

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRICOLA

INFLUÊNCIA DO FORMATO DA BORDA DE CORTE
NO DESEMPENHO DAS PONTEIRAS DE ESCARIFICADORES

POR

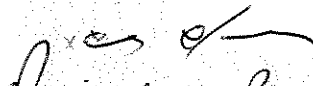
ANTÔNIO LILLES TAVARES/MACHADO 18

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Antônio Lilles Tavares Machado e aprovada pela Comissão Julgadora em 09 de outubro de 1992. Campinas, 19 de janeiro de 1993.

Orientador:

Prof. Dr. CHEU-SHANG [CHANG t


Presidente da Banca

Dissertação apresentada como cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola: área de concentração Máquinas Agrícolas.

Campinas - Brasil

Outubro - 1992

INFLUÊNCIA DO FORMATO DA BORDA DE CORTE
NO DESEMPENHO DAS PONTEIRAS DE ESCARIFICADORES

AUTOR: ANTÔNIO LILLES TAVARES MACHADO

09/10/1992

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Cheu-Shang Chang - orientador - FEAGRI/UNICAMP

Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel - FEAGRI/UNICAMP

Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças - FCA/UNESP

Aos meus pais Lilles e Yedda,
e a minha esposa Mirian.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Cheu-Shang Chang pela orientação.

Aos Professores Paulo S. G. Magalhães e Cláudio B. Sverzut pelas sugestões apresentadas ao plano de pesquisa e amizade demonstrada durante o decorrer do curso.

Aos Professores Nelson L. Capelli, Newton R. Boni e Roberto Testezlaf pelas sugestões visando o bom desenvolvimento deste trabalho.

Ao Centro Nacional de Engenharia Agrícola pelo empréstimo do gravador e condicionador de sinais.

Ao Departamento de Projeto Mecânico da Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, em especial ao Professor Paulo R. G. Kurka pelo empréstimo e orientação na utilização da placa conversora de sinais analógicos/digitais.

Ao Centro de Tecnologia (CT) - UNICAMP, pelo empréstimo dos pesos para calibração do anel octogonal estendido.

Aos colegas Geraldo Ferretti, João Carlos dos Santos, Afonso Peché Filho e Ednaldo Carvalho Guimarães pelo apoio e amizade.

Em especial aos colegas Arcenio Sattler, Pedro Henrique Weirich Neto, Regina Isabel Nogueira e Keila Vianna Sidenstrycker que muito mais do que colegas demonstraram-se verdadeiros amigos.

Ao casal de amigos Ângelo Vieira dos Reis e Iolanda Camacho dos Reis pela amizade e hospitalidade com que me receberam em sua residência, nas inúmeras vezes que tive de retornar a Campinas.

A minha esposa Mírian R. Galvão Machado pelo auxílio na coleta de dados, revisão do trabalho, amor e disposição de me acompanhar nesta etapa de minha vida.

Ao meu irmão Roberto Lilles T. Machado, por ter cuidado de meus interesses quando de minha ausência de Pelotas.

Aos funcionários do Laboratório de Protótipos do Departamento de Máquinas Agrícolas - FEAGRI/UNICAMP, pelo apoio, esforço e dedicação tanto na construção da caixa de solo como das ponteiras e demais trabalhos envolvidos na realização desta pesquisa, em especial ao Francisco Ferreira dos Santos Filho e ao Luiz Carlos Santos Silva pela amizade demonstrada.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização e êxito deste trabalho.

SUMARIO

PAGINA DE ROSTO.....	i
COMISSÃO JULGADORA.....	ii
DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
SUMARIO.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xi
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - OBJETIVOS.....	5
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1 - Escarificadores.....	6
3.2 - Parâmetros geométricos de ponteiros de escarifi- cadores.....	10
3.3 - Sistema solo-ponteira de escarificador.....	13
3.4 - Caixa de solo.....	27
4 - MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.1 - Ponteiros de escarificador.....	32
4.2 - Caixa de solo.....	36
4.3 - Instrumentação.....	40
4.3.1 - Sistema de aquisição de dados.....	41

4.3.2 - Perfilômetro.....	45
4.4 - Delineamento estatístico.....	47
4.5 - Experimento.....	50
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
5.1 - Força horizontal.....	58
5.2 - Força vertical.....	62
5.3 - Força resultante.....	66
5.4 - Área transversal de solo mobilizado.....	71
5.5 - Resistência específica operacional.....	76
6 - CONCLUSÕES.....	81
7 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	83
8 - ANEXOS.....	84
9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
10 - ABSTRACT.....	129

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Parâmetros geométricos de uma ponteira de escarificador.....	11
Figura 2 - Parâmetros geométricos para implementos de preparo do solo.....	12
Figura 3 - Geometria de uma ponteira de escarifica- de formato alado.....	13
Figura 4 - Geometria básica das ponteiras estudadas.	33
Figura 5 - Modelos experimentais básicos das pontei- ras de escarificador.....	34
Figura 6 - Caixa de solo preparada para a execução dos ensaios.....	37
Figura 7 - Diagrama do sistema de aquisição de dados	44
Figura 8 - Perfil da área de distúrbio do solo.....	46
Figura 9 - Gráfico força horizontal x ponteiras.....	59
Figura 10 - Gráfico força vertical x ponteiras.....	63
Figura 11 - Gráfico força resultante x ponteiras....	67
Figura 12 - Gráfico área mobilizada x ponteiras.....	72
Figura 13 - Gráfico resistência específica x pontei- ras.....	77

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Dimensões dos parâmetros geométricos das ponteiros estudadas.....	33
Tabela 2 - Densidade global (g/cm ³) e teste de Tukey	51
Tabela 3 - Teor de umidade no solo (%) e teste de Tukey.....	52
Tabela 4 - Resistência a penetração (KPa) e teste de Tukey.....	54
Tabela 5 - Valores médios da força horizontal - Fh (N).....	58
Tabela 6 - Valores médios da força vertical Fv (N).....	62
Tabela 7 - Valores médios da força resultante Fr (N).....	66
Tabela 8 - Valores médios da área transversal de solo mobilizado - A (m ²).....	71
Tabela 9 - Valores médios da resistência específica RE (KN/m ²).....	76

RESUMO

O presente trabalho analisou a geometria da ponteira de escarificadores e sua influência nas forças vertical, horizontal e resultante, bem como na área transversal do perfil de solo mobilizado e resistência específica operacional. Estudou-se basicamente três formatos da borda de corte em dois ângulos de ataque, com a finalidade de verificar em qual situação a ruptura do solo vem a ser facilitada. Estes estudos foram conduzidos em caixa de solo, com a qual torna-se possível a manutenção de um adequado controle local das diferentes variáveis do solo, as quais apresentam influência sobre o desempenho da ponteira. Os resultados demonstraram que a ponteira com ângulo de ataque igual a 20° e borda de corte reta proporcionou um menor consumo energético por unidade de área de solo mobilizado.

1 - INTRODUÇÃO

Ultimamente nota-se uma crescente preocupação de pesquisadores e agricultores com novos métodos de preparo primário do solo que visam, com uma mínima mobilização do mesmo, obter condições adequadas para o pleno desenvolvimento da cultura que se deseja implantar.

Entre estes novos métodos destaca-se a utilização dos escarificadores, cujo trabalho proporciona uma pequena mobilização do solo, ao contrário do que ocorre quando são utilizados outras máquinas e implementos de preparo primário do solo, tais como arados e grades. Esta maior mobilização do solo provocada pelos arados e grades, proporciona um maior fraturamento dos torrões, ao mesmo tempo em que o solo fica exposto por um determinado período aos agentes erosivos, sejam eles a chuva ou o vento, o que em muitas situações, principalmente em áreas com topografia inclinada pode ocasionar grandes perdas, sobretudo da camada arável do solo, entendendo-se aqui camada arável como sendo aquela que apresenta as condições necessárias para a implantação e desenvolvimento das culturas.

Devido a ação do escarificador não promover a inversão da camada superficial do solo, o mesmo proporciona

que parte da vegetação existente no local, tais como invasoras, plantas nativas e restos de culturas, permaneçam em sua superfície formando uma cobertura vegetal, a qual atuará como uma camada protetora do solo ao efeito dos agentes erosivos, proporcionando ainda uma adequada retenção e conservação de umidade no mesmo.

Como os escarificadores atuam a profundidades variáveis, estes implementos podem oferecer várias vantagens no preparo primário do solo. Portanto nota-se que cada vez mais têm sido executados estudos que visam principalmente determinar a forma mais adequada de utilização de escarificadores, bem como a melhor associação deste com outros implementos de preparo do solo, a fim de obter-se a melhor maneira de se executar o preparo primário do solo.

Também tem-se verificado que várias pesquisas vem sendo conduzidas no sentido de proporcionar ao escarificador melhorias mecânicas que visam seu melhor desempenho, entretanto a grande maioria destes trabalhos têm sido executados com ponteiros de formato reto (ponteiros estreitos), sendo poucos os estudos realizados com ponteiros alados (ferramentas largas). No presente trabalho estudou-se basicamente este tipo de ponteira por considerar-se que a mesma pode vir a ser intensamente utilizada, desde que suas características sejam adequadamente conhecidas.

Outro fato importante que deve ser salientado diz respeito as pesquisas sobre escarificadores que têm sido executadas, a grande maioria a nível de campo, sendo que

nestas condições se torna difícil o controle de certos fatores que influem no desempenho do implemento.

Através deste trabalho estudou-se a geometria da ponteira do escarificador e sua influência nas forças vertical, horizontal e resultante bem como na área transversal do perfil de solo mobilizado e resistência específica operacional. Utilizando-se como base para os testes uma caixa de solo, com a qual foi possível o controle das diferentes variáveis envolvidas na análise do processo de mobilização do solo.

Analizou-se principalmente o formato da borda de corte da ponteira de escarificador (a qual encontra-se relacionada ao ângulo da ponta) em dois níveis do ângulo de ataque. Observou-se a maneira como estes formatos atuam no esforço de tração e área transversal do perfil de solo mobilizado. A borda de corte, confeccionada em três formatos vem a ser um fator importante, visto que até o presente momento não se tem conhecimento da realização de estudos a respeito da possível influência deste parâmetro no desempenho geral da ponteira.

Com relação aos demais parâmetros geométricos da ponteira, tais como ângulo de penetração, ângulo lateral, largura e comprimento da base estes foram mantidos constantes.

Através do estudo da geometria do órgão ativo do escarificador, visa-se principalmente a possibilidade de utilização de implementos com maior largura de trabalho ou

com fontes de tração de menor potência, sendo que desta forma pode-se obter um melhor aproveitamento da fonte de potência a ser utilizada, seja ela mecânica ou animal.

2 - OBJETIVOS

O presente trabalho apresenta como objetivo principal estudar, em caixa de solo, o formato da borda de corte de ponteiros de escarificadores e sua influência na resistência a tração, área transversal do perfil de solo mobilizado e resistência específica operacional.

Desta forma objetivou-se através das diversas análises realizadas, a identificação do formato de ponteira mais adequado, isto é, aquele capaz de proporcionar um menor consumo energético por unidade de área do perfil de solo mobilizado.

3 - REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 - ESCARIFICADORES

Conforme BERNACKI et al. (1972), a função dos escarificadores é uma mobilização intensa a certa profundidade no solo, desagregando em parte o solo lavrado. Com relação a utilização destes implementos os autores informam que os mesmos podem ser usados para escarificar a ~~resteva antes da semeadura e após a colheita, para mobilizar~~ o solo a fim de facilitar a penetração do arado durante o preparo, para misturar fertilizantes no solo e em outros trabalhos que dizem respeito ao preparo do solo para a semeadura. Quanto as partes que compõem o escarificador salientam que as rodas, quando presentes, servem para o controle da profundidade do implemento, sendo o órgão ativo dos escarificadores as ponteiras que podem ser do tipo pá, alada (extirpadora) ou faca (cinzel).

Tanto WILKINSON, BRAUNBECK (1977) quanto SMITH, WILKES (1982) salientam que o escarificador é uma ferramenta

formada por uma haste curva ou reta, possuindo ponteiros relativamente estreitas, fazendo com que o solo não seja muito mobilizado por este implemento. O escarificador seria também algumas vezes usado para descompactar solos secos, antes do uso do arado comum. Com relação as ponteiros estes autores indicam que podem ser do tipo cinzel, sulcadora, cavilha, alada, pá, sapata e combinação do tipo cinzel com a alada.

Segundo BARAÑO, CHIESA (1982) a peça ativa do escarificador é constituída por uma lâmina de aço, que forma um ângulo agudo com a vertical, composta por duas asas no plano horizontal, as quais devem formar um ângulo de 45° com a posição central. Estes autores salientam que em alguns tipos de solo é possível substituir o trabalho do arado convencional por este tipo de implemento, que geralmente a largura de trabalho deste é maior que a de um arado convencional, e a potência absorvida por metro linear vem a ser muito inferior àquela necessária aos arados de disco ou aiveca, quando se trabalha no mesmo solo e nas mesmas condições.

KEPNER et al. (1982) dizem que os escarificadores são implementos usados para quebrar camadas de solo compactadas ou impermeáveis melhorando a penetração de água

da chuva, sendo que melhores resultados são obtidos quando o solo encontra-se seco.

