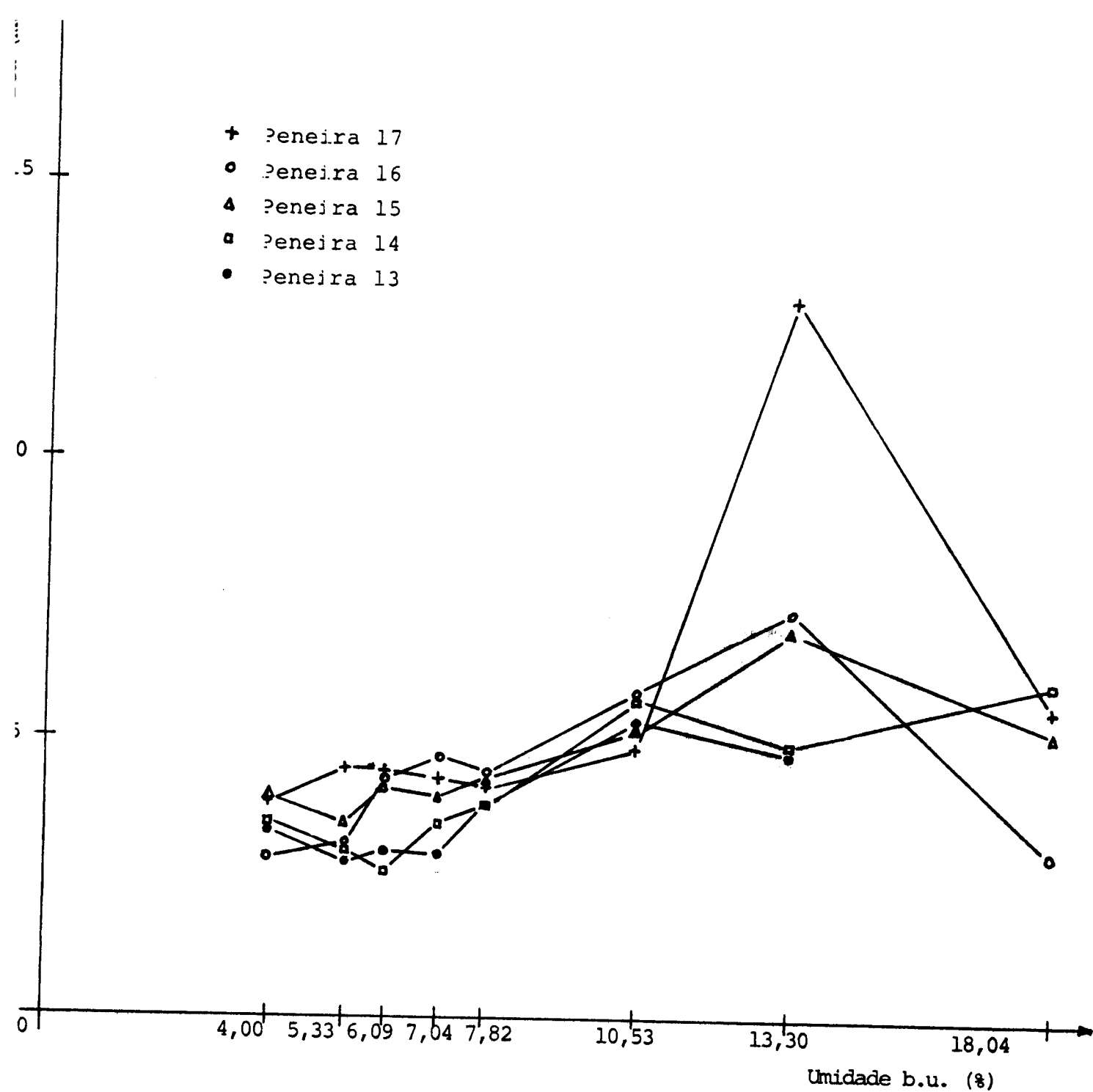


GRÁFICO 46. Área no ponto da biofalha, em função da unidade do grão, nas diversas peneiras. Posição: hilo horizontal.

QUADRO 6. Resultados da análise de variância para os dados obtidos, da área, no ponto da biofalha, calculada pelo computador pdp 10/11.

	G.L.	SQ	QM	F	
Média	1	3175,083	3175,083		
Tratamentos:					
Umidade	7	740,549	105,793	14,25	*
Posição	2	247,759	123,879	16,68	*
Peneira	4	151,011	37,753	5,08	***
Peneira x posição	8	40,619	5,077	0,68	N.S.
Erro experim.	98	727,695	7,425		
Total	120	5082,716			

* Significativo ao nível de 0,05%

*** Significativo ao nível de 0,5%

5. CONCLUSÕES

5.1. VELOCIDADE TERMINAL

5.1.1. A velocidade terminal teórica para a soja, variedade Santa Rosa, é de 1425,54 cm/s e a experimental 1508,68 cm/s. O valor do coeficiente de arraste encontrado é de 0,45. Esses valores para a velocidade terminal são maiores do que os citados pelas referências para as variedades de outros países e menores que as citadas para a variedade UFV-1.

5.1.2. O número de Reynolds calculado foi de aproximadamente 20000, tendo-se um fluxo na região turbulenta.

5.2. PERDA DE CARGA

5.2.1. O modelo de Shedd para descrever matematicamente a perda de carga pode ser considerado bom para representar os nossos dados, já que a equação obtida, $Q = 62,813 p^{0,776}$, apresenta coeficiente de correlação igual a 0,907 e significância a 0,5%.

5.3. COEFICIENTES DE ATRITO

5.3.1. Estatisticamente, o método utilizado para as determinações dos coeficientes pode ser considerado bom, pois apresenta baixo coeficiente de variação, sendo o máximo alcançado igual a 5,54%.

5.3.2. Dentro dos limites estudados, os coeficientes de atrito independem da normal,

5.3.3. A ordem decrescente para os valores dos coeficientes de atrito encontrados é: interno, duratex, chapa galvanizada, madeira, alumínio e azulejo.

5.3.4. Os coeficientes de atrito obtidos em nosso trabalho não apresentam muita proximidade com os citados pela literatura, principalmente, talvez, devido a utilização de métodos diferentes, outras variedades de soja e superfícies com características distintas.

5.4. FLUXO DE ESCOAMENTO

5.4.1. O fluxo de escoamento não depende da altura de matéria prima existente no silo,

5.4.2. O fluxo de escoamento aumenta com a diminuição do tamanho dos grãos.

5.4.3. O valor do fluxo de escoamento para a soja, variedade Santa Rosa, "bica corrida", é um valor intermediário, próximo ao que seria apresentado pela peneira média.

5.4.4. Dentro dos limites estudados, a variação do fluxo de escoamento, em função da área de abertura, independentemente do

tamanho, é aproximadamente linear.

5.4.5. De acordo com a equação estabelecida, podemos definir uma "abertura crítica" de $7,5 \text{ cm}^2$, independente do tamanho dos grãos. Com áreas de abertura igual ou inferiores a essa não há escoamento.

5.4.6. Essa equação apresenta um erro máximo em relação aos valores experimentais de 14,24% e erro médio de 5,19%, podendo ser considerada boa dentro dos limites estudados.

5.5. UMIDADE DE EQUILÍBRIO

5.5.1. O modelo de Henderson para as curvas de umidade de equilíbrio, mostrou-se não mais que razoável para descrever nossos dados, apresentando coeficiente de correlação igual a 0,84.

5.5.2. O valor da constante n , do citado modelo, apresentado pela literatura mostrou-se bastante próximo ao por nós encontrado, o mesmo não acontecendo com o valor da constante k .

5.5.3. O modelo matemático por nós proposto foi muito bom para descrever os dados, apresentando alto valor para o coeficiente de correlação (0,998) e elevada significância (0,5%).

5.5.4. De uma maneira geral, podemos dizer que as umidades de equilíbrio atingidas pela variedade Santa Rosa são menores

que as atingidas pelas variedades de outros países.

5.6. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

5.6.1. A força no ponto da biofalha, de uma maneira geral, diminui com o acréscimo do teor de umidade e com o aumento do tamanho do grão. A posição em que o hilo está horizontal é a que apresenta menor valor para a força no ponto da biofalha. Todas essas influências são altamente significativas de acordo com os testes estatísticos realizados.

5.6.2. A umidade influi significativamente nos valores do deslocamento, no ponto da biofalha. Com o aumento do teor de umidade, aumenta também o deslocamento. A posição não influi de maneira significativa nessa grandeza. Quanto ao tamanho, de uma maneira geral, há um deslocamento menor nos grãos menores.

5.6.3. A energia absorvida pelo grão, expressa pelo produto força x deslocamento é maior nas umidades mais altas, diminuindo com o decréscimo dessa umidade. Quanto maior é o tamanho do grão, maior é a energia absorvida. A posição não exerce influência estatisticamente significativa nesses valores.

5.6.4. O valor da tensão máxima diminui com o acréscimo do teor de umidade e não depende do tamanho do grão. A posição que apresenta menor valor para essa grandeza é aquela em que o hilo está horizontal.

5.6.5. A área no ponto da biofalha aumenta com o acrêscmo da umidade do grão e com o aumento do tamanho. A posição que apresenta menor área nesse ponto é a em que o hilo está vertical. Todas essas influências são altamente significativas de acordo com os testes estatísticos efetuados.

5.6.6. A relação força no ponto da biofalha/área do grão, calculada para se ter uma idéia da resistência do grão as forças de compressão, de uma maneira geral, diminui com o acrêscmo do teor de umidade. A posição de menor resistência é a que o hilo está horizontal. Os grãos menores apresentam maior resistência.

BIBLIOGRAFIA

1. AGRAWAL, K.K. and CHAND, P. - Pressure Drop Across Fixed Beds of Rough Rice. Transactions of the ASAE. 17(3):560-563, 1974.
2. ALAM, A. and SHOVE, G.C. - Hygroscopicity and thermal Properties of Soy beans. Transactions of the ASAE. 16(4):707-709, 1973.
3. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - Resistance to Air Flow Through Grains and Storage Components. ASAE Data: ASAE D 272. In: Agricultural Engineers Yearbook. 397, 1977.
4. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - Compression Test of Food Materials of Convex Shape. ASAE Recommendation: ASAE R 368. In: Agricultural Engineers Yearbook. 441-444, 1975.
5. ARNOLD, P.C. and ROBERTS, A.W. - Fundamental Aspects of Load - Deformation Behavior of Wheat Grains. Transactions of ASAE. 12(1):104-108, 1969.
6. _____ and MOHSENIN, N.N. - Proposed Techniques for Axial Compression Tests on Intact Agricultural Products of Convex Shape. Transactions of the ASAE. 14(1):78-84, 1971.
7. BERRY, M.R. and DICKERSON, R.W. - Moisture Adsorption Isotherms for Selected Feeds and Ingredients. Transactions of the ASAE. 16(1):137-139, 1973.
8. BEVERLOO, W.A.; LENIGER, H.A. and VANDER VELD, J. - The flow of granular solids through orifices. Chemical Engineering Science. 15:260-269, 1961.
9. BICKERT, W.G. and BUELOW, F.H. - Kinetic Friction of Grains on Surfaces. Transactions of the ASAE. 9(1):129-131 e 134, 1966.

10. BILANSKI, W.K. - Damage Resistance of Seed Grains. Transactions of the ASAE. 9(3):360-363, 1966.
11. _____, COLLINS, S.H. and CHU, P. - Aerodynamic Properties of Seed Grains. Agricultural Engineering. 43(4):216-219, 1962.
12. BRUBAKER, J.E. and POS, J. - Determining Static Coefficient of Friction of Grains on Structural Surfaces. Transactions of the ASAE. 8(1):53-55, 1965.
13. CHAPPEL, T.W. and HAMANN, D.D. - Poisson's Ratio and Young's Modulus for Apple Flesh Under Compressive Loading. Transactions of the ASAE. 11(5):608-610 e 612, 1968.
14. CHEN, C.S. - Equilibrium Moisture Curves for Biological Materials. Transactions of the ASAE. 14(5):924-926, 1971.
15. _____ and CLAYTON, J.T. - The Effect of Temperature on Sorption Isotherms of Biological Materials. Transactions of the ASAE. 14(5):927-929, 1971.
16. CLARK, R.L. and Mc FARLAND, H.A. - Granular Materials Friction Apparatus. Transactions of the ASAE. 16(6):1198-1199, 1973.
17. CONCEIÇÃO PINHEIRO, M. da; HARA, T.; FORTES, M. e COELHO, D.T.- Propriedades Físicas de Grãos de Soja UFV-1. não publicado, 1975.
18. CRANE, J.W. and CARLETON, W.M. - Predicting Pressure Drop in Pneumatic Conveying of Grains. Agricultural Engineering. 38 (3):168-171 e 180, 1957.
19. DALL'OCA, S.R. - Modelo Matemático para o Cálculo de Tensões em Grãos. Informação pessoal, 1977.

20. DAY, C.L. - Effects of Conditioning and Other Factor on Resistance of Hay to Air Flow. Transactions of the ASAE. 6(3):199-201, 1963.
21. DUNSTAN, E.R.; CHUNG, D.S. and HODGES, T.O. - Adsorption and Desorption Characteristics of Grain Sorghum. Transactions of the ASAE. 16(4):667-670, 1973.
22. EWALT, D.J. and BUELOW, F.H. - Flow of Shelled Corn Through Orifices in Bin Walls. Quartely Bulletin of the Michigan Agricultural Experiment Station 46(1):92-102, 1963. Retirado de Mohsenin, N.N.(10).
- 23 FISCUS, D.E.; FOSTER, G.H. and KAUFMANN, H.H. - Grain-Stream Velocity Measurements. Transactions of the ASAE. 14(1):162-166, 1971.
24. FRANCO, C.M. - Estudo Sobre a Conservação de Sementes. Bragantia. 3:137-150, 1943.
25. FRIDLEY, R.B. and ADRIAN, P.A. - Mechanical Properties of Peaches, Pears, Apricots and Apples. Transactions of the ASAE. 9(1): 135-138 e 142, 1966.
26. GARRETT, R.E. and BROOKER, D.B. - Aerodynamic Drag of Farm Grains. Transactions of the ASAE. 8(1):49-52, 1965.
27. HALL, G.E. - Damage During Handling of Shelled Corn and Soybeans. Transactions of the ASAE. 17(2):335-338, 1974.
28. HARRIS, W.L.; FELTON, K.E. and BURKHARDT, G.J. - Design Date for Pneumatic Conveying of Chopped Forage. Transactions of the ASAE. 8(2): 194-195 e 198, 1965.
29. HFWK, A.L.; BROOKER, D.B. and CASSIDY, J.J. - Aerodynamic Characteristics of Selected Farm Grains. Transactions of the ASAE. 9(1):48-51, 1966.

30. HENDERSON, S.M. - A Basic Concept of Equilibrium Moisture. Agricultural Engineering. 33(1):29-33, 1952.
31. _____ and PERRY, J.H. - In: Agricultural Process Engineering. 2^a edição, 1970.
32. HOAG, D.L. - Determination of the Susceptibility of Soybeans to Shatter. Transactions of the ASAE. 18(6):1174-1179, 1975.
33. HOKI, L. and PICKETT, L.K. - Factors Affecting Mechanical Damage of Navy Beans. Transactions of the ASAE. 16(6):1154-1157, 1973.
34. KETCHUM, M.S. - In: Design of Walls, Bins and Grain Elevators. Mc Graw Hill. 3^a edição, pg 323, 1919.
35. KRAMER, H.A. - Factors Influencing the Design of Bulk Storage Bins for Rough Rice. Agricultural Engineering. 25(10): 463, 1944.
36. MANUAL HUTTE DEL ENGENIERO - 2^a edição espanhola, tradução da 26^a edição alemã, vol. 1, pg 226, 1958.
37. MILES, J.A.; FRIDLEY, R.B. and LORENZEN, C. - Strength Characteristics of Tomatoes Subjected to Quasi-Static Loading. Transactions of the ASAE. 12(5):627-630, 1969.
38. MOHSENIN, N.N. - Physical Properties of Agricultural Products. Transactions of the ASAE. 8(1):25-29, 1965.
39. _____ - In: Physical Properties of Plant and Animal Materials, vol. 1. Gordon and Breach Science Publishers. 1970.
40. _____ and GÖHLICH, H. - Techniques for Determination of Mechanical Properties of Fruits and Vegetables as Related to Design and Development of Harvesting and Processing Machinery.

Journal of Agricultural Engineering Research. 7(4):300-315, 1962.

41. _____ COOPER, H.E. and TUKEY, L.D. - Engineering Approach to Evaluating Textural Factors in Fruits and Vegetables. Transactions of the ASAE. 6(2):85-88 e 92, 1963.
42. NARAYAN, C.V. and STOUT, B.A. - Mechanical Checking of Navy Beans. ASAE paper nº 69-808, 1969.
43. NGODDY, P.O. and BAKKER-ARKEMA, F.W. - A Generalized Theory of Sorption Phenomena in Biological Materials (Part I. The Isotherm Equation). Transactions of the ASAE. 13(5):612-617, 1970.
44. OSTLE, B. - In: Statistics in Research. The Iowa State University Press. 2^a edição, 1963.
45. PATTERSON, R.J.; BAKKER-ARKEMA, F.W. and BICKERT, W.G. - Static Pressure-Air flow Relationships in Packed Beds of Granular Biological Materials Such as Grain. ASAE paper nº 69-334, 1969.
46. PAULSEN, M.R. - Fracture Resistance of Soybeans to Compressive Loading. ASAE paper nº 77-3026, 1977.
47. PERRY, J.H. - In: Chemical Engineers' Handbook. Mc Graw Hill. 4th edition, pgs. 3-71, 3-196 e 3-197, 1963.
48. PRASAD, S. and GUPTA, C.P. - Behavior of Paddy Grains under Quasi-Static Compressive Loading. Transactions of the ASAE. 16(2):328-330, 1973.
49. RABE, D.L. and CURRENCE, H.D. - Air Flow Resistance and Density of Alfalfa Leaves. Transactions of the ASAE. 18(5):932-934 e 938, 1975.

50. RESNICK, W.; HELED, Y.; KLEIN, A. and PALM, E. - Effect of Differential Pressure on Flow of Granular Solids Through Orifices. Ind. Eng. Chem. Fundamentals. 5:392-396, 1966.
51. RICHTER, D.W. - Friction Coefficients of Some Agricultural Materials. Agricultural Engineering. 35(6):411-413, 1954.
52. SHEDD, C.K. - Resistance of Ear Corn to Air Flow Agricultural Engineering. 26(1). Retirado de Shedd, C.K. (54).
53. _____ - Some New Data on Resistance of Grains to Air Flow. Agricultural Engineering. 32(9):493-495, 1951.
54. _____ - Resistance of Grains and Seeds to Air Flow. Agricultural Engineering. 34(9):616-619, 1953.
55. SHELEF, L. and MOHSENIN, N.N. - Effect of Moisture Content on Mechanical Properties of Shelled Corn. Cereal Chemistry. 46 (5):242-253, 1969.
56. SNYDER, L.H.; ROLLER, W.L. and HALL, G.E. - Coefficients of Kinetic Friction of Wheat on Various Metal Surfaces. Transactions of the ASAE. 10(3):411-413 e 419, 1967.
57. STEELE, J.L. - Resistance of Peanuts to Air Flow. Transactions of the ASAE. 17(3):573-577, 1974.
58. STEWART, B.R.; HOSSAIN, Q.A. and KUNZE, O.R. - Friction Coefficients of Sorghum Grain on Steel Teflon and Concrete Surfaces. Transactions of the ASAE. 12(4):415-418, 1969.
59. TOSELLO, A. - Equipamento Experimental para Determinação de Coeficiente de Atrito de Grãos; atrito interno e atrito com paredes de diversos materiais; em conjugação com o Equipamento Instron. Resumos. 27^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. Vol. 27, nº7 - 491, 1975.

60. _____ - Equipamento Experimental para Determinação de Algu
mas Características Aerodinâmicas de Grãos. Resumos. 27^a Reu
nião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciê
cia. Vol. 27, nº 7 - 491, 1975.
61. TRAVAGLINI, D. e TOSELLO, Y. - Aplicação da equação de Henderson
em Estudos de Umidade de Equilíbrio em Café, em Coco, Despolpa
do e Beneficiado. Coletânea do Instituto de Tecnologia de Ali
mentos. 2: 403-413, 1967/68.
62. UHL, J.B. and LAMP, B.J. - Pneumatic Separation of Grain and
Straw Mixtures. Transactions of the ASAE. 9(2):244-246, 1966.
63. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE - In: Official Grain Standards
of the United States. Cap. 8, 1970.
64. YOUNG, J.H. - Evaluation of Models to Describe Sorption and
Desorption Equilibrium Moisture Content Isotherms of Virgi
nia - Type Peanuts. Transactions of the ASAE. 19(1):146-150,
155, 1976.
65. _____ and NELSON, G.L. - Theory of Hysteresis Between
Sorption and Desorption Isotherms in Biological Materials.
Transactions of the ASAE. 10(2):260-263, 1967.
66. ZOERB, G.C. and HALL, C.W. - Some Mechanical and Rheological
Properties of Grains. Journal of Agricultural Engineering
Research. 5(1):83-93, 1960.

APÊNDICE

TABELA Al. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da biofalha, pelos registros do computador pdp 10/11. Unidade de 4,00%.

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 17	11,39		0,37		4,177	
Posição:	12,01		0,27		3,203	
Equilíbrio	11,57	10,70	0,32	0,29	3,663	3,119
	7,82	1,94	0,18	0,08	1,434	1,192
	-	18,13	-	27,59	-	38,22
Peneira 17	11,32		0,39		4,435	
Posição:	9,98		0,27		2,660	
Hilo vertical	7,01	10,39	0,27	0,30	1,928	3,193
	13,23	2,62	0,28	0,06	3,750	1,116
	-	25,22	-	20,00	-	34,95
Peneira 17	5,49		0,31		1,693	
Posição:	5,47		0,48		2,643	
Hilo horizontal	7,04	7,36	0,32	0,42	2,230	3,132
	9,31	1,97	0,42	0,10	3,879	1,416
	9,48	26,77	0,55	23,81	5,215	45,21
Peneira 16	9,14		0,18		1,675	
Posição:	13,38		0,42		3,576	
Equilíbrio	11,15	11,68	0,28	0,29	3,159	3,196
	9,33	2,70	0,23	0,10	2,178	1,442
	15,41	23,12	0,35	34,48	5,392	45,12
Peneira 16	9,85		0,36		3,531	
Posição:	9,61		0,32		3,042	
Hilo vertical	9,83	9,60	0,27	0,35	2,621	3,303
	9,10	0,35	0,44	0,07	4,017	0,604
	-	3,65	-	20,00	-	18,29
Peneira 16	11,59		0,52		6,084	
Posição:	6,89		0,52		3,620	
Hilo horizontal	8,22	8,23	0,31	0,42	2,533	3,551
	6,21	2,39	0,32	0,12	1,967	1,823
	-	29,04	-	28,57	-	51,34
Peneira 15	9,21		0,22		1,996	
Posição:	8,68		0,20		1,737	
Equilíbrio	9,14	9,86	0,27	0,24	2,515	2,440
	12,40	1,71	0,28	0,04	3,512	0,784
	-	17,34	-	16,67	-	32,13
Peneira 15	10,77		0,37		4,040	
Posição:	7,42		0,22		1,670	
Hilo vertical	7,92	8,81	0,26	0,27	2,046	2,433
	9,11	1,49	0,22	0,07	1,975	1,084
	-	16,91	-	25,93	-	44,55

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	8,79		0,47		4,102	
Posição:	12,11		0,51		6,155	
Hilo horizontal	9,58	10,25	0,48	0,45	4,632	4,640
	9,56	1,37	0,46	0,06	4,381	0,889
	11,22	13,37	0,35	13,33	3,928	19,16
Peneira 14	11,38		0,35		3,983	
Posição:	5,61		0,17		0,934	
Equilíbrio	7,35	7,95	0,19	0,22	1,409	1,870
	6,57	2,25	0,19	0,07	1,259	1,218
	8,83	28,30	0,20	31,82	1,766	65,13
Peneira 14	7,48		0,31		2,307	
Posição:	8,95		0,35		3,132	
Hilo vertical	9,14	8,39	0,38	0,35	3,505	2,969
	7,99	0,79	0,37	0,03	2,930	0,501
	-	9,42	-	8,57	-	16,87
Peneira 14	8,10		0,50		4,049	
Posição:	4,50		0,31		1,387	
Hilo horizontal	8,31	7,91	0,46	0,43	3,810	3,506
	8,54	2,07	0,47	0,07	3,983	1,198
	10,12	26,17	0,42	16,28	4,303	34,17
Peneira 13	6,21		0,18		1,138	
Posição:	11,22		0,32		3,645	
Equilíbrio	6,21	8,42	0,20	0,26	1,242	2,311
	7,84	2,39	0,21	0,08	1,634	1,347
	10,62	28,38	0,37	30,77	3,894	58,29
Peneira 13	7,10		0,32		2,306	
Posição:	7,18		0,31		2,214	
Hilo vertical	5,07	6,65	0,23	0,29	1,184	1,961
	7,70	1,04	0,32	0,04	2,501	0,550
	6,18	15,64	0,26	13,79	1,600	28,05
Peneira 13	8,66		0,43		3,751	
Posição:	9,10		0,44		4,017	
Hilo horizontal	8,15	8,91	0,47	0,46	3,802	4,129
	9,73	0,67	0,51	0,04	4,947	0,557
	-	7,52	-	8,70	-	13,49

TABELA A2. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da biofalha, pelos registros do computador pdp 10/11. Unidade de 5,33%.

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 17	8,68		0,23		2,024	
Posição:	17,40		0,46		7,976	
Equilíbrio	9,73	11,94	0,26	0,32	2,513	4,114
	11,95	3,86	0,33	0,10	3,944	2,700
	-	32,33	-	31,25	-	65,63
Peneira 17	13,33		0,50		6,667	
Posição:	12,65		0,55		6,954	
Hilo vertical	10,05	11,08	0,41	0,43	4,103	4,966
	8,28	2,34	0,26	0,13	2,138	2,279
	-	21,12	-	30,23	-	45,89
Peneira 17	11,30		0,52		5,930	
Posição:	9,48		0,43		4,109	
Hilo horizontal	12,62	10,72	0,54	0,50	6,834	5,421
	9,46	1,54	0,51	0,05	4,809	1,204
	-	14,37	-	10,00	-	22,21
Peneira 16	14,28		0,42		6,068	
Posição:	11,18		0,34		3,819	
Equilíbrio	10,71	11,24	0,26	0,31	2,776	3,679
	8,80	2,27	0,23	0,09	2,054	1,750
	-	20,20	-	29,03	-	47,57
Peneira 16	12,17		0,27		3,346	
Posição:	4,14		0,22		0,897	
Hilo vertical	8,02	8,25	0,32	0,28	2,606	2,363
	8,67	3,29	0,30	0,04	2,601	1,038
	-	39,88	-	14,29	-	43,93
Peneira 16	6,23		0,25		1,556	
Posição:	9,90		0,46		4,538	
Hilo horizontal	9,54	8,07	0,43	0,36	4,102	3,044
	6,60	1,92	0,30	0,10	1,980	1,494
	-	23,79	-	27,78	-	49,08
Peneira 15	11,72		0,25		2,929	
Posição:	9,17		0,23		2,139	
Equilíbrio	14,91	11,93	0,30	0,26	4,474	3,191
	11,93	2,35	0,27	0,03	3,221	0,970
	-	19,70	-	11,54	-	30,40
Peneira 15	8,33		0,21		1,735	
Posição:	8,75		0,19		1,677	
Hilo vertical	6,40	8,25	0,35	0,29	2,241	2,358
	8,95	1,06	0,35	0,08	3,132	0,687
	8,80	12,85	0,34	27,59	3,007	29,13

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	8,42		0,35		2,948	
Posição:	9,39		0,40		3,756	
Hilo horizontal	9,24	8,53	0,42	0,40	3,851	3,475
	5,69	1,67	0,30	0,08	1,706	1,257
	9,90	19,58	0,52	20,00	5,116	36,17
Peneira 14	5,14		0,28		1,455	
Posição:	6,36		0,30		1,907	
Equilíbrio	7,78	7,33	0,23	0,26	1,814	1,906
	9,44	1,64	0,26	0,03	2,438	0,352
	7,92	22,37	0,24	11,54	1,914	18,47
Peneira 14	8,58		0,20		1,716	
Posição:	8,43		0,29		2,458	
Hilo vertical	9,05	8,45	0,41	0,33	3,694	2,772
	7,73	0,55	0,42	0,10	3,219	0,869
	-	6,51	-	30,30	-	31,35
Peneira 14	6,00		0,19		1,151	
Posição:	3,37		0,28		0,956	
Hilo horizontal	6,85	7,36	0,37	0,33	2,567	2,740
	13,23	4,18	0,47	0,12	6,286	2,471
	-	56,79	-	36,36	-	90,18
Peneira 13	10,27		0,44		4,535	
Posição:	7,18		0,19		1,377	
Equilíbrio	8,79	8,68	0,22	0,30	1,978	2,678
	8,46	1,27	0,33	0,11	2,820	1,372
	-	14,63	-	36,67	-	51,53
Peneira 13	4,76		0,13		0,635	
Posição:	13,25		0,36		4,749	
Hilo vertical	9,53	8,72	0,49	0,33	4,688	3,070
	7,41	3,11	0,28	0,13	2,099	1,755
	8,67	35,67	0,37	39,39	3,179	57,17
Peneira 13	4,93	-	0,25		1,232	
Posição:	5,48		0,27		1,506	
Hilo horizontal	8,22	6,91	0,45	0,35	3,697	2,506
	6,31	1,95	0,41	0,09	2,576	1,126
	0,60	28,22	0,37	25,71	3,519	44,93

TABELA A3. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da biofalha, pelos registros do computador pdp 10/11. Unidade de 6,09%.

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 17	11,80		0,30		3,541	
Posição:	9,23		0,21		1,924	
Equilíbrio	13,16	12,33	0,24	0,29	3,180	3,633
	14,98	2,10	0,32	0,07	4,742	1,191
	12,46	17,03	0,38	24,14	4,777	32,78
Peneira 17	8,12		0,32		2,574	
Posição:	9,46		0,30		2,837	
Hilo vertical	9,75	9,48	0,42	0,35	4,145	3,317
	9,85	0,81	0,35	0,05	3,448	0,623
	10,22	8,54	0,35	14,29	3,579	18,78
Peneira 17	6,55		0,36		2,347	
Posição:	6,80		0,31		2,096	
Hilo horizontal	17,88	11,28	0,52	0,43	9,239	5,113
	14,83	4,99	0,46	0,09	6,796	3,025
	10,34	44,24	0,49	20,93	5,086	59,16
Peneira 16	10,05		0,25		2,512	
Posição:	8,34		0,20		1,667	
Equilíbrio	13,15	9,70	0,29	0,23	3,836	2,296
	8,23	2,06	0,21	0,04	1,714	0,929
	8,75	21,24	0,20	17,39	1,751	40,46
Peneira 16	9,30		0,37		3,408	
Posição:	8,67		0,41		3,540	
Hilo vertical	11,82	9,32	0,28	0,34	3,350	3,190
	7,85	1,50	0,29	0,06	2,290	0,509
	8,97	16,09	0,37	17,65	3,362	15,96
Peneira 16	9,48		0,43		4,109	
Posição:	8,34		0,45		3,756	
Hilo horizontal	10,15	10,21	0,48	0,47	4,905	4,852
	11,92	1,40	0,56	0,05	6,656	1,119
	11,16	13,71	0,43	10,64	4,836	23,06
Peneira 15	11,67		0,29		3,405	
Posição:	12,61		0,29		3,677	
Equilíbrio	6,95	10,36	0,24	0,28	1,679	2,942
	10,05	2,15	0,23	0,04	2,345	0,886
	10,54	20,75	0,34	14,29	3,602	30,11
Peneira 15	10,35		0,35		3,623	
Posição:	8,98		0,27		2,470	
Hilo vertical	9,61	8,79	0,31	0,31	2,962	2,712
	8,91	1,61	0,30	0,03	2,672	0,657
	6,11	18,32	0,30	9,68	1,833	24,23

	Força	*	Desloca- mento	*	Força x Desloca- mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	10,05		0,47		4,690	
Posição:	8,13		0,55		4,470	
Hilo horizontal	9,75	9,01	0,42	0,48	4,143	4,278
	9,18	0,95	0,44	0,05	4,053	0,290
	7,93	10,54	0,51	10,42	4,032	6,78
Peneira 14	7,32		0,18		1,341	
Posição:	7,44		0,20		1,489	
Equilíbrio	12,71	9,15	0,52	0,27	6,567	2,748
	8,93	2,18	0,23	0,14	2,083	2,170
	9,36	23,83	0,24	51,85	2,262	78,97
Peneira 14	8,28		0,32		2,622	
Posição:	8,64		0,39		3,385	
Hilo vertical	8,67	8,59	0,32	0,36	2,818	3,128
	7,02	1,19	0,28	0,08	1,989	1,073
	10,34	13,85	0,47	22,22	4,828	34,30
Peneira 14	3,84		0,20		0,168	
Posição:	8,33		0,36		2,985	
Hilo horizontal	6,96	5,95	0,40	0,32	2,785	1,836
	4,68	2,06	0,30	0,09	1,404	1,315
	-	34,62	-	28,13	-	71,62
Peneira 13	6,85		0,43		2,968	
Posição:	6,80		0,41		2,776	
Equilíbrio	8,52	8,24	0,34	0,33	2,912	2,610
	11,67	2,04	0,25	0,10	2,919	0,638
	7,38	24,76	0,20	30,30	1,476	24,44
Peneira 13	9,93		0,22		2,233	
Posição:	8,43		0,23		1,967	
Hilo vertical	10,25	8,47	0,54	0,33	5,550	2,880
	4,83	2,17	0,25	0,14	1,207	1,764
	8,92	25,62	0,42	42,42	3,715	61,25
Peneira 13	10,15		0,47		4,736	
Posição:	7,78		0,42		3,307	
Hilo horizontal	10,87	8,26	0,39	0,40	4,258	3,498
	8,52	2,68	0,49	0,09	4,190	1,489
	4,00	32,45	0,25	22,50	1,000	42,57

TABELA A4. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da biofalha, pelos registros do computador pdp 10/11. Unidade de 7,04%.

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 17	10,12		0,25			
Posição:	12,46		0,32		2,531	
Equilíbrio	14,49	12,29	0,24	0,29	3,947	
	11,41	1,65	0,27	0,05	3,502	3,536
	12,99	13,43	0,36	17,24	3,044	0,817
Peneira 17	11,48		0,51		4,654	23,11
Posição:	11,33		0,31		5,835	
Hilo vertical	8,58	10,53	0,36	0,42	3,493	
	11,26	1,24	0,45	0,08	3,074	4,396
	10,02	11,78	0,45	19,05	5,067	1,129
Peneira 17	8,23		0,30		4,511	25,68
Posição:	8,42		0,47		2,470	
Hilo horizontal	8,97	8,91	0,55	0,44	3,931	
	7,73	1,36	0,37	0,10	4,931	3,949
	11,22	15,26	0,49	22,73	2,898	1,295
Peneira 16	10,34		0,30		5,514	32,79
Posição:	9,48		0,27		3,103	
Equilíbrio	14,24	10,86	0,49	0,32	2,528	
	11,47	2,14	0,29	0,10	7,000	3,648
	8,77	19,71	0,26	31,25	3,346	1,923
Peneira 16	10,44		0,47		2,265	52,71
Posição:	8,70		0,46		4,874	
Hilo vertical	7,36	9,19	0,34	0,39	3,987	
	10,34	1,27	0,41	0,08	2,514	3,637
	9,13	13,82	0,28	20,51	4,224	1,044
Peneira 16	8,72		0,42		2,586	28,70
Posição:	10,49		0,57		3,633	
Hilo horizontal	9,01	9,79	0,77	0,53	5,946	
	11,82	1,33	0,46	0,15	6,986	5,140
	8,92	13,59	0,42	28,30	5,419	1,452
Peneira 15	10,85		0,25		3,718	28,25
Posição:	11,08		0,32		2,712	
Equilíbrio	12,82	10,01	0,42	0,28	3,602	
	8,53	2,36	0,18	0,09	5,448	2,788
	6,78	23,58	0,23	32,14	0,596	1,871
Peneira	7,14		0,30		1,583	67,11
Posição:	8,64		0,44		2,141	
Hilo vertical	7,83	8,25	0,40	0,37	3,817	
	7,22	1,35	0,28	0,08	3,132	3,165
	10,42	16,36	0,45	21,62	2,046	1,124
					4,691	35,51

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	9,06		0,52		4,759	
Posição:	8,13		0,50		4,064	
Hilo horizontal	8,06	8,52	0,40	0,45	3,225	3,817
	11,38	1,96	0,39	0,06	4,457	0,900
	5,95	23,00	0,43	13,33	2,578	23,58
Peneira 14	8,28		0,22		1,793	
Posição:	12,01		0,27		3,303	
Equilíbrio	9,41	9,66	0,28	0,27	2,666	2,690
	7,33	1,97	0,22	0,06	1,650	1,010
	11,27	20,39	0,36	22,22	4,037	37,55
Peneira 14	7,59		0,46		3,477	
Posição:	6,77		0,39		2,650	
Hilo vertical	7,54	7,11	0,49	0,42	3,706	3,038
	6,85	0,41	0,56	0,13	3,823	0,958
	6,81	5,77	0,22	30,95	1,533	31,53
Peneira 14	7,09		0,36		2,542	
Posição:	9,70		0,52		5,014	
Hilo horizontal	7,29	8,14	0,38	0,42	2,795	3,444
	8,09	1,05	0,39	0,06	3,168	0,980
	8,54	12,90	0,43	14,29	3,699	28,46
Peneira 13	6,90		0,27		1,839	
Posição:	8,72		0,24		2,107	
Equilíbrio	10,94	9,29	0,27	0,33	2,916	3,073
	10,62	1,62	0,47	0,10	4,955	1,250
	9,25	17,44	0,38	30,30	3,546	40,68
Peneira 13	6,53		0,34		2,232	
Posição:	6,50		0,35		2,275	
Hilo vertical	5,51	6,40	0,37	0,37	2,066	2,355
	6,65	0,51	0,45	0,05	2,993	0,365
	6,80	7,97	0,32	13,51	2,209	15,50
Peneira 13	6,15		0,34		2,101	
Posição:	6,62		0,47		3,088	
Hilo horizontal	6,07	6,38	0,35	0,39	2,125	2,497
	6,68	0,31	0,40	0,06	2,672	0,474
	-	4,86	-	15,38	-	18,98

TABELA A5. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da biofalha, pelos registros do computador pdp 10/11. Unidade de 7,82%.

	Força (kgf)	*	Desloca mento (mm)	*	Força x desloca mento (kgf.mm)	*
Peneira 17	9,24		0,37		3,889	
Posição:	14,57		0,42		6,072	
Equilíbrio	20,64	14,26	0,53	0,45	11,007	6,602
	14,72	4,21	0,40	0,07	5,888	2,634
	12,11	29,52	0,51	15,56	6,155	39,90
Peneira 17	10,10		0,32		3,282	
Posição:	6,91		0,30		2,074	
Hilo vertical	7,88	8,43	0,34	0,31	2,692	2,620
	8,84	1,36	0,27	0,03	2,431	0,509
	-	16,13	-	9,68	-	19,43
Peneira 17	7,58		0,51		3,853	
Posição:	6,96		0,39		2,727	
Hilo horizontal	7,19	7,75	0,46	0,42	3,296	3,251
	9,61	1,06	0,34	0,07	3,283	0,407
	7,43	13,68	0,42	16,67	3,096	12,52
Peneira 16	7,70		0,27		2,052	
Posição:	9,21		0,26		2,380	
Equilíbrio	9,73	10,13	0,28	0,31	2,756	3,197
	9,80	2,44	0,32	0,06	3,104	1,450
	14,23	24,09	0,40	19,35	5,692	45,36
Peneira 16	8,37		0,67		5,653	
Posição:	7,82		0,30		2,347	
Hilo vertical	8,12	8,12	0,61	0,52	4,938	4,234
	8,16	0,23	0,49	0,16	3,998	1,429
	-	2,83	-	30,71	-	33,75
Peneira 16	12,89		0,48		6,231	
Posição:	6,01		0,53		3,208	
Hilo horizontal	6,45	7,79	0,48	0,47	3,120	3,726
	7,83	2,96	0,50	0,06	3,916	1,534
	5,75	38,00	0,37	12,77	2,156	41,17
Peneira 15	7,24		0,24		1,749	
Posição:	11,08		0,38		4,246	
Equilíbrio	7,31	8,28	0,27	0,29	2,010	2,493
	7,14	1,68	0,28	0,05	2,023	1,010
	8,61	20,29	0,28	17,24	2,438	40,51
Peneira 15	7,10		0,37		2,603	
Posição:	6,62		0,41		2,702	
Hilo vertical	7,04	7,21	0,52	0,43	3,640	3,065
	6,93	0,68	0,42	0,06	2,889	0,472
	8,38	9,43	0,42	13,95	3,493	15,40

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	4,49		0,37		1,685	
Posição:	9,85		0,44		4,350	
Hilo horizontal	6,96	7,01	0,37	0,48	2,553	3,396
	6,50	1,92	0,49	0,14	3,198	1,398
	7,25	27,39	0,72	29,17	5,193	41,17
Peneira 14	9,58		0,48		4,632	
Posição:	6,62		0,26		1,710	
Equilíbrio	8,46	9,30	0,44	0,37	3,736	3,512
	11,90	1,94	0,33	0,09	4,092	1,107
	9,93	20,86	0,34	24,32	3,392	31,52
Peneira 14	6,31		0,42		2,628	
Posição:	6,41		0,45		2,885	
Hilo vertical	5,62	6,40	0,47	0,43	2,621	2,744
	7,25	0,67	0,39	0,04	2,840	0,139
	-	10,47	-	9,30	-	5,07
Peneira 14	4,48		0,39		1,756	
Posição:	5,72		0,48		2,765	
Hilo horizontal	8,19	6,05	0,52	0,48	4,298	2,993
	5,82	1,55	0,54	0,07	3,152	1,050
	-	25,62	-	14,58	-	35,08
Peneira 13	8,70		0,45		3,917	
Posição:	9,16		0,44		4,047	
Equilíbrio	10,66	8,36	0,48	0,39	5,152	3,407
	7,99	1,98	0,36	0,11	2,863	1,545
	5,28	23,68	0,20	28,21	1,055	45,35
Peneira 13	5,17		0,28		1,466	
Posição:	5,71		0,46		2,619	
Hilo vertical	6,60	6,01	0,37	0,40	2,475	2,418
	6,55	0,69	0,47	0,09	3,112	0,691
	-	11,48	-	22,50	-	28,58
Peneira 13	8,93		0,46		4,094	
Posição:	7,33		0,54		3,973	
Hilo horizontal	6,41	7,47	0,39	0,48	2,509	3,558
	7,19	1,06	0,51	0,07	3,654	0,723
	-	14,19	-	14,58	-	20,32

TABELA A6. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da bio falha, pelos registros do computador pdp 10/11. Unidade de 10,53%.

	Força (kgf)	*	Desloca mento (mm)	*	Força x Desloca mento (kgf.mm)	*
Peneira 17	10,20		0,87		8,840	
Posição:	10,49		1,13		11,886	
Equilíbrio	10,76	9,71	0,91	0,88	9,772	8,776
	7,37	1,57	0,62	0,21	4,605	3,059
	-	16,17	-	23,86	-	34,86
Peneira 17	9,73		0,95		9,243	
Posição:	4,00		0,62		2,467	
Hilo vertical	3,26	5,55	0,43	0,64	1,412	3,946
	5,02	2,52	0,54	0,19	2,722	3,089
	5,76	45,41	0,67	29,69	3,885	78,28
Peneira 17	3,44		0,47		1,605	
Posição:	3,90		0,52		2,049	
Hilo horizontal	3,00	3,59	0,42	0,51	1,250	1,841
	3,62	0,40	0,53	0,06	1,930	0,429
	4,01	11,14	0,59	11,76	2,372	23,30
Peneira 16	4,83		0,77		3,702	
Posição:	9,65		0,99		9,570	
Equilíbrio	12,15	9,64	1,49	1,06	18,118	10,765
	10,44	2,84	0,77	0,32	8,090	5,598
	11,11	29,46	1,29	30,19	14,345	52,00
Peneira 16	6,63		0,72		4,754	
Posição:	3,41		0,61		2,077	
Hilo vertical	4,69	4,58	0,73	0,63	3,443	2,989
	3,60	1,48	0,47	0,12	1,682	1,398
	-	32,31	-	19,05	-	46,77
Peneira 16	4,94		0,64		3,169	
Posição:	3,46		0,56		1,931	
Hilo horizontal	4,00	4,15	0,63	0,62	2,533	2,579
	4,47	0,57	0,56	0,06	2,497	0,450
	3,90	13,73	0,71	9,68	2,764	17,45
Peneira 15	5,22		0,79		4,132	
Posição:	10,34		1,24		12,841	
Equilíbrio	8,55	8,64	1,08	1,04	9,263	8,261
	10,47	2,12	1,02	0,16	10,644	3,204
	8,63	24,54	1,09	15,38	9,426	34,60
Peneira 15	9,95		1,16		11,525	
Posição:	3,90		0,76		2,958	
Hilo vertical	3,69	5,13	0,67	0,76	2,457	4,370
	4,08	2,70	0,53	0,24	2,176	4,011

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	4,67		0,71		3,307	
Posição:	2,44		0,45		1,098	
Hilo horizontal	3,66	3,76	0,72	0,64	2,652	2,495
	3,70	0,86	0,64	0,11	2,374	0,859
	4,35	22,87	0,70	17,19	3,046	34,43
Peneira 14	2,34		0,80		1,873	
Posição:	9,58		1,17		11,257	
Equilíbrio	3,75	5,65	0,61	0,81	2,281	4,949
	5,76	2,80	0,78	0,21	4,509	3,761
	6,81	49,56	0,71	25,93	4,827	76,00
Peneira 14	8,83		1,05		9,271	
Posição:	5,00		0,98		4,917	
Hilo vertical	4,55	5,10	0,92	0,84	4,171	4,590
	4,15	2,21	0,74	0,22	3,075	2,913
	2,98	43,33	0,51	26,19	1,516	63,46
Peneira 14	5,66		0,89		5,046	
Posição:	3,22		0,67		2,146	
Hilo horizontal	4,52	4,18	0,69	0,74	3,127	3,155
	3,33	1,15	0,69	0,10	2,300	1,332
	-	27,51	-	13,51	-	42,22
Peneira 13	2,59		0,39		1,015	
Posição:	9,64		1,11		10,679	
Equilíbrio	9,00	6,73	1,27	0,82	11,478	6,290
	6,68	2,82	0,59	0,36	3,954	4,964
	5,76	41,90	0,75	43,90	4,323	72,56
Peneira 13	8,06		1,17		9,469	
Posição:	4,05		0,71		2,868	
Hilo vertical	3,57	5,33	0,59	0,79	2,112	4,513
	6,65	1,93	0,75	0,22	4,897	2,952
	4,34	36,21	0,74	27,85	3,220	65,41
Peneira 13	3,40		0,66		2,243	
Posição:	3,47		0,85		2,951	
Hilo horizontal	3,46	3,95	0,66	0,71	2,276	2,801
	5,46	1,01	0,68	0,09	3,733	0,702
	-	25,57	-	12,68	-	25,06

TABELA A7. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da bio falha, pelos registros do computador pdp 10/11. Umidade de 13,30%.

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 17	13,94		2,12		29,615	
Posição:	10,20		1,63		16,660	
Equilíbrio	8,36	10,83	1,66	1,80	13,867	19,815
	10,80	2,32	1,77	0,22	19,116	6,877
	-	21,42	-	12,22	-	34,71
Peneira 17	8,78		1,26		11,049	
Posição:	6,35		1,14		7,247	
Hilo vertical	5,61	6,29	1,12	1,15	6,307	7,321
	4,42	1,84	1,06	0,08	4,681	2,701
	-	29,25	-	6,96	-	36,91
Peneira 17	9,66		1,89		18,271	
Posição:	7,36		1,82		13,367	
Hilo horizontal	6,17	5,98	1,37	1,45	8,436	9,486
	3,12	2,71	0,95	0,40	2,966	6,360
	3,61	45,32	1,22	27,59	4,392	67,05
Peneira 16	3,78		1,24		4,698	
Posição:	4,15		1,06		4,392	
Equilíbrio	7,25	5,55	1,57	1,36	11,419	7,806
	6,24	1,50	1,39	0,22	8,689	3,132
	6,31	27,03	1,56	16,18	9,830	42,43
Peneira 16	2,35		1,15		2,702	
Posição:	5,65		1,27		7,158	
Hilo vertical	7,42	4,80	1,32	1,14	9,837	5,635
	4,44	1,88	1,07	0,17	4,741	2,872
	4,15	39,17	0,90	14,91	3,735	50,97
Peneira 16	4,55		0,99		4,512	
Posição:	2,86		0,76		2,167	
Hilo horizontal	3,53	3,20	0,85	0,80	2,997	2,608
	2,49	0,68	0,65	0,13	1,617	1,193
	2,56	26,88	0,77	16,25	1,748	45,74
Peneira 15	2,77		1,02		2,812	
Posição:	6,67		1,93		12,889	
Equilíbrio	2,51	5,57	0,83	1,37	2,088	8,703
	4,74	3,54	1,29	0,47	6,123	7,441
	11,15	63,55	1,76	34,31	19,605	85,50
Peneira 15	5,96		1,42		8,449	
Posição:	6,21		1,57		9,781	
Hilo vertical	4,85	5,11	1,32	1,29	6,386	6,842
	3,65	1,02	0,77	0,31	2,832	2,623
	4,89	19,96	1,38	24,03	6,763	38,34

	Força (kgf)	*	Desloca mento (mm)	*	Força x Desloca mento (kgf.mm)	*
Peneira 15	3,07		1,07		3,278	
Posição:	1,63		0,62		1,005	
Hilo horizontal	2,45	2,37	0,85	0,86	2,082	2,112
	2,34	0,59	0,89	0,19	2,083	0,929
	-	24,89	-	22,09	-	43,99
Peneira 14	3,60		1,40		5,047	
Posição:	5,43		1,24		6,745	
Equilíbrio	7,83	5,34	1,55	1,27	12,134	7,015
	3,51	1,84	0,88	0,25	3,099	3,412
	6,31	34,46	1,27	19,69	8,049	48,64
Peneira 14	4,15		1,18		4,901	
Posição:	4,10		0,99		4,065	
Hilo vertical	2,85	3,30	0,78	0,89	2,232	3,062
	2,37	0,79	0,68	0,20	1,620	1,368
	3,05	23,94	0,82	22,47	2,491	44,68
Peneira 14	2,52		0,57		1,448	
Posição:	2,26		0,63		1,432	
Hilo horizontal	2,06	2,31	0,63	0,63	1,302	1,498
	3,00	0,48	0,80	0,11	2,398	0,548
	1,73	20,78	0,52	17,46	0,911	36,58
Peneira 13	8,06		1,59		12,827	
Posição:	2,06		0,65		1,342	
Equilíbrio	3,90	4,05	0,78	0,93	3,055	4,519
	3,98	2,41	0,99	0,40	3,947	4,774
	2,25	59,51	0,63	43,01	1,425	105,64
Peneira 13	2,65		0,83		2,208	
Posição:	3,31		0,97		3,226	
Hilo vertical	2,82	2,59	0,81	0,81	2,280	2,173
	1,56	0,74	0,62	0,14	0,976	0,923
	-	28,57	-	17,28	-	42,48
Peneira 13	2,15		0,77		1,648	
Posição:	2,08		0,78		1,630	
Hilo horizontal	2,37	2,11	0,63	0,77	1,493	1,605
	1,85	0,21	0,89	0,11	1,647	0,075
	-	9,95	-	14,29	-	4,67

TABELA A8. Força, deslocamento e força x deslocamento no ponto da bio falha, pelos registros do computador pdp 10/11. Umidade de 18,04%.

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Tabela 17	8,12		2,40		19,482	
Posição:	4,49		1,54		6,930	
Equilíbrio	7,68	6,11	2,03	1,90	15,610	12,076
	4,40	1,74	1,53	0,37	6,748	5,532
	5,85	28,48	1,98	19,47	11,610	45,81
Peneira 17	3,31		1,12		3,695	
Posição:	2,05		1,02		2,083	
Hilo vertical	3,60	3,17	1,20	1,12	4,331	3,589
	3,90	0,71	1,17	0,07	4,550	0,980
	3,01	22,40	1,09	6,25	3,288	27,31
Peneira 17	0,64		0,53		0,339	
Posição:	1,68		0,77		1,287	
Hilo horizontal	1,10	1,18	0,53	0,61	0,587	0,745
	1,30	0,38	0,61	0,10	0,793	0,349
	1,20	32,20	0,60	16,39	0,720	46,85
Peneira 16	6,30		1,85		11,655	
Posição:	2,10		0,86		1,800	
Equilíbrio	6,30	6,47	2,05	1,94	12,915	14,064
	10,47	2,99	2,58	0,67	27,039	9,138
	7,17	46,21	2,36	34,54	16,911	64,97
Peneira 16	2,47		0,79		1,954	
Posição:	4,10		1,29		5,296	
Hilo vertical	3,22	3,27	1,18	1,09	3,815	3,682
	3,30	0,67	1,11	0,21	3,663	1,367
	-	20,49	-	19,27	-	37,13
Peneira 16	2,10		0,42		0,882	
Posição	1,77		0,53		0,938	
Hilo horizontal	1,98	1,71	0,32	0,42	0,634	0,710
	0,99	0,50	0,39	0,09	0,386	0,253
		29,24		21,43	-	35,63
Peneira 15	6,07		1,99		12,096	
Posição:	8,20		2,22		18,245	
Equilíbrio	1,06	4,60	0,42	1,44	0,450	8,824
	1,28	3,23	0,58	0,86	0,749	7,888
	6,37	70,22	1,97	59,72	12,581	89,39
Peneira 15	3,85		1,17		4,492	
Posição:	3,50		1,17		4,171	
Hilo vertical	2,77	3,09	0,97	1,08	2,673	3,375
	2,62	0,55	0,98	0,10	2,574	0,892
	2,72	17,80	1,09	9,26	2,965	26,43

	Força	*	Desloca mento	*	Força x Desloca mento	*
	(kgf)		(mm)		(kgf.mm)	
Peneira 15	1,33		0,64		0,856	
Posição:	1,32		0,55		0,724	
Hilo horizontal	0,71	1,14	0,42	0,57	0,294	0,671
	1,20	0,29	0,67	0,11	0,810	0,257
	-	25,44	-	19,30	-	38,30
Peneira 14	1,56		0,76		1,184	
Posição:	11,95		2,72		32,464	
Equilíbrio	2,91	3,76	1,17	1,13	3,399	7,658
	1,38	4,64	0,63	0,93	0,871	13,916
	0,99	123,40	0,37	82,30	0,370	181,72
Peneira 14	0,29		0,22		0,066	
Posição:	2,62		1,04		2,726	
Hilo vertical	2,27	2,05	0,83	0,73	1,893	1,749
	2,09	1,04	0,57	0,34	1,185	1,161
	2,98	50,73	0,97	46,58	2,876	66,38
Peneira 14	1,28		0,57		0,728	
Posição:	1,51		0,81		1,222	
Hilo horizontal	1,28	1,72	0,64	0,77	0,824	1,432
	1,51	0,74	0,80	0,19	1,210	1,000
	3,02	43,02	1,05	24,68	3,176	69,83

TABELA A9. Força no ponto da biofalha (computador) nas diferentes posições, peneiras e unidades.

Peneira	Posição	Umidade (b.u.) (%)							
		4,00	5,33	6,09	7,04	7,82	10,53	13,30	18,04
17	<u>Equilí</u> brio	10,70	11,94	12,33	12,29	14,26	9,71	10,83	6,11
16		11,68	11,24	9,70	10,86	10,13	9,64	5,55	6,47
15		9,86	11,93	10,36	10,01	8,28	8,64	5,57	4,60
14		7,95	7,33	9,15	9,66	9,30	5,65	5,34	3,76
13		8,42	8,68	8,24	9,29	8,36	6,73	4,05	-
17	Hilo <u>Verti</u> cal	10,39	11,08	9,48	10,53	8,43	5,55	6,29	3,17
16		9,60	8,25	9,32	9,19	8,12	4,58	4,80	3,27
15		8,81	8,25	8,79	8,25	7,21	5,13	5,11	3,09
14		8,39	8,45	8,59	7,11	6,40	5,10	5,30	2,05
13		6,65	8,72	8,47	6,40	6,01	5,33	3,30	-
17	Hilo <u>Horizon</u> tal	7,36	10,72	11,28	8,91	7,75	3,59	5,98	1,18
16		8,23	8,07	10,21	9,79	7,79	4,15	3,20	1,71
15		10,25	8,53	9,01	8,52	7,01	3,76	2,37	1,14
14		7,91	7,36	5,95	8,14	6,05	4,18	2,31	1,72
13		8,91	6,91	8,26	6,38	7,47	3,95	2,11	-

TABELA A10. Deslocamento no ponto da biofalha (computador) nas diferentes posições, peneiras e umidades.

Peneira	Posição	Umidade (b.u.) (%)							
		4,00	5,33	6,09	7,04	7,82	10,53	13,30	18,04
17	<u>Equilí</u> brio	0,29	0,32	0,29	0,29	0,45	0,88	1,80	1,90
16		0,29	0,31	0,23	0,32	0,31	1,06	1,36	1,94
15		0,24	0,26	0,28	0,28	0,29	1,04	1,37	1,44
14		0,22	0,26	0,27	0,27	0,37	0,81	1,27	1,13
13		0,26	0,30	0,33	0,33	0,39	0,82	0,93	-
17	<u>Hilo</u> Verti cal	0,30	0,43	0,35	0,42	0,31	0,64	1,15	1,12
16		0,35	0,28	0,34	0,39	0,52	0,63	1,14	1,09
15		0,27	0,29	0,31	0,37	0,43	0,76	1,29	1,08
14		0,35	0,33	0,36	0,42	0,43	0,84	0,89	0,73
13		0,29	0,33	0,33	0,37	0,40	0,79	0,81	-
17	<u>Hilo</u> Horizon tal	0,42	0,50	0,43	0,44	0,42	0,51	1,45	0,61
16		0,42	0,36	0,47	0,53	0,47	0,62	0,80	0,42
15		0,45	0,40	0,48	0,45	0,48	0,64	0,86	0,57
14		0,43	0,33	0,32	0,42	0,48	0,74	0,63	0,77
13		0,46	0,35	0,40	0,39	0,48	0,71	0,77	-

QUADRO A1. Resultados da análise de variância para os dados obtidos, da força, no ponto da biofalha, calculado pelo computador pdp 10/11.

	G.L.	SQ	QM	F	
Média	1	6193,183	6193,183		
Tratamento:					
Umidade	7	703,023	100,432	70,63	*
Posição	2	134,678	67,339	47,36	*
Peneira	4	126,824	31,706	22,30	*
Peneira x posição	8	14,744	1,843	1,30	N.S.
Erro experim.	98	139,347	1,422		
Total	120	7311,799			

* Significativo ao nível de 0,05%

QUADRO A2. Resultados da análise de variância para os dados obtidos, do deslocamento, no ponto da biofalha, calculado pelo computador pdp 10/11.

	G.L.	SQ	QM	F	
Média	1	38,704	38,704		
Tratamento:					
Umidade	7	9,703	1,386	19,80	*
Posição	2	0,336	0,168	2,40	N.S.
Peneira	4	0,733	0,183	2,61	**
Peneira x posição	8	0,178	0,022	0,31	N.S.
Erro experim.	98	6,871	0,070		
Total	120	56,525			

* Significativo ao nível de 0,05%.

** Significativo ao nível de 2,5%

TABELA All. Força x deslocamento no ponto da biofalha (computador) nas diferentes posições, peneiras e umidades.

Peneira	Posição	Umidade (b.u.) (%)							
		4,00	5,33	6,09	7,04	7,82	10,53	13,30	18,04
17	<u>Equilí</u> brio	3,119	4,114	3,633	3,536	6,602	8,776	19,815	12,076
16		3,196	3,679	2,296	3,648	3,197	10,765	7,806	14,064
15		2,440	3,191	2,942	2,788	2,493	9,261	8,703	8,824
14		1,870	1,906	2,748	2,690	3,512	4,949	7,015	7,658
13		2,311	2,678	2,610	3,073	3,407	6,290	4,519	-
17	<u>Hilo</u> <u>Verti</u> cal	3,193	4,966	3,317	4,396	2,620	3,946	7,321	3,589
16		3,303	2,363	3,190	3,637	4,234	2,989	5,635	3,682
15		2,433	2,358	2,712	3,165	3,065	4,370	6,842	3,375
14		2,969	2,772	3,128	3,038	2,744	4,590	3,062	1,749
13		1,961	3,070	2,880	2,355	2,418	4,513	2,173	-
17	<u>Hilo</u> <u>Horizon</u> tal	3,132	5,421	5,113	3,949	3,251	1,841	9,486	0,745
16		3,551	3,044	4,852	5,140	3,726	2,579	2,608	0,710
15		4,640	3,475	4,278	3,817	3,396	2,495	2,112	0,671
14		3,506	2,740	1,836	3,444	2,993	3,155	1,498	1,432
13		4,129	2,506	3,498	2,497	3,558	2,801	1,605	-

QUADRO A3. Resultados da análise de variância para os dados obtidos, do produto força x deslocamento, no ponto da biofalha, calculado pelo computador pdp 10/11.

	G.L.	SQ	QM	F	
Média	1	1829,571	1829,571		
Tratamentos:					
Umidade	7	116,228	16,604	3,07	***
Posição	2	122,500	61,250	11,31	*
Peneira	4	114,283	28,571	5,28	**
Peneira x posição	8	13,974	1,745	0,32	N.S.
Erro experim.	98	530,677	5,415		
Total	120	2727,233			

* Significativo ao nível de 0,05%.

** Significativo ao nível de 0,50%.

*** Significativo ao nível de 1,00%.

--
B - SIGNIFICADO DOS SÍMBOLOS UTILIZADOS

- a - constante da equação de Sheed
- a_1, a_2, a_3 - constantes da equação que descreve a umidade de equilíbrio.
- A - área de abertura da "boca" do silo, cm^2
- A_p - área projetada do grão de soja, cm^2
- b - constante da equação de Sheed
- b.u. - base úmida
- C - coeficiente aerodinâmico de arraste
- C.V. - coeficiente de variação, %
- d - tamanho médio da partícula, cm
- D - diâmetro da partícula, cm
- D_o - diâmetro do orifício circular, cm
- d_{eq} - diâmetro equivalente, cm
- d_1, d_2, d_3 - dimensões do grão, cm
- F - fluxo de escoamento, kg/h
- g - aceleração da gravidade, cm/s^2
- G.L. - graus de liberdade
- h - perda de pressão do fluxo de ar, mm de ar
- i - número da peneira
- k - constante da equação de Henderson
- m - massa do grão, g
- $\bar{M}$ - média
- M - umidade do grão, %
- M_{eq} - umidade de equilíbrio do grão, %

k - constante da equação de Henderson
 N - força normal, kg
 $P \cong \Delta p/H$ - perda de carga do fluxo de ar, por pé de grão, polegada de água.
 Δp - perda de carga, mm ou polegada de água
 P_c - peso do cadinho, g
 P_i - peso do produto retido na peneira, g
 P_m - peneira média
 P_s - peso seco, g
 P_u - peso úmido, g
 Q - fluxo de ar, pés³/min/pé²
 QM - quadrado médio
 Re - número de Reynolds
 SQ - soma dos quadrados
 T - temperatura, graus rankine
 V_t - velocidade terminal, cm/s
 W - fluxo de escoamento
 α - coeficiente de atrito
 γ - densidade do ar, g/cm³
 γ_p - peso específico real da soja, g/cm³
 ϕ - umidade relativa, decimal
 ρ_B - peso específico aparente do produto, g/cm³
 σ - desvio padrão
 μ - viscosidade do ar, g/cm.s

Serviços Gráficos Executados pela:

FUNDAÇÃO TROPICAL DE PESQUISAS E TECNOLOGIA
Rua Latino Coelho, 1301 Telefone: 41-7822 e 41-2079
Caixa Postal 1889 - CEP - 13.100 - Campinas - SP