

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
CAMPINAS - UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA
AGRICOLA - FEAGRI

CAMPINAS - SÃO PAULO

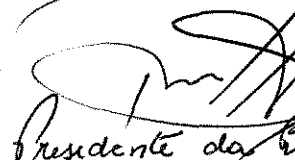
BRASIL

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO
OPERACIONAL DE UM ARADO DE
ATIVIDADES EM UM LATOSSOLO ROXO

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Geraldo Ferretti e aprovada pela Comissão Julgadora em 09 de abril de 1992. Campinas, 15 de maio de 1992.

GERALDO FERRETTI
Eng. Agrícola

x 
Presidente da Comissão

Prof. Dr. Paulo S.G. Magalhães
Orientador

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA.

CAMPINAS - 1992

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

BC 9216917

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL
DE UM ARADO DE AIVECAS
EM LATOSSOLO ROXO

GERALDO FERRETTI
Eng. Agrícola

Orientador: Prof. Dr. PAULO S.G. MAGALHÃES

1992

Aos meus pais

Raul e Aurora Verardo Ferretti

e aos meus irmãos

Santo, Marcos e Nair

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao professor Paulo Sérgio Graziano Magalhães, pela orientação, apoio e amizade.

Aos professores Nelson L. Capelli, Roberto F. Abraão, Oscar A. Braunbeck e Claudio B. Sverzut pelas sugestões, cooperação e apoio técnico no desenvolvimento do Dinamômetro de Engate de Três Pontos.

Aos professores Cheu-Shang Chang e Newton R. Boni pelas sugestões apresentadas para a elaboração do Plano de Pesquisa.

Aos colegas José Aluizio Gomes Gualberto, Arsenio Sattler, Antonio Lilles Tavares, Pedro Henrique Weirich, Ednaldo Carvalho Guimarães, João Carlos dos Santos e Ângelo Vieira dos Reis pela colaboração na realização dos ensaios em campo na FEAGRI - UNICAMP.

Ao Diretor da Divisão de Engenharia Agrícola do IAPAR, Ruy Casão Jr. pela concessão da área, mão-de-obra e

hospitalidade para a primeira execução dos experimentos em Londrina-PR.

Em especial ao colega Paulo Roberto Abreu de Figueiredo pela cooperação, apoio e amizade quando da primeira tentativa de realização dos ensaios no IAPAR em Londrina - PR.

Ao Sr. Antônio Liogi, Dna. Ivete Liogi e Eloah pela hospitalidade em Rolândia - PR.

Aos funcionários do Laboratório de Protótipos e do Campo Experimental da FEAGRI - UNICAMP.

A Marcos Ferretti e Ichiro Aoki pelo empréstimo da interface e assessoria para digitalização dos dados fornecidos pelo Dinamômetro de Três Pontos.

A POSITRON MECANICA FINA E INFORMATICA pelo empréstimo de uma bateria e um automóvel no dia da realização dos ensaios de campo na FEAGRI - UNICAMP.

A CAPES, UNICAMP, FAPESP e FAEP-UNICAMP pela concessão de bolsa de estudos.

A minha irmã, Nair Ferretti, pela ajuda financeira no período de set/91 a dez/91.

SUMARIO

	Página
DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
SUMARIO.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE ANEXOS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiii
RESUMO.....	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 Preparo do solo.....	5
3.2 Avaliação do desempenho de implementos.....	8
3.3 Arado de aivecas.....	13
3.4 Sistemas dinamométricos.....	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1 Local do experimento.....	20
4.2 Área experimental.....	20
4.3 Análise das propriedades e condições físicas	

	do solo..	22
4.4	Delimitação experimental.....	24
4.5	Delimitação estatística.....	25
4.6	Parâmetros avaliados.....	25
4.6.1	Cobertura do solo.....	25
4.6.2	Perfil superficial do solo.....	26
4.6.3	Perfil sub-superficial do solo.....	27
4.6.4	Tamanho dos agregados de solo mobilizado.....	28
4.6.5	Esforços desenvolvidos na aração.....	29
4.6.6	Ângulo de inversão do solo.....	29
4.7	Sistema de ensaio.....	30
4.7.1	Trator.....	30
4.7.2	Dinamômetro de Engate de Três Pontos (DGP)....	30
4.7.3	Arado.....	31
4.7.4	Instrumentação embarcada.....	35
4.7.5	Interface para conversão analógico/digital....	38
4.7.6	Isolação de vibrações dos instrumentos.....	38
5	DINAMÔMETRO DE ENGATE DE TRÊS PONTOS (DGP).....	40
5.1	Princípios de funcionamento.....	40
5.2	Determinação das forças no implemento.....	41
5.3	Determinação dos momentos associados.....	43
5.4	Determinação do Centro de Resistência (CR) das forças atuantes no implemento.....	44
5.5	Determinação do peso do implemento.....	46
5.6	Determinação do Centro de Gravidade (CG) do implemento.....	47
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49

6.1	Velocidades de deslocamento do implemento.....	49
6.2	Profundidade de aração.....	50
6.3	Cobertura vegetal.....	51
6.4	Ângulo de inversão do solo.....	51
6.5	Área de solo mobilizado.....	51
6.6	Força de tração do implemento.....	52
6.7	Força lateral do implemento.....	53
6.8	Força vertical do implemento.....	55
6.9	Diâmetro Médio Geométrico dos agregados.....	56
6.10	Densidade aparente seca do solo.....	57
6.11	Forças e momentos obtidos pelo DGF.....	57
6.12	Reações do solo sobre o arado.....	60
6.13	Distribuição dos agregados por classe.....	60
7	CONCLUSÕES FINAIS.....	64
8	ABSTRACT.....	66
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	- Croqui das parcelas experimentais.....	21
2	- Transferidor para medição do ângulo de inversão do solo.....	31
3	- Trator CBT S240 utilizado nos testes de campo.....	32
4	- Vista geral do arado de sivecas utilizado marca IKEDA, modelo AIV-2R.....	33
5	- Vista geral do D3P.....	33
6	- Vista frontal do D3P - lado do implemento.....	34
7	- Vista lateral do D3P.....	34
8	- Gabinete com os seis condicionadores de sinais na parte superior do mesmo.....	36
9	- Gravador marca KYOWA, de sete canais.....	37
10	- Esquema simplificado do D3P.....	42
11	- Gráfico I: Diâmetro Médio Geométrico e Módulo de Finura versus Tratamentos.....	59
36	- Gráfico II: Distribuição percentual de agregados por classe de tamanho.....	62
39	- Reações do solo sobre o arado.....	63

LISTA DE ANEXOS

ANEXOS	PAGINA
1 a 8 - Força de Tração (F_x) do arado versus tempo de percurso.....	70
9 a 16 - Força Lateral (F_y) do arado versus tempo de percurso.....	78
17 a 24 - Força Vertical (F_z) do arado versus tempo de percurso.....	86

LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁGINA
1 - Teor de umidade do solo durante a realização do experimento de campo.....	23
2 - Densidade aparente seca do solo coletado na área útil do experimento de campo.....	23
3 - Descrição dos tratamentos em função do regime de operação do trator e regulagem da roda de profundidade do implemento.....	24
4 - Velocidade de deslocamento (km/h).....	49
5 - Percentagem de cobertura vegetal(%) e aplicação do teste de Tukey.....	51
6 - Ângulo de inversão do solo (°) e aplicação do teste de Tukey.....	52
7 - Área mobilizada de solo pelo arado e aplicação do teste de Tukey.....	53
8 - Força média de tração Fx (kgf) e aplicação do teste de Tukey.....	54
9 - Força média lateral Fy (kgf) e aplicação do teste de Tukey.....	54

10	- Força média vertical F_z (kgf) e aplicação do teste de Tukey.....	56
11	- Profundidade de aração (m).....	50
12	- Diâmetro Médio Geométrico DMG (mm) e aplicação do teste de Tukey.....	56
13	- Forças (kgf) e Momentos (kgfm) para os tratamentos...	50
14	- Forças (kgf) obtidas nos testes de campo.....	50

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO		UNIDADES
ALFA	- Nível de significância estatístico.....	-
beta	- Ângulo entre as células 2 e 6 ou 4 e 6 do DGP.....	°
CR	- Centro de Resistência do Implemento.....	m
CV	- Coeficiente de variação.....	-
DA	- Umidade aparente seca do solo.....	g/cm ³
DMS	- Diâmetro Médio Geométrico.....	mm
di	- diâmetro médio da classe de peneira "i".....	mm
DGP	- Sigla do Dinamômetro de Engate de Três Pontos	
Fx	- Força de tração do implemento.....	kgf
Fy	- Força lateral do implemento.....	kgf
Fz	- Força vertical do implemento.....	kgf
Fxm	- Força média de tração do implemento.....	kgf
Fym	- Força média lateral do implemento.....	kgf
Fzm	- Força média vertical do implemento.....	kgf
F1 a F6	- Forças obtidas pelas células de carga do DGP	kgf
i, j, k	- Vetores unitários ortogonais.....	-
MF	- Módulo de flexão.....	-
Mx	- Momento em torno de eixo Dx.....	kgfm

M_y - Momento em torno do eixo Oykgfm
 M_z - Momento em torno do eixo Ozkgfm

 M_{xm} - Momento médio em torno do eixo Oxkgfm
 M_{ym} - Momento médio em torno do eixo Oykgfm
 M_{zm} - Momento médio em torno do eixo Ozkgfm
 S - Distância acrescida entre o trator e o implemento
devido ao Dinamômetro de Três Pontos.....m
 $SOMAT$ - Somatória de termos.....
 t - tempo.....s
 $U(X)$ - Teor de umidade do solo.....%
 V_m - Velocidade média.....km/h
 x' - coordenada sobre o eixo Oxm
 y' - coordenada sobre o eixo Oym
 z' - coordenada sobre o eixo Ozm
 W_i - Peso de solo retido na peneira de índice "i".....g
 $W_i(X)$ - Porcentagem de solo retido na peneira "i".....%
 TiB_j - Tratamento de índice "i" do bloco de índice "j"

RESUMO

Foi realizada a avaliação do desempenho de um arado de duas aivecas semi-helicoidais do tipo montado fixo, objetivando-se conhecer os esforços envolvidos, a área de seção de solo mobilizado, ângulo de inversão da laiva e o tamanho dos agregados gerados com sua utilização. O desempenho do arado foi avaliado em um Latossolo Roxo de textura argilosa variando-se a velocidade de deslocamento em quatro níveis distintos e a profundidade de trabalho em dois níveis. Foram coletadas amostras para determinação do tamanho dos agregados, densidade, umidade, perfil superficial e sub-superficial, tempos de percurso do conjunto trator-implemento, taxa de cobertura vegetal, ângulo de inversão da laiva e esforços envolvidos na aração. Concluiu-se que:

As velocidades de deslocamento compreendidas entre 4,4 e 5,2 km/h apontam uma tendência de redução da força de tração para o implemento avaliado. A força lateral do arado manteve-se constante e próxima de zero, o que evidencia um bom dimensionamento do resto das aivecas para o equilíbrio das forças. A força vertical do implemento sofreu

influência da velocidade de deslocamento porém, estabelecer seu comportamento, demandaria uma quantidade maior de testes de campo. Maiores velocidades de deslocamento geram um maior grau de mobilização do solo. O controle da profundidade de aração através da roda de controle de profundidade não foi satisfatoriamente executado devido à grande quantidade de cobertura vegetal da área experimental e ao fato de que o trator operou com a reação do terceiro ponto ativada. Para fins experimentais, o emprêgo de um trator 4x4 de maior potência seria mais adequado para o implemento utilizado e para o tipo e condições locais do solo da área experimental. O Dinamômetro de Engate de Três Pontos (DGP) apresentou um bom funcionamento, indicando que sua utilização na avaliação de máquinas e implementos agrícolas é de grande valia.

1 - INTRODUÇÃO:

O arado de aiveca é conhecido como uma das mais antigas ferramentas de preparo do solo e seu uso é amplamente difundido em países onde a agricultura apresenta-se bem tecnificada.

Em nosso país pode-se constatar que uma expressiva maioria dos agricultores utilizam arados de disco. Tal fato explica-se por algumas características que os tornam muito apreciados pelos agricultores, quais sejam: sua robustez, esforço de tração relativamente inferior e capacidade de operação em condições de solo amplamente diferentes e adversas.

Os arados de aiveca, por sua vez, possibilitam o corte do solo em prismas retangulares que acabam por gerar uma mobilização do solo de qualidade superior ao do arado de disco com relação ao tamanho, distribuição dos torrões, inversão da leiva e nivelamento da superfície.

Contudo, para se obter uma qualidade de trabalho superior, o agricultor precisa despendar um esforço tratorio maior e ligeira elevação da demanda de energia que influenciam diretamente a capacidade de campo da ferramenta.

Técnicas alternativas ao preparo convencional do solo, como preparo mínimo, preparo reduzido e plantio direto, tem sido amplamente difundidas para solucionar ou minimizar os efeitos danosos ao solo provocados pelo sistema convencional, quer sejam elas oriundas da utilização adequada ou não dos implementos de preparo do solo.

Embora a necessidade da tarefa de preparo do solo para algumas culturas venha sendo questionada por pesquisadores, ela ainda continuará muito empregada e, para aqueles agricultores que tem procurado melhor qualidade de trabalho e crescentes níveis de produção, o arado de aivecas apresenta-se como uma boa opção.

No Brasil, alguns fabricantes de arados de aivecas têm especial interesse na ampliação de seu mercado consumidor, que se tornará cada vez mais viável na medida em que seus produtos apresentem um desempenho competitivo quando comperado com os dos arados de discos, enxadas rotativas e outros.

É necessário portanto, conhecer a magnitude e influência dos parâmetros envolvidos no modo de operação de um arado de aivecas, visando encontrar as condições mais adequadas para a tarefa de aração com seu uso.

Dentro deste contexto se insere esta Dissertação de Mestrado que visa, com seus objetivos, colocar à disposição de fabricantes e consumidores, informações adequadas para a avaliação e utilização de arados de aivecas.

2 - OBJETIVOS:

Determinar o comportamento de algumas características de desempenho do arado de aivecas para condições de um solo brasileiro.

Determinar as características básicas do desempenho de um arado de aivecas, comercialmente disponível, em função da profundidade de trabalho, velocidade de deslocamento e esforços de tração exigidos, considerando-se um tipo e uma condição do solo no local de campo;

Quantificar as características do trabalho realizado no solo e compará-las, objetivando-se avaliar o desempenho do implemento.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

3.1 - Preparo do solo

CULPIN (1986) define o preparo do solo como sendo a prática de alterar seu estado a fim de fornecer condições favoráveis ao desenvolvimento de uma cultura. O preparo do solo também representa um dos itens de maior custo na atividade agrícola. Os objetivos principais do preparo do solo podem ser resumidos em:

- a) fornecer um nível de mobilização desejável do solo para a cultura a ser implantada;
- b) mudanças no teor de umidade do solo;
- c) controle de ervas daninhas e pragas da cultura;
- d) incorporação de restos de culturas, fertilizantes, esterco, etc...

Um bom preparo não depende pois, de um implemento isoladamente mas, também, da ação de outros implementos e de agentes climáticos tais como: chuvas, ventos secos e geadas, segundo CULPIN (1986)

GAMERO (1989) utilizou uma metodologia para avaliar quantitativamente o preparo do solo. A metodologia consiste em extrair uma amostra de 0,010 m³ de solo mobilizado. A amostra coletada deve ser seca em estufa e a seguir, peneirada. Com os dados de percentagem de solo retido em cada peneira, pode-se obter o diâmetro médio geométrico dos torrões do solo, tamanho dos agregados e/ou módulo de finura.

BATEMAN, H.P. et al (1965) apresentaram dois novos métodos de laboratório para se determinar a energia requerida para se mobilizar um solo natural. São apresentados os resultados para diferentes graus de compactação e umidade do solo.

Concluem os autores anteriormente citados que:

- a) a energia requerida aumenta linearmente com o decréscimo do diâmetro médio ponderado dos torrões de solo;
- b) solos pouco densos sofrem menor influência da umidade na energia necessária para mobilização;
- c) compactando-se o solo, aumenta-se a energia necessária para mobilização;
- d) futuros testes serão necessários para se determinar o mínimo de energia requerida para um dado tipo de solo, grau de compactação e teor de umidade. Tais informações

ajudariam a se determinar métodos de mobilização do solo para projeto de ferramentas.

3.2- Avaliação do desempenho de implementos

O desempenho de uma ferramenta de preparo do solo pode ser definido como a produção de mudanças nas condições do solo pela mobilização do mesmo. Dois fatores devem ser analisados e quantificados para se avaliar o desempenho: a quantidade de solo mobilizado e as forças envolvidas no processo. A diferença entre as condições iniciais e finais do solo representam a quantidade de mobilização. As forças requeridas para uma dada manipulação não variam se as condições de operação da ferramenta e condições iniciais do solo forem as mesmas segundo GILL & VANDEN BERG (1968).

Deste modo, pode-se estabelecer que, dadas as condições do solo a serem atingidas e as que realmente se atingiram com o uso da ferramenta, pode-se então, avaliar o desempenho do implemento.

O desempenho envolve, portanto, além de mudanças no solo para novas condições, também menor utilização de energia e uma condição final do solo que seja considerada aceitável para a implantação de uma cultura segundo GILL & VANDEN BERG (1968).

Ao longo dos anos, muitas pesquisas tem sido efetuadas com arados de aiveca e o projeto e otimização do desempenho sempre levaram aos métodos usuais de projeto e ensaios (tentativa e erro) para estas ferramentas segundo KEPNER et alii (1982).

LAPLEN et alii (1981) compararam três métodos de determinação de cobertura do solo com restos vegetais. Neste trabalho concluem que o método da trena se mostrou mais preciso e melhor adequado para uso no campo. Este método consiste em se estender ao acaso, sobre a área em estudo, uma trena de 15 m e a cada 0,15 m registrar os pontos que ficaram sobre restos vegetais. A percentagem de cobertura vegetal é então dada pela razão entre o número de pontos sobre restos vegetais e o número total de pontos, multiplicada por 100.

SOUZA, M.M.S. et alii (1989) compararam o desempenho de um arado de aivecas com um arado de discos. Utilizaram um arado de aivecas do tipo montado reversível de três corpos, com largura de corte de 1,20 m e um arado de quatro discos lisos de 26 polegadas, do tipo montado fixo, com largura de corte de 1,20m. Manteva-se a profundidade de trabalho entre 0,20 e 0,22 m e a velocidade de deslocamento, foi variada em três níveis distintos. Para o arado de aivecas, desenvolveu-se as velocidades de 3,66; 3,94 e 4,56 km/h e para o arado de discos, 4,23, 5,30 e 6,40 km/h.

Determinaram-se os parâmetros de força na barra de tração, deslizamento das rodas e consumo de combustível, utilizando-se de uma célula de carga (capacidade 5,0 ton.), sensores foto-elétricos e um dispositivo de Pierburg, respectivamente. A força de tração na barra foi determinada com a utilização de dois tratores em sistema de comboio. Os testes foram realizados num solo com 46% de argila, classificado como Latossolo Vermelho Escuro com umidade média de 20,2% e densidade específica aparente entre 1,19 e 1,31 g/cm³. Os autores do trabalho concluíram que: para todos os parâmetros avaliados, o arado de aivecas apresentou valores superiores de força de tração, potência na barra e consumo de combustível em relação ao arado de discos e que, para os dois tipos de arado, o aumento da velocidade de deslocamento ocasionou um aumento de força de tração, potência e consumo de combustível.

PINHO, N.J.F. et al (1989) compararam o desempenho de um arado de aivecas do tipo montado reversível de três corpos, largura de corte de 1,20 m, equipado com relhas pequenas e grandes, afiadas e sem fio. Deste modo, desenvolveram quatro tratamentos a uma velocidade de 6,0 km/h e 0,23 m de profundidade. Utilizaram uma célula de carga de 5,0 ton. de capacidade, sensores foto-elétricos e um dispositivo de Pierburg para determinação da força na barra de tração, deslizamento das rodas de tração e consumo de combustível. Concluíram que, para todos os parâmetros

avaliados, não se constatou diferença significativa entre os tratamentos estudados.

QUIONSG et all (1986) desenvolveram um modelamento matemático dotado de considerações físicas aliadas à dinâmica dos solos para se prever as forças atuantes numa aiveca. O modelo forneceu boas previsões para as forças longitudinais e laterais. Contudo, a força vertical foi superestimada pelo método.

GILL & MCCREERY (1960) estudaram o comportamento da largura de corte em relação à eficiência de ferramenta (aivecas). Também relacionaram a largura de corte com o tamanho dos torrões de solo para o arado de aivecas, o arado de disco e a enxada rotativa. Concluíram que a largura de corte em solos coesivos e consolidados é um importante fator no diâmetro médio ponderado dos torrões de solo. A utilização de pequenas larguras de corte podem ser proveitosas para ferramentas que operam em solos duros. Para aivecas seriam adequadas menores larguras de corte mesmo que ocorressem maiores índices de consumo de combustível.

NICHOLS et all (1958) estudaram o comportamento de três tipos de relhas amplamente utilizadas em arados de aiveca que por sua vez, foram ensaiadas em caixa de solo. Neste trabalho concluíram que deve ser dada especial atenção ao tipo e condições do solo que ocasionam grandes alterações na

força de tração necessária. Também observam que o ângulo de corte e de ataque da ferramenta afetam consideravelmente o escoamento do solo sobre a superfície da aiveca.

WAINWRIGHT et al (1983) modificaram um arado de três aivecas de modo a poder variar o ângulo e largura de corte por meio de um cilindro hidráulico. Concluíram que um bom desempenho pode ser obtido com o uso de altas velocidades de deslocamento e com ângulo de corte menor que o originalmente oferecido pela ferramenta. Contudo, observaram que houve um ligeiro aumento na força de tração em função das elevadas velocidades.

OWELL & FALLAK (1976) apresentam uma teoria para prever o comportamento de um arado de aiveca durante a penetração no solo e obtiveram equações de primeira ordem cuja solução é uma função exponencial decrescente da profundidade atingida no solo pela distância percorrida. Também concluem que a trajetória da ferramenta durante a penetração é afetada para velocidades de deslocamento acima de 1,1 Km/h do arado.

WANG & KUANG (1973) estudaram o comportamento da força de tração de aivecas em escala reduzida e mostrou que o uso destes protótipos são menos dispendiosos. Observou também que a força de tração pode ser prevista quando dados de um

solo são conhecidos para uma ferramenta que foi ensaiada anteriormente em outro tipo de solo.

RICHEY (1969) apresenta o projeto e desenvolvimento de um arado de aivecas semi-montado reversível. O autor enumera uma série de possíveis vantagens do mesmo e ao final, conclui que o esforço tratório parece ser menor que para arados montados.

O'CALLAGHAN & McCODY (1965) descreveram o comportamento do solo ao percorrer a superfície de uma aiveca dando ênfase para a análise de um elemento diferencial de volume de solo sobre a ferramenta. Concluem que: é possível prever as forças e acelerações exercidas pela aiveca no solo com o uso de um computador digital.

McKYES (1985) apresenta uma tabela de equações para obtenção da tração específica de aivecas em função da velocidade de deslocamento e do tipo de solo na qual deverá operar. A equação: $7+0,049v$ para um solo argilo-siltoso característico do sul do Texas - EUA é a que representa mais adequadamente as forças de tração desenvolvidas pelo implemento utilizado nesta Dissertação de Mestrado.

3.3- Arado de aivecas

BALASTREIRE, L.A. (1987) descreve o arado de aivecas como uma das mais antigas ferramentas de preparo periódico do solo, mencionando a sua utilização pelos povos asiáticos. Os arados de aivecas utilizados no Ocidente, originaram-se dos Romanos e possuíam uma relha e um anteparo plano para separação do solo arado do não arado. Atualmente as aivecas possuem forma originalmente concebida pelos Chineses. Também apresenta metodologias para o projeto e desenho de aivecas em função da finalidade e fonte de tração. Para a determinação dos esforços, baseado em métodos empíricos, propõe uma metodologia para se encontrar o ponto de aplicação e esforços envolvidos na aração com aivecas.

SHIPPEN, J.M. et all (1980) descrevem as partes características de um arado de aivecas montado fixo, a saber:

- a) estrutura principal: freqüentemente fabricada em aço tubular destina-se ao suporte das ferramentas de trabalho do solo e ao acoplamento ao engate de três pontos do trator;
- b) relha: lâmina responsável pelo corte e levantamento inicial do solo;
- c) aiveca: superfície responsável pela mobilização e inversão da leiva de solo;
- d) sega circular: realiza o corte inicial da parede do sulco a ser desenvolvido pela relha e aiveca;

- e) limpador da sarga: pequena lâmina metálica cuja função é remover o solo aderido à sarga a fim de evitar seu embuchamento;
- f) rasto: equilibra a força lateral da ferramenta apoiando-se na parede do sulco;
- g) coluna: peça que mantém fixas as posições da relha, aiveca e rasto;
- h) roda de controle de profundidade: pode ser montada na parte frontal ou traseira do arado.

CLYDE (1961) comenta sobre a relação entre a força vertical e a força longitudinal numa ferramenta de preparo do solo. Esta relação somada a uma série de considerações sobre a interação solo-ferramenta fazem parte de seu trabalho visando localizar o centro de resistência da aiveca.

CARLSON (1961) apresenta a utilização de computadores como uma ferramenta de grande importância no projeto de aivecas. Apresenta em seu trabalho métodos matemáticos para descrever a superfície da ferramenta e mostra que sua implantação num computador digital seria de grande valia.

KAUFMAN & TOTTE (1972) desenvolveram um arado de aiveca com uma geometria especial baseada num eixo de rotação sobre uma superfície plana de metal que a torna curvada de tal modo a promover a inversão do solo. Após os

ensaios sugeriram modificações no comprimento longitudinal da aiveca. Cabe observar que a disposição das aivecas neste arado geraram um equilíbrio de forças laterais.

WENDELL, B. et al (1973) apresentam uma tabela de resistência específica à tração de um implemento em função da textura e umidade do solo em termos genéricos. Com estes dados experimentais propõem o cálculo da força de tração de um implemento multiplicando-se a área seccional de solo mobilizado pelo valor de resistência específica à tração da tabela. Mencionam as regulagens, tipos de acoplamento e características principais dos arados de aivecas. Os autores recomendam posicionar a sega circular cerca de 10 polegadas acima da ponta da relha e 3/4 de polegada distante do ombro de cada aiveca.

3.4- Sistemas dinamométricos

LAL (1959), num trabalho desenvolvido na Inglaterra, projetou e construiu um aparelho para medição de esforços nos pinos de engate de implementos agrícolas. Este dinamômetro consistiu de uma barra de tração transversal instrumentada com extensômetros de resistência elétrica, de forma a medir as forças nas direções longitudinal e vertical. A união entre o braço superior e o implemento era realizada através de um pequeno dinamômetro que foi

projetado para suportar os esforços originados pela estrutura, medir as forças horizontais de tração naquele ponto, bem como possibilitar o cálculo do momento em relação ao eixo transversal. Segundo o autor, alcançou-se com equipamentos de registro, uma precisão de $\pm 5\%$, podendo chegar até 3% utilizando instrumentos registradores com galvanômetros de boa sensibilidade e frequência de resposta.

SCHOLTZ (1964), projetou para o NIAE (Inglaterra), um dinamômetro no qual a força de tração era medida por três barras instrumentadas com extensômetros de resistência elétrica, sendo que, estas substituíam as barras originais do trator. O sistema de medição foi utilizado com o levante hidráulico restringido. O autor identificou causas de erros relacionadas com os seguintes pontos:

- atrito nas juntas articuladas;
- posicionamento imperfeito dos extensômetros elétricos;
- imperfeições na seção transversal dos transdutores de forças;
- desalinhamento dos transdutores com relação à direção de medição;
- variação no referencial adotado devido a não manutenção da posição pelo controle da profundidade;
- existência de diferenças na sensibilidade dos transdutores.

SCHOLTZ (1966), aprimorou o projeto e construiu um dinamômetro disposto na forma de "U" invertido, para permitir o uso da tomada de potência do trator. O dinamômetro constituía-se de uma estrutura intermediária, pesando aproximadamente 130 kg e introduzia uma distância de aproximadamente 22 cm da posição original de engate do implemento agrícola. Este instrumento teve como sua maior limitação a capacidade de somente medir forças atuando nas direções vertical e longitudinal e funcionar com o controle de profundidade restringido.

MATTOS (1972), projetou e construiu um dispositivo para medir esforços longitudinais e verticais que atuam no engate de três pontos do trator. Este dispositivo consistiu de pinos instrumentados com extensômetros de resistência elétrica, que substituíam os pinos originais do implemento.

As principais limitações foram:

- dificuldade de alinhamento dos pinos transdutores;
- baixa sensibilidade dos transdutores;

JOHNSON & VOORHEES (1979), construíram um dinamômetro para os três pontos do trator capaz de medir esforços longitudinais, verticais e momento em torno do eixo transversal. Este dinamômetro consistiu de uma estrutura intermediária e era composto por três sub-conjuntos, sendo um acoplado ao trator, o intermediário para medir esforços perpendiculares e o terceiro para acoplar o implemento.

Foi projetado para duas faixas de operação de esforços longitudinais e para as categorias II e III de engate. Sua maior limitação foi não permitir o uso da tomada de potência e não medir esforços transversais.

SMITH & BARKER (1982) desenvolveram um transdutor de forças para o engate de três pontos do trator. Basicamente consiste de uma estrutura metálica dotada de seis células de carga axiais, dispostas e instaladas de tal modo a se medir os esforços com a menor sensibilidade cruzada possível. Porém, sua geometria não permitia o uso da TDP do trator. Após os testes, os autores concluíram que o transdutor apresentou um desempenho bastante satisfatório para o uso no ensaio de implementos agrícolas.

REID et al (1985) construíram um dinamômetro para ser acoplado aos três pontos do trator, adequado para as categorias I e II de engate. Constitue-se de três vigas em balanço, montadas verticalmente e instrumentadas com extensômetros de resistência elétrica. A geometria de sua estrutura permitia o ajuste da largura e altura dos três pontos de acordo com as dimensões dos pontos do implemento.

Seu projeto permitiu o uso da tomada de potência do trator.

Porém, sua maior limitação foi não possibilitar a medição das forças laterais, verticais e momentos associados.

GIRMA (1989) projetou e implantou cinco transdutores do tipo anel octogonal estendido numa aiveca de modo a se medir as forças ortogonais e momentos em cada elemento que compõe a ferramenta. Concluiu que o emprego destas transdutores é adequado e que é de grande valia o uso do método dos elementos finitos para dimensioná-los.

RICHEY et al (1989) desenvolveram um programa computacional para se prever os esforços numa aiveca a partir das propriedades do solo, condições de operação e formato da ferramenta. Utilizando-se dados experimentais já existentes, o programa apresentou previsões adequadas para a força de tração, enquanto que para as forças verticais e laterais, não forneceu previsões adequadas.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS:

4.1 - Local do experimento

Os testes foram realizados no Campo Experimental do FEAGRI - UNICAMP, Estado de São Paulo. O clima da região é uma transição entre Cwa e Cwf, segundo a classificação de Köppen, ou seja, subtropical de altitude, sendo no inverno, chuvoso e quente no verão, com precipitação anual em torno de 1370 mm e temperatura média anual de 20,6° C.

O experimento foi instalado numa área de 3552 m² cuja altitude é de 663 m e declividade de 6,5% em um Latossolo Roxo.

4.2 - Área experimental

Foram demarcadas 24 parcelas com 3,70 m de largura e 40,00 m de comprimento. Conforme apresentado na FIGURA 1.

T8BIII
T4BIII
T2BIII
T1BIII
T3BIII
T7BIII
T6BIII
T5BIII

T2BII
T1BII
T8BII
T5BII
T6BII
T6BII
T3BII
T4BII

T2BI
T5BI
T6BI
T8BI
T1BI
T7BI
T4BI
T3BI

3.7 m

40.0 m

2

FIG. 1: CROQUI DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS

A superfície da área dos testes apresentava grande quantidade de ervas daninhas e restos de cultura de milho anteriormente implantada no local. O preparo da área para a cultura do milho foi realizado com o uso de um arado de discos de três corpos, do tipo montado fixo e de uma grade leve com 14 discos recortados.

4.3- Análise das propriedades e condições físicas do solo

Quatro dias antes dos testes com o conjunto instrumentado trator-implemento, foram coletados os dados relativos à densidade do solo, cobertura vegetal e perfil superficial do solo.

Foram coletadas nove amostras de solo para determinação do teor de umidade durante o dia da realização dos testes em campo, igualmente espaçadas e distribuídas em toda a área útil do experimento, conforme a TABELA 1.

Coletaram-se também, doze amostras de solo para determinação da densidade aparente, igualmente espaçadas e distribuídas pela área útil do experimento. Vide TABELA 2.

TAB. 1: TEOR DE UMIDADE DO SOLO DURANTE A REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE CAMPO

LOCAL DE AMOSTRAGEM	UMIDADE (%)
---------------------	-------------

T1BII	21,63
T3BI	19,54
T3BIII	21,89
T4BII	23,08
T4BIII	21,49
T5BI	19,37
T5BIII	21,79
T7BI	20,37
T7BII	21,66

MÉDIA = 21,21% - CV = 5,72%

TAB. 2: DENSIDADE APARENTE DO SOLO NAS PARCELAS DOS EXPERIMENTOS DE CAMPO

LOCAL DE AMOSTRAGEM	DENSIDADE APARENTE (gr/cm ³)
---------------------	--

T2BI	1,30
T2BII	1,35
T3BIII	1,24
T5BI	1,12
T1BII	1,33
T2BIII	1,11
T7BI	1,10
T7BII	1,26
T3BIII	1,22
T3BI	1,32
T4BII	1,25
T5BIII	1,25

MÉDIA = 1,24 g/cm³ - CV = 6,98%

No dia e logo após a realização dos testes, vinte e quatro amostras de solo mobilizado foram recolhidas em caixas de papelão para determinação do diâmetro médio

geométrico (IMG) e módulo da finura (MF) para se avaliar o grau de mobilização do solo obtido pelos tratamentos com o arado de aivecas da marca IKEDA, modelo AIV-3R (ou MF2).

4.4 - Delimitação experimental

Cada tratamento foi representado pela combinação de uma velocidade de deslocamento e uma profundidade de operação do implemento.

A velocidade de deslocamento foi variada em quatro níveis distintos e a profundidade de operação do arado em dois níveis. Desta modo, resultou um total de oito tratamentos, conforme a TABELA 3.

TAB. 3: DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DO REGIME DE OPERAÇÃO DO TRATOR E PROFUNDIDADE DO IMPLEMENTO

TRAT. Nº	MARCHA ENGRENADA	TRATOR ROTAÇÃO (rpm)	ARADO PROFUNDIDADE AJUSTADA (cm)
1	1ª	1600	15
2	2ª	1800	15
3	3ª	1800	15
4	3ª	2000	15

5	1ª	1800	25
6	1ª	2100	25
7	2ª	1800	25
8	2ª	2100	25

4.5 - Delimitação estatística

Adotou-se o delineamento estatístico de blocos casualizados com oito tratamentos e três repetições.

Deste modo, a área experimental foi subdividida em três blocos com oito tratamentos em cada bloco, totalizando-se 24 parcelas experimentais.

Foram realizadas Análises de Variância e Teste de Tukey, sem transformação dos dados, através do programa SANEST (Sistema de Análise Estatística). Os dados implantados no SANEST possibilitaram a observação das relações existentes entre: velocidade e profundidade com os parâmetros de forças, área mobilizada, agregados e ângulo de inversão do solo.

4.6 - Parâmetros avaliados

4.6.1 - Cobertura do solo

O percentual de cobertura vegetal do solo foi determinado antes do preparo do solo e em cada parcela através do método adaptado de LAFLÉN et al (1981).

Este método adaptado consiste no uso de um barbante de 20,00 m de comprimento com marcas a cada 0,20 m. O barbante foi esticado ao longo do sentido diagonal de cada parcela e, a seguir, fez uma contagem das marcas do barbante que coincidiam com restos de cultura. O percentual de cobertura vegetal foi determinado pela relação entre os pontos com e sem cobertura vegetal.

Este parâmetro visa a caracterização da superfície do experimento.

4.6.2 - Perfil superficial do solo

Antes da passagem do conjunto trator-implemento, com o uso de piquetes de madeira cravados até o nível da superfície do solo, demarcou-se o local de posicionamento do perfilômetro de hastes em cada parcela do experimento.

Com a utilização do perfilômetro de hastes, contruído por SOUZA (1989), pode-se descrever, através de pontos discretos, o perfil superficial do solo antes de sua mobilização pelo arado.

O perfilômetro compõe-se de 40 hastes verticais igualmente espaçadas de 0,035 m (centro a centro das hastes) acomodadas numa estrutura metálica dotada de uma régua

graduada em centímetros para determinação da cota de altitude de cada ponto do perfil do solo sob a haste.

4.6.3 - Perfil sub-superficial do solo

Removendo-se manualmente o solo mobilizado em cada parcela e posicionando-se o perfilômetro de hastes no mesmo local, orientado pelos piquetes de madeira do item anterior, pode-se então determinar o perfil sub-superficial do solo após a passagem do arado.

Os dados coletados nos itens 4.6.2 e 4.6.3 foram implantados em uma planilha eletrônica e, através dos mesmos, obteve-se a área mobilizada juntamente com a profundidade média de solo arado em cada parcela.

A profundidade média foi obtida pela média aritmética das diferenças de cotas entre o perfil superficial e o sub-superficial, representando portanto, a profundidade efetiva de trabalho do arado.

Deba ressaltar que a área mobilizada assim obtida compreende duas passadas do arado em cada parcela ou seja, uma primeira passada para abertura do sulco inicial que deverá orientar a roda traseira do trator e a segunda passada onde tem-se a operação do arado nivelado em relação à superfície do solo.

4.6.4 - Tamanho dos torrões de solo mobilizado

Utilizou-se o método de GILL & VANDEN BERG (1968) adaptado por GAMERO (1989) para se avaliar quantitativamente o grau de mobilização do solo resultante de cada tratamento.

Este método é descrito como segue: uma amostra de solo mobilizado é coletada em uma caixa de papelão e é seca em estufa a 105° C por 24 horas. Em seguida, o solo é peneirado num conjunto de peneiras de malhas com aberturas de: 101,60 - 76,20 - 50,80 - 25,40 - 19,05 - 12,70 - 6,35 - 3,36 mm. Com o peso de solo retido em cada peneira, calcula-se:

a) Percentagem de torrões retidos por classe de tamanho W_i (%)

$$W_i(\%) = W_i \cdot 100 / \text{SOMAT}(W_i)$$

onde: W_i -> peso retido na classe de tamanho de índice "i" onde "i" varia de 1 até N (número de peneiras);

b) Diâmetro Médio Geométrico (DMG)

$$\text{DMG}(\text{mm}) = \text{antilog}(\text{SOMAT}(W_i \cdot \text{LOG}(d_i)) / \text{SOMAT}(W_i))$$

onde: d_i -> tamanho médio da classe de índice "i" (mm);
 i -> índice que varia de 1 até N (número de peneiras);

c) Módulo de Finura (MF)

$$MF = \text{SOMAT}(W_i(\%) \text{ acumuladas}) / 100.$$

Como foram realizadas três repetições para cada tratamento, os valores de peso de solo retido em cada peneira (W_i) são representados pela média aritmética dos $W_i(s)$ relativos aos blocos I, II e III do experimento.

4.6.5 - Esforços desenvolvidos na aração

Com a utilização de um Dinamômetro de Engate de Três Pontos (D3P), foi possível determinar as três componentes de força num arado de aivecas e seus respectivos comportamentos durante a aração juntamente com os momentos associados em relação ao três eixos ortogonais de referência do D3P.

4.6.6 - Ângulo de inversão do solo

Foi observado através de uma metodologia sugerida e discutida durante a realização do Plano de Pesquisa da presente Dissertação de Mestrado.

Construiu-se um transferidor graduado a cada 5° dotado de uma régua indicadora do ângulo de inversão do solo.

O transferidor foi cravado na parada externa de solo mobilizado pelo arado e seu valor foi lido. Vide FIGURA 2.

4.7 - Sistema de Ensaio

Compõe-se basicamente de um trator, dinamômetro de engate de três pontos e o arado de aivecas.

4.7.1 - Trator

Características principais:

- marca: CBT;
- modelo: 8240;
- tração: 4x2 - s/bloqueio do eixo;
- motor: diesel 62 Kw a 2100 rpm;
- bitola traseira: ajustada para 1,00 m;
- peso em ponto de marcha: 4800 kg.

FIGURA 3.

4.7.2 - Dinamômetro de Engate de Três Pontos (DGP)

Acoplado entre o trator e o implemento possibilitando a medição das forças e momentos resultantes da operação de preparo do solo.

Maiores detalhes sobre as características, modo de operação e dados fornecidos ao usuário, contidos no Capítulo 5 e são observados nas FIGURAS 4, 5 E 6.

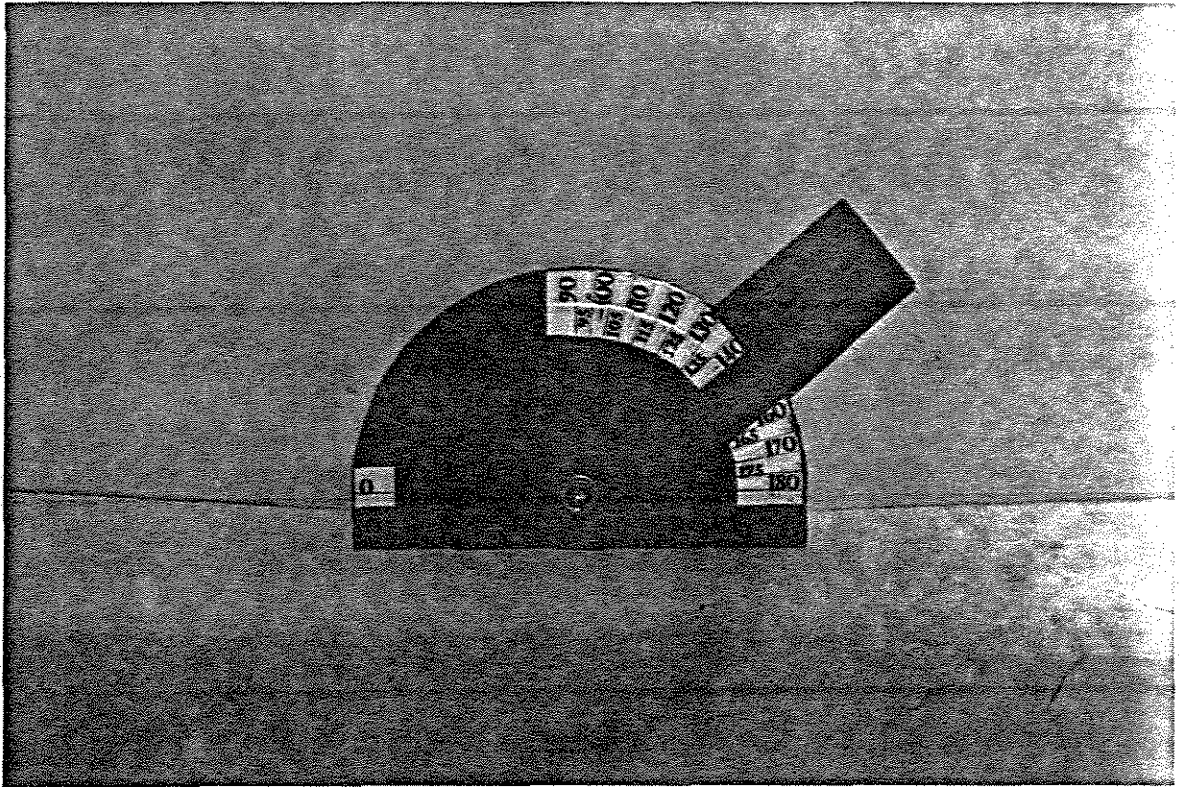


FIG. 2: Transferidor para determinação do ângulo de inversão

4.7.3 - Arado

Características observadas e medidas no implemento:

- marca: IKEDA;
- modelo: AIV-2R ou MF-2R;
- ferramentas: duas aivecas de superfície recortada com formato semi-helicoidal;
- sucção vertical: 8 mm;
- sucção lateral: 5 mm;

- Siga 1/2 de ataque: 20°;

- Siga 1/2 de corte: 40°;

- comprimento da relha: 0,50 m;

- largura de corte da ferragem: 0,70 m;

- largura de corte do implemento: 0,40 m;

- comprimento do rasbo: 0,40 m;

- roda de controle de profundidade: 2,15 m de largura e

3,05 m de diâmetro externo (material: aço);

- pelo catálogo do fabricante: peso = 421 kg, potência

nominal da barra = 52,7 Kw e largura de corte total

0,70 m;

- eixos: tubular de seção quadrada vazada;

- eixo: eixo montado fixo;

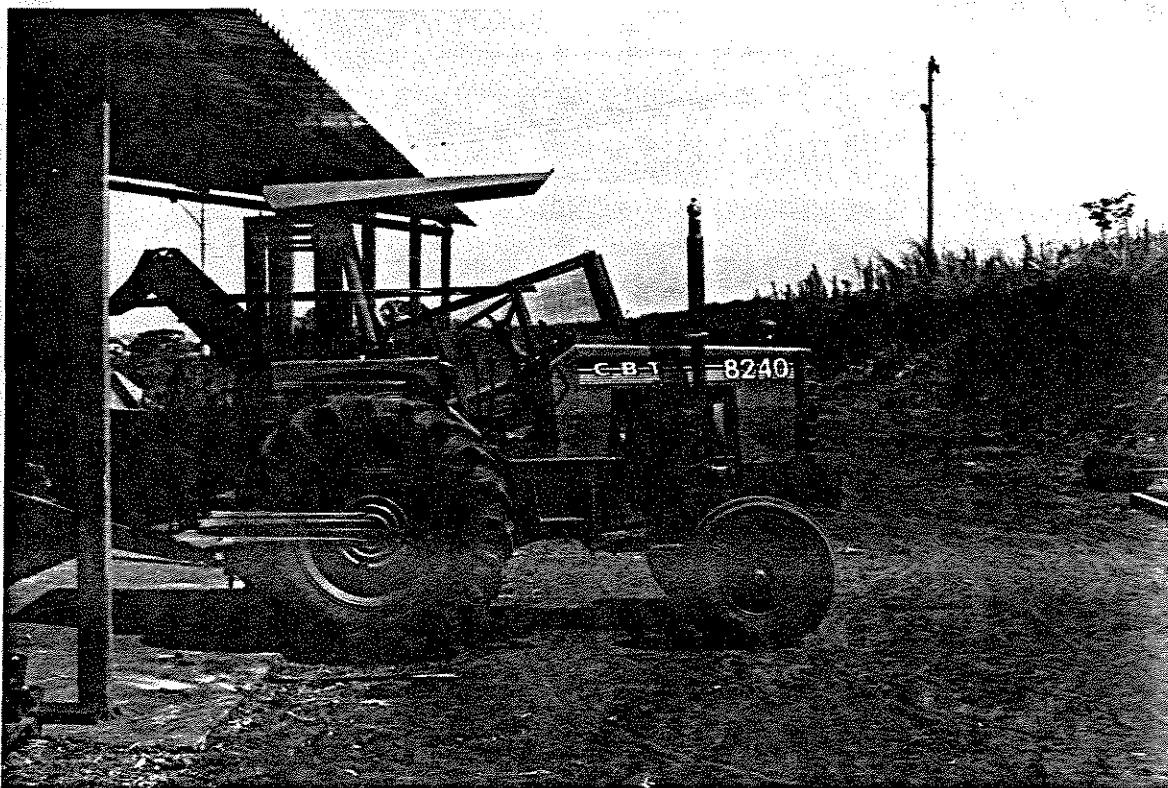


FIG. 3: Trator utilizado no experimento de campo

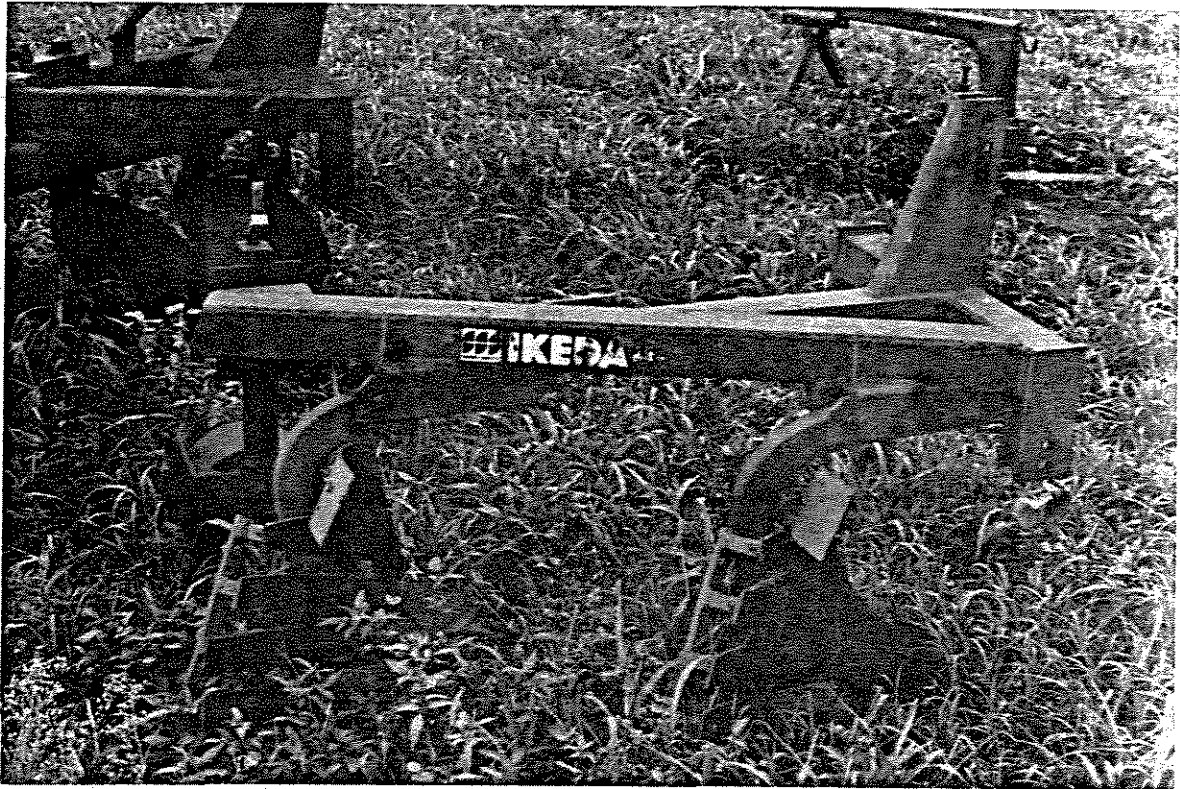


FIG. 4: Vista geral do arado de alveca

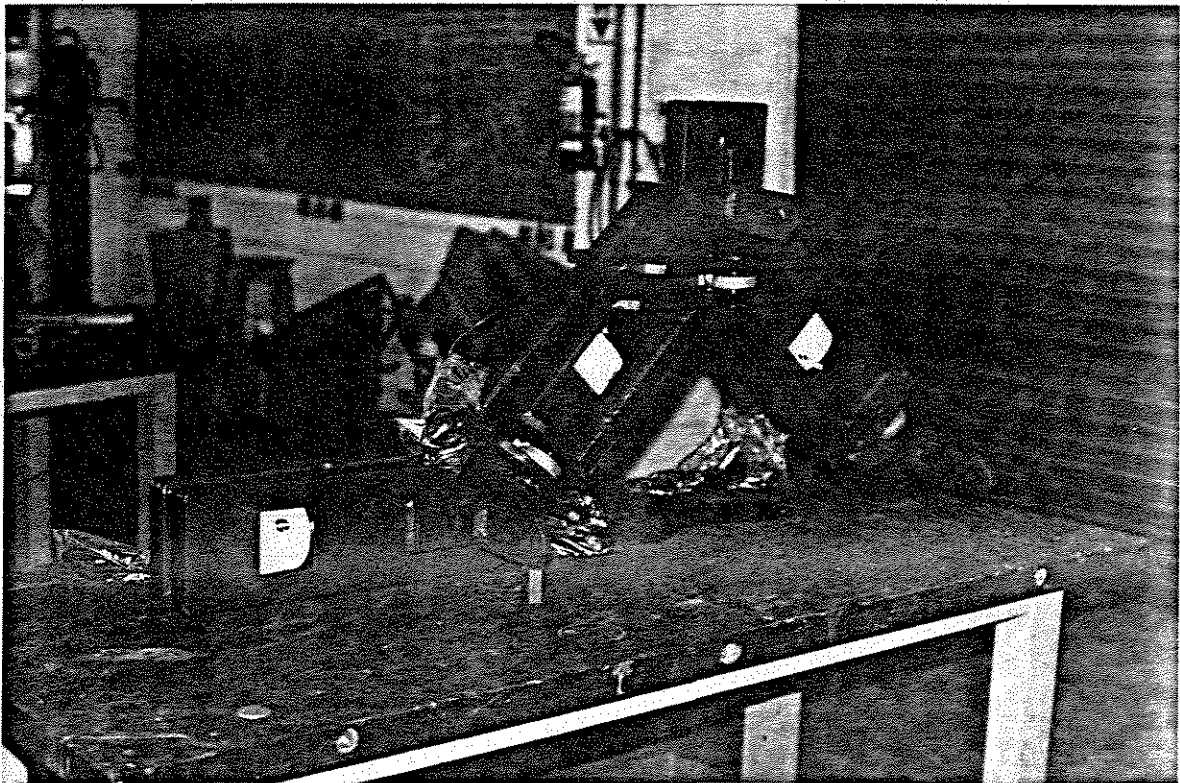


FIG. 5: Vista geral do DGP

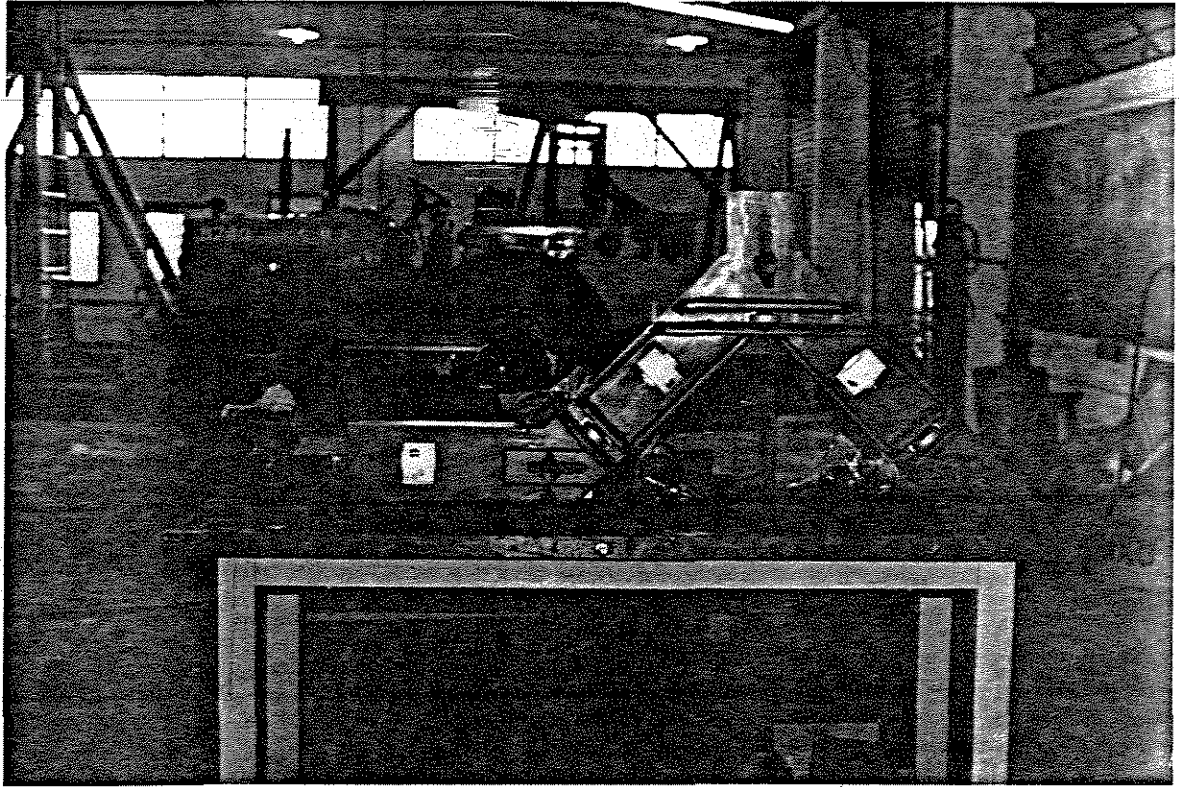


FIG. 6: Vista frontal do D3P - lado do implemento

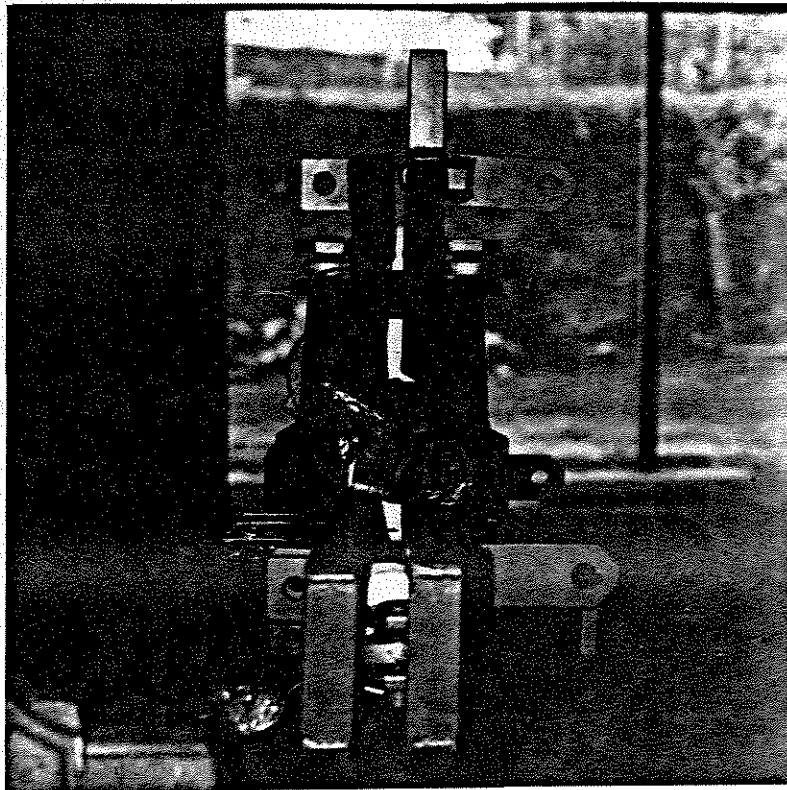


FIG. 7: Vista lateral do D3P

4.7.4 - Instrumentação empregada:

Utilizou-se um módulo Condicionador de Sinais para aquisição dos dados fornecidos pela DGP, um gravador de fita magnética para registro dos dados, fonte de alimentação do gravador e uma bateria automotiva para alimentação dos Condicionadores de Sinais.

a) Módulo Condicionador de Sinais

Este módulo condiciona os sinais e cada um tem por função amplificar o sinal de voltagem de sua respectiva célula de carga, fornecer uma saída em tensão (-0,50 a +0,50 V DC) e apresentar num mostrador digital o valor de voltagem oriundo da célula. Uma vista geral pode ser observada através da FIGURA 8 e maiores detalhes podem ser vistos no item 5.2.

b) Gravador de fita magnética

Foi utilizado um gravador em fita K-7 da marca KYDWA, modelo "510-B", de seis canais, sendo seis canais para o registro dos sinais analógicos de voltagem das células e um canal para registro da voltagem operadora. Veja FIGURA 9.

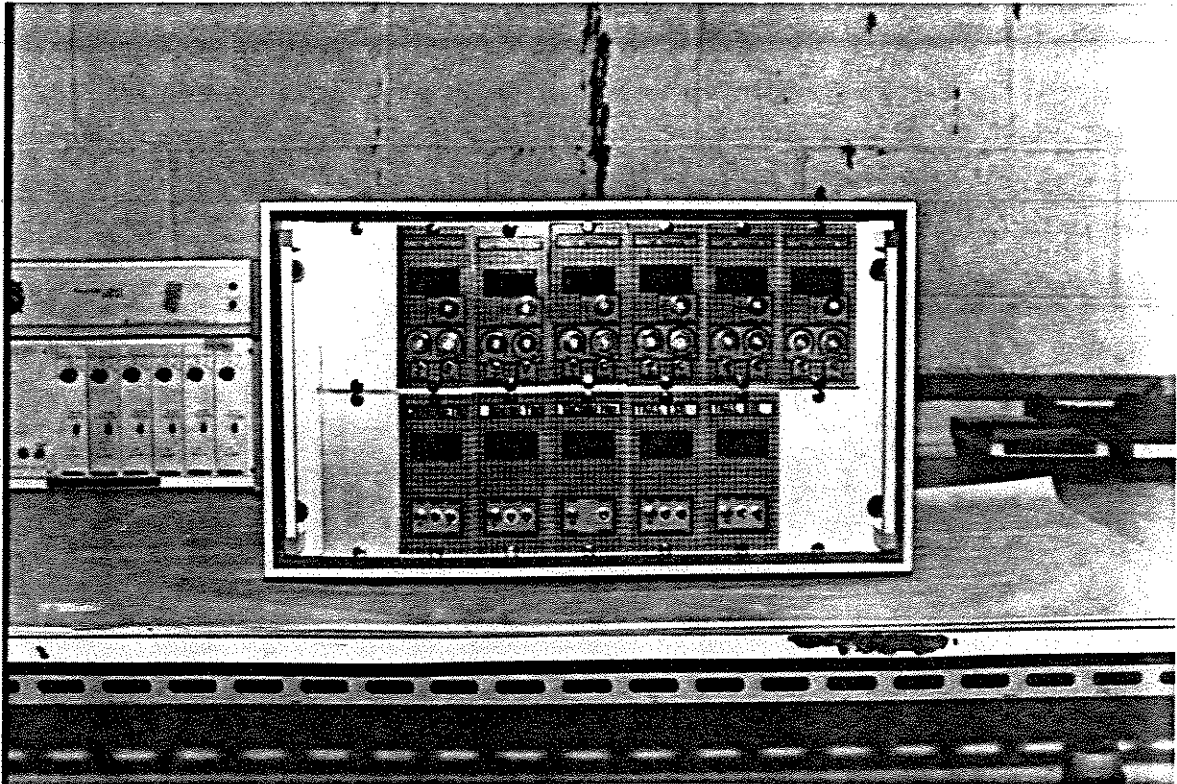


FIG. 8: Condicionadores de Sinais do DDP

Este gravador é adequado para instalação nos veículos "off road".

A fita k-7 utilizada é do tipo comercialmente disponível para gravadores de audio e sua velocidade foi ajustada para 9,52 cm/s. Características principais:

- alimentação: 12 V DC, 3,9 A;
- gravação e reprodução de sinais DC com até 5 kHz;
- velocidades da fita: 19,05, 9,52 e 1,90 cm/s;
- relações sinal/ruído: 46 dB a 9,52 cm/s e 42 dB a 1,90 cm/s;
- sinal de entrada: 1-10 V DC com 100 kohms;
- não linearidade: $\pm 1\%$;

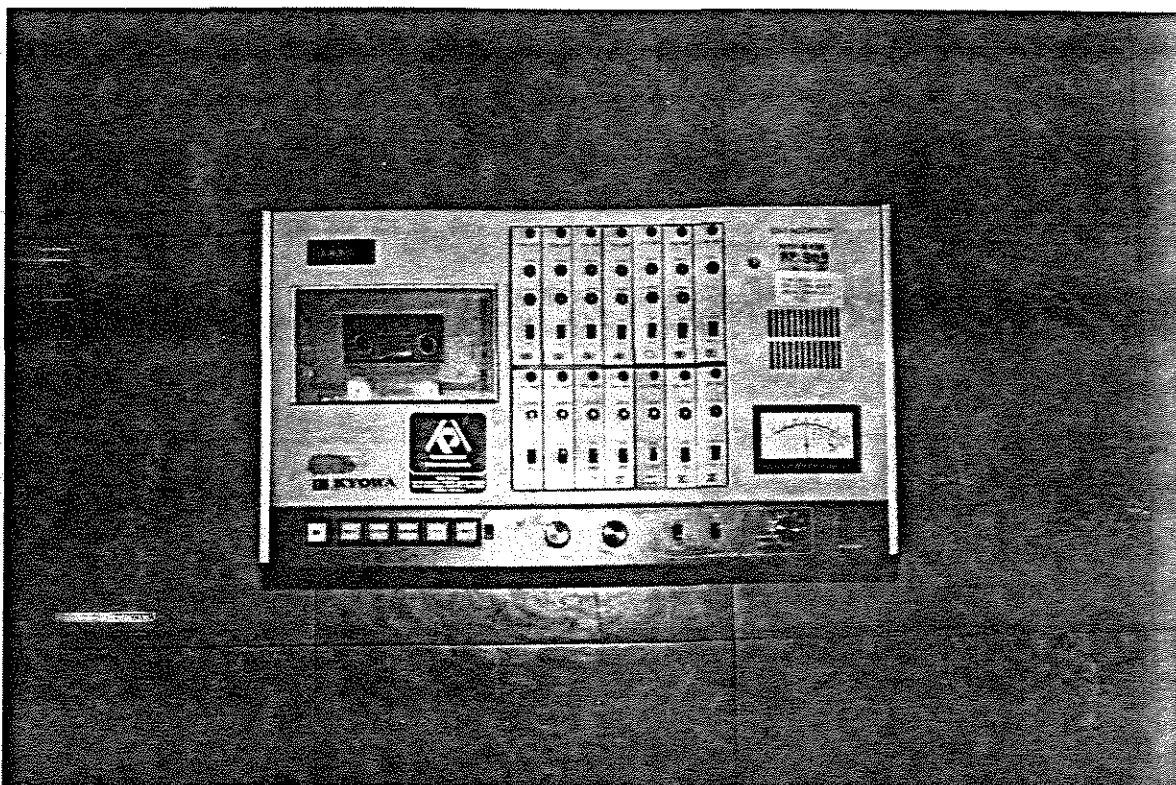


FIG. 9: Gravador de fita k-7 para registrar os sinais do DTP

c) Fonte de alimentação do gravador

Acompanha o gravador, uma fonte de alimentação com entrada de 110 V CA e saída de 12 V CC, conforme FIGURA 10.

Para sua utilização, empregou-se um conversor de 12 V CC para 110 V CA que, conectado à fonte, possibilitou a alimentação do gravador à partir da bateria do trator.

d) Bateria

Utilizou-se uma bateria de 12 V CC e 36 Ah para alimentação do Módulo De Decodificador de Sinais uma vez que o

potencial elétrico do terra. O Módulo 1 difere do 2o empregado no gravador.

Este artifício evita que os sinais elétricos originados nos canais analógicos do Módulo Condicionador de Sinais fossem alterados ao serem registrados pelo gravador.

4.7.6- Interface

Foi utilizada uma interface para conversão analógico-digital dos dados registrados no canal digital.

A interface é da marca 800 Microsystems, modelo PCL711B e possui as seguintes características:

- 12 bits de bits para entradas de sinais analógicos compreendidos na faixa de -5 a +5 V DC;

- resolução de faixa: 12 bits;

- limite de proteção das entradas: ± 30 V DC;

- tipo de conversão A/D: aproximação sucessiva;

- tempo de conversão: 25 microssegundos;

- precisão: 0,015% de leitura, ± 1 bit.

4.7.6 - Interligação de Várias Unidades Instrumentais

O que adota Módulo Condicionador de Sinais, Fonte e Converter são as unidades eletrônicas individuais e interligadas

às vibrações mecânicas oriundas do deslocamento do trator sobre o terreno.

Com o fim de isolá-los destas vibrações, construiu-se uma gaiola metálica dotada de uma suspensão de coxins de borracha e, fixada ao trator, atenuavam as vibrações e seus efeitos danosos aos aparelhos de medição e registro.

5 - DINAMOMETRO DE ENGATE DE TRÊS PONTOS (D3P)

Solicitado pelo IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná, o D3P foi projetado e desenvolvido na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, pela equipe composta pelos professores Nelson L. Capelli, Cláudio B. Sverzut e pelo acadêmico Geraldo Ferretti, com recursos financeiros da Fundação Tropical/IAPAR.

5.1 - Princípios de funcionamento

Baseia-se no projeto desenvolvido por SMITH & BAKER (1982) e constitui-se basicamente de seis células de cargas axiais, fixadas e dispostas entre duas estruturas metálicas, responsáveis pela união trator-células-implemento, de modo que suportem as forças e momentos associados gerados por implementos montados em operação.

O D3P, projetado e desenvolvido pela FEAGRI, possui uma inovação na geometria de sua estrutura. Esta inovação é representada pela localização da célula nº 6 que permite o

ensaio de máquinas agrícolas que necessitam do uso da tomada de potência do trator (TDP).

As células de carga possuem extremidades rotuladas, evitando-se assim, a transmissão de momentos ao seu interior. Portanto, estão submetidas apenas a cargas axiais de tração ou compressão.

Na FIGURA 10 tem-se um esquema simplificado onde pode-se observar a disposição das células, convergências dos eixos ortogonais e principais dimensões.

5.2 - Determinação das forças atuantes no implemento

Fazendo-se uma análise estática das somatórias das forças nas direções x, y e z tem-se:

$$\text{Força de Tração: } F_x = F_1 + F_3 + F_5$$

$$\text{Força Lateral: } F_y = (F_2 - F_4) \cdot \cos \beta + F_6$$

$$\text{Força Vertical: } F_z = -(F_2 + F_4) \cdot \sin \beta$$

onde: F_1, \dots, F_6 -> forças atuantes nas células 1 a 6 respectivamente;

$\beta = 45^\circ$ -> ângulo formado entre as direções que contém as células 2 e 6 ou 4 e 6.

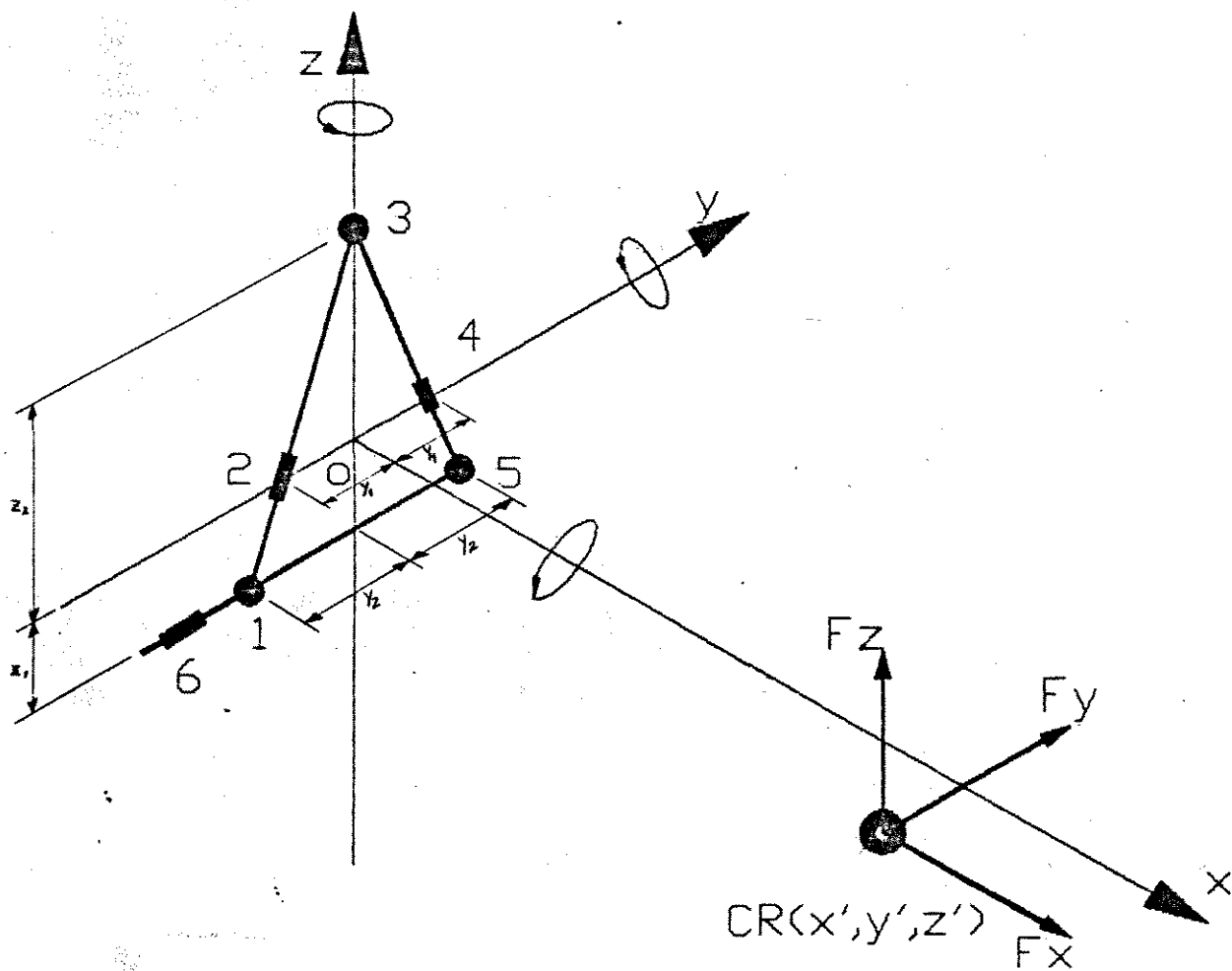


FIG. 10: Esquema simplificado do D3F

onde: $y_1 = 0,24$ m $z_1 = 0,20$ m

$y_2 = 0,36$ m $z_2 = 0,12$ m

Para se obter F1, por exemplo, faz-se a leitura do mostrador digital do condicionador de sinais respectivo, durante as determinações de campo, em seguida aplica-se a curva de calibração da célula e finalmente, encontra-se F1.

Proceder-se analogamente para encontrar F2, ..., F6.

Neste trabalho, os dados obtidos em campo foram posteriormente digitalizados e as leituras médias dos condicionadores foram obtidas através de uma planilha eletrônica.

Este procedimento possibilita a aquisição de dados mais representativos dos testes de campo, visto que, as forças suportadas pelas células são dinâmicas.

5.3 - Determinação dos momentos associados

Com os valores de F1 a F6 e os parâmetros geométricos do D3P pode-se obter os momentos associados às forças por:

$$M_x = 0,17*(F_4 - F_2) + 0,20*F_6$$

$$M_y = 0,12*F_3 - 0,20*(F_1 + F_5)$$

$$M_z = 0,381*(F_1 + F_5)$$

5.4 - Determinação do Centro de Resistência (CR) das forças atuantes no implemento

Supondo-se que conhecemos os vetores no espaço tri-dimensional:

$F = (F_x, F_y, F_z)$ -> vetor força resultante;

$M = (M_x, M_y, M_z)$ -> vetor momento resultante.

E queremos conhecer o vetor posição:

$P = (x', y', z')$ -> centro de resistência do implemento.

Tem-se, fisicamente, que o momento é o produto de uma força por uma distância da mesma a um dado sistema de referência (O).

E que, matematicamente, no espaço tri-dimensional, o produto vetorial representa a grandeza física momento, ou seja:

$$F \times P = M$$

Pela fórmula desenvolvida de Laplace, tem-se simbolicamente:

$$F \times P = \begin{vmatrix} i & j & k \\ F_x & F_y & F_z \\ x' & y' & z' \end{vmatrix}$$

onde: $i, j, k \rightarrow$ base de vetores unitários ortogonais.

Desenvolvendo-se e igualando-se a M, tem-se:

$$\begin{bmatrix} 0 & -F_z & F_y \\ F_z & 0 & -F_x \\ -F_y & F_x & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix}$$

A matriz dos coeficientes do sistema linear possui determinante nulo. E portanto, o sistema linear é do tipo Incompatível ou seja, não admite solução.

E mais, os métodos matemáticos para redução à forma escada levam à obtenção de equações que são múltiplas entre si, confirmando o teorema do determinante nulo.

Portanto, não é possível determinar o centro de resistência (CR) de um implemento, utilizando-se o D3P.

5.5 - Determinação do peso do implemento

Utilizando-se o DGP com o arado suspenso e em repouso, pode-se determinar o peso do implemento.

As leituras fornecidas em mV pelas células C1 a C6 respectivamente foram: -189, 191, 416, 117, -205 e -064.

Estes valores, quando substituídos nas respectivas curvas de calibração fornecem:

$$F_1 = -832,10 \text{ kgf}; \quad F_2 = 391,17 \text{ kgf}; \quad F_3 = 1572,00 \text{ kgf};$$

$$F_4 = 235,04 \text{ kgf}; \quad F_5 = -825,32 \text{ kgf}; \quad F_6 = -130,79 \text{ kgf}.$$

Determinando-se as três componentes de forças, tem-se:

$$F_x = 14,48 \text{ kgf}; \quad F_y = 20,39 \text{ kgf}; \quad F_z = -442,80 \text{ kgf}.$$

Atribui-se o valor não nulo de F_x a dois fatores:

- a) pequenos desvios nos ajustes de ganho e balanço das células;
- b) sensibilidade cruzada do DGP.

Atribui-se o valor não nulo de F_y a três fatores:

- a) pequenos desvios nos ajustes de ganho e balanço das células;

- b) sensibilidade cruzada do DGP;
- c) centro de gravidade (CG) do arado deslocado em relação ao eixo de simetria longitudinal (eixo x) do DGP.

Quantificar a contribuição de cada um destes fatores requer o levantamento da sensibilidade cruzada do DGP.

Porém, este levantamento foge ao escopo desta Dissertação de Mestrado.

Possivelmente, pesquisas futuras viabilizarão a avaliação da sensibilidade cruzada do DGP e certamente fornecerão subsídios sobre a precisão dos dados de forças e momentos apresentados nesta Dissertação de Mestrado.

O valor de F_z aferido pelo DGP ($F_z = -442,80$ kgf) é 5,2% superior ao peso fornecido pelo fabricante (421,00 kgf) e pode-se atribuir este desvio aos fatores anteriormente citados.

5.6 - Determinação do centro de gravidade do implemento (CG)

Com o arado suspenso, em repouso e desprezando-se os valores já apresentados de F_x e F_y para esta situação, pode-se determinar a coordenada x' do CG por:

$$x' = (M_y/F_z) - S$$

onde: M_y e F_z -> dados fornecidos no item 5.5;

$S = -0,32$ m -> distância acrescida na direção do

eixo x entre o engate de três pontos do trator e o implemento, devido ao DGP.

Substituindo-se, temos $x' = 0,88$ m.

(obs.: comprimento longitudinal do arado: 1,70 m)

6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO:

6.1 - Velocidades de deslocamento do implemento

Pela TABELA 4 pode-se observar as velocidades de deslocamento do arado desenvolvidas nos testes de campo. A maior velocidade de deslocamento (6,26 km/h) é inferior à sua magnitude máxima desejada para fins dos testes (8,00 km/h). Isto sugere que seria mais adequado o uso de um trator 4x4 mais potente para a realização dos testes de campo.

TAB. 4: VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO (km/h)

TRAT Nº	PROF. (cm)	BLOCO			MÉDIA (km/h)
		I	II	III	
1	15	2,98	2,98	3,13	3,03
2	15	3,72	4,18	4,24	4,05
3	15	4,63	5,55	5,33	5,17
4	15	6,93	5,83	6,02	6,26
5	25	2,89	3,46	3,41	3,25
6	25	3,46	4,10	3,92	3,83
7	25	4,25	4,58	4,38	4,40
8	25	4,59	5,19	5,54	5,11

TRAT. 1 a 4 => $V_m = 4,63$ km/h e $CV = 28,31\%$

TRAT. 5 a 8 => $V_m = 4,15$ km/h e $CV = 18,67\%$

6.2 - Profundidade de aração

Pode ser observada pela TABELA 11. A profundidade de aração não foi satisfatoriamente variada em dois níveis diferentes (0,15 e 0,25 m).

Atribui-se esta ausência de controle da profundidade aos seguintes fatores:

- a) O trator operou com o sistema de reação hidráulica do terceiro ponto ativado;
- b) A grande quantidade de cobertura vegetal (93%) sobre a área experimental.

TAB. 11: PROFUNDIDADE DE ARAÇÃO (m)

TRAT. Nº	BLOCO			MÉDIA (m)
	I	II	III	
1	0,232	0,153	0,150	0,178
2	0,157	0,193	0,129	0,160
3	0,192	0,123	0,147	0,154
4	0,265	0,136	0,136	0,179
5	0,191	0,189	0,105	0,162
6	0,238	0,219	0,128	0,195
7	0,204	0,248	0,160	0,204
8	0,178	0,180	0,154	0,171

MÉDIA = 0,175 m - CV = 24,47%

6.3 - Cobertura vegetal

Pela TABELA 5 verificarse que a cobertura vegetal apresentava-se homogênea em toda a área do experimento com cerca de 93%.

TAB. 5: PERCENTUAIS DE COBERTURA VEGETAL E TESTE DE TUKEY

TRAT. Nº	I	BLOCO II	III	MÉDIA (%)	ALFA (1%)	ALFA (5%)
1	86	100	92	93	a	a
2	95	90	95	93	a	a
3	93	95	97	95	a	a
4	88	95	97	93	a	a
5	98	93	82	91	a	a
6	96	88	92	92	a	a
7	88	96	89	91	a	a
8	95	95	93	94	a	a

MÉDIA = 93% - CV = 4,60%

6.4 - Ângulo de inversão do solo

Pela TABELA 6 constata-se um ângulo de inversão médio de 149° e nenhuma variação em função dos tratamentos executados.

6.5 - Área de solo mobilizado

Através do TABELA 7 pode-se concluir que a área mobilizada não variou entre os tratamentos para ambos os níveis de significância do teste de Tukey. Esperava-se este

resultado, visto que o controle de profundidade de operação não foi satisfatório.

TAB. 6: ANGULO DE INVERSÃO DO SOLO (°) E TESTE DE TUKEY

TRAT. Nº	BLOCO			MÉDIA (°)	ALFA (1%)	ALFA (5%)
	I	II	III			
1	160	155	150	155	a	a
2	155	155	150	153	a	a
3	155	140	140	145	a	a
4	165	135	155	152	a	a
5	140	150	150	147	a	a
6	130	145	150	142	a	a
7	160	150	145	152	a	a
8	150	150	140	147	a	a

MÉDIA = 149°

CV = 5,60%

TAB. 7: AREA MOBILIZADA DO SOLO (m²) E TESTE DE TUKEY

TRAT. Nº	BLOCO			MÉDIA (m ²)	ALFA (1%)	ALFA (5%)
	I	II	III			
1	0,1623	0,1072	0,1054	0,1250	a	a
2	0,1100	0,1354	0,0907	0,1121	a	a
3	0,1343	0,0962	0,1016	0,1079	a	a
4	0,1856	0,0953	0,0949	0,1253	a	a
5	0,1340	0,1324	0,0739	0,1134	a	a
6	0,1672	0,1534	0,0895	0,1367	a	a
7	0,1426	0,1737	0,1123	0,1429	a	a
8	0,1246	0,1225	0,1076	0,1194	a	a

MÉDIA = 0,1221 m²

CV = 24,26%

A área mobilizada não diferiu significativamente em função da profundidade e velocidade de deslocamento. Porém constatou-se que suas médias variaram entre os blocos.

6.6 - Força de tração do implemento (Fx)

Na TABELA 8 observamos que a força de tração para todos os tratamentos variou aleatoriamente e apresentou uma média global de 1253 kgf.

Podem-se atribuir este resultado à restrita faixa de velocidades desenvolvidas durante os testes e/ou tipo e condições do solo locais do experimento de campo.

Finalmente a Análise de Variância indicou diferenças significativas para a força de tração em função da profundidade de tração e do bloco.

O comportamento de força de tração pode ser visto através dos ANEXOS 1 a 8 para os tratamentos do bloco I.

6.7 - Força lateral do implemento (Fy)

Pela TABELA 9, observa-se a reduzida magnitude da força lateral atuante no arado, a qual não houve variação significativa conforme o teste de Tukey. Apresentou um valor médio de -45 kgf para todos os tratamentos.

TAB. 8: FORÇA MÉDIA DE TRAÇÃO Fx (kgf) E TESTE DE TUKEY

TRAT. Nº	BLOCO			MÉDIA (kgf)	ALFA (1%)	ALFA (5%)
	I	II	III			
1	1046	1099	949	1031	a	a
2	2591	1561	1202	1785	a	a
3	1200	1045	1181	1169	a	a
4	910	1205	2003	1339	a	a
5	2073	471	560	1135	a	a
6	2008	916	1123	1449	a	a
7	1024	591	694	770	a	a
8	1087	1131	1033	1050	a	a

MÉDIA = 1253 kgf - CV = 46,21%

A Análise de Variância indicou que a força lateral variou em função da velocidade, profundidade, etc. entre blocos.

TAB. 9: FORÇA MÉDIA LATERAL Fy (kgf) E TESTE DE TUKEY

TRAT. Nº	BLOCO			MÉDIA (kgf)	ALFA (1%)	ALFA (5%)
	I	II	III			
1	-1	-15	1	-5	a	a
2	-49	-22	-47	-39	a	a
3	-59	-73	-124	-85	a	a
4	-52	-5	-109	-55	a	a
5	-92	-48	-13	-51	a	a
6	-58	-13	-38	-36	a	a
7	-59	-14	-57	-43	a	a
8	-82	-27	-40	-50	a	a

MÉDIA = -46 kgf - CV = 62,22%

Através dos ANEXOS 9 a 16 observar-se o comportamento da força lateral para os tratamentos do bloco I. Note que a força lateral oscila entre valores positivos e negativos.

Atribui-se este comportamento ao processo de fissuração do solo, à existência do rasto das aivecas e ao modo de condução do tratorista que constantemente corrige a direção de deslocamento do arado.

6.9 - Força vertical do implemento (F_z)

Através da TABELA 10, constata-se que houveram variações da força vertical ao nível de 5% de significância, e apresentaram um valor médio de -500 kgf. Este valor médio corresponde à força vertical somada ao peso do arado (442,80 kgf - obtido com a utilização do DSP).

A Análise de Variância indicou que a força vertical é influenciada pela profundidade, velocidade e suas combinações.

Seu comportamento pode ser apreciado nos ANEXOS 17 a 24. Note-se que o trator operou com a reação do terceiro ponto ativada.

TAB. 10: FORÇA MÉDIA VERTICAL Fz (kgf) E TESTE DE TUKEY

TRAT. Nº	BLOCO			MÉDIA (kgf)	ALFA (1%)	ALFA (5%)
	I	II	III			
1	-707	-710	-683	-700	a	a
2	-478	-533	-476	-496	b	b
3	-598	-557	-555	-570	b	b
4	-534	-566	-380	-493	b	b
5	-342	-424	-454	-407	b	c
6	-455	-468	-426	-450	b	b
7	-476	-515	-437	-476	b	b
8	-479	-487	-442	-469	b	b

MÉDIA = -508 kgf - CV = 8,32%

6.9 - Diâmetro Médio Geométrico dos torrões.

Através da TABELA 12, observa-se a variação do tamanho dos torrões gerados pelos tratamentos executados.

TAB. 12: DIÂMETRO MÉDIO GEOMÉTRICO DMG (mm) E TESTE DE TUKEY

TRAT. Nº	BLOCO			MÉDIA (mm)	ALFA (1%)	ALFA (5%)
	I	II	III			
1	27,61	18,89	5,45	17,32	a	a
2	24,93	14,69	12,72	17,45	a	a
3	22,95	21,33	15,51	19,93	a	a
4	16,67	10,24	9,98	12,30	a	a
5	16,61	9,25	5,23	10,36	a	a
6	9,49	19,01	7,00	11,83	a	a
7	16,66	12,55	8,49	12,57	a	a
8	7,1	16,67	9,50	11,09	a	a

MÉDIA = 14,11 mm - CV = 33,69%

Porém, pela FIGURA 11, observa-se uma tendência de diminuição do tamanho dos torrões em função dos tratamentos.

Portanto, o aumento da velocidade de deslocamento gerou um maior grau de mobilização do solo.

6.10- Densidade aparente seca do solo

Pelos dados coletados e apresentados na TABELA 10, observa-se a homogeneidade da densidade aparente de áreas experimental.

6.11- Forças e momentos obtidos com o DCP

Pelas TABELAS 13 e 14 são apresentados os dados relativos a todas as parcelas do experimento de campo.

Decidiu-se apresentar vinte e quatro gráficos das forças atuantes no implemento para os tratamentos do bloco I e tabular os resultados dos blocos II e III por considerar-se desnecessária a apresentação de todos os gráficos.

GRAFICO I: MF e DMG(mm)

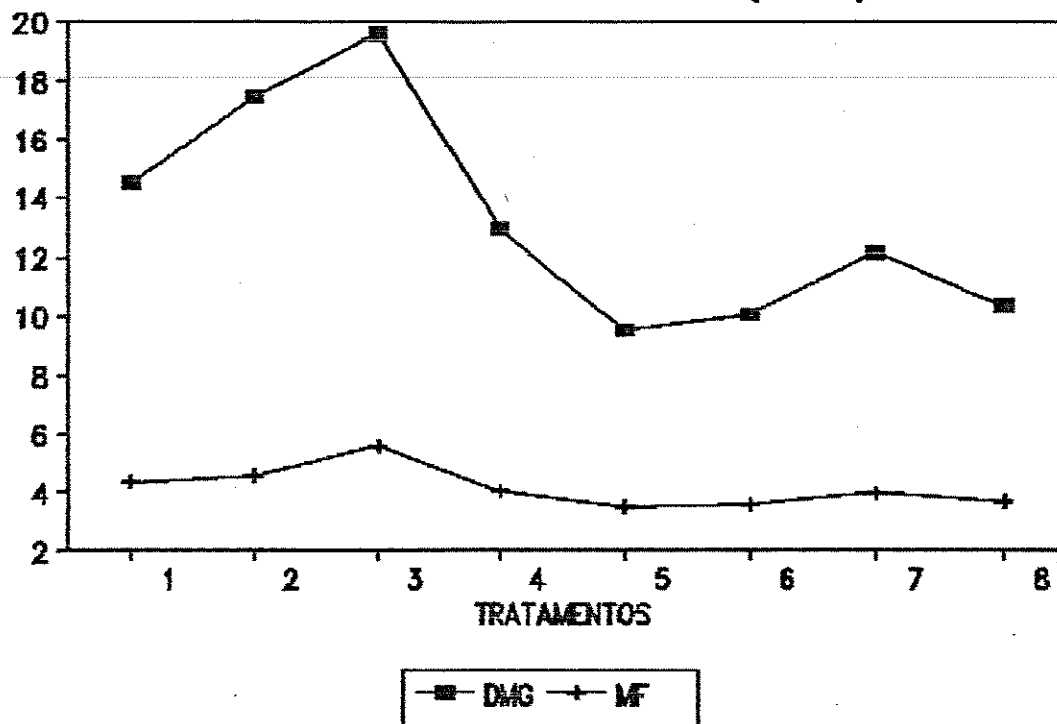


FIG. 11: Gráfico I: DMG e MF

TAB. 13: FORÇAS MÉDIAS (kgf) E MOMENTOS (kgfm).

TRAT.	FORÇAS (kgf)			MOMENTOS (kgfm)		
	F _{xm}	F _{ym}	F _{zm}	M _{xm}	M _{ym}	M _{zm}
1	1031	-5	-700	43	-906	-344
2	1785	-39	-496	20	-1347	-301
3	1169	-85	-570	-4	-1135	-251
4	1339	17	-493	37	-995	-286
5	1135	-42	-407	57	-1181	-279
6	1449	-28	-450	51	-1243	-325
7	770	-43	-476	59	-1076	-284
8	1350	-50	-469	54	-1242	-331

OBS: F_{xm}, F_{ym} e F_{zm} => média aritmética dos blocos I a III;
 M_{xm}, M_{ym} e M_{zm} => análogo às forças;

TAB. 14: ESFORÇOS OBTIDOS NOS TESTES DE CAMPO

TRAT	BLOCO								
	I			II			III		
	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz
1	2840	189	-1047	3160	190	-1013	1920	144	-962
	1046	-1	-707	1099	-15	-710	949	1	-683
	652	-203	-184	575	-342	-140	578	-179	-410
	295	61	139	311	69	125	133	50	97
2	7286	156	-877	4726	169	-976	3471	118	-849
	2591	-49	-478	1561	-22	-533	1202	-47	-476
	517	-356	0	542	-319	-113	474	-269	0
	2076	97	215	955	89	169	652	70	163
3	6766	138	-1216	3206	74	-849	2726	269	-834
	1280	-59	-598	1045	-73	-557	1181	-124	-555
	-175	-209	0	474	-237	-339	443	-552	-127
	1022	91	242	412	55	110	430	147	127
4	2582	110	-735	4342	242	-891	7400	409	-693
	810	-52	-534	1205	-5	-566	2002	-109	-380
	314	-321	-255	117	-260	-11	400	-382	-453
	315	69	96	859	75	145	1660	119	327
5	6862	95	-792	1462	102	-636	2622	144	-707
	2373	-92	-342	471	-48	-424	560	-13	-454
	305	-438	-71	12	-230	-255	166	-115	-170
	1469	87	185	176	45	66	328	48	96
6	7197	186	-905	5382	221	-721	3542	96	-764
	2308	-58	-455	916	-16	-468	1123	-38	-426
	-1037	-336	-14	-228	-190	-99	302	-163	-71
	1617	93	181	962	63	113	630	55	130
7	4062	211	-834	954	153	-792	2342	121	-651
	1024	-59	-476	591	-14	-515	694	-57	-437
	351	-222	-113	243	-141	-269	172	-270	-212
	808	60	138	144	45	90	345	58	83
8	5542	192	-806	4142	211	-834	4622	187	-750
	1887	-62	-479	1131	-27	-487	1033	-40	-442
	468	-303	-85	268	-295	-184	354	-191	-127
	1310	92	135	841	73	110	676	65	109

OBS: Em cada célula da tabela tem-se: valor máximo, médio, mínimo e desvio padrão de cima para baixo.

6.12- Reações do solo sobre o arado

Através do gráfico da FIGURA 39 pode-se observar o comportamento da força de tração (F_x), força lateral (F_y) e vertical (F_z) em função das velocidades desenvolvidas pelo conjunto trator-implemento.

A força de tração apresentou uma tendência de diminuição para velocidades contidas no intervalo de 4,4 a 5,2 km/h. Porém, uma quantidade maior de testes de campo seria necessária para a confirmação estatística desta tendência.

A força lateral do implemento apresentou valores próximos de zero, evidenciando o adequado dimensionamento do rasto das aivecas para exercerem a força de reação necessária ao equilíbrio do arado em operação.

A força de tração sofreu influência da velocidade de trabalho e apresentou valores reduzidos para velocidades contidas no intervalo de 4,4 a 5,2 km/h. Esta tendência foi confirmada pela Análise de Variância.

6.13- Distribuição do tamanho dos torrões e agregados por classe

Pela FIGURA 36, observa-se a distribuição dos torrões e agregados por classe de tamanho em ordem crescente dos valores da menor classe de tamanho (0-3,175 mm).

Pode-se observar que os tratamentos T4 e T8, que foram executados com as maiores velocidades de deslocamento, para as profundidades ajustadas de 0,15 e 0,25 m respectivamente, realizaram o mais alto grau de mobilização do solo.

GRAFICO II:

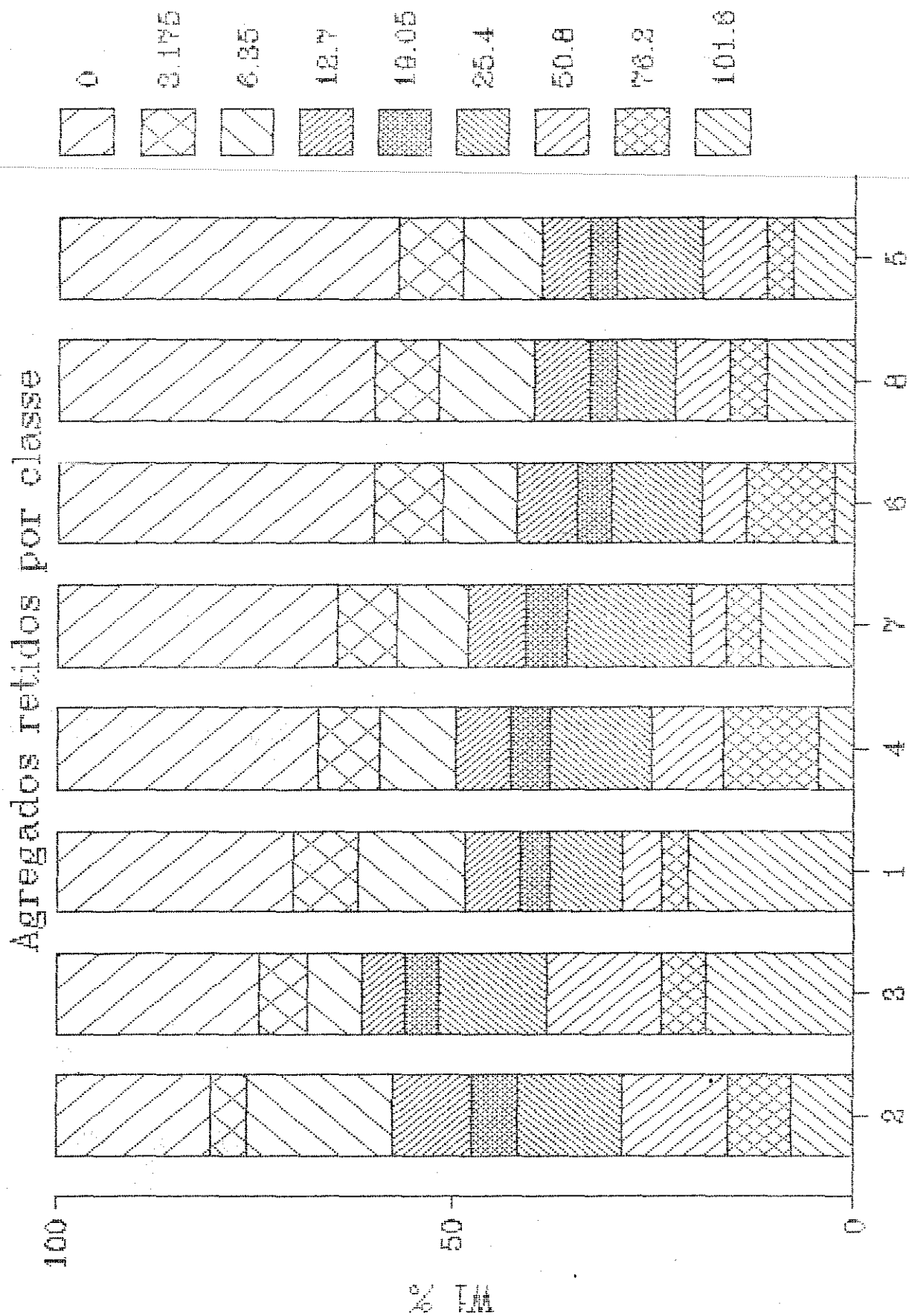


FIGURA 36

TRATAMENTOS

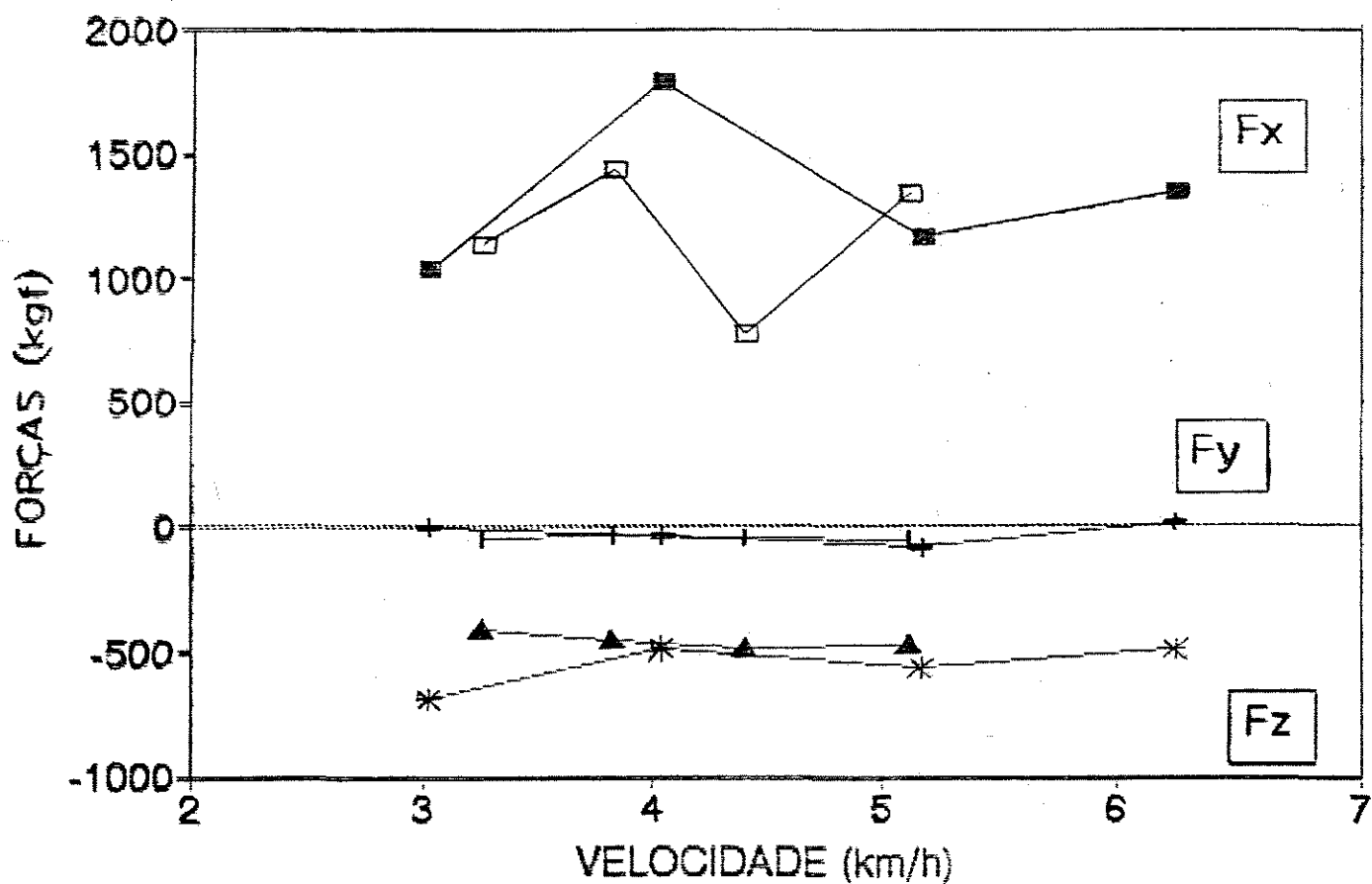


Fig. 39: REACOES DO SOLO
SOBRE O ARADO

□ — + — ▲ — profundidade 0.25 m
 ■ — + — * — profundidade 0.15 m

7 - CONCLUSÕES FINAIS:

A avaliação do desempenho de um arado de aivecas proposta neste trabalho conduziu às seguintes conclusões:

a) O Diâmetro Médio Geométrico (DMG) do solo não variou significativamente em função das velocidades e profundidades desenvolvidas na aração. Porém, a FIGURA 11 indica uma tendência de diminuição do DMG para a maior velocidade de deslocamento;

b) A profundidade de operação não afetou significativamente os parâmetros de DMG, área mobilizada e força de tração pois a grande quantidade de cobertura vegetal e a reação hidráulica do terceiro ponto do trator ativada, impediram sua variação nos níveis desejados;

c) A força vertical do implemento mostrou-se influenciada pela profundidade e velocidade através de Análise de Variâncias;

d) Pode-se observar uma tendência de redução do esforço de tração para velocidades entre 4,4 e 5,2 km/h;

e) A força lateral do arado não variou em função da velocidade, da profundidade e mesmo entre blocos. Este fato evidencia um bom equilíbrio das forças laterais exercido pelo rasto das aivecas. Demonstra portanto, um adequado dimensionamento do tamanho do rasto e do parâmetro de sucção lateral das aivecas:

h) O ângulo de inversão da leiva de solo não variou em função da velocidade, profundidade e entre blocos do experimento. Este fato pode ser atribuído à metodologia empregada e/ou tipo e condições do solo da área experimental.

i) A utilização de um trator 4x4 mais potente e um número maior de parcelas experimentais contribuiriam para um melhor delineamento do comportamento do implemento avaliado:

8 - ABSTRACT

The performance of a mouldboard plough was evaluated varying the speed of travel and depth of ploughing regarding the size of clouds of the soil, inversion angle, forces and moments upon implement. A Three-Point Linkage Dynamometer was developed and used to measure forces and moments applied during ploughing. The collected datum were: dry bulk density, moisture content, residue crop cover, disturbed soil profile, speed of travel and forces. Reduced values of draft force are obtained by speeds between 4,4 and 5,2 km/h for this type and soil conditions. The clouds size are influenced by increasing the speed of travel among treatments. The lateral force of implement is next to zero, indicating an adequate design of the landside. There weren't variation of inversion angle in respect to the treatments. It may be due to the methodology applied and the type and soil conditions. The vertical force was affected by speed of travel and depth of ploughing. This fact is indicating by Variance Analisis.

9-REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

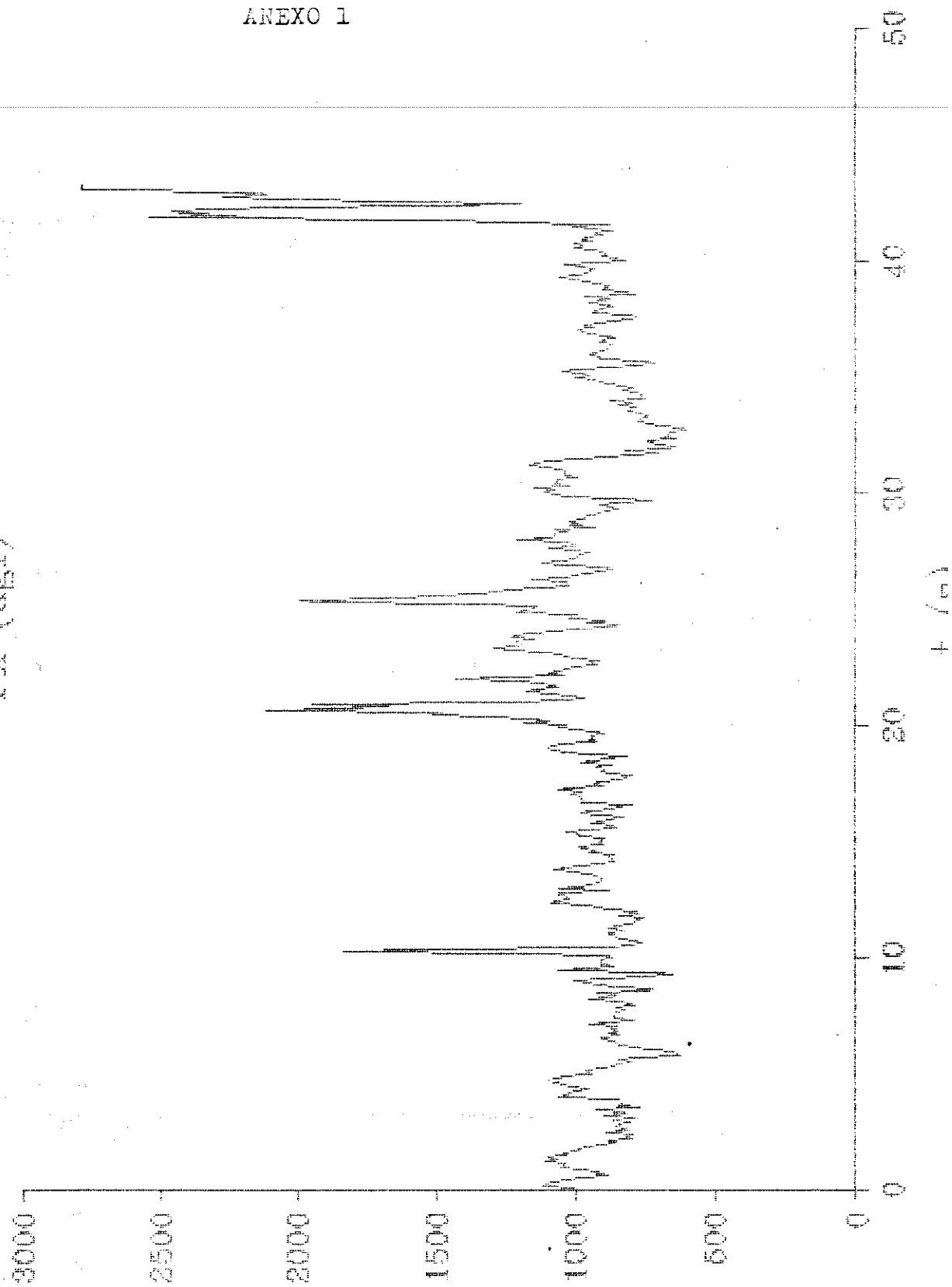
- BALASTREIRE, L.A. Preparo Periódico do Solo. In: _____ Masqui-
nas Agrícolas. 1 ed., Brasil, Editora Manole Ltda, 1967, ,
Cap.4, p80-100.
- BATEMAN, H.P.; NAIK, M.P.; YODERGER, R.R. Energy Required
to Pulverize Soil at Different Degrees of Compaction.
Journal of Agricultural Engineering Research, 10(2):
132-41, 1965.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Serviço Nacional de
Pesquisas Agrônômicas. Comissão de Solos. Levantamento
de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo.
Rio de Janeiro, 1960. 634p. (Boletim, 12).
- CARLSON, E.C. Plows and Computers. Agricultural
Engineering, 42: 292-5, 307, 1961.
- CLYDE, A.W. Force Measurements Applied do Tillage Tools.
Transactions of the ASAE, 4(2):153-7, 1961.
- COWELL, P.A. & FALLAK, S.S. A Theory for the Dynamic
Behavior of Mouldboard Ploughs During Penetration.
Journal of Agricultural Engineering Research, 21(1):
313-23, 1976.
- CULPIN, C. Tillage. In: _____ Farm Machinery. 11 ed.
Great Britain, Collins Professional and Technical books,
1986. Cap.3, p.55-60.
- GAMERO, C.A. Desagregação do solo em diferentes métodos de
preparo. Apresentado no CONGRESSO BRASILEIRO DE
ENGENHARIA AGRÍCOLA, 10., Recife, 1959, 15p.
- GILL, W.R. & MCCREERY, W.F. Relation of Size of Cut to
Tillage Tool Efficiency. Agricultural Engineering,
42:372-4, 381, 1960.
- GILL, W.R. & VANDEN BERG, G.E. Soil Dynamics in Tillage
and Traction. Washington, United States Department of
Agriculture, 511p, 1968.

- GIRMA, G. Multicomponent Dynamometer to Measure Forces on Plough Bodies. Journal of Agricultural Engineering Research, 42(2):85-6p., 1989.
- JOHNSON, C.E. & VOORHEES, W.B. A Force Dynamometer for Three-point Hitches. Transactions of the ASAE, 22(2): 226-8, 232, 1979.
- KAUFMAN, L.D. & TOTTON, D.S. Development of an Inverting Moldboard Plow. Transactions of the ASAE, 15(1): 55-60, 1972.
- KEPNER, R.A. Principles of Farm Machinery. 3 ed. Westport, Conn. Avi, 527p., 1982.
- LAL, R. Measurement of Forces on Mounted Implements. Transactions of the ASAE, 2(1): 109-11, 1959.
- LAFLEN, J.T.; AMEMIYA M.; HINTZ M. Measuring crop residue cover. Journal of Soil and Water Conservation, Ankey, Iowa, v.36, n.6, p341-43, Nov/Dez, 1981.
- MATTOS, P.C. Sistema de Medição de Forças em Engates de Máquinas Agrícolas de Acoplamento por Três Pontos. Tese não publicada para obtenção do título de Doutor junto à Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, 1972.
- MCKYES, E. Soil Cutting and Tillage. in: ___ Soil Cutting Forces. 1 ed., Canada, Elsevier Science Publishers B.V., 1985, Cap.3, p81-3.
- NICHOLS, M.L.; REED, I.F.; REAVES C.A. Soil Reaction to Plow Share Design. Agricultural Engineering, 39: 336-9, 1958.
- O'CALLAGHAN, J.R. & MCCOY, J.G. The Handling of Soil by Mouldboard Ploughs. Journal of Agricultural Engineering Research, 10(1):23-35, 1965.
- PINHO, N.J.F.; SOUZA, M.M.S.; LOPES, J.C.; GAMERO C.A. Arado de aivecas: desempenho em função do tamanho das relhas e da presença ou não de fio nas relhas. in: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Recife-PE, 1989. Resumo, CENEA/MA.
- QUIDONG, G.; PITT, R.E.; RUINA, A. A Model to Predict Soil Forces on the Plough Mouldboard. Journal of Agricultural Engineering Research, 35(1): 141-55, 1986.
- REID, J.T.; CARTER, L.M.; CLARK, L.R. Draft Measurements with a Three-Point Hitch Dynamometer. Transactions of the ASAE, 28(1):89-93, 1985.

- RICHEY, C.B. Design and Development of a Semimounted Reversible Plow. Transactions of the ASAE, 12(4): 519-21, 1969.
- SCHOLTZ, D.C. A three-point Linkage Dynamometer for Mounted Implements. Journal of Agricultural Engineering Research, 9(2):252-8, 1964.
- SCHOLTZ, D.C. A three-point Linkage Dynamometer for Restrained Linkages. Journal of Agricultural Engineering Research, 11(1):33-7, 1966.
- SHIPEN, J.M.; ELLIN C.R.; CLOVER, C.H. Ploughs. in: _____ Basic Farm Machinery. 3 ed., Great Britain, A. Wheaton & Co. Ltda., 1990. Cap.14, p133-45.
- SMITH, L.A. & BARKER, G.L. Equipment to Monitor Field Energy Requeriments. Transactions of the ASAE, 25(1): 1556-59, 1982.
- SOUZA, M.M.S.; LOPES, J.C.; PINHO, N.J.F.; GAMERO, C.A. Desempenho Comparativo entre arado de discos e arado de aivecas. in: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRICOLA, Recife-PE, 1989. Resumo, CENEA/MA.
- SOUZA, W.R. Subsolador: influência de parâmetros geométricos na distribuição das forças. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, 105p, 1989.
- STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. Principles and Procedures of Statistics - A Biometrical Approach. McGraw-Hill Company, NY, 1980.
- VANDEN BERG, G.E. Analysis of Forces On Tillage Tools. Journal of Agricultural Engineering Research, 11(3): 201-5, 1966.
- WAINWRIGHT, R.P.; WESLEY, F.B.; STEPHEN, J.M.; WILLIAM, I.B. A Variable Approach-Angle Moldboard Plow. Transactions of the ASAE, 26(1):392-5, 1983.
- WANG, J.K. & KWANG, L. Predicting Mouldboard Plow Draft in Different Processed Soils. Transactions of the ASAE, 16(5):851-4, 1973.
- WENDELL, B.; BENJAMIN, A.J.; ELWOOD, F.D. Tillage Machinery. in: _____ Engineering Applications in Agriculture. 4 ed., EUA, Stipes Publishing Company, 1973, p222-9.

ANEXO 1

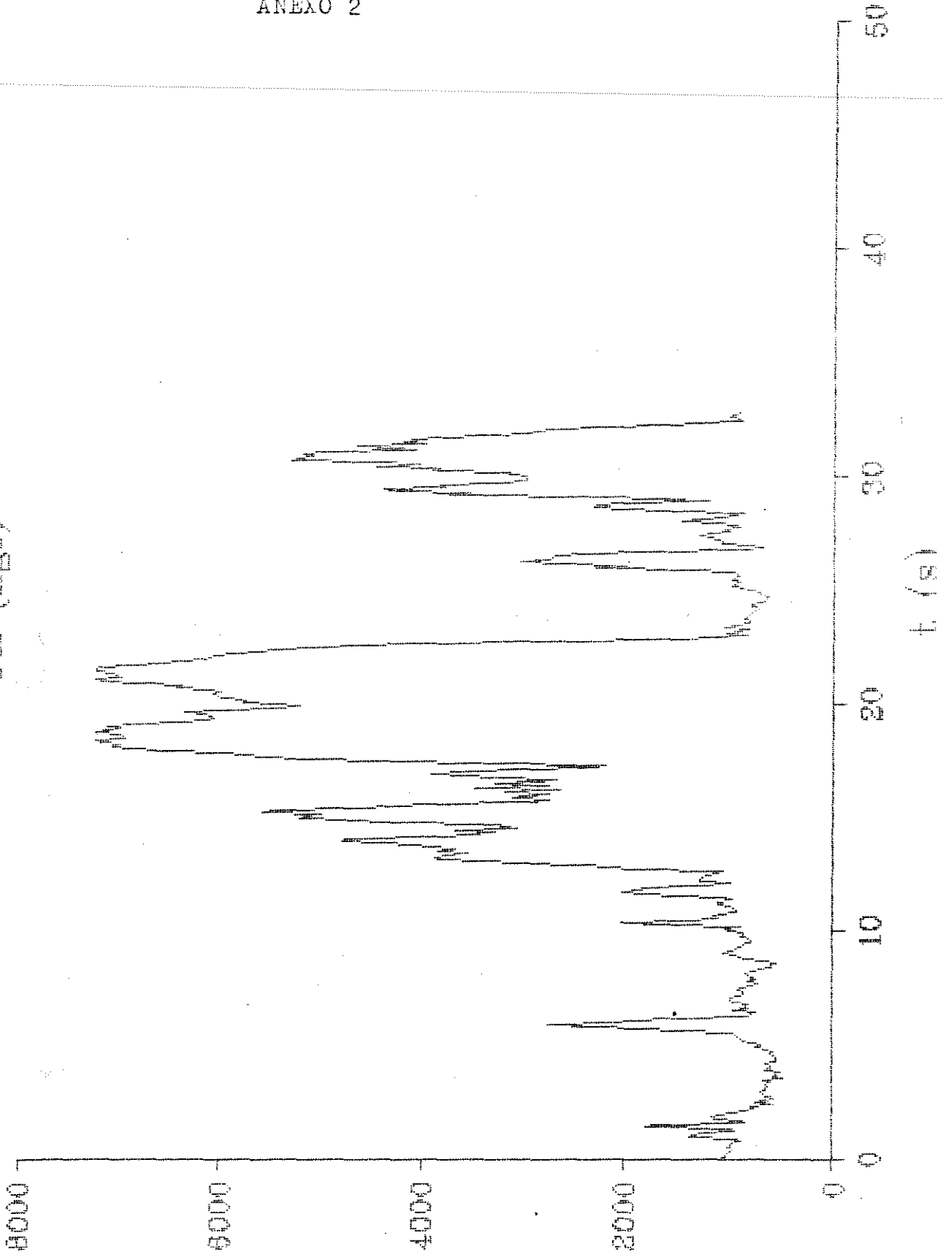
TIBI
EX (kgf)



ANEXO 2

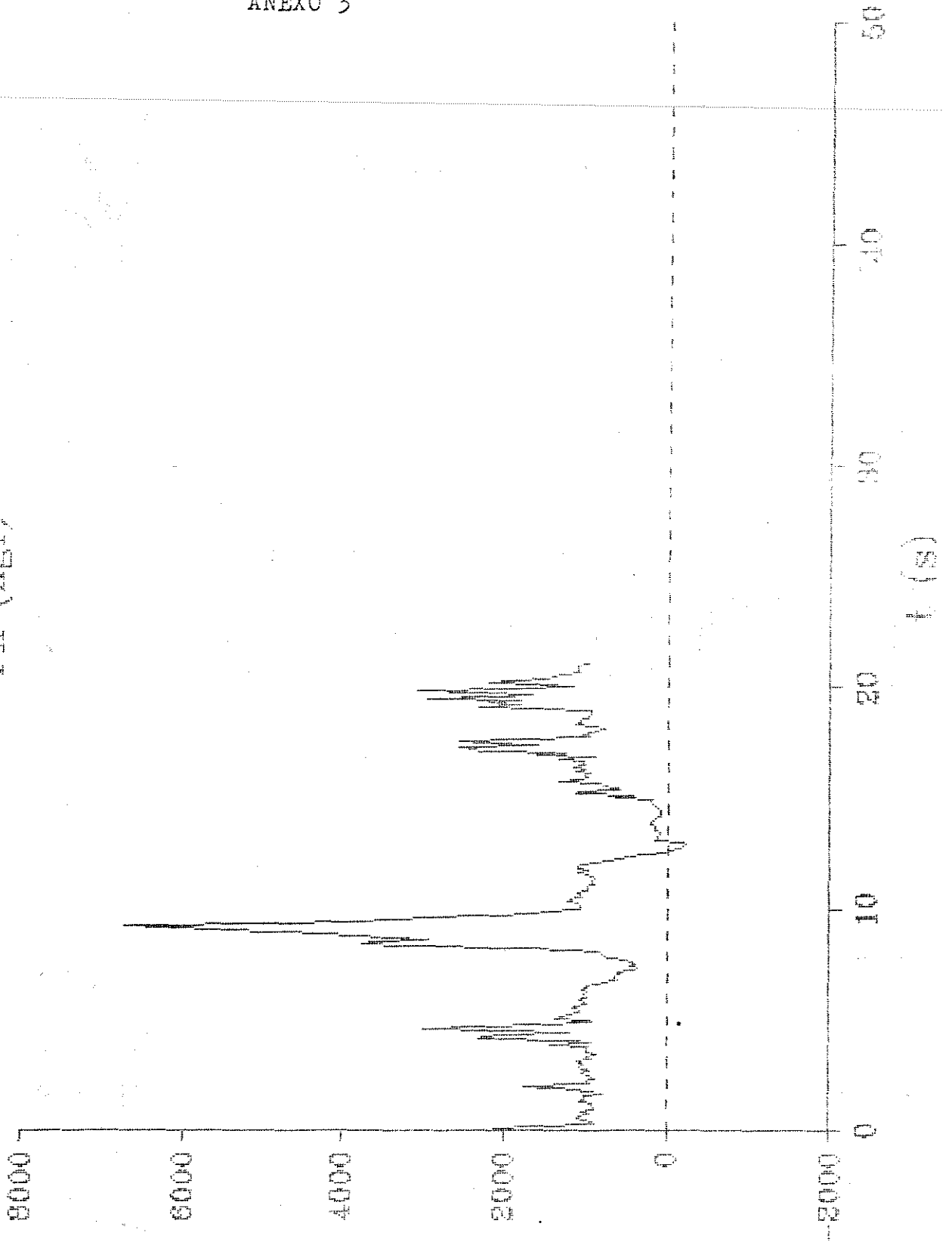
T2B1

Fz (kgf)



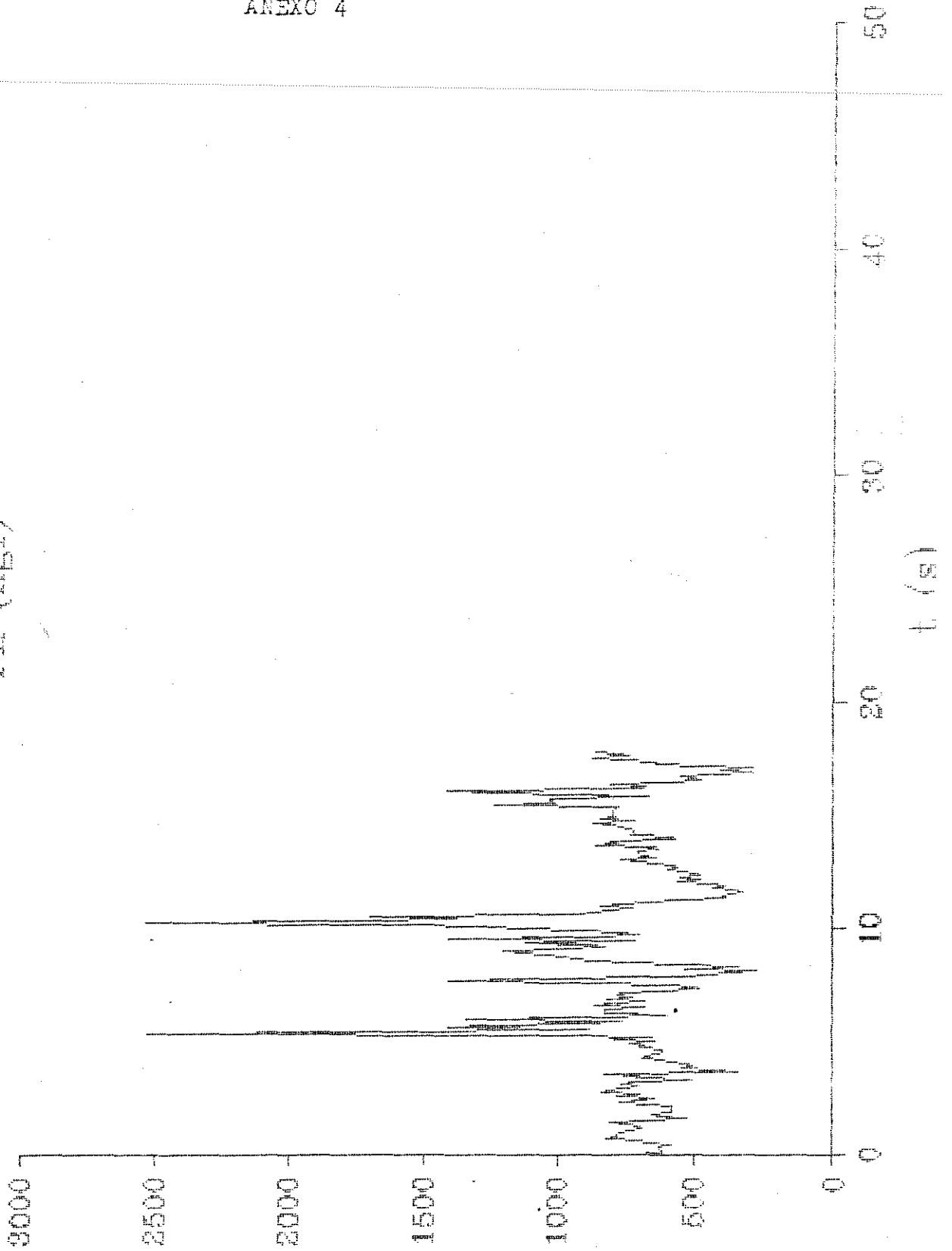
ANEXO 3

T3B1
Fz (kef)



ANEXO 4

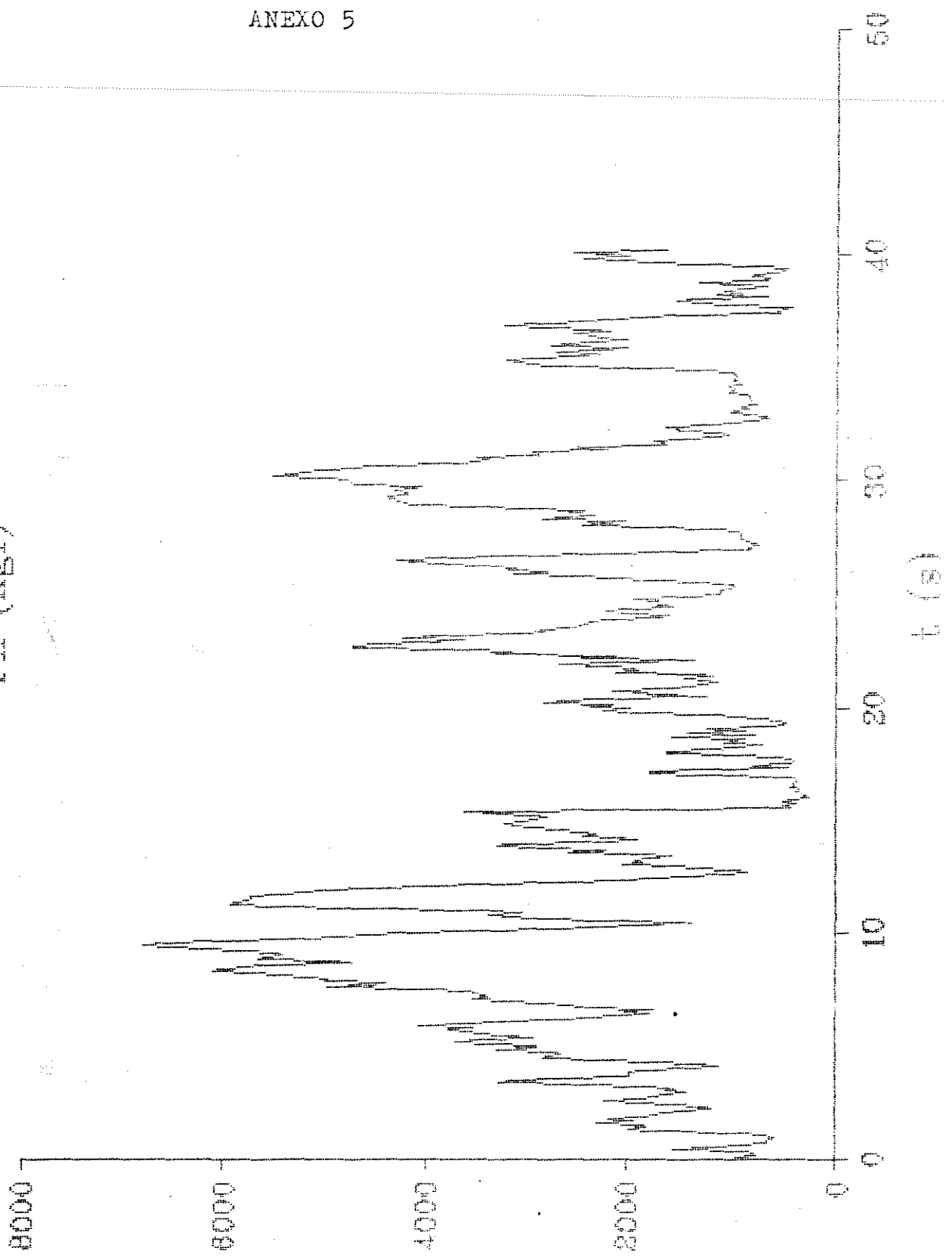
T4B1
Ex (kgf)



ANEXO 5

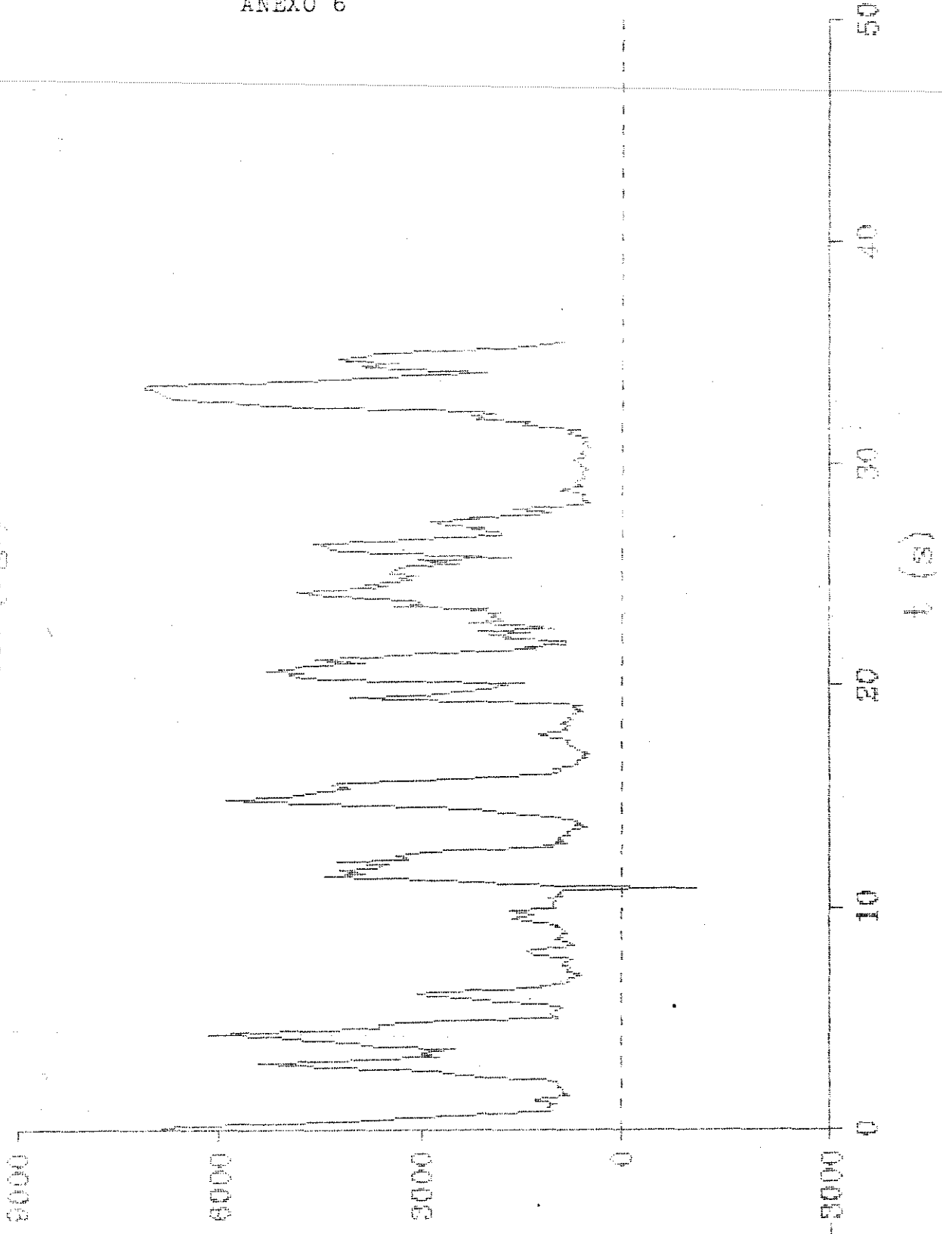
T5B1

Fz (kgf)



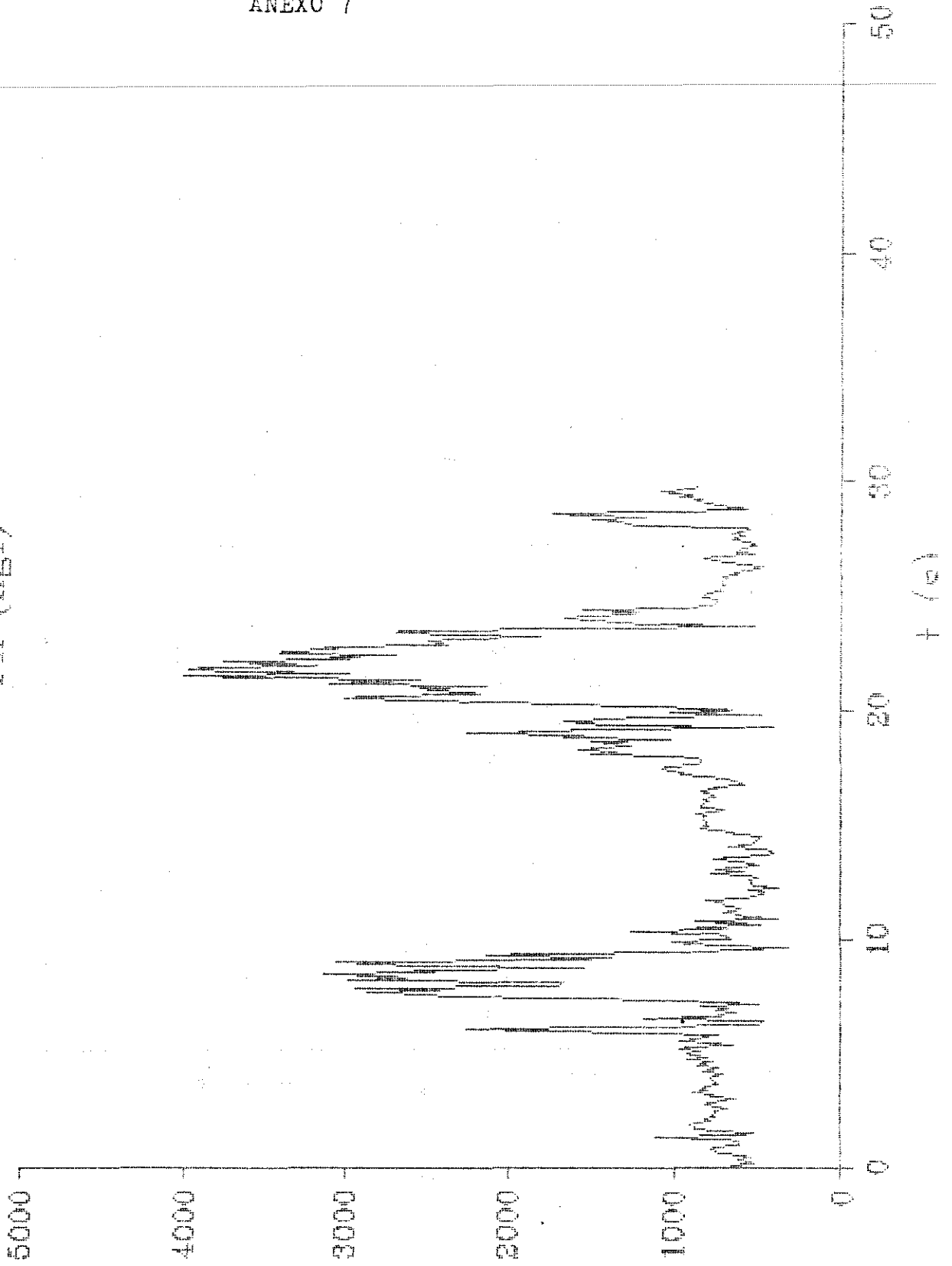
ANEXO 6

T6D1
Fz (kgf)



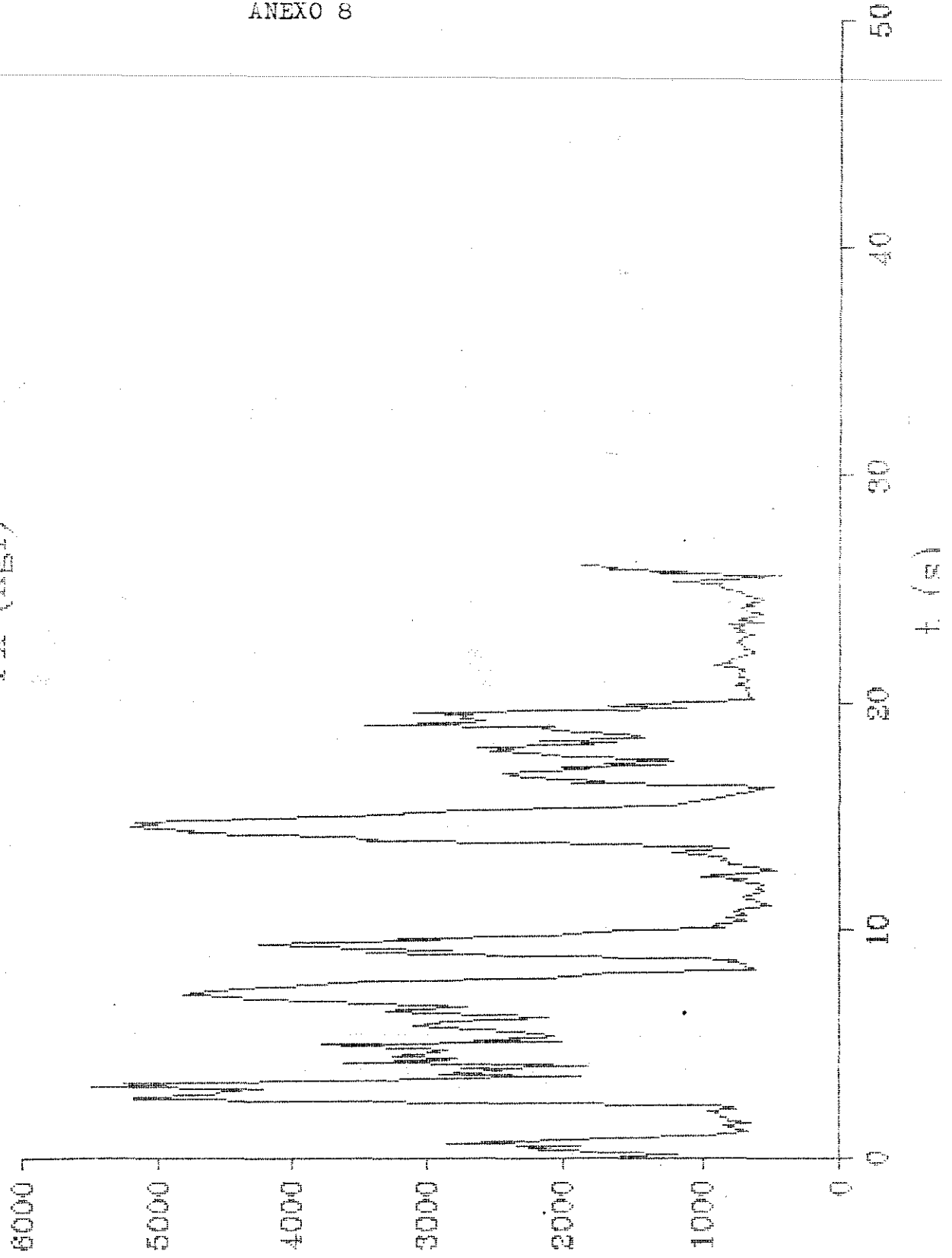
ANEXO 7

T7B1
Fz (kgf)



ANEXO 8

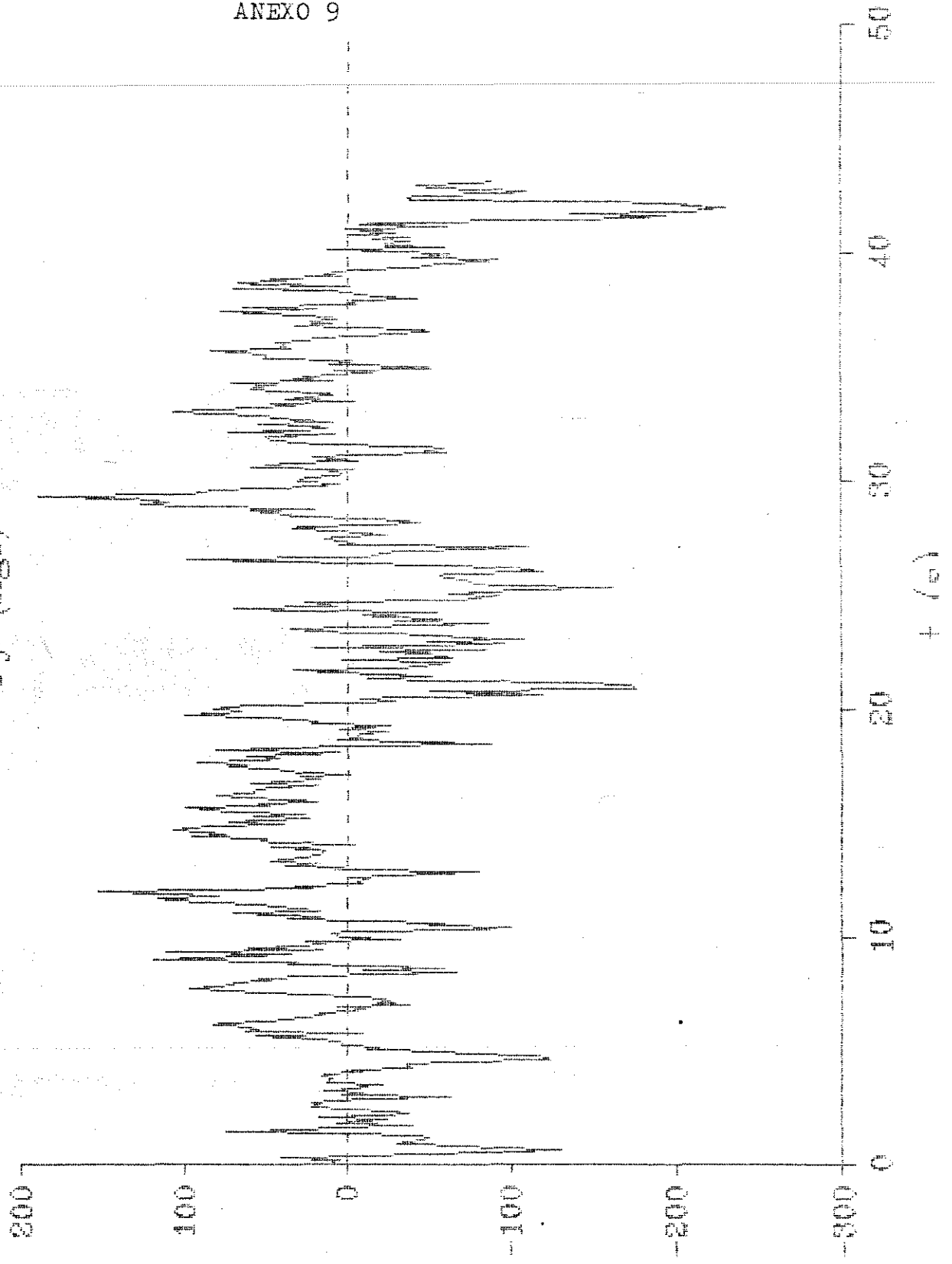
T8B1
Fx (kef)



ANEXO 9

TBI

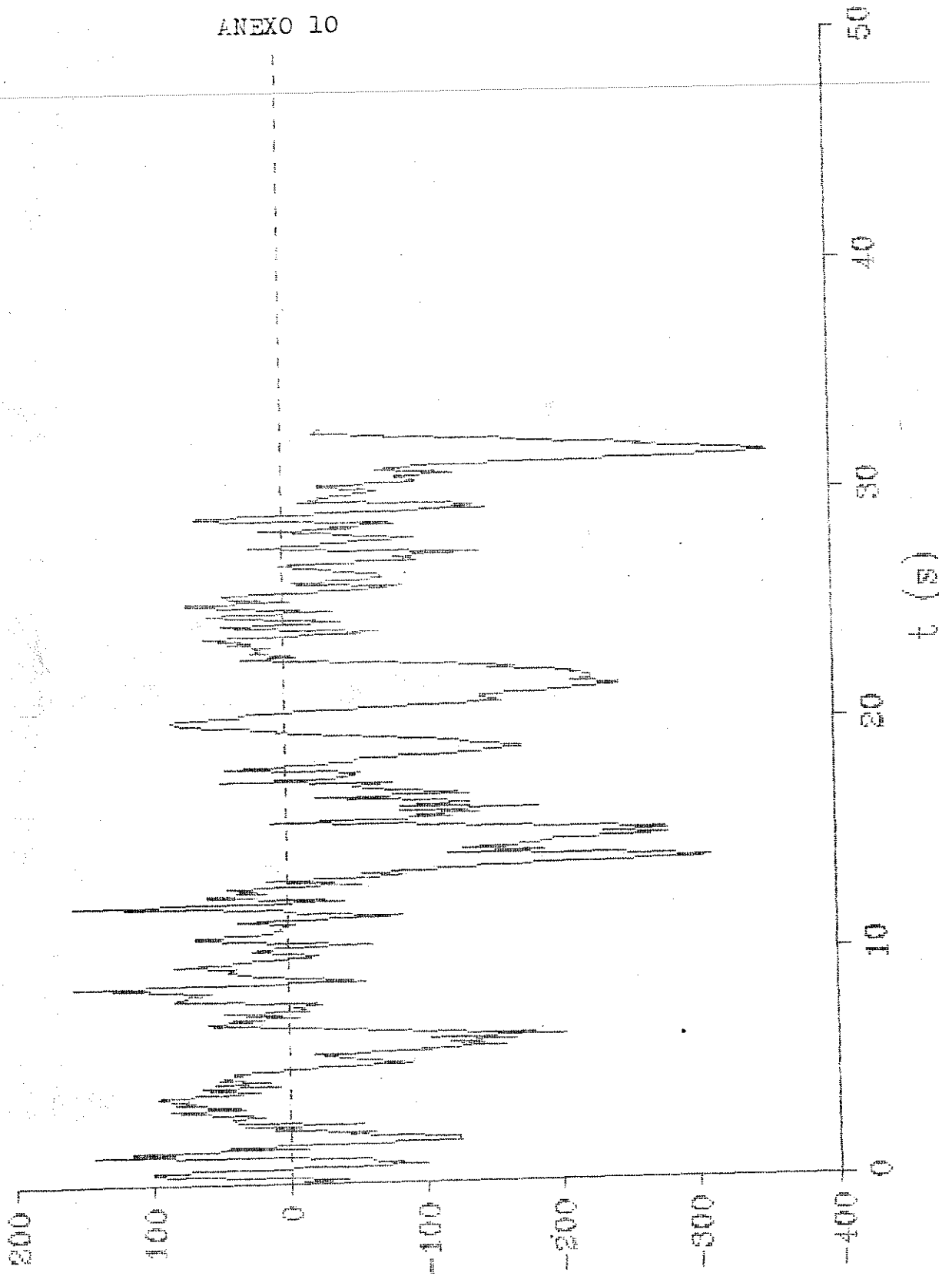
Fy (kgf)



ANEXO 10

T2B1

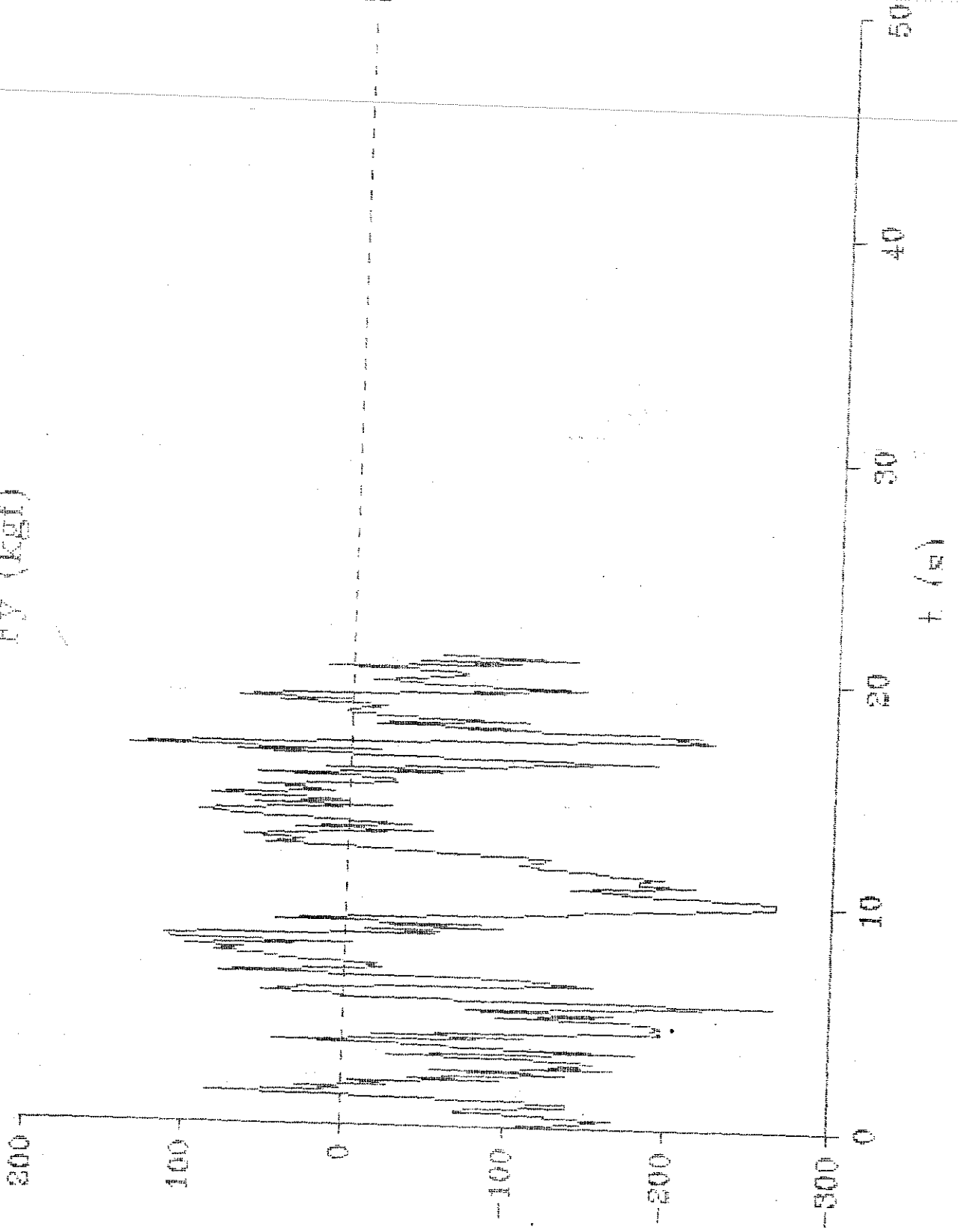
Fy (kgf)



ANEXO 11

FSI

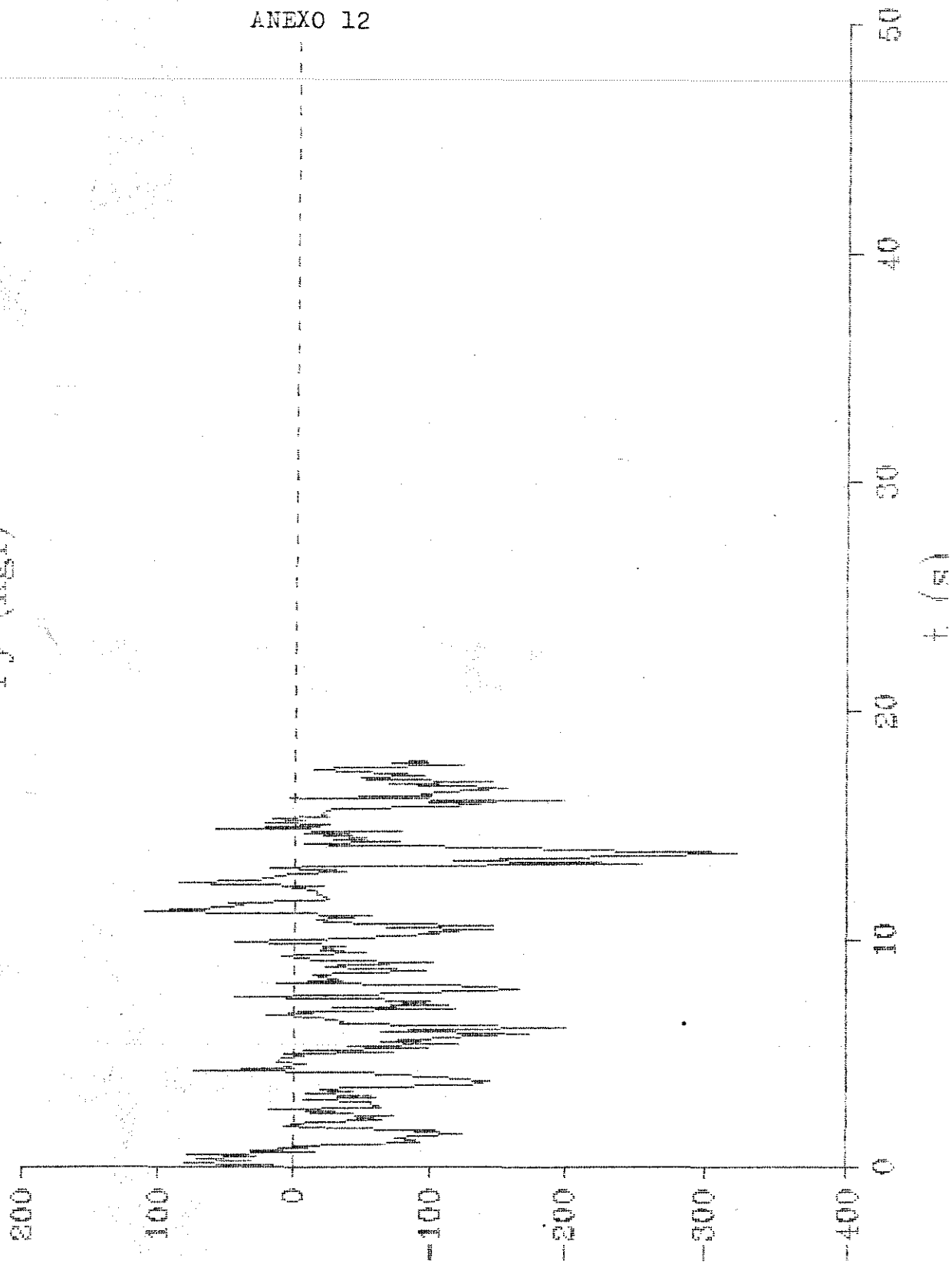
Hy (kPa)



ANEXO 12

TABI

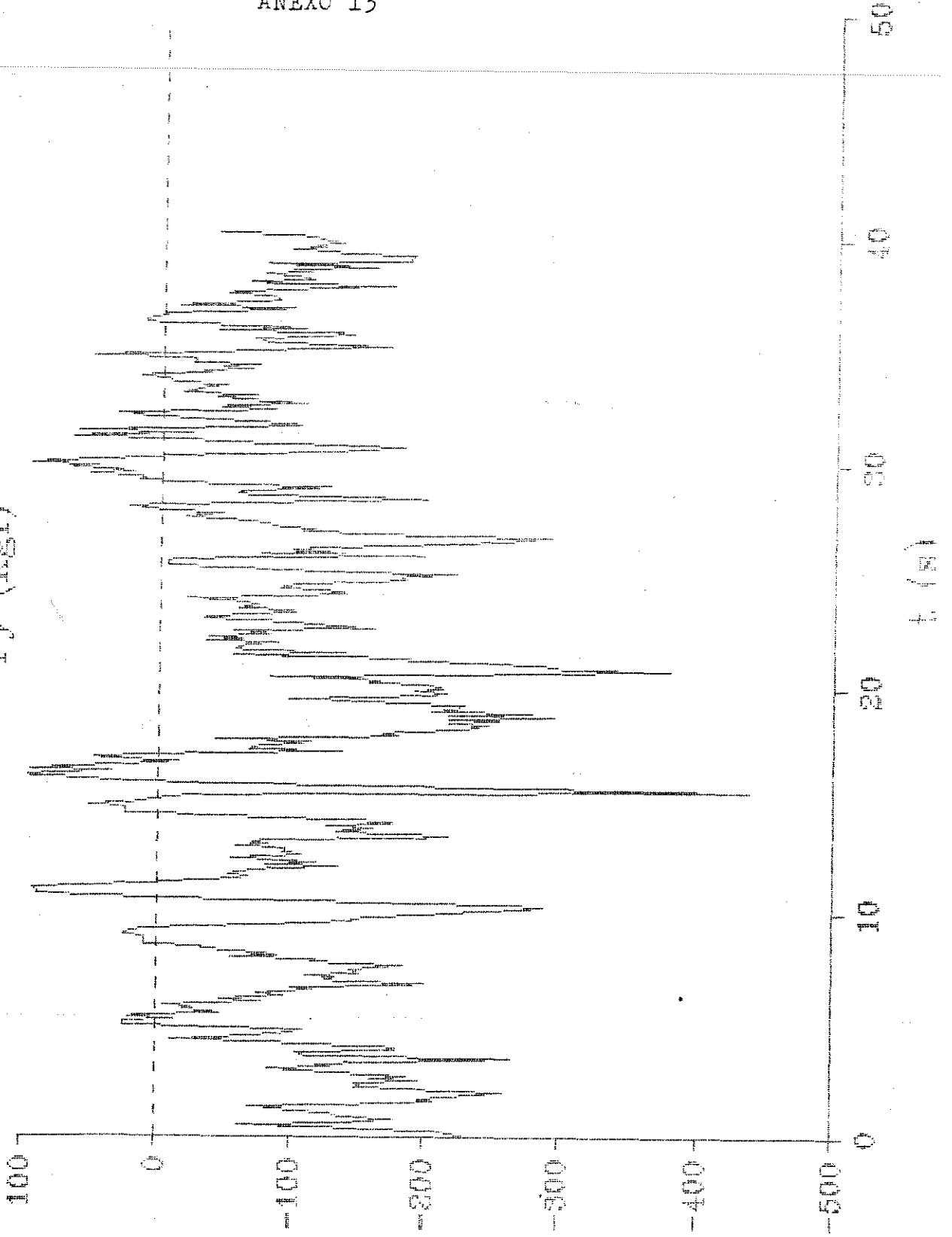
Fy (kgf)



ANEXO 13

TAB I

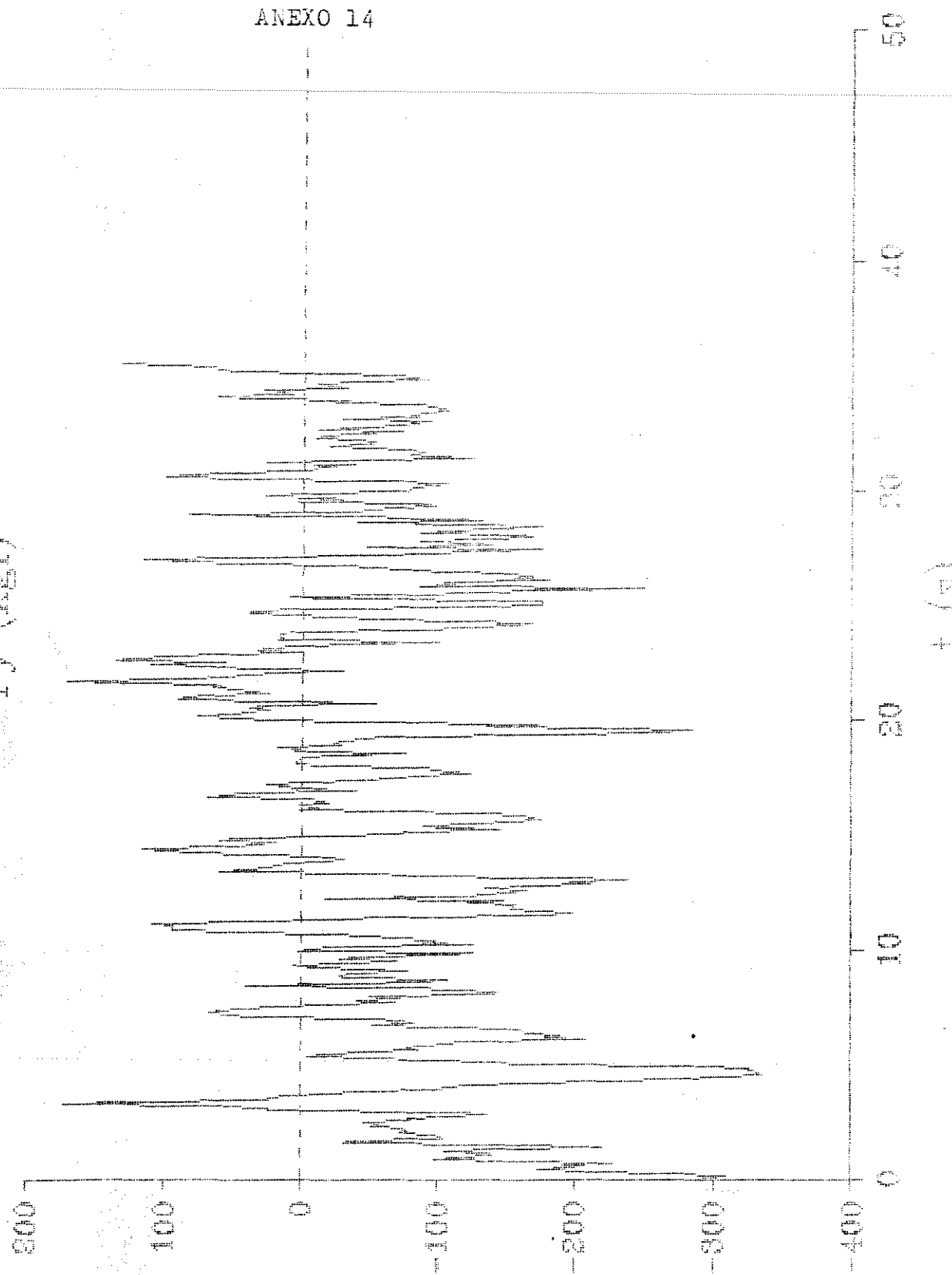
Fy (kgf)



ANEXO 14

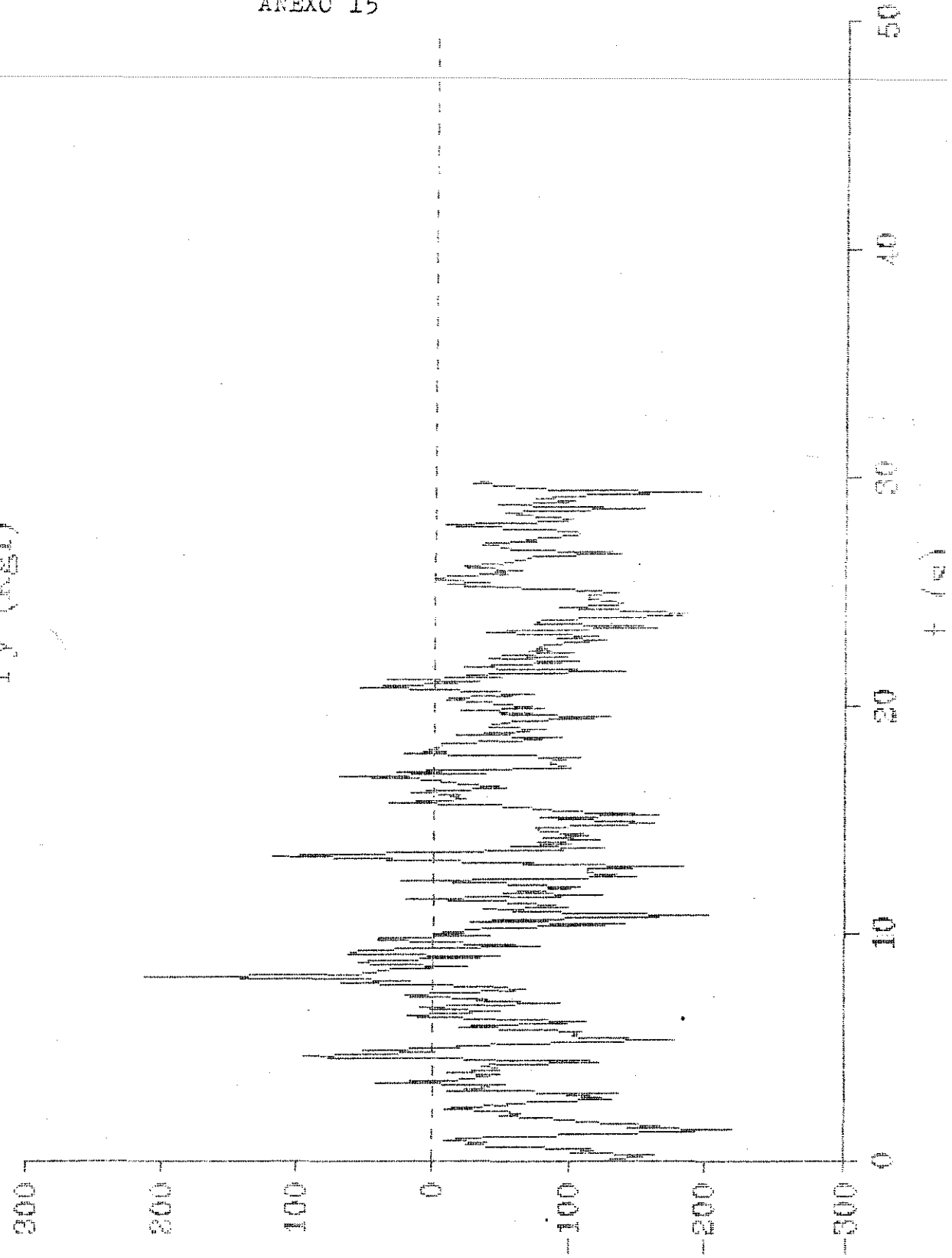
T6B1

Capacity (kN)



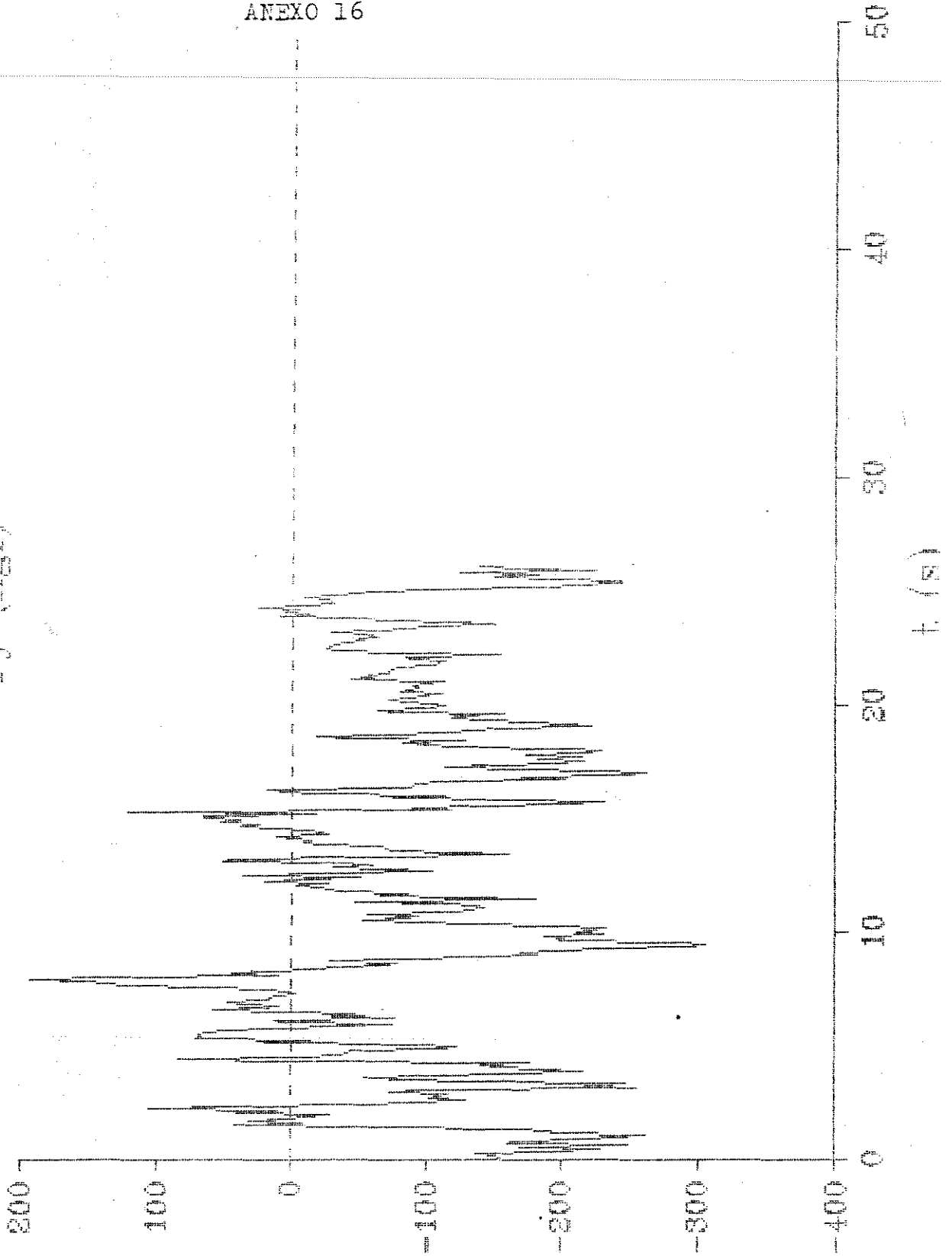
ANEXO 15

TYBI
Fy (kgf)



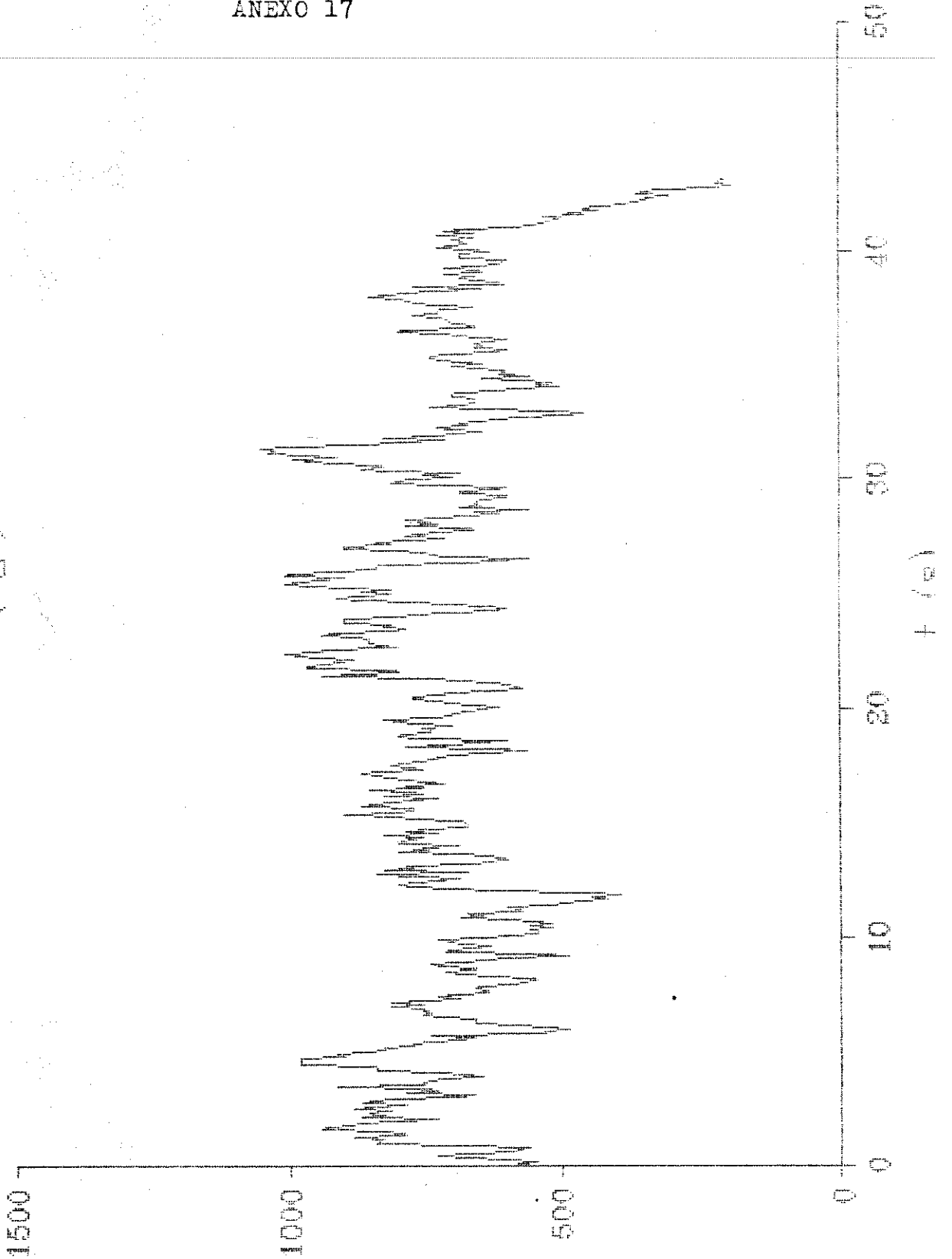
ANEXO 16

T8B1
Fy (kgf)



ANEXO 17

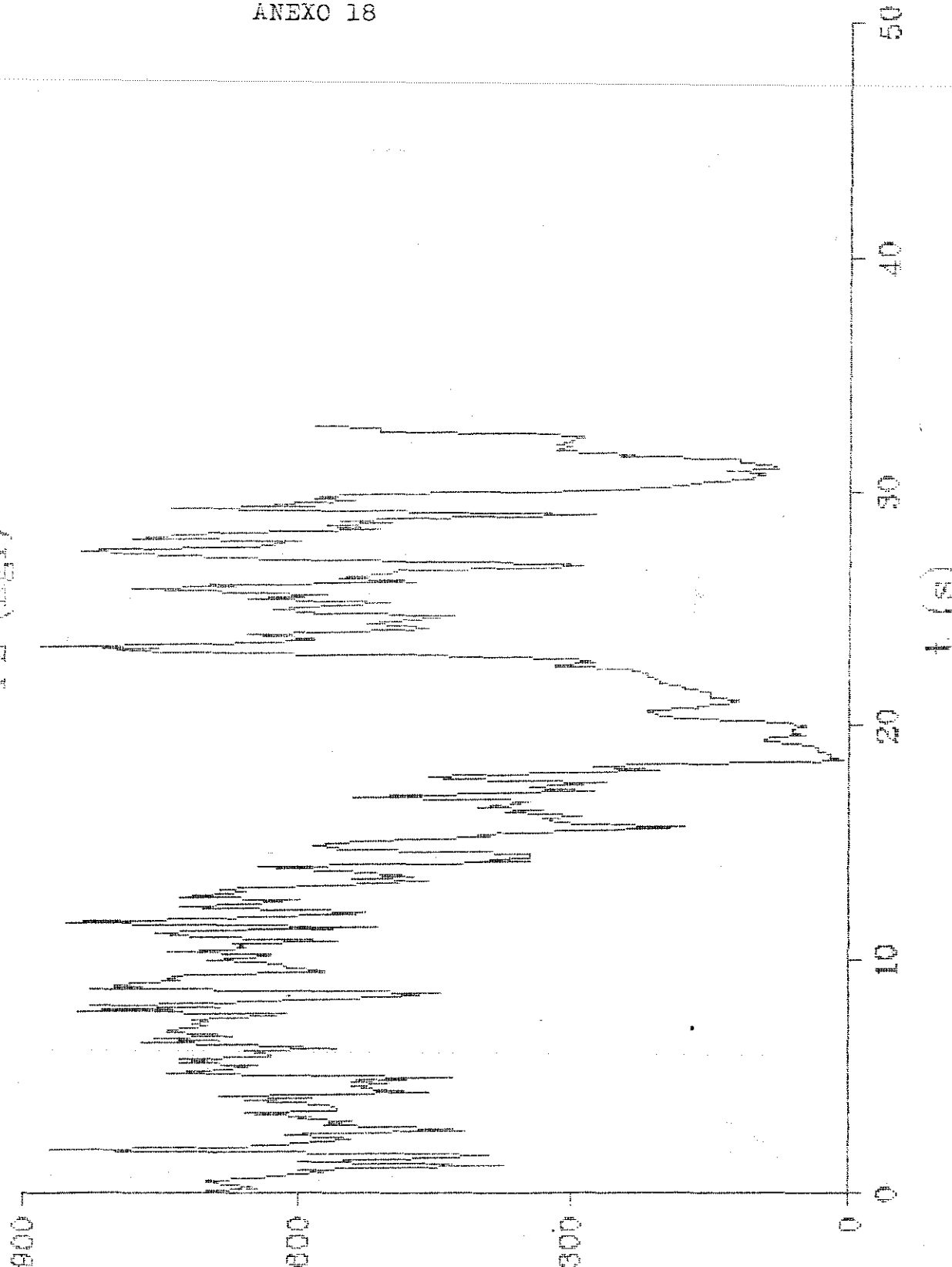
TIBI
Fz (kgf)



ANEXO 18

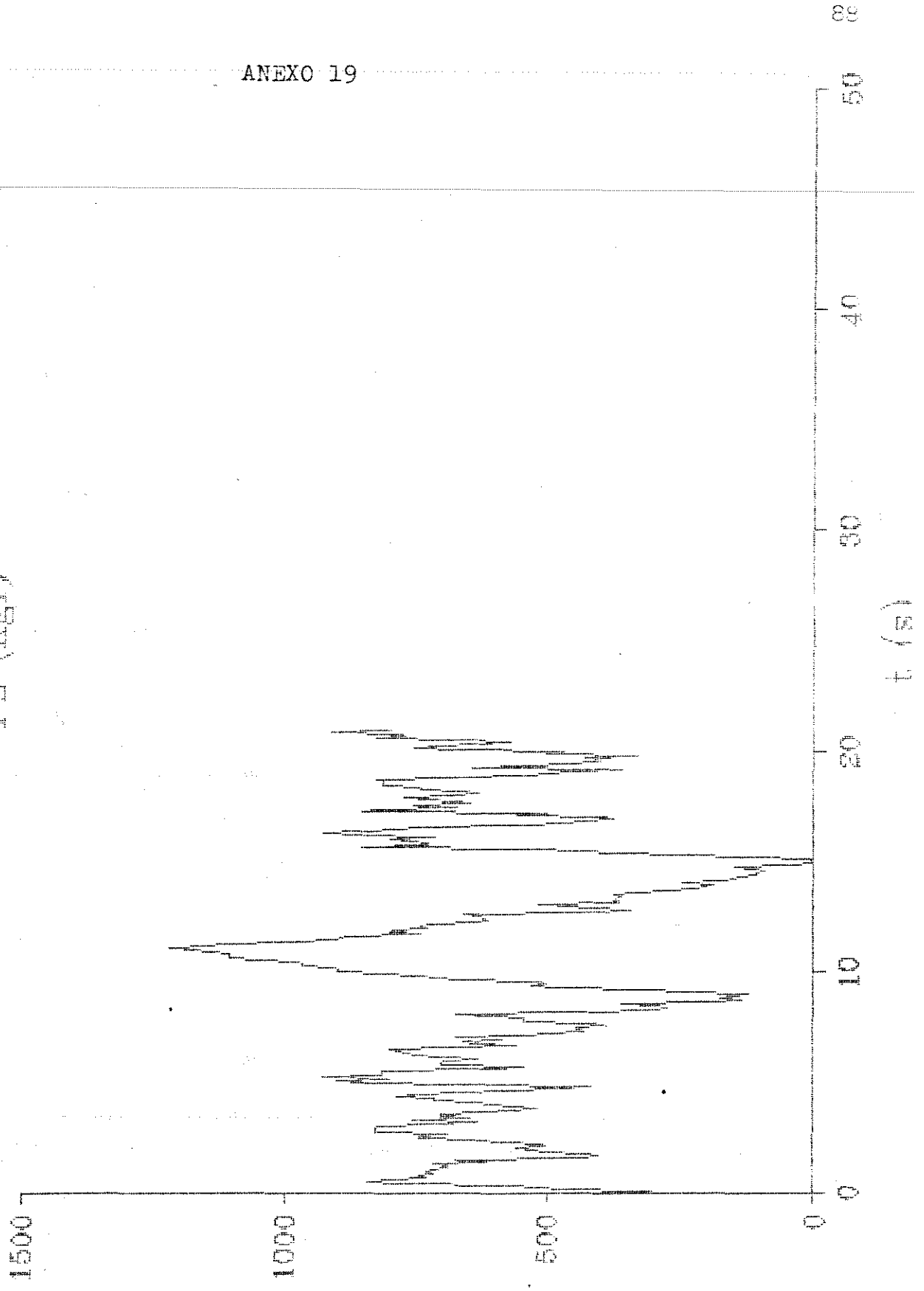
T2B1

Fz (kgf)



T3B1

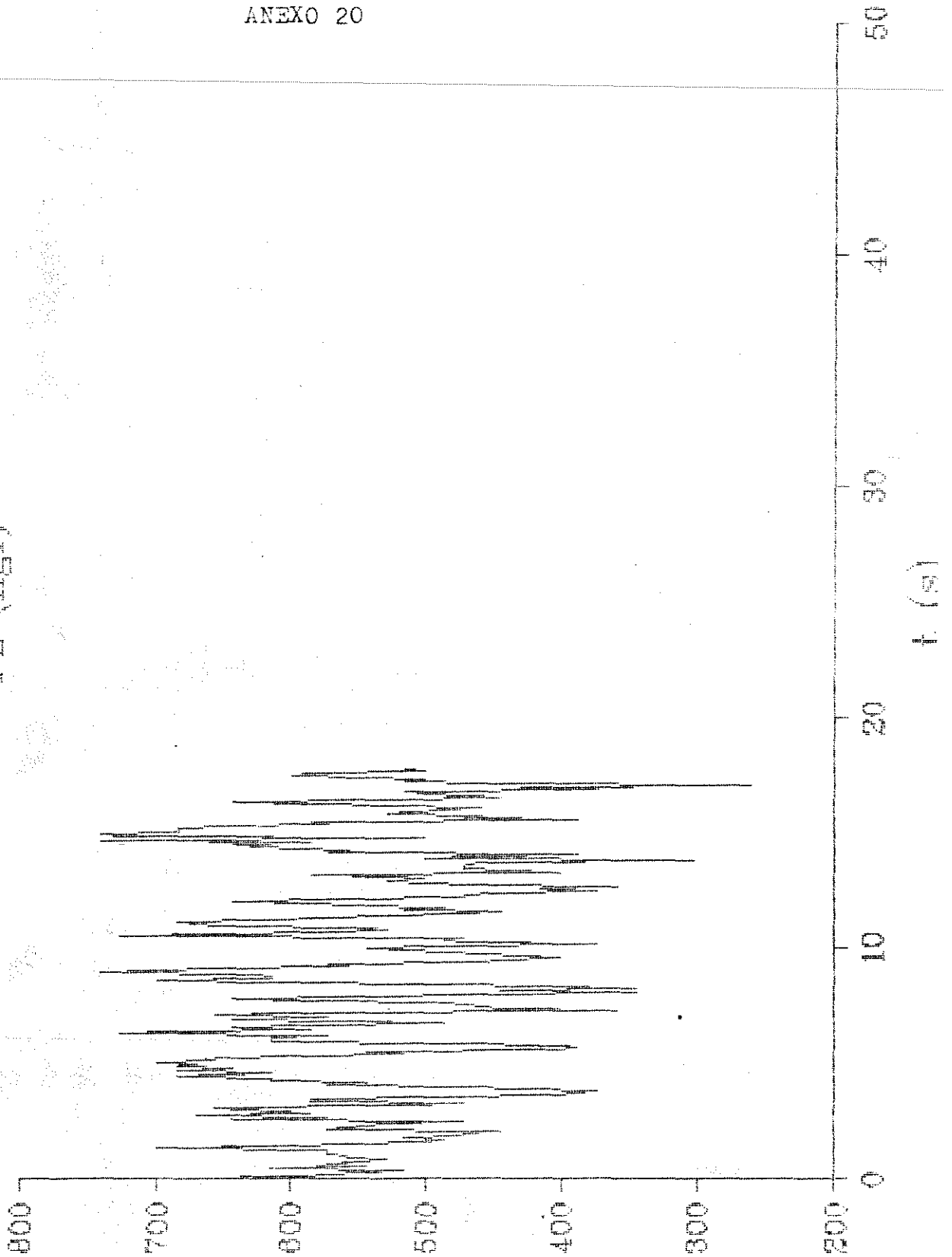
Fz (kgf)



ANEXO 20

T4B1

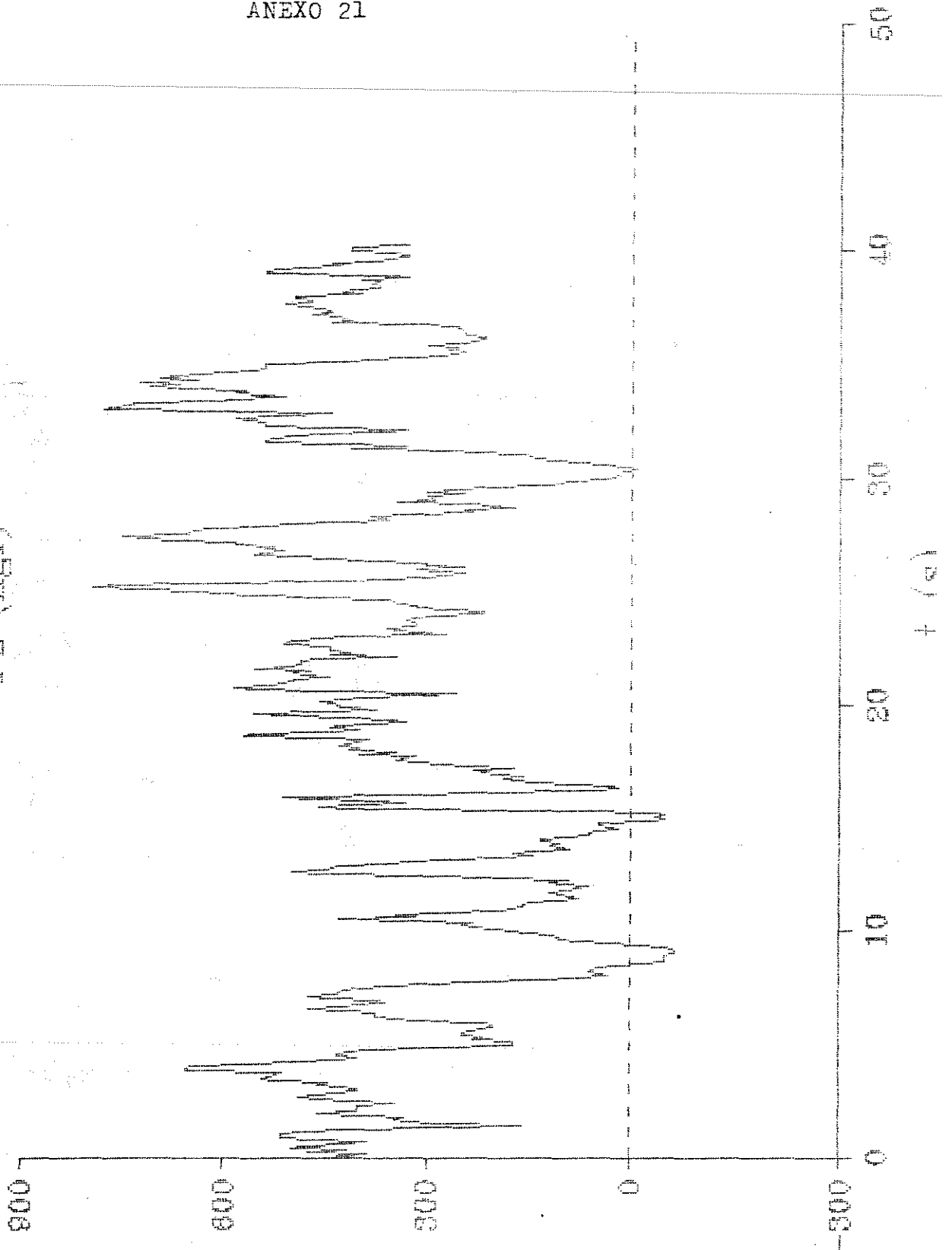
Fz (kgf)



ANEXO 21

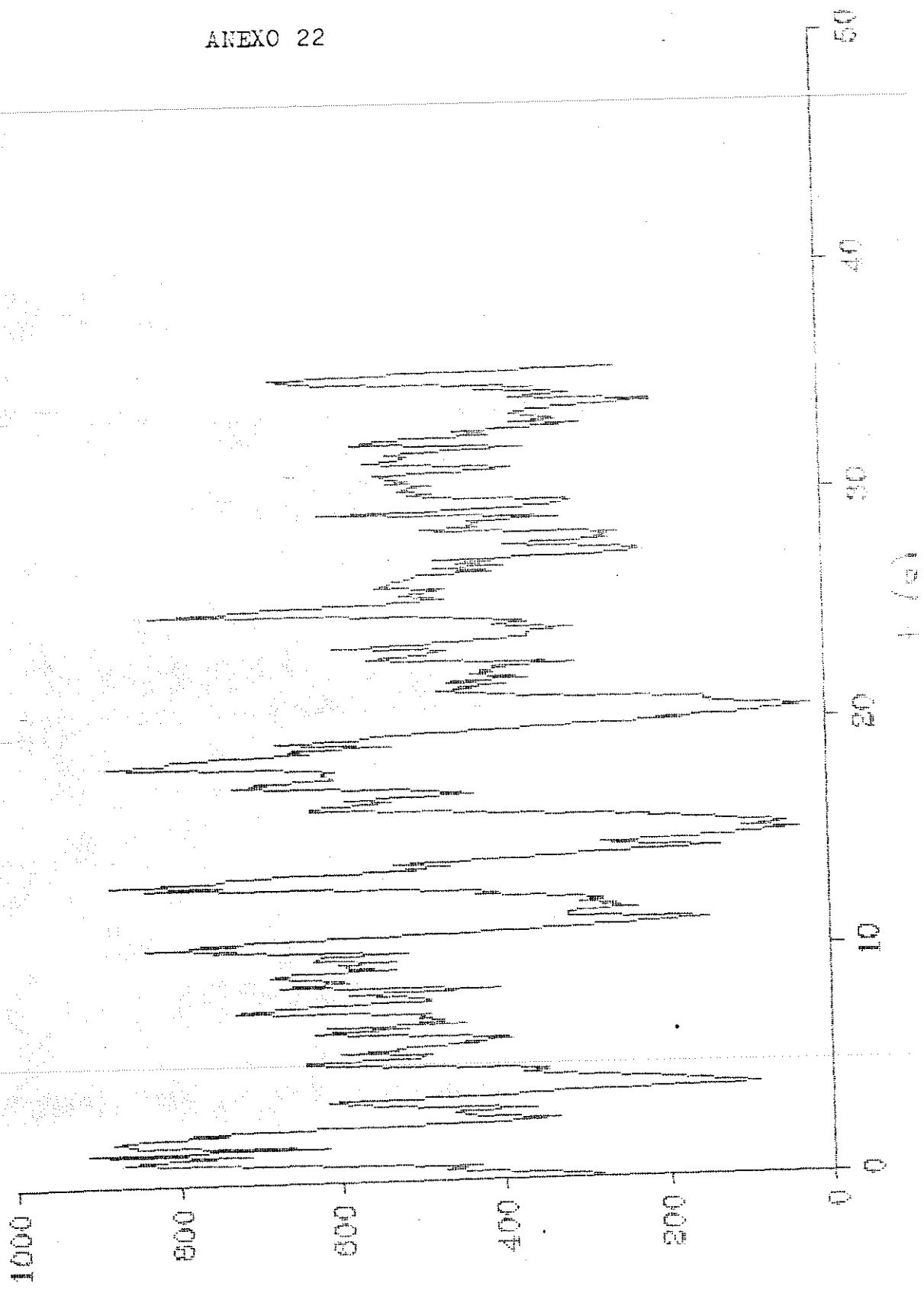
T5B1

Fz (kgf)



ANEXO 22

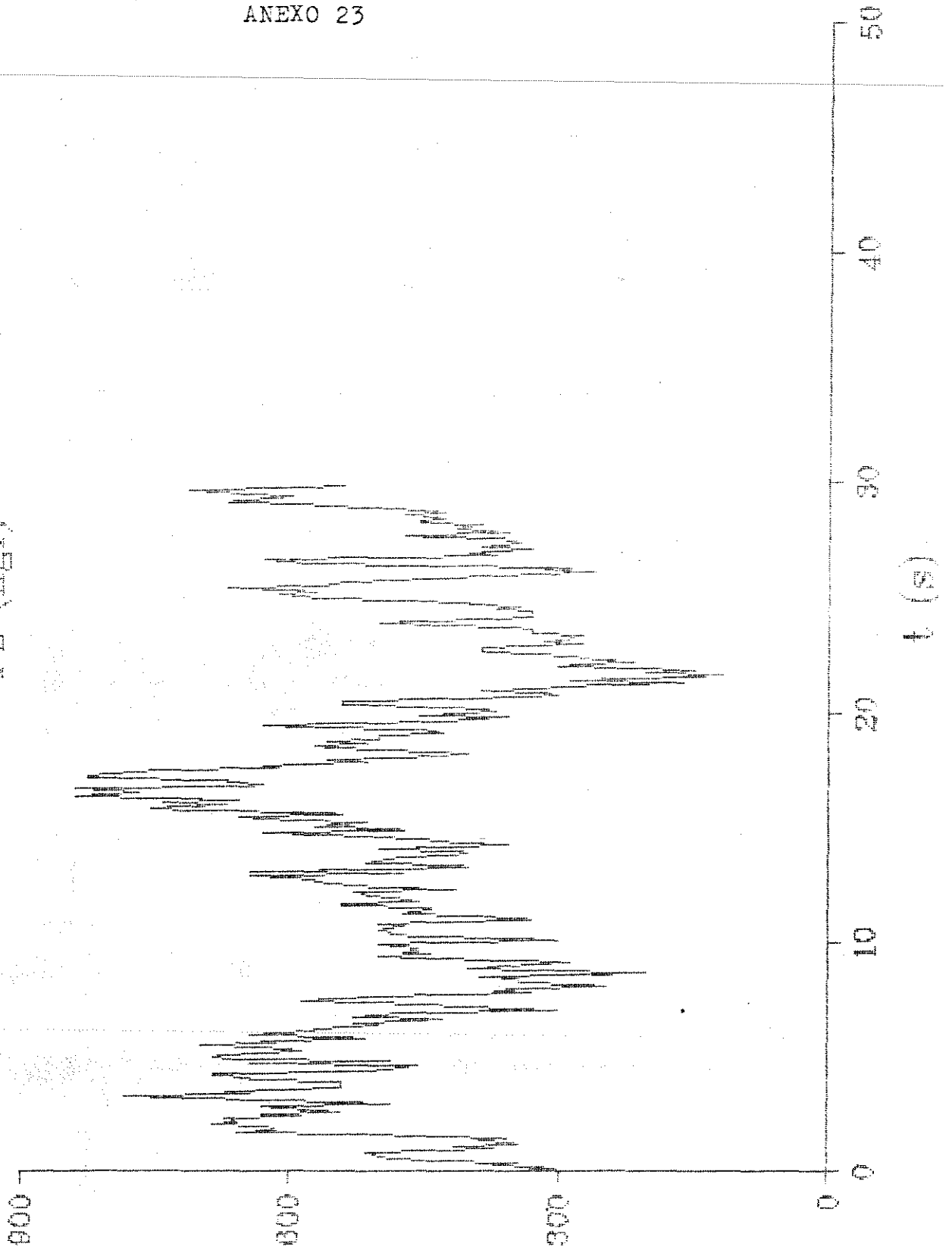
T6B1
Fz (kgf)



ANEXO 23

T7B1

Fz (kgf)



ANEXO 24

T091
Fz (kgf)