Estes mesmos autores salientam que os escarificadores podem ser empregados para o preparo primário do solo no lugar de arados de aivecas ou discos, sendo que devido a este implemento não promover uma mobilização do solo nos moldes dos arados comumente usados se fazem necessárias algumas operações posteriores para que se tenha o terreno adequadamente preparado para a semeadura.

Quanto a parte construtiva deste implemento os autores dizem que o mesmo é composto por uma série de hastes que são equipadas com ponteiros as quais podem ser de diferentes tipos, entre eles : sulcadora, pá, ponta simples e ponta de lança.

ORTIZ-CAÑAVATE (1984) diz que os escarificadores são constituídos por uma série de hastes em cuja extremidade encontram-se ponteiros que podem ser de diversas formas, geralmente pode-se variar as distâncias entre os braços através de sua movimentação sobre um chassi, que é formado fundamentalmente por um conjunto de barras transversais. Este autor salienta ainda que os escarificadores podem ser utilizados em várias funções, como: extirpação de plantas invasoras, descompactação e destorroamento do solo, preparo do solo para irrigação, etc, podendo ser utilizado tanto antes como após a semeadura. As ponteiros podem ser do tipo "regeneradoras de prados",

escarificadoras, cunha, cavadoras, sulcadoras e extirpadoras (aladas).

MAZUCHOWSKI, DERPSH (1984), informam que o escarificador devido, a maneira como executa o preparo de solo, mobiliza menos o mesmo, deixando a superfície do terreno escarificada sem enterrar a maior parte dos resíduos vegetais, protegendo o solo contra a erosão, sendo um implemento apropriado para quebrar as camadas compactadas existentes nas superfícies dos solos mecanizados.

Como algumas características de um escarificador estes autores citam:

- altura das hastes ou vão livre de 70 a 80 cm;
- espaçamento máximo entre as hastes de 20 a 25 cm;
- profundidade de trabalho normal de 20 cm, podendo chegar a 30 cm.

Segundo CULPIN (1986) o termo "Chisel Plough" é indiscriminadamente aplicável a tipos de escarificadores capazes de trabalhar em solos compactados a profundidades moderadas, sendo que um escarificador comum para trabalhos leves apresenta uma seção plana com a largura maior do que quatro vezes a espessura da parte frontal. Com relação as ponteiros usadas nos escarificadores estas, segundo este autor, são muito variadas, e podem ser reversíveis para

trabalho médio, estreitas para trabalho pesado e profundo, como também para trabalho superficial. Podendo possuir ainda ponteiros do tipo faca para corte de vegetação densa.

Conforme GADANHA JÚNIOR et al. (1992), o escarificador é um implemento que apresenta como função a desagregação do solo, no sentido de baixo para cima, realizando a mobilização até 0,35 m de profundidade, sendo constituído de um chassi de aço quadrangular rígido, onde são fixadas hastes em cuja extremidade inferior encontram-se as ponteiros, que podem ser de formatos variáveis, apresentando influencia direta no trabalho realizado.

3.2 - PARAMETROS GEOMÉTRICOS DAS PONTEIRAS DE ESCARIFICADOR

FIELKE (1989), define como parâmetros geométricos de uma ponteira de escarificador (Fig. 1) as seguintes dimensões:

- Largura (L), largura da ponteira perpendicular à direção de deslocamento;
- Altura livre (A), distância vertical entre a parte posterior da ponteira e o solo;

- Ângulo de ataque (α), ângulo entre a parte posterior da ponteira e o solo, medido na direção de deslocamento;

- Ângulo da ponta (β), ângulo formado pelas duas bordas de corte da ponteira.

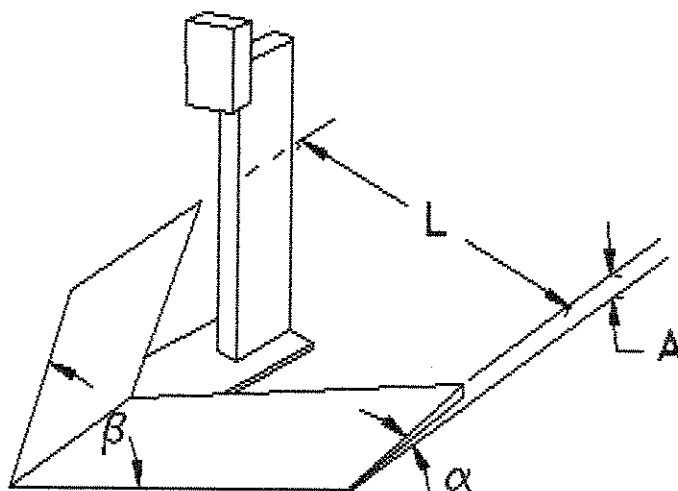


Figura 1 - Parâmetros geométricos de uma ponteira de escarificador.

Fonte: FIELKE (1989)

CHANG (1990), define como parâmetros geométricos básicos para implementos de preparo do solo (Fig. 2) os seguintes fatores:

- Ângulo de ataque (α);
- Ângulo lateral (τ);

- Ângulo da ponta (β);
- Ângulo de pressão (σ);
- Altura Livre (L);
- Comprimento da base (B).

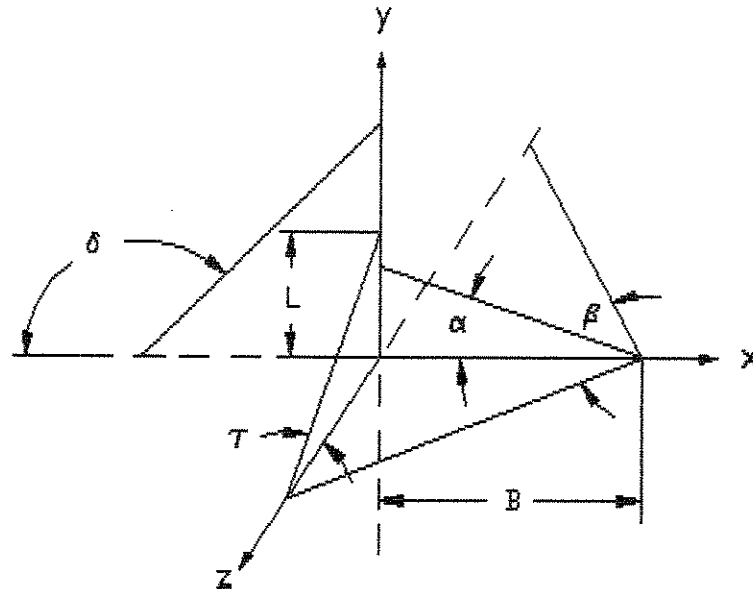


Figura 2 - Parâmetros geométricos para implementos de preparo do solo.

Fonte: CHANG (1990)

BERNACKI et al. (1972), definem a geometria de uma ponteira de escarificador de formato alado (Fig. 3), como contendo os seguintes parâmetros:

- Ângulo de ataque (α);
- Ângulo da ponta ($2\theta_0$);
- Largura (B).

PLASSE et al. (1985), citam como características geométricas da ponteira de escarificador a profundidade de operação, o ângulo de ataque e a largura da ponteira.

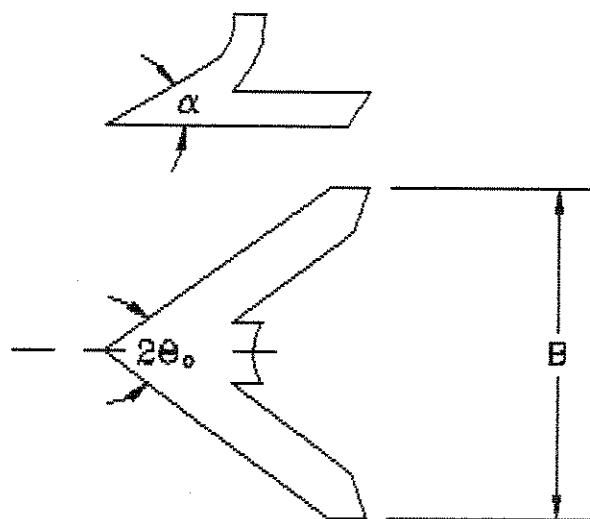


Figura 3 - Geometria de uma ponteira de escarificador de formato alado.

Fonte: BERNACKI et al. (1972)

3.3 - SISTEMA SOLO-PONTEIRA DE ESCARIFICADOR

VANDEN BERG (1966), salienta que nas operações de preparo as ferramentas estão sujeitas a três sistemas de forças independentes, que são o peso, forças no solo e forças que atuam entre a ferramenta e o movimento inicial,

os quais estando a ferramenta deslocando-se a velocidade uniforme encontram-se em equilíbrio.

Este mesmo autor informa que análises demonstram que qualquer sistema de forças no solo pode ser reduzido a uma única força e um momento, e desta forma torna-se possível a determinação da verdadeira linha de ação da força resultante. A exceção a este fato deve-se a ferramentas simétricas e alguns casos especiais, nos quais as forças no solo podem ser reduzidas a uma única força.

Em experimentos realizados em laboratório e no campo com ferramentas verticais planas e retangulares, cuja relação entre profundidade e largura foi de 25:1 a 1:1 (ferramentas estreitas), PAYNE (1956) verificou que:

- em solos artificiais homogêneos ocorre um modelo de ruptura para cada condição de solo, que é influenciado pelo movimento da ferramenta;

- movimentos contínuos do implemento produzem uma gradual diminuição das tensões com a zona de plasticidade original devido ao fluxo de solo, mas este processo somente servirá para transmitir as tensões a uma nova zona de plasticidade;

- para solos agrícolas as tensões caem rapidamente a um valor de aproximadamente 30% abaixo do valor máximo, permanecendo então razoavelmente constantes;

- devido ao solo romper-se em sucessivas camadas a força de tração segue uma forma de onda, onde as cristas

correspondem ao período durante o qual um grupo de superfícies de ruptura está no ponto de quebra e o abaixamento refere-se ao período no qual o solo é isolado pelas superfícies de ruptura;

- as áreas de solo mobilizado em diferentes velocidades não apresentaram diferenças, apenas o solo adjacente a ferramenta pareceu mais quebrado nas velocidades maiores;

Estudando um modelo para predição de forças de um grupo de ferramentas com várias larguras e relações largura/profundidade GODWIN, SPOOR (1977), concluíram que:

- para ferramentas com pequena relação profundidade/largura o mecanismo de rompimento do solo apresenta o formato de semi-círculo;

- para ferramentas com grande relação profundidade/largura o mecanismo de rompimento do solo é muitas vezes do tipo lateral (o deslocamento do solo apresenta componentes na direção de deslocamento e lateralmente);

- a profundidade crítica localiza-se mais próxima à superfície em solos não compactados. Esta é também muito sensível a mudanças de densidade e ângulo de resistência ao corte.

O'CALLAGHAN, McCULLEN (1965), observaram que:

- o mecanismo de rompimento do solo por uma ferramenta inclinada é extremamente semelhante ao de uma ferramenta vertical, no entanto ocorre uma redução no esforço de tração para ferramentas inclinadas, permitindo que estas trabalhem a uma maior profundidade;

- ferramentas em forma de cunha exigem o mesmo esforço de tração do que ferramentas planas de mesmas dimensões, entretanto ocorre uma diferenciação na forma geométrica que é desenvolvida no solo;

- quando a ferramenta é inclinada as forças que atuam perpendiculares a face da ferramenta proporcionam uma componente para baixo, e conforme o ângulo de ataque decresce esta componente neutraliza a componente para cima devido a fricção e adesão na face da ferramenta;

- a diferença no esforço de tração para ferramentas de diferentes larguras é absorvida na produção de uma área de solo mobilizada maior, de maneira que a eficiência final das diferentes ferramentas é aproximadamente a mesma;

- a eficácia das ferramentas (força de tração/área de solo mobilizada) cresce conforme o ângulo de ataque decresce.

Conforme GILL, VANDEN BERG (1968), a magnitude e direção da força vertical que atua sobre a ponteira podem ser alteradas pela variação do ângulo de ataque, o qual juntamente com o comprimento do corpo da ponteira são os

parâmetros geométricos que contribuem com as forças verticais, fazendo com que a ponteira penetre no solo e mantenha a profundidade desejada sem a necessidade de pesos adicionais, proporcionando desta forma um adequado esforço de tração.

Ao realizarem um estudo para verificar os efeitos da umidade, profundidade e velocidade de preparo do solo no esforço de tração de implementos KRUGUER, PALMER (1982) observaram que:

- o esforço de tração para o escarificador cresceu linearmente com a profundidade e velocidade de preparo do solo para uma série de níveis de umidade do solo;

- houve um decréscimo ao quadrado no esforço de tração em locais onde o solo secou durante o trabalho. Sendo que isto representa, que o máximo esforço de tração deve ocorrer próximo ao limite de plasticidade do solo;

- o efeito da umidade é quase tão importante quanto o efeito da profundidade na determinação do esforço de tração.

STAFFORD (1979a) através de testes em caixa de solo, com dois tipos de solo um arenoso e outro argiloso com variação no teor de umidade e velocidade, utilizando ferramentas retangulares com dois ângulos de ataque 45° e 90°, verificou que para todas as condições de solo a força

de tração aumenta com a velocidade, porém a taxa de aumento relaciona-se com o teor de umidade do solo.

A área de mobilização do solo aumenta com a velocidade mas se comparada ao aumento da força de tração este aumento na área torna-se muito pequeno, também verificou que a força de tração diminui com a diminuição do ângulo de ataque da ferramenta.

Estudando o desempenho de diferentes formas geométricas de hastes e ponteiros de subsoladores LANÇAS (1987) verificou que o parâmetro largura de corte foi influenciado apenas pelo tipo de ponteira, sendo que a ponteira alada proporcionou uma largura de corte estatisticamente superior à ponteira sem asas, desta forma em todas as interações com o tipo de haste e velocidade de trabalho foi observado que a ponteira alada apresentou a maior área de solo mobilizada, com diferença significativa com relação à sem asas, proporcionando assim uma melhor conversão energética.

LANÇAS (1988) viria a confirmar estas observações quando estudou o desempenho de um subsolador em função da forma geométrica das hastes, tipos de ponteiros e número de hastes, pois através deste trabalho concluiu que as montagens que utilizaram ponteiros alados apresentaram áreas de solo mobilizadas maiores quando comparadas as ponteiros

sem asas, proporcionando ainda um melhor desempenho do implemento.

Fato semelhante foi observado por SOUZA (1989) ao estudar a influência de parâmetros geométricos do subsolador na distribuição de forças, pois este autor verificou que existe uma tendência de aumento da área de solo mobilizado com o aumento da largura da ponteira.

Analizando a performance de um conjunto de ponteiras produzidas por um determinado fabricante australiano, onde os resultados mostraram que 60% da diferença entre os esforços de tração se devem ao formato das ponteiras, e que uma redução de 45% do esforço de tração pode ser obtido pela modificação da ponteira, FIELKE (1984) concluiu que a eficiência no gasto de energia com a utilização do escarificador pode ser muito aperfeiçoada, e que uma redução na projeção da área frontal da ponteira de 32% corresponde a uma redução de 25% a 45% no esforço de tração.

FIELKE, RILEY (1989) realizaram testes de campo e em canal de solo, onde estudaram a influência dos parâmetros geométricos da ponteira de escarificadores no desgaste da mesma, e o perfil do solo produzido em diferentes velocidades e tipos de solo. Observaram que variações da

largura e ângulo da ponta apresentam efeito significativo na taxa de desgaste da ponteira e que esta é função linear do comprimento da borda cortante da ponteira e independente da geometria da mesma, observaram ainda que a velocidade, altura livre e ângulo de ataque da ponteira não apresentam efeito significativo na taxa de desgaste da mesma. Com relação ao perfil do solo verificaram que este foi afetado pela geometria da ponteira, observando que o mesmo pode ser nivelado pelo aumento da largura da ponteira, decréscimo no ângulo de ataque e ângulo da ponta, sendo que a largura de solo cortado independe da velocidade crescendo linearmente com a largura da ponteira.

Verificaram ainda que:

- a altura livre tem efeito mínimo no perfil de solo mobilizado, quanto maior for este parâmetro e maior for a largura de corte, maior será o lançamento do solo efetuado pela ponteira ocasionando um vazio no centro do sulco aberto por esta;

- o ângulo da ponta também tem grande efeito no perfil de solo mobilizado, quanto maior este ângulo, menor será a altura de solo no centro do sulco.

PALMER et al. (1983) mediram as forças que atuam sobre a ponteira do escarificador, para um grupo de ponteiras de uso corrente, em várias velocidades, profundidades, e posições de trabalho. Obtiveram desta forma equações que permitem a estimativa destas forças em outras

velocidades e profundidades e através deste estudo concluíram que:

- o esforço de tração em uma ponteira do tipo asa de andorinha é menor do que em uma ponteira em forma de cunha;

- a largura da ponteira não apresenta efeito significativo no esforço de tração;

- quanto maior a profundidade maior o esforço de tração;

- as forças vertical e horizontal crescem com o aumento da velocidade;

- para obter um menor esforço de tração os resultados indicam uma maior largura na ponteira, maior espaçamento entre hastes do escarificador bem como redução na profundidade e velocidade de trabalho.

SIROHI, REAVES (1969), estudando a possibilidade de uso da técnica de similitude para o projeto de ponteiras de escarificadores observaram que:

- o fluxo de solo sobre a ponteira se dá de forma paralela ao deslocamento e independente da geometria da mesma;

- a fricção solo-metal é responsável por no máximo 20% do esforço total de tração;

- quanto menor o ângulo lateral maior o afrouxamento do solo pelo corte, quanto maior este ângulo maior quantidade de solo é mobilizada;

- o ângulo da ponta apresenta um pequeno efeito sobre o esforço de tração, sendo que foram observados menores esforços de tração para ângulos da ponta menores que 100° .

Quando do estudo de quatro modelos matemáticos para a predição do esforço de tração e área de solo mobilizado por ferramentas estreitas, PLASSE et al. (1985) observaram que:

- o aumento da profundidade e largura da ferramenta proporcionam um aumento nas forças que atuam sobre esta, as quais resultam de uma maior cunha de solo formada à frente da ferramenta;

- quanto menor o ângulo de ataque, menor o esforço de tração, visto que as forças que atuam perpendicularmente às superfícies de rompimento são menores;

- a energia necessária para tracionar a ferramenta no solo é influenciada predominantemente pela coesão do solo. Sendo a adesão e rugosidade da ferramenta outros dois fatores que afetam o esforço de tração;

- o ângulo de fricção interna do solo afeta ligeiramente o esforço de tração, sendo mais importante no que diz respeito a área de solo mobilizada, já que um maior ângulo de fricção interna do solo proporciona uma maior área de solo mobilizado;

- baixos ângulos de ataque e ferramentas mais lisas, conduzem a menores necessidades de energia e melhor eficiência no preparo do solo.

DRANSFIELD et al. (1964) em testes realizados em campos de plantio de trigo na Austrália utilizando ferramentas planas retangulares concluíram que:

- em solos soltos o esforço de tração para uma ferramenta vertical (ângulo da haste igual a 90°) cresce linearmente com a profundidade de trabalho, porém solos com maior compactação apresentam um aumento característico;

- a força de tração decresce para ferramentas com ângulo da haste igual a 45° em solo solto, mas em valores bem maiores para solos compactados.

Já Kaburaki, Kisu apud GILL, VANDEN BERG (1968) observaram em experiências realizadas com ferramentas simples inclinadas com relação a horizontal e a vertical, que a força de tração é grandemente influenciada pelo ângulo de ataque e pouco influenciada pelo ângulo lateral. Sendo que quando o ângulo de ataque foi aumentado de 20° para 90° e o ângulo lateral mantido fixo próximo de 40° a 50° , o valor do esforço de tração dobrou.

PAYNE, TANNER (1959) através de experimentos realizados no campo e em laboratório com várias ferramentas

planas retangulares, com diferentes ângulos de ataque da ferramenta com relação a horizontal e com a proporção entre profundidade e largura de 1,5:1 a 6:1 observaram que:

- existe maior mobilização de solo na frente da ferramenta para um ângulo de ataque igual a 20° , e lateralmente para um ângulo de ataque igual a 90° , sendo que a área total de solo mobilizada é maior para um ângulo de ataque igual a 20° ;

- para ângulos mais agudos ocorre um rápido acréscimo no semi-círculo de solo mobilizado que se forma à frente da ferramenta, o que melhora a eficiência desta;

- a eficiência das ferramentas obtida em função do esforço de tração por unidade de largura de solo mobilizado pouco variou com as proporções da ferramenta, mas foi extremamente sensível a variação do ângulo de ataque, sendo aproximadamente oito vezes superior em um ângulo de ataque de 20° do que em um ângulo de ataque de 160° ;

- o esforço de tração foi relativamente insensível para ângulos de ataque entre 20° e 50° , porém acima deste valor aumentou muito rapidamente chegando a ser, para um ângulo de ataque igual a 160° , no mínimo cinco vezes superior ao esforço correspondente a um ângulo de ataque de 20° , o qual proporcionou um esforço de tração mínimo, sendo assim concluíram que o ângulo de ataque é importante na redução do esforço de tração;

- para ferramentas cujo ângulo de ataque é inferior a 45° o solo proporciona uma força que auxilia a penetração

da ferramenta, mas com ângulos superiores esta reação opõe-se a penetração.

Estudando os parâmetros geométricos (largura, altura livre, ângulo de ataque e ângulo da ponta) de diversas ponteiros e seu efeito no esforço de tração e força vertical em diferentes velocidades de trabalho, utilizando um canal de solo e dois diferentes tipos de solo (condições de campo) FIELKE (1989) observou que o grupo de melhores ângulos de ataque, onde obteve um mínimo esforço de tração e máxima força vertical para baixo, situou-se entre 10° e 20°, sendo que conforme aumentava o ângulo de ataque, crescia o esforço de tração e diminuía a força vertical para baixo, fato este que confirma as observações de PAYNE, TANNER (1959).

Com relação ao ângulo da ponta verificou que em condições de solo mais arenoso, conforme este ângulo aumentou ocorreu um acréscimo no esforço de tração, o que pode ser explicado pela maior mobilização de solo promovida pela ponteira, enquanto que no solo mais argiloso, o esforço de tração decresceu e a força vertical para baixo aumentou, conforme o ângulo da ponta foi acrescido, o que pode ser explicado pelo fato deste tipo de solo apresentar uma maior tendência em aderir à ponteira.

No que diz respeito a largura da ponteira foi observado que o aumento desta proporcionou tanto um maior esforço de tração quanto uma maior força vertical para

baixo, independente do tipo de solo e velocidade de trabalho.

Já a altura livre proporcionou efeito mínimo no esforço de tração, ao passo que a força vertical para baixo aumentou em função do peso de solo acima da ponteira.

Kawamurai apud GILL, VANDEN BERG (1968), trabalhando com ferramentas inclinadas em várias profundidades e ângulos de ataque, observou que o esforço de tração mínimo ocorreu com um ângulo de ataque próximo a 15° em trabalhos a 6 cm de profundidade e a 25° em trabalhos mais superficiais, a 3 cm de profundidade.

CHANG (1990), salienta que os fatores de projeto que estão relacionados a implementos de preparo do solo são a penetração, resistência a tração e desgaste, sendo o princípio geométrico destas ferramentas definido principalmente pelo:

- ângulo de ataque, que encontra-se relacionado a penetração e esforço de tração. Quanto menor este ângulo, menor o esforço de tração e menor a força vertical para a penetração da ferramenta no solo, devendo ser de no máximo 20° ;

- ângulo da ponta, quanto menor, menor o esforço de tração mas maior a taxa de desgaste da ferramenta;

- ângulo lateral;

- altura livre.

3.4 - CAIXA DE SOLO

Ao proceder-se a pesquisas com máquinas e implementos de preparo do solo torna-se de fundamental importância, o controle das variáveis que influem no desempenho dos mesmos.

Quando da execução de testes a nível de campo o controle dos parâmetros do solo que incidem sobre o desempenho da máquina ou implemento são praticamente impossíveis de serem realizados.

DRANSFIELD et al. (1964) referindo-se a estes fatos dizem que, em condições de campo torna-se extremamente difícil a obtenção de informações confiáveis com respeito as forças que atuam sobre a ferramenta.

LÉPORE, STEFFEN (1983) destacam ser de fundamental importância durante os ensaios que as condições de teste mantenham-se aproximadamente constantes, tanto no que diz respeito ao solo, quanto a operação do implemento. Durante os ensaios é fundamental manter-se a densidade e umidade

constantes. São também importantes a granulometria, composição e estrutura do solo. Sendo que estas propriedades devem ser medidas continuamente para permitir correlacionar resultados de diferentes ensaios. Para controlar-se tais parâmetros é imprescindível dispor-se de um canal de solo de dimensões adequadas, e instalado internamente a um prédio com controle ambiental.

SCHAFER et al. (1968), salientam que o teste de sistemas solo-máquina a nível de campo são difíceis, caros e demandam muito tempo para a sua execução. Com relação ao controle das condições do solo no campo estes autores informam que isto é quase impossível e que estas dificuldades sugerem o uso de modelos em laboratório, onde estas condições podem ser controladas.

Os mesmos autores propõem o uso do índice de cone como indicador da condição de tensão no solo de uma caixa de solo, em substituição a densidade global, devido as leituras obtidas com o penetrômetro serem de rápida e fácil execução, permitindo a comparação das diversas leituras a fim de que se torne possível a avaliação da uniformidade do solo. Entretanto estes autores salientam que as leituras obtidas com este equipamento não devem ser usadas como um substituto da densidade global para todas as caracterizações.

CLARK, LILJEDAHN (1970) informam que o uso de caixas e canais de solo é conveniente e necessário, principalmente porque permitem a eliminação de todos os problemas associados aos testes de campo, indicando como principais vantagens aos estudos dos sistemas solo-máquina em caixas de solo, os seguintes aspectos:

- limitação dos testes de campo devido as condições climáticas, podendo os mesmos virem a ser interrompidos devido as condições de umidade do solo;

- dificuldade de localização de áreas adequadas aos testes experimentais, visto que o tipo de solo e condições do mesmo são muito variáveis;

- impossibilidade de controle, a nível de campo, da umidade do solo sendo que a variação desta altera sensivelmente alguns parâmetros que caracterizam o solo;

- dificuldade de comparação das informações obtidas em testes realizados em diferentes locais, pois mesmo que os solos sejam do mesmo tipo suas propriedades não são constantes;

- heterogeneidade, rugosidade e declividade do solo, fatores que afetam os testes e são de difícil controle a nível de campo.

Os mesmos autores salientam que um cuidado especial deve ser tomado com o projeto da caixa ou canal de solo, materiais a serem utilizados, bem como com o reprocessamento do solo o qual deve ser feito adequadamente.

STAFFORD (1979b), também afirma que os estudos sistemáticos do sistema solo-implemento necessitam de grande controle dos parâmetros do solo o que não é possível em condições de campo, sendo que em caixa de solo as propriedades do mesmo, quando de um experimento, apresentam maior grau de controle. As caixas de solo podem ser de dois tipos básicos; um em que a caixa de solo é móvel e a ferramenta fixa, e outro no qual o implemento é montado sobre um carro que desloca-se sobre a caixa. O primeiro tipo embora facilite a instrumentação do implemento é limitado quanto a velocidade de operação devido a massa de solo a ser movimentada.

Este autor também informa que os problemas na utilização da caixa de solo se devem ao tempo gasto para o processamento do solo, visto que o teste experimental geralmente dura minutos e o reproprocessamento do solo pode demorar várias horas, vindo o mesmo a ser afetado pelo projeto do equipamento de reproprocessamento, condições do solo e volume deste.

Com vistas a facilitar o reproprocessamento do solo as caixas de solo projetadas por este autor foram tão pequenas quanto possível, desde que não prejudicassem as exigências das condições experimentais para cada implemento, fosse ele em tamanho normal ou escala reduzida.

O solo foi considerado bem reproprocessado quando apresentou uniformidade no índice de cone e densidade global tanto em profundidade quanto ao longo da caixa. Outro fator

importante citado por este autor diz respeito a umidade do solo na caixa, sendo que a água foi pulverizada sobre o solo e posteriormente misturada ao mesmo.

Como desvantagem à utilização da caixa de solo tem-se a impossibilidade de estruturação do solo de maneira semelhante as condições de campo.

GODWIN et al. (1980), projetaram uma caixa de solo com três finalidades básicas que foram:

- proporcionar, durante a realização dos estudos, adequadas condições de homogeneidade e isotropia ao solo;
- utilizar equipamentos disponíveis comercialmente com mínima necessidade de instrumentação especial;
- minimização de custos e trabalho manual.

Para alcançar a densidade de solo desejada nos testes utilizaram um rolo compactador vibratório, sendo o solo trabalhado em camadas de 50 mm. Para assegurar um vínculo satisfatório entre as sucessivas camadas de solo, antes da colocação de cada nova camada de 50 mm a superfície daquela previamente compactada foi marcada por ferramentas estreitas a uma profundidade de 10 mm.

Os autores concluíram que com as técnicas utilizadas obtiveram uma satisfatória uniformidade no solo, sendo estas consideradas adequadas ao preparo de solo em caixas de solo.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - PONTEIRAS DE ESCARIFICADOR

Como base para o projeto das ponteiras de escarificador utilizou-se as dimensões dos diversos parâmetros considerados, conforme revisão bibliográfica, como os mais indicados para produzir um menor esforço de tração, uma adequada mobilização do solo e um mínimo desgaste na ferramenta.

Desta forma foram confeccionadas seis ponteiras de escarificador, duas para cada tipo de borda de corte a fim de que fosse possível a utilização de dois ângulos de ataque (âng. de penetração (α) + âng. de sucção (β)) para cada uma das bordas de corte estudadas.

As dimensões básicas dos parâmetros geométricos estabelecidos para as diferentes ponteiras encontram-se na tabela 1, enquanto que o desenho indicativo das mesmas é apresentado na fig. 4.

Tabela 1 - Dimensões dos parâmetros geométricos das ponteiros estudadas.

Parâmetro	Ponteira		
	A	B	C
Largura (L) (mm)	200	200	200
Comprim. da base (B) (mm)	175	175	175
Espes. da chapa (E) (mm)	3	3	3
Angulo Lateral (τ) ($^{\circ}$)	30	30	30
Ang. da ponta (θ) ($^{\circ}$)	60	35	80
Ang. de penetração (α) ($^{\circ}$)	15	15	15
Ang. de sucção (β) ($^{\circ}$)	N1	0	0
	N2	5	5
Altura livre (A) (mm)	N1	0	0
	N2	15	15

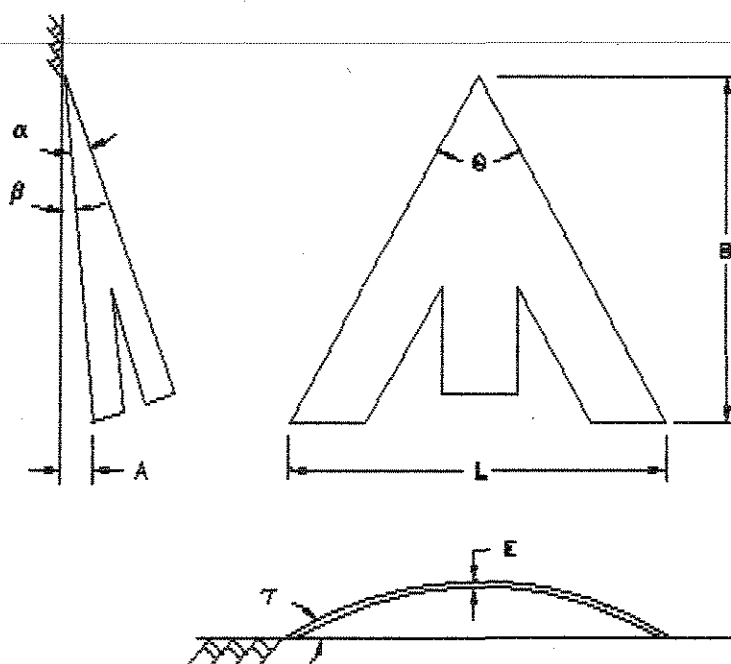


Figura 4 - Geometria básica das ponteiros estudadas.

imaginárias tangentes a borda de corte, sendo a sua origem a parte inicial da ponteira.

Desta forma procurou-se manter os valores do ângulo da ponta dentro dos limites estabelecidos por SIROHI, REAVES (1969) como o mais adequado para um menor esforço de tração, isto é, θ menor do que 100° .

Sendo o ângulo de ataque o fator que maior influência apresenta no esforço de tração, o valor mais indicado para este ângulo proporcionar um mínimo esforço de tração e máxima força vertical para baixo, conforme FIELKE (1989), situa-se em torno de 10° a 20° . Portanto tendo sido o ângulo de penetração (α) estabelecido em 15° , o ângulo de sucção (β) foi mantido em dois níveis (0° e 5°) a fim de caracterizar-se o comportamento das bordas de corte em dois diferentes ângulos de ataque (15° e 20°).

As ponteiros assim confeccionadas foram fixadas a uma haste reta com comprimento da base do anel octogonal estendido até a parte superior da ponteira igual a 115 mm e espessura de 16 mm.

Com os parâmetros geométricos das ponteiros de escarificador¹ estabelecidos da forma indicada acima foi possível o estudo de três conformações da borda de corte em dois diferentes níveis do ângulo de ataque, visando-se

¹O desenho das três conformações das ponteiros estudadas encontram-se nos anexos 1 a 3.

chegar àquela conformação a mais próxima da ideal para um menor esforço de tração e melhor preparo do solo.

4.2 - CAIXA DE SOLO

É de fácil compreensão que ao se estudar máquinas e implementos de preparo do solo apresenta importância o conhecimento das características do solo no qual serão realizados os ensaios, quando se trabalha em caixa de solo além do conhecimento destes fatores torna-se possível mantê-los constantes e dentro dos limites desejados, desta forma pode-se obter uma adequada comparação entre as diversas análises a serem realizadas.

Utilizou-se uma caixa de solo, projetada pelo Prof. Dr. Cheu-Shang Chang, apresentando as seguintes dimensões básicas:

- Comprimento: 3000 mm
- Largura: 1200 mm
- Largura útil de trabalho: 1100 mm
- Altura máxima: 1200 mm
- Altura máxima de solo dentro da caixa: 600 mm
- Altura do parafuso de acionamento: 1700 mm
- Comprimento do parafuso de acionamento: 1300 mm

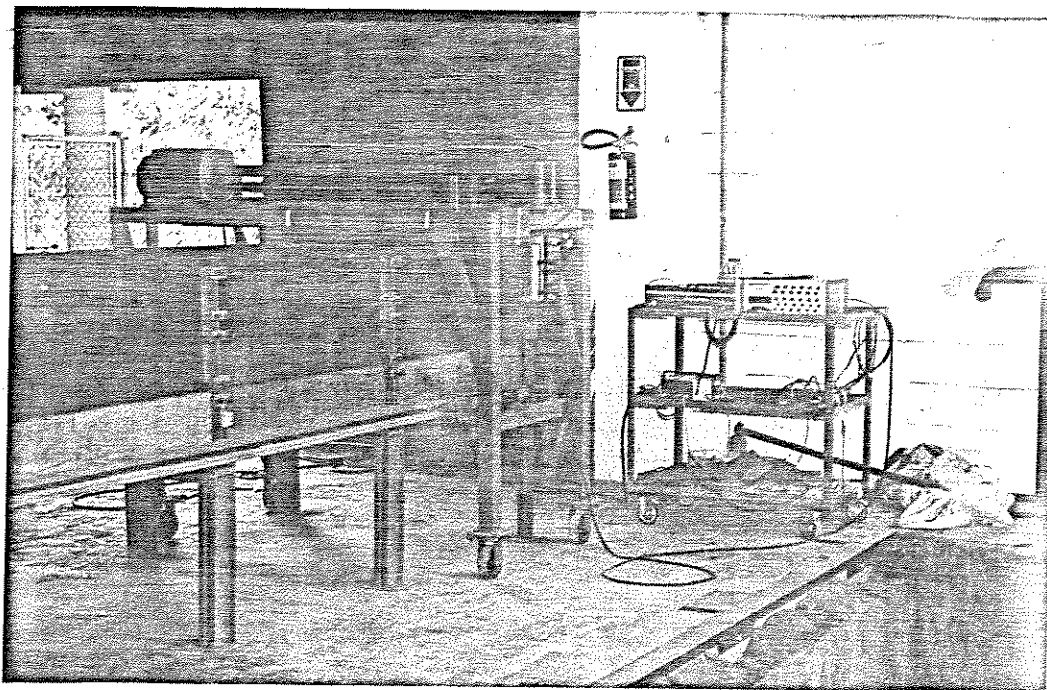


Figura 6 - Caixa de solo preparada para a execução dos ensaios.

A caixa de solo compõe-se de quatro sistemas básicos que são:

- Sistema para movimentação e medida; constituído por uma estrutura porta ferramenta e um sistema de acionamento do tipo parafuso sem-fim, o qual proporciona o deslocamento transversal da ferramenta, a movimentação desta dá-se através do acoplamento do parafuso acionador a um propulsor elétrico. Na estrutura porta ferramenta foi acoplado um transdutor do tipo anel octogonal extendido,

sendo este responsável pela determinação dos esforços produzidos pela interação solo ferramenta.

- Sistema de nivelamento do solo; composto por uma haste perfurada unida a uma chapa metálica, com 350 mm de largura, sendo então acoplados a estrutura porta ferramenta a fim de possibilitar a sua movimentação pela superfície do solo obtendo-se desta forma o nivelamento do mesmo, para posterior compactação.

- Sistema de compactação do solo; constituído por um cilindro metálico de acionamento manual em cujo interior adicionou-se areia a fim de aumentar o seu peso, sendo suas dimensões as seguintes:

- Diâmetro: 280 mm;
- Largura: 260 mm;
- Peso: 30 Kg.

Através da passagem deste equipamento sobre a superfície do solo foi possível atingir-se e manter-se a densidade desejada.

- Sistema de movimentação do solo; para que as diferentes camadas de solo colocadas na caixa fossem melhor

ajustadas tornou-se necessário após a compactação da camada inicial e antes da colocação da próxima camada criar-se uma determinada rugosidade superficial. Isto veio a ser possível com este sistema o qual apresenta-se composto por várias hastes com as pontas afiladas, as quais ao deslocarem-se sobre o solo adensado fizeram com que a superfície do mesmo apresenta-se uma certa rugosidade.

A caixa de solo foi preparada manualmente, colocando-se o solo em camadas de 50 mm, sendo estas niveladas e adensadas até atingir-se a altura de solo desejada dentro da caixa.

O solo utilizado na caixa de solo, conforme análise granulométrica feita pelo Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, apresenta o seguinte aspecto:

- Argila: 29%;
- Silte: 4%;
- Areia muito fina: 14%;
- Areia fina: 36%;
- Areia grossa: 17%.

Com estes dados e através do triângulo de classificação de solo apresentado em KIEHL (1972), pode-se classificar o solo utilizado no experimento como franco argilo siltoso.

Com relação as propriedades do solo foram feitas análises físicas e mecânicas. As análises referentes a densidade global, umidade e resistência a penetração do solo, foram executadas a fim de comprovar-se que as mesmas mantiveram-se estatisticamente constantes, no decorrer do trabalho.

4.3 - INSTRUMENTAÇÃO

Utilizou-se a caixa de solo como local de execução dos testes devido a mesma basear-se no princípio da repetibilidade das condições do solo durante a execução dos diferentes ensaios.

Para a análise dos esforços vertical e horizontal fez-se uso de um sistema de aquisição de dados composto por um transdutor acoplado a um condicionador e um conversor de sinais, sendo este último ligado a um gravador de sinais

analógicos proporcionando o registro automático dos sinais relativos aos esforços que ocorreram durante o deslocamento das ponteiros. Os sinais assim obtidos foram passados através de uma placa conversora de sinais a um microcomputador e armazenados em disquete.

Com relação a determinação do perfil de solo mobilizado, devido as reduzidas dimensões da caixa de solo, tornou-se necessário a confecção de um perfilômetro de pequena dimensão, o qual mostrou-se adequado ao trabalho proposto.

4.3.1 - SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Para a determinação das forças que atuaram sobre as ponteiros durante os diversos ensaios realizados utilizou-se como sistema de aquisição de dados, os seguintes aparelhos:

- Transdutor; a determinação dos esforços para o corte vertical e horizontal do solo foram obtidos em cada situação de trabalho através da utilização de um transdutor do tipo anel octogonal estendido projetado pelo Prof. Dr.

Cheu-Shang Chang, pois em virtude das ponteiros de escarificadores tratarem-se de ferramentas simétricas faz-se necessário medir-se apenas duas componentes de força (horizontal e vertical), sendo que para atingir-se este objetivo segundo GODWIN (1975), o transdutor ideal vem a ser o do tipo anel octogonal extendido.

O anel octogonal extendido utilizado durante o trabalho apresenta capacidade de 300 Kgf (2943 N) para a força horizontal e 150 Kgf (1472 N) para a força vertical, sendo sua sensibilidade da ordem de 0,59 mV. O mesmo foi calibrado para uma capacidade máxima de 200 Kgf (1962 N) para a força horizontal e 100 Kgf (981 N) para a força vertical.

O transdutor utilizado mostrou-se capaz de atender as necessidades do experimento, isto é, suportar as cargas impostas com deformações abaixo do limite de elasticidade sendo ao mesmo tempo sensível o suficiente detectando pequenos carregamentos.

- Condicionador de sinais; os canais de saída do transdutor foram ligados ao condicionador de sinais por meio de conectores e cabos apropriados, sendo que assim os sinais oriundos do transdutor foram transmitidos ao condicionador de sinais. Utilizou-se um condicionador de sinais, marca Kyowa², modelo DPM6G, com seis canais, cinco níveis de

²Esta e outras marcas comerciais, citadas neste trabalho não indicam recomendação do autor.

ajuste de sensibilidade e tensão de alimentação de 0,5 V ou 2,0 V, conforme a necessidade. Este equipamento foi responsável por regular a tensão para o transdutor emitindo e recebendo os sinais deste, amplificando-os e transmitindo-os ao registrador de sinais.

- Registrador de sinais; os sinais obtidos com o transdutor e amplificados pelo condicionador de sinais foram enviados a um registrador de sinais analógicos, marca Kyowa, modelo 510B, composto de sete canais de gravação, três níveis de velocidade de avanço da fita, com possibilidade de gravação do sinal de calibração em quatro níveis (0, 1, 2 e 5 V). Desta forma os sinais analógicos obtidos através do anel octogonal estendido e condicionador de sinais foram armazenados em fita cassete para posterior conversão e análise.

- Placa conversora analógico-digital; os sinais analógicos armazenados na fita cassete foram convertidos em sinais digitais através de uma placa conversora analógico-digital, modelo DT 2801 fabricada pela DATA Translation Inc.. Os sinais analógicos registrados em fita cassete foram convertidos em sinais digitais através da adaptação desta placa a um microcomputador compatível com o IBM PC modelo XT, desta forma e através de um programa computacional os sinais em volts referentes a cada uma das componentes da

força que atuou sobre as ferramentas foram armazenados em disquete para posterior análise.

Obteve-se assim os dados da força vertical e força horizontal em forma de Volts, os quais foram transformados (utilizando-se uma planilha eletrônica) através das equações de calibração do transdutor em Newton. A partir destes valores foi possível o cálculo dos valores médios das forças vertical e horizontal bem como da força resultante.

Com a finalidade de proporcionar um melhor entendimento do sistema de aquisição de dados utilizado para a determinação das forças que atuaram sobre as ponteiros analisadas apresenta-se a Fig. 7 a seguir.

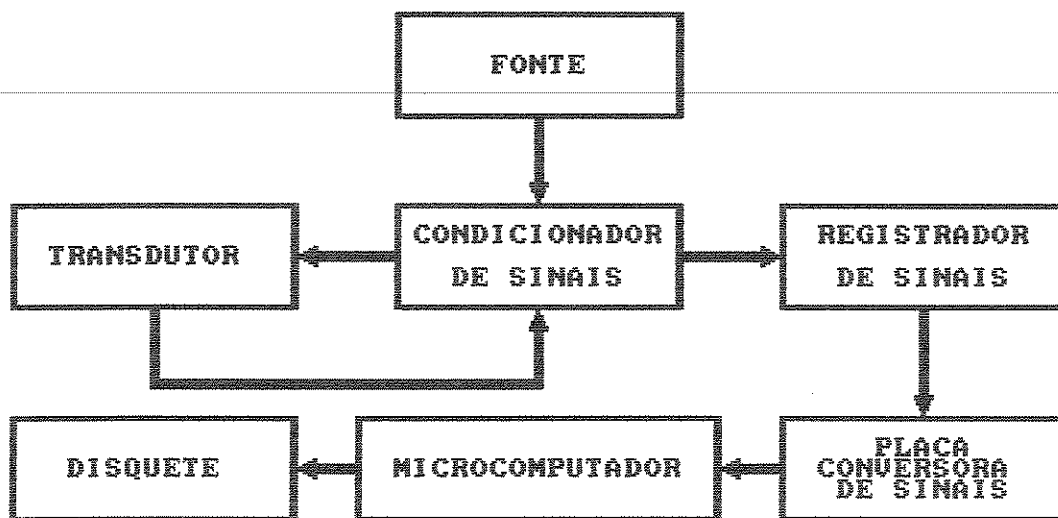


Figura 7 - Diagrama do sistema de aquisição de dados.

4.3.2 - PERFILÔMETRO

Devido as reduzidas dimensões da caixa de solo bem como a necessidade de medir-se o perfil de solo mobilizado pelas diferentes ponteiros utilizadas, foi necessário projetar-se um perfilômetro de dimensões reduzidas que apresentasse adequada precisão. Desta forma construiu-se um perfilômetro com as seguintes especificações:

- Largura útil de trabalho: 380 mm;
- Distância entre varetas: 20 mm;
- Altura das varetas: 500 mm;
- Número de varetas: 20.

As varetas foram confeccionados com tubos de alumínio de 12 mm de diâmetro externo, montadas em uma estrutura de suporte contando ainda com um sistema de travamento, a fim de facilitar a movimentação do aparelho.

O desenho com as respectivas dimensões do perfilômetro encontra-se estabelecido no anexo 7.

Após o trabalho de cada ponteira este aparelho foi colocado transversalmente ao solo mobilizado obtendo-se inicialmente através da leitura das alturas das varetas o registro em planilha do perfil de solo mobilizado superficialmente (área elevada), fig. 8, posteriormente os

pontos de colocação do perfilômetro foram marcados e procedeu-se a retirada manual do solo mobilizado naquele local até a profundidade onde o solo não havia sido movimentado. Colocou-se então novamente o perfilômetro no local previamente marcado, e procedeu-se a leitura e registro do perfil de solo subsuperficial (área mobilizada) que foi mobilizado pela ponteira. Tal procedimento foi repetido três vezes para cada uma das situações.

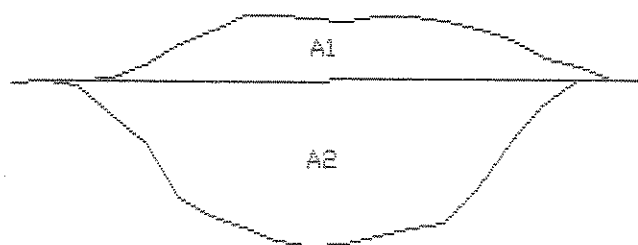


Figura 8 - Perfil da área de distúrbio do solo,
onde:

A1 - área elevada;

A2 - área mobilizada.

Os valores obtidos em coordenadas cartesianas (x, y), foram colocados no programa computacional AutoCad 10.0 pertencente ao Departamento de Máquinas Agrícolas da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, sendo que através do comando "area" foi possível a obtenção de forma direta e precisa do valor da área transversal de solo

mobilizado (A2), bem como o perfil³ da mesma para os diferentes tratamentos estudados.

Com estes dados e aqueles referentes a força resultante, para cada ponteira, foi possível o cálculo da resistência específica operacional, que nada mais é do que a força de tração (força resultante) por unidade de área transversal de solo mobilizado, parâmetro este que é um indicativo do gasto de energia por unidade de solo movimentado.

4.4 - DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Para a perfeita análise dos dados obtidos utilizou-se um delineamento estatístico onde foram considerados como variáveis independentes a geometria da ponteira, como co-variáveis a unidade, compactação do solo, profundidade de trabalho e velocidade de deslocamento das ponteiros, sendo que as variáveis dependentes foram as forças que atuam sobre a ponteira e sua influência no esforço de tração e área de solo mobilizado.

³Nos anexos 8 a 13 encontram-se os desenhos de cada perfil de solo mobilizado pelas diferentes ponteiros estudadas.

Para a análise estatística utilizou-se um ensaio fatorial que segundo AQUINO (1991) permite o conhecimento da ação conjunta dos fatores economizando-se tempo e recursos por permitir o estudo dos efeitos principais de cada fator com a mesma precisão de experimentos isolados. No presente caso utilizou-se uma estrutura fatorial 3×2 , onde:

- Fator A, composto por três formatos das bordas de corte da ponteira (relacionados também ao ângulo da ponta), formato reto (ângulo da ponta igual a 60°) formato côncavo (ângulo da ponta igual a 35°) e formato convexo (ângulo da ponta igual a 80°);

- Fator B, composto por dois ângulos de ataque um de 15° e outro de 20° , os quais são obtidos pela soma do ângulo de penetração das ponteiros ($\alpha = 15^\circ$) aos dois ângulos de sucção, $\beta = 0^\circ$ e 5° respectivamente.

Analisou-se cada tratamento através de três repetições, onde além das condições de solo também foram mantidos constantes a profundidade de trabalho e velocidade de deslocamento das ponteiros.

O ordenamento do trabalho das ponteiras para cada uma das repetições (caixas de solo) foi obtido por sorteio ficando esta distribuição da seguinte forma:

1ª repetição:

PBN1, PAN2, PAN1, PCN1, PCN2 e PBN2;

2ª repetição:

PAN2, PBN1, PBN2, PCN2, PAN1 e PCN1;

3ª repetição:

PCN1, PAN2, PCN2, PAN1, PBN2 e PBN1.

Onde:

PA; ponteira A - borda de corte reta.

PB; ponteira B - borda de corte côncava.

PC; ponteira C - borda de corte convexa.

N1; nível um - ângulo de ataque igual a 15°.

N2; nível dois - ângulo de ataque igual a 20°.

A fim de se fazer a análise dos dados de forma rápida e precisa utilizou-se o programa computacional SANEST (Sistema de Análise Estatística para Microcomputadores) da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP.

4.5 - EXPERIMENTO

Com a finalidade de realizar-se os diversos ensaios propostos para o trabalho, inicialmente procedeu-se ao preparo da caixa de solo o qual foi executado manualmente, o solo foi umedecido e revolvido para que desta forma a umidade fosse homogeneizada, colocou-se camadas de solo de 50 mm de espessura as quais foram primeiramente niveladas e posteriormente adensadas através da passagem do rolo compactador por quatro vezes, tanto no sentido longitudinal quanto no transversal.

Após o adensamento e antes da colocação da nova camada, a superfície do solo foi movimentada com as hastes que compõem o sistema de movimentação do solo, anteriormente descrito, formando-se então uma certa rugosidade superficial cuja função foi impedir o espelhamento das camadas e o deslocamento de uma em relação a outra quando da realização dos trabalhos.

Este procedimento foi repetido até atingir-se a altura de solo desejada dentro da caixa de solo.

Com relação as propriedades do solo foram feitas análises físicas e mecânicas. Realizou-se análises referentes a densidade global, umidade e resistência a penetração do solo para cada ensaio, desta forma foi possível a comprovação de que, no decorrer do trabalho, as

mesmas mantiveram-se estatisticamente constantes, num intervalo de confiança de 99%.

Para a análise da densidade global coletou-se antes da realização de cada ensaio três amostras em diferentes locais a uma profundidade de 100 mm, utilizando-se para tanto um anel volumétrico de dimensões conhecidas.

Os valores da densidade global em g/cm^3 , relativos a cada uma das repetições efetuadas são apresentados na tabela 2, juntamente com o respectivo teste de Tukey.

Tabela 2 - Densidade global (g/cm^3) e teste de Tukey.

Repet.	Densidade global (g/cm^3)				Teste de Tukey	
	amost. 1	amost. 2	amost. 3	média	5%	1%
1	1,31	1,49	1,36	1,39	a	A
2	1,34	1,33	1,32	1,33	a	A
3	1,33	1,44	1,35	1,37	a	A

Média geral = 1,36 (g/cm^3)

CV = 4,67%

Verifica-se portanto que os valores obtidos nas várias amostragens encontram-se muito próximos da média

geral, enquanto que o teste de Tukey demonstra que estes valores não apresentam diferença significativa em ambos os níveis calculados.

No que diz respeito a umidade as amostras foram coletadas após a realização dos testes na profundidade de trabalho (100 mm), sendo em número de três para cada uma das preparações da caixa de solo.

O teor de umidade do solo em porcentagem (%) obtido para cada um dos tratamentos bem como o referente teste de Tukey encontram-se na tabela a seguir.

Tabela 3 - Teor de umidade do solo (%) e teste de Tukey.

Repet.	Teor de umidade (%)				Teste de Tukey	
	amost. 1	amost. 2	amost. 3	média	5%	1%
1	12,00	12,56	12,32	12,29	a	A
2	12,40	12,15	12,36	12,30	a	A
3	12,24	12,35	12,38	12,32	a	A

Média geral = 12,31 (%)

CV = 1,50%

Ao analisar-se a tabela 3 (teor de umidade no solo) verifica-se que os valores de cada amostra encontram-se muito próximos à média geral (12.31%), sendo que o teste de Tukey, a exemplo do caso anterior, demonstra para um intervalo de 99% de confiança que com relação a porcentagem de umidade, não houve diferença significativa entre as diferentes preparações da caixa de solo.

A resistência a penetração foi obtida com a utilização do penetrógrafo de cone, marca Soil Control modelo SC 60, padrão B da ASAE (ponteira cônica com 12,83 mm de diâmetro e 30° de ângulo da ponta), em três locais diferentes da caixa de solo, antes da realização de cada repetição.

Os resultados relativos a resistência a penetração do solo, obtidos através da utilização do perfilógrafo ao nível de 100 mm (profundidade de trabalho), devidamente transformados em KPa, bem como o referente teste de Tukey encontram-se na tabela 4, sendo que os gráficos e tabelas relativos ao conjunto destes valores encontram-se nos anexos 4 a 6.

Tabela 4 - Resistência a penetração do solo (KPa)
a 100 mm de profundidade e teste de Tukey.

Repet.	Resistência a penetração (KPa)				Teste de Tukey	
	amost. 1	amost. 2	amost. 3	média	5%	1%
1	1834,47	1716,75	1942,38	1831,20	a	A
2	1942,38	1599,03	1599,03	1713,48	a	A
3	1599,03	1775,61	1716,75	1697,13	a	A

Média geral = 1747,27 (KPa)

CV = 8,09%

No que diz respeito a resistência a penetração do solo verifica-se que este foi o parâmetro que apresentou maior variação entre os resultados obtidos em cada uma das amostragens e a média geral, conforme observa-se através do coeficiente de variação, o maior entre os três itens analisados. Muito embora isto tenha ocorrido o teste de Tukey referente a este parâmetro, como pode ser observado pela tabela 4, demonstra que os valores obtidos não diferem entre si a um nível de confiança de 99%.

Os resultados mostram que a metodologia utilizada para o processamento do solo na caixa foi correta, pois possibilitou a manutenção de um adequado controle sobre as variáveis de solo envolvidas no processo, as quais podem apresentar influência no desempenho das ponteiros. Portanto pode-se afirmar com um nível de 99% de confiança, que as condições do solo foram mantidas iguais nas diferentes

preparações da caixa de solo utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

Com relação a velocidade de trabalho esta foi mantida constante e na ordem de 0,2 m/s (0,72 Km/h) para todos os tratamentos em todas as repetições, através da transmissão do movimento do propulsor elétrico ao parafuso acionador por meio de um par de rodas dentadas e corrente.

Da mesma forma a profundidade de trabalho permaneceu constante a 100 mm em todos os tratamentos e repetições, utilizando-se para tanto a haste de fixação das ferramentas sempre na mesma posição.

Após o preparo da caixa de solo esta foi coberta com um pano úmido, por cerca de dezesseis horas, a fim de que ocorresse a estabilização da umidade do solo, sendo que após este período a cobertura foi retirada e as ponteiros de escarificador adaptadas a haste de fixação, a qual foi acoplada ao transdutor, permitindo assim a realização dos testes, de acordo com o ordenamento previamente estabelecido.

Antes de iniciar-se o movimento de cada uma das ponteiros gravou-se através do registrador de sinais o número da mesma e a repetição que seria realizada a fim de facilitar a transposição dos dados armazenados em fita cassete para o computador, evitando-se também a possibilidade de erros nesta operação.

Os valores em volts referentes as forças vertical e horizontal que atuaram sobre cada uma das ponteiros nas

diferentes repetições, foram transmitidos da fita cassete para o computador e armazenados em disquete através da placa conversora analógico-digital, que encontrava-se acoplada a um microcomputador. Com estes dados e as equações de calibração do transdutor foi possível a obtenção e cálculo, com a utilização de uma planilha eletrônica, dos valores máximos, médios e mínimos, referentes as forças produzidas pela interação solo-ponteira de escarificador.

Após a passagem das ponteiras, verificou-se o perfil de solo mobilizado superficial e sub-superficialmente, utilizando-se para tanto o perfilômetro de dimensões reduzidas desenvolvido especialmente para esta função.

De posse destes dados e através da utilização do programa computacional SANEST, procedeu-se a análise estatística dos mesmos, sendo possível a identificação e diferenciação dos esforços e trabalho realizado pelas diversas ponteiras analisadas.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos durante a realização deste trabalho encontram-se divididos em diversos tópicos a fim de facilitar a análise e entendimento dos mesmos.

As análises aqui realizadas baseiam-se no procedimento estatístico previamente descrito no item 4.4, sendo que para um melhor esclarecimento das mesmas, os quadros de análise de variância, sem transformação, e teste de Tukey referentes a cada uma das variáveis estudadas (~~obtidos através da utilização do programa computacional~~ SANEST) encontram-se nos anexos 14 a 18.

São também apresentados, nesta seção, gráficos relativos as variáveis estudadas com a função de proporcionar a melhor compreensão e análise dos resultados.

Nos anexos 19 a 30 são apresentados, a título de ilustração, os gráficos pertencentes as forças horizontal e vertical relativos as diversas conformações geométricas das ponteiros estudadas.

5.1 - FORÇA HORIZONTAL

Com relação a força horizontal os valores médios em cada um dos tratamentos são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 5 - Valores médios da força horizontal - Fh (N).

Repet.	Tratamentos					
	PAN1	PAN2	PBN1	PBN2	PCN1	PCN2
1	399,167	482,661	316,168	428,642	485,993	507,508
2	358,150	383,635	354,275	371,967	361,136	381,452
3	434,241	433,648	394,409	354,810	395,179	492,268
média geral	397,186	433,315	354,951	385,139	414,103	460,409

Média geral = 407,52 N

C.V. = 12,60%

Através dos valores da média geral da força horizontal relativos a cada um dos tratamentos confeccionou-se a Fig. 9.

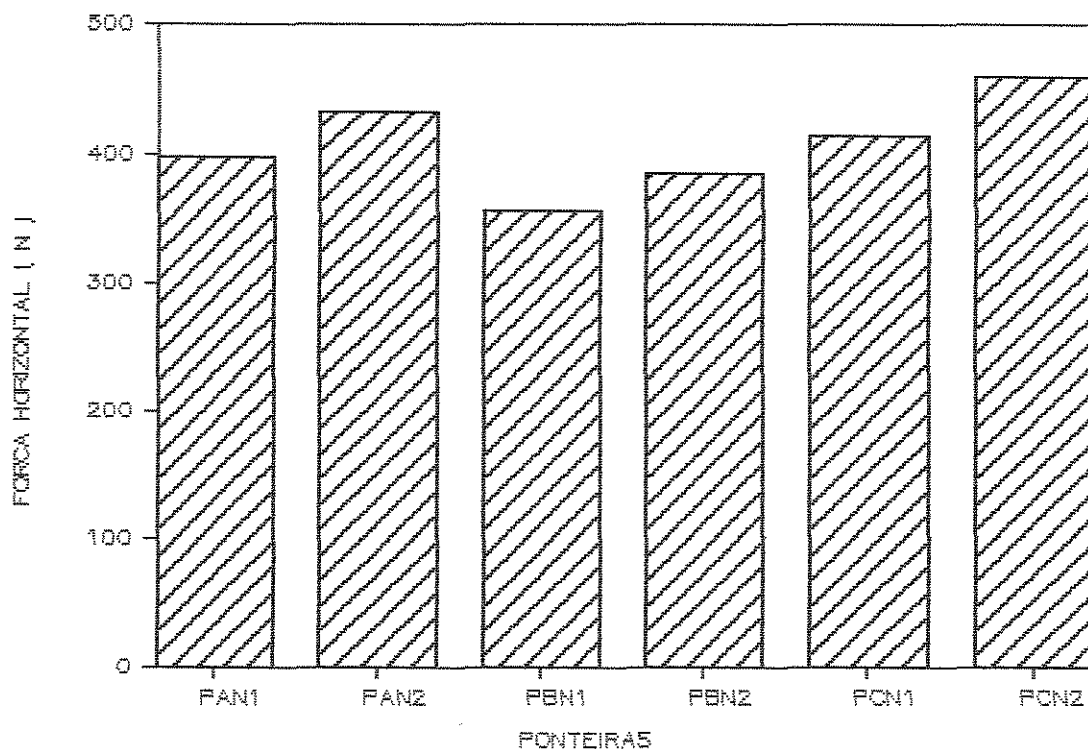


Figura 9 - Gráfico da força horizontal x ponteiros

Analisando-se a tabela 5 em conjunto com a fig. 9 observa-se, existe uma tendência da força horizontal ser maior para as ponteiros com maior ângulo de ataque e borda de corte convexa (maior θ).

Através dos valores da média geral da força horizontal referentes a cada uma das ponteiros (tabela 5) comparados ao valor da média geral da força horizontal para o conjunto das análises efetuadas observa-se que as médias obtidas encontram-se relativamente próximas a média geral o

que é evidenciado pelo coeficiente de variação da ordem de 12,60%.

Observando-se o teste de Tukey relativo ao fator borda de corte nota-se que mesmo não tendo ocorrido diferença significativa, para ambos os níveis do teste, as ponteiros com borda de corte convexa apresentaram valor médio mais alto para a força horizontal, sendo que as ponteiros com borda de corte côncava foram as que apresentaram menor valor médio.

Também não se observa diferença significativa em ambos os níveis do teste de Tukey quando relaciona-se o fator borda de corte ao fator ângulo de ataque, tanto para 15° quanto para 20°, entretanto nota-se que dentro do nível 20° do fator ângulo de ataque (N2) a ponteira com borda de corte convexa (PC) apresentou a maior média da força horizontal, enquanto que a ponteira com borda de corte côncava (PB) foi aquela que proporcionou o menor valor, o mesmo fato observa-se no nível 15° do fator ângulo de ataque (N1) onde a ponteira com borda de corte convexa (PC) apresentou o maior valor médio, e a ponteira com borda de corte concava (PB) continuou apresentando o menor valor médio para esta força, apenas a diferença relativa à força horizontal entre as ponteiros modelo PC e PA foi um pouco

menor do que aquela verificada para o fator 20° do ângulo de ataque.

Quando da análise dos valores médios da força horizontal referentes ao teste de Tukey para as médias do fator ângulo de ataque observa-se que em nenhuma das interações houve diferença significativa em ambos os níveis deste teste, no entanto em todas as situações as ponteiras com ângulo de ataque igual a 20° (nível 2) apresentaram valores médios mais altos para a força horizontal quando comparados as ponteiras com ângulo de ataque igual a 15° (nível 1).

Estas observações encontram-se de acordo com o esperado pois sabe-se que esta componente é a que mais influencia a força de tração (força resultante), desta forma verifica-se que ponteiras com maior ângulo de ataque produzem valores de força horizontal maiores, logo um esforço de tração mais elevado conforme salientado por vários autores entre eles SOUZA (1989).

5.2 - FORÇA VERTICAL

Os valores médios da força vertical obtidos em cada um dos tratamentos encontram-se na tabela 6.

Tabela 6 - Valores médios da força vertical - Fv (N).

Repet.	Tratamentos					
	PAN1	PAN2	PBN1	PBN2	PCN1	PCN2
1	16,212	154,007	39,068	85,191	86,492	111,705
2	142,262	136,011	109,445	140,568	103,266	151,557
3	152,483	50,123	83,876	41,579	136,565	138,701
média geral	103,653	113,380	77,463	89,113	108,774	133,388

Média geral = 104,40 N.

C.V. = 45,67%

A partir desta tabela, com os valores da média geral para cada uma das ponteiros construiu-se o gráfico força vertical x ponteiros, o qual possibilita uma melhor visualização e comparação dos resultados.

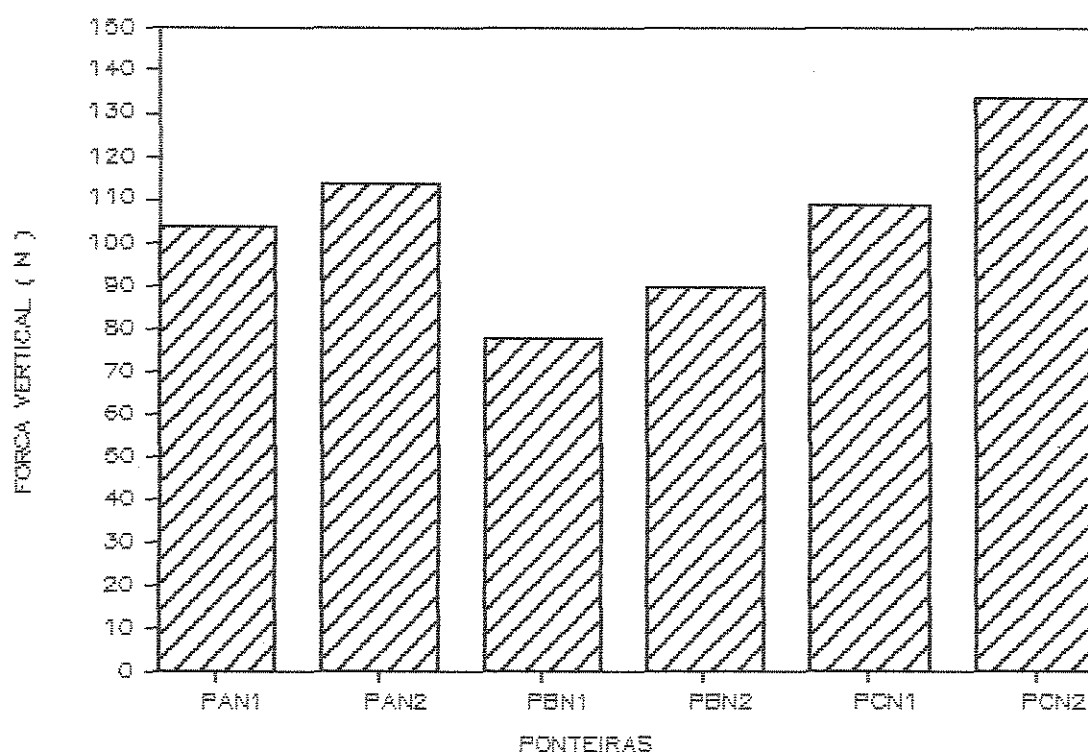


Figura 10 - Gráfico da força vertical x ponteiras

Observando-se a fig. 10 em conjunto com a tabela 6, nota-se que houve uma tendência das ponteiras com maior ângulo de ataque e maior ângulo da ponta em produzir uma maior força vertical para baixo, sendo a ponteira modelo PCN2 a que produziu o maior valor, e a ponteira modelo PBN1 a que proporcionou menor valor para a força vertical.

Ao analisar-se os valores da média geral da força vertical referentes a cada uma das ponteiras (tabela 6) em conjunto com o valor da média geral obtido através do quadro de análise de variância (anexo 15) verifica-se que estes não

encontram-se muito próximos à média geral (104,40 N), o que é evidenciado pelo alto coeficiente de variação, na ordem de 45,67%.

Verificando-se os demais quadros relativos ao teste de Tukey observa-se que para o fator borda de corte, embora não tenha ocorrido diferença significativa a um nível de 1%, as ponteiros com borda de corte convexa (PC) foram as que apresentaram no conjunto a média de valores mais altos para a força vertical seguidas pelas ponteiros com borda de corte reta (PA) e ponteiros com borda de corte côncava (PB).

Da mesma maneira não ocorreram diferenças significativas, ao mesmo nível de significância (1%), para o fator borda de corte relativamente aos dois ângulos de ataque pesquisados, pois observa-se que independentemente do fator ângulo de ataque (15° ou 20°) a ponteira com borda de corte convexa apresenta o maior valor médio e a ponteira com borda de corte côncava o menor valor médio para a força vertical. Portanto pode-se concluir que as ponteiros com borda de corte côncava ($\theta = 35^\circ$) apresentam menor facilidade de penetração no solo quando comparadas às ponteiros com borda de corte convexa ($\theta = 80^\circ$) e borda de corte reta ($\theta = 60^\circ$).

Ao proceder-se a análise do teste de Tukey referente as médias da força vertical com relação ao fator

Ângulo de ataque verifica-se que não houve diferença significativa em ambos os níveis do teste em todas as situações, entretanto em todas as interações as ponteiros com ângulo de ataque igual a 20° apresentaram valores mais altos, o que conforme VANDEN BERG (1968) proporciona maior facilidade de penetração da ferramenta no solo.

Mesmo não existindo diferença estatística entre os valores da força vertical para ponteiros com ângulo de ataque de 15° e 20° , já era esperado que as médias obtidas para ponteiros com maior ângulo de ataque fossem, em termos de valores, superiores aquelas construídas com menor ângulo de ataque, conforme observações feitas por CHANG (1990) o qual afirma que quanto menor o ângulo de ataque da ferramenta menor a força vertical para baixo que atua sobre a mesma. No que diz respeito a relação borda de corte-força vertical observa-se uma tendência das ponteiros com borda de corte convexa (maior θ) em apresentarem valor mais elevado para a força vertical, o que também foi verificado por FIELKE (1989). Para o tipo de conformação geométrica e profundidade de trabalho utilizada no presente estudo os resultados demonstram que em termos de força vertical o ângulo de ataque limite vem a ser 20° pois abaixo deste esta força perde intensidade proporcionando um menor esforço sobre a ferramenta, portanto menor facilidade de penetração da mesma no solo.

Com relação a este fato seria interessante proceder-se a novas pesquisas em ferramentas com a mesma geometria mas com maiores variações do ângulo de ataque.

5.3 - FORÇA RESULTANTE

De posse dos valores médios das forças horizontal e vertical, foi possível efetuar-se o cálculo da força resultante para cada tratamento nas diferentes repetições, obtendo-se desta forma a tabela 7.

Tabela 7 - Valores médios da força resultante - Fr (N).

Repet.	Tratamentos					
	PAN1	PAN2	PBN1	PBN2	PCN1	PCN2
1	399,496	506,636	318,573	437,027	493,629	519,656
2	385,370	407,032	370,795	397,642	375,610	410,457
3	460,235	436,535	403,230	357,238	418,111	511,435
média geral	415,033	450,068	364,199	397,302	429,117	480,516

Média geral = 422,71 N.

C.V. = 11,78%

Para uma melhor análise dos dados construiu-se a Fig. 11, que relaciona os valores da média geral da força resultante com cada uma das ponteiras.

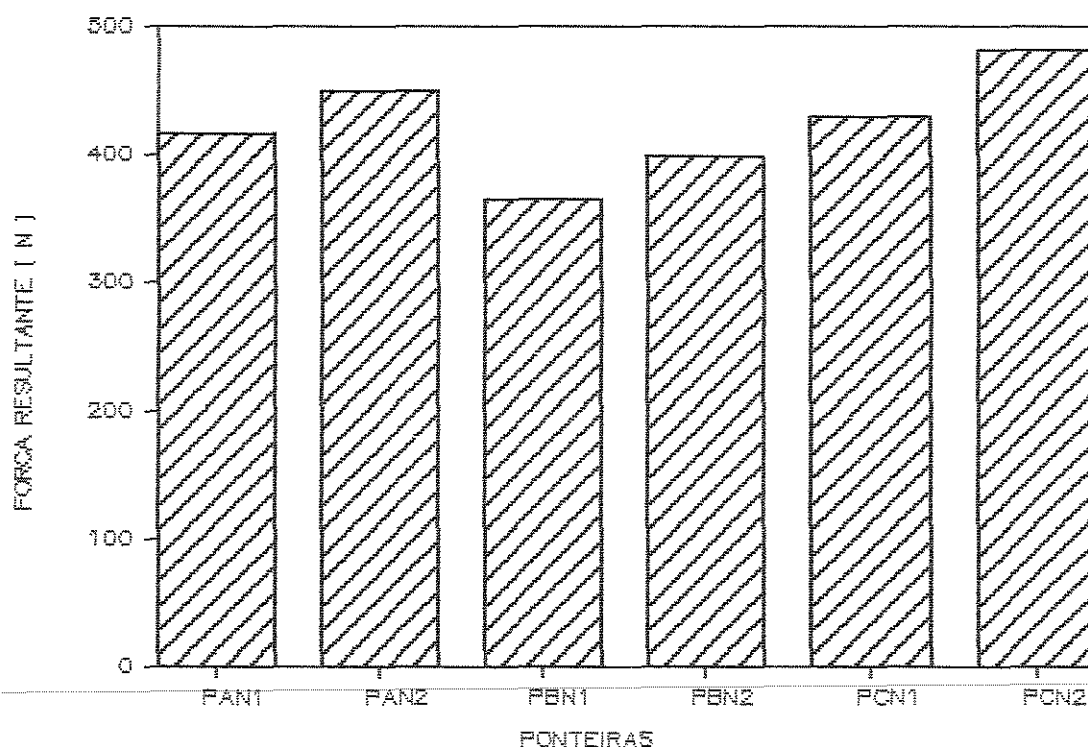


Figura 11 - Gráfico da força resultante x ponteiras

Conforme pode-se observar pela comparação dos valores da média geral da força resultante (tabela 7) e da força horizontal (tabela 5), estes são próximos, comprovando as observações feitas no item anterior, e por diversos autores, de que a força horizontal é a que maior influência apresenta na força resultante, pois os valores médios da força horizontal são muito superiores aos valores médios da

força vertical que é a outra componente da força de tração. Portanto já era esperado que o valor da média geral e coeficiente de variação da força resultante estivessem próximos daqueles encontrados para a força horizontal, conforme pode-se observar através da comparação do quadro de análise de variância para a força resultante (anexo 16) e o quadro de análise de variância para a força horizontal (anexo 14).

Uma análise inicial da fig. 11, permite a verificação de que as ponteiros com borda de corte convexa ($\theta = 80^\circ$) tendem a proporcionar maiores valores para a força resultante ao passo que as ponteiros com borda de corte côncava ($\theta = 35^\circ$) tendem a produzir menores valores de força resultante. Com relação ao ângulo de ataque verifica-se que o acréscimo deste proporciona um aumento da força resultante (esforço de tração).

Ao proceder-se a análise do teste de Tukey com referência as médias obtidas para o fator borda de corte nota-se, a exemplo da força horizontal a não ocorrência de diferença significativa, num intervalo de 99% de confiança, entre os valores médios da força resultante relativos as diferentes bordas de corte estudadas, muito embora as ponteiros com borda de corte convexa tenham apresentado o maior valor médio enquanto as ponteiros com borda de corte

côncava apresentaram o menor valor médio para a força resultante.

Da mesma forma não houve diferença significativa, ao mesmo nível de significância anterior, quando foram relacionados o fator borda de corte com o fator ângulo de ataque, observa-se que tanto para o nível 15° quanto para o nível 20° do fator ângulo de ataque, a ponteira com borda de corte convexa alcançou o maior valor médio para a força resultante ao passo que a ponteira com borda de corte côncava apresentou o menor valor médio.

Verifica-se portanto que as ponteiras com borda de corte côncava ($\theta = 35^\circ$) em ambas as situações proporcionaram os menores valores para a força resultante (esforço de tração), ao passo que as ponteiras com borda de corte convexa ($\theta = 80^\circ$) produziram os maiores valores para esta força, o que comprova as observações de CHANG (1990), o qual afirma que o ângulo da ponta apresenta certa influência no esforço de tração produzido pela ponteira, sendo que um menor ângulo proporciona uma menor resistência a tração da ponteira.

Com relação ao teste de Tukey para os valores médios da força resultante referentes ao fator ângulo de ataque nota-se que também neste caso não ocorreu diferença

significativa, num intervalo de confiança de 99%, no entanto em todas as interações as ponteiros com ângulo de ataque igual a 20° (N2) apresentaram médias maiores para a força resultante do que as ponteiros com ângulo de ataque igual a 15° (N1), este fato comprova as observações feitas por vários autores, entre eles PLASSE et al. (1985), os quais salientam que quanto maior o ângulo de ataque da ferramenta maior o esforço necessário à tração.

Portanto do exposto pode-se concluir que, mesmo não tendo ocorrido diferença estatisticamente significativa entre os valores médios encontrados para a força resultante, as ponteiros com ângulo de ataque igual a 15° apresentaram tendência a produzir um menor esforço de tração, ao passo ~~que com relação ao fator borda de corte as ponteiros com~~ borda de corte côncava, independente do ângulo de ataque, proporcionaram, no conjunto, o menor valor médio, enquanto que as ponteiros com borda de corte convexa apresentaram o maior valor médio para a força resultante.

5.4 - AREA TRANSVERSAL DE SOLO MOBILIZADO

Os valores médios da área transversal de solo mobilizado devido ao trabalho de cada uma das ponteiros nas diferentes repetições encontram-se na próxima tabela.

Tabela 8 - Valores médios da área transversal de solo mobilizado - A (m²).

Repet.	Tratamentos					
	PAN1	PAN2	PBN1	PBN2	PCN1	PCN2
1	0,01914	0,02432	0,01666	0,02240	0,01822	0,02142
2	0,01912	0,02560	0,00953	0,01972	0,01970	0,02038
3	0,01948	0,02248	0,01672	0,02154	0,01940	0,02292
média geral	0,01925	0,02413	0,01430	0,02122	0,01911	0,02157

Média geral = 0,01993 m²

C.V. = 9,97%

Com os valores da média geral das áreas transversais de solo mobilizado foi possível confeccionar-se o gráfico área mobilizada x ponteira, apresentado a seguir.

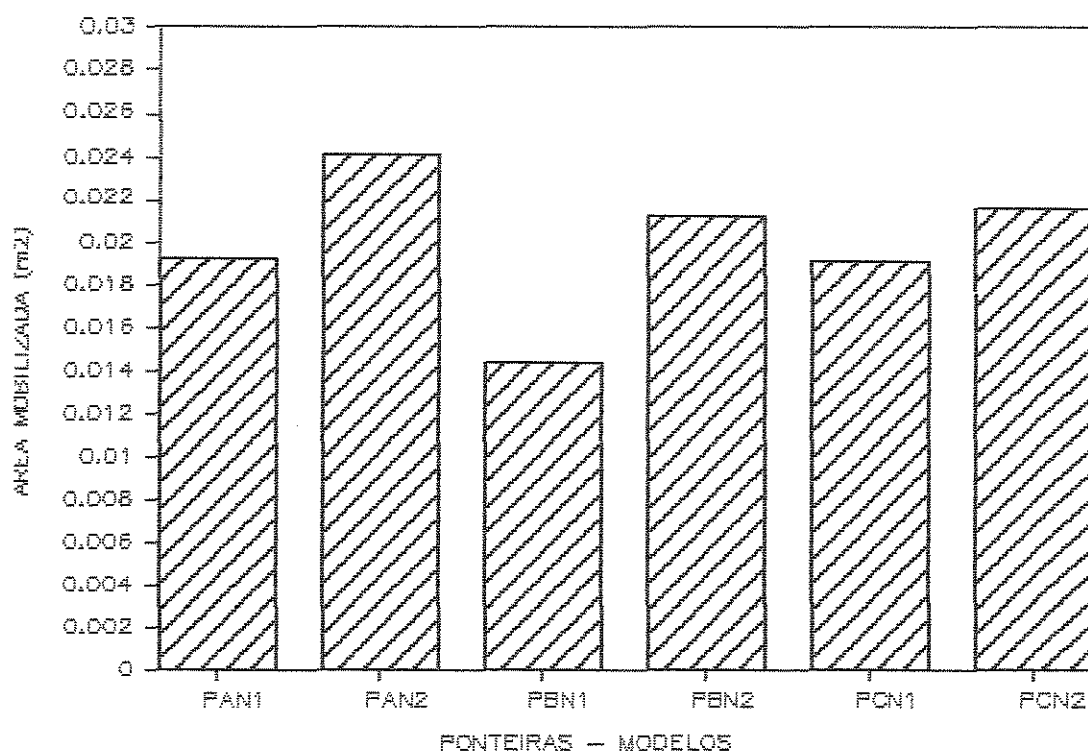


Figura 12 - Gráfico da área mobilizada x ponteiras

Analisando-se o desempenho geral das ponteiras com relação a área transversal de solo mobilizado (tabela 8) nota-se que a ponteira com ângulo de ataque igual a 20° e borda de corte reta (PAN2) foi a que apresentou média geral mais elevada enquanto que a ponteira com ângulo de ataque igual a 15° e borda de corte côncava (PBN1) produziu o menor valor médio de área de solo mobilizado, entretanto estes valores não variaram muito com relação a média geral, conforme pode ser observado pelo baixo coeficiente de variação.

A análise do teste de Tukey para esta variável demonstra que com relação as bordas de corte houve diferença significativa a um nível de 5% entre as ponteiros com borda de corte côncava ($\theta = 35^\circ$) e as ponteiros com borda de corte reta ($\theta = 60^\circ$), mas entre estas e as ponteiros com borda de corte convexa ($\theta = 80^\circ$) não ocorreu diferença significativa. Através da mesma tabela observa-se que as ponteiros com borda de corte reta foram as que apresentaram maior valor médio de área transversal de solo mobilizado, enquanto que as ponteiros com borda de corte côncava produziram o menor valor médio, tal fato leva a conclusão de que as ponteiros que apresentam uma maior projeção da área frontal e maior ângulo da ponta mobilizam uma maior quantidade de solo, o que vem a ser confirmado nos estudos realizados por FIELKE (1989), fato oposto ao que ocorre com as ponteiros que possuem borda de corte côncava, as quais apresentam menor projeção da área frontal e menor ângulo da ponta, mobilizando portanto uma menor quantidade de solo.

Prosseguindo-se a análise do teste de Tukey para os valores da área transversal de solo mobilizado, no que concerne a interação borda de corte e ângulo de ataque igual a 15° observa-se que a ponteira com borda de corte convexa (PCN1) não diferiu significativamente, num intervalo de 99% de confiança, da ponteira com borda de corte reta (PAN1), entretanto entre esta e a ponteira com borda de corte

côncava (PBN1), houve diferença significativa ao nível de significância de 5%.

Com relação ao fator ângulo de ataque igual a 20°, neste caso da mesma forma que no anterior a ponteira com borda de corte reta (PAN2) não diferiu significativamente da ponteira com borda de corte convexa (PCN2), o mesmo ocorrendo entre esta e a ponteira com borda de corte côncava (PBN2).

Observando-se o teste referente as médias de área transversal de solo mobilizado com relação ao fator ângulo de ataque nota-se que houve diferença significativa, num intervalo de 99% de confiança, entre as ponteiros com ângulo de ataque de 15° e 20°, sendo que as ponteiros com maior ângulo de ataque apresentaram maior valor médio, indicando que o ângulo de ataque, por consequência o ângulo de sucção (β) além de influenciar no esforço de tração (força resultante) também apresenta influência na mobilização de solo efetuada pela ponteira.

Quando da análise do teste de Tukey relacionando-se o fator ângulo de ataque (N1 e N2) às diferentes bordas de corte verifica-se que ocorreram diferenças significativas, ao nível de 5%, dentro do fator borda de corte reta, isto é, a ponteira PAN2 mobilizou uma maior

quantidade de solo do que a ponteira PAN1, sendo esta diferença significativa estatisticamente, o mesmo acontecendo para o fator borda de corte côncava, ponteiros PBN1 e PBN2. Entretanto para o fator borda de corte convexa não houve diferença significativa entre os valores médios encontrados em ambos os níveis do ângulo de ataque, logo com relação a área transversal de solo mobilizado, a ponteira PCN1 não diferiu estatisticamente da ponteira PCN2.

Mesmo sendo a ponteira com ângulo de ataque igual a 20° ($\beta = 5^\circ$) e borda de corte reta (PAN2) aquela que maior valor de área transversal de solo mobilizou ela não diferiu estatisticamente da ponteira com ângulo de ataque igual a 20° ($\beta = 5^\circ$) e borda de corte convexa (PCN2), conforme pode ser observado pelos diferentes testes realizados, logo pode-se concluir que em termos de mobilização de solo ambas as ponteiros são equivalentes, sendo as que mais mobilizaram o solo.

5.5 - RESISTÊNCIA ESPECÍFICA OPERACIONAL

Os valores referentes a resistência específica operacional em KN/m^2 , obtidos através da divisão da força

resultante pela área transversal de solo mobilizado encontram-se na tabela 9.

Tabela 9 - Valores médios da resistência específica operacional - RE (KN/m²).

Repet.	Tratamentos					
	PAN1	PAN2	PBN1	PBN2	PCN1	PCN2
1	20,872	20,832	19,122	19,510	27,093	24,260
2	20,155	15,900	38,908	20,164	19,067	20,140
3	23,626	19,419	24,117	16,585	21,552	22,314
média geral	21,551	18,717	27,382	18,753	22,571	22,238

Média geral = 21,87 KN/m²

C.V. = 22,12%

A Fig. 13 apresenta o gráfico com os valores da média geral da resistência específica operacional referente a cada um dos tratamentos realizados.

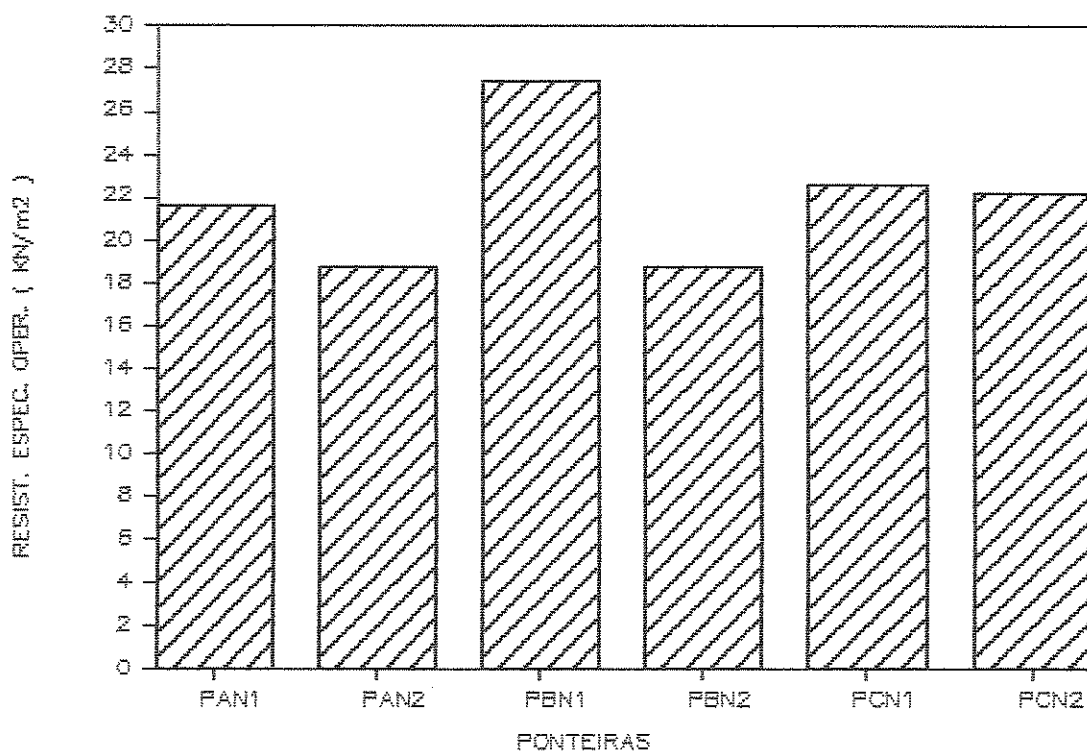


Figura 13 - Gráfico da resistência específica operacional x ponteiros

Ao proceder-se a análise das médias gerais relativas a resistência específica operacional (força resultante por unidade de área de solo mobilizado) tabela 9, observa-se que, em linhas gerais os valores encontrados não situam-se muito próximos da média geral.

Ao observar-se o teste de Tukey para o fator borda de corte (anexo 18) verifica-se que no conjunto as ponteiros com borda de corte côncava ($\theta = 35^\circ$) apresentaram maior média de resistência específica operacional, sendo que as

ponteiras com borda de corte reta alcançaram o menor valor médio. Portanto com estas observações e aquelas decorrentes da análise da força resultante e área de solo mobilizado, verifica-se que embora as ponteiras com borda de corte côncava (PB) tenham produzido uma menor força resultante (esforço de tração) a área de solo mobilizado pelas mesmas foi também muito menor do que as demais, a ponto das ponteiras com este tipo de borda de corte apresentarem a maior resistência específica operacional, fato oposto ao que ocorreu com as ponteiras com borda de corte reta (PA) e convexa (PC), as quais proporcionaram menor resistência específica operacional mostrando-se portanto, mais eficientes no consumo de energia por unidade de área de solo mobilizado. Muito embora isto tenha ocorrido estas diferenças não foram suficientemente grandes a ponto das mesmas virem a ser estatisticamente comprovadas, pois em ambos os níveis do teste de Tukey (5% e 1%) não houve diferença significativa entre as médias da resistência específica operacional.

Com relação ao fator borda de corte referente aos dois níveis do ângulo de ataque, verifica-se que as ponteiras com ângulo de ataque igual a 20° ($\beta = 5^\circ$), independente da borda de corte, apresentaram um menor valor médio para a resistência específica. Mesmo esta diferença não sendo significante estatisticamente num intervalo de 99% de confiança, pode-se concluir que embora as ponteiras com

maior ângulo de ataque produzam um maior esforço de tração (força resultante) este é compensado pela maior mobilização de solo obtida por estas ponteiros o que as leva a apresentarem menores valores de resistência específica operacional.

Analisando-se individualmente o fator ângulo de ataque para cada nível do fator borda de corte, verifica-se que, dentro de 15° do fator ângulo de ataque a ponteira com borda de corte reta ($\theta = 60^\circ$) apresentou o menor valor médio para a resistência específica operacional, Tendo este fato se repetido dentro de 20° do fator ângulo de ataque, entretanto em ambos os casos as diferenças não mostraram-se estatisticamente significantes, num intervalo de 99% de confiança.

Do exposto conclui-se que, no conjunto as ponteiros com ângulo de ataque igual a 20° foram as que tenderam a apresentar um melhor aproveitamento em termos de esforço de tração por unidade de área transversal de solo mobilizado. Já no que diz respeito ao fator borda de corte, verifica-se que as ponteiros com borda de corte reta, no conjunto, foram as de melhor aproveitamento (menor resistência específica operacional).

Em termos de valores a ponteira PAN2 (ângulo de ataque igual a 20° e borda de corte reta) foi a que apresentou o melhor resultado, isto é, o menor valor médio relativo a resistência específica operacional, enquanto que a ponteira que apresentou a maior resistência específica operacional (necessidade de energia para mobilização do solo), foi aquela com ângulo de ataque igual a 15° e borda de corte côncava (PBN1).

6 - CONCLUSÕES

- A metodologia empregada na preparação da caixa de solo utilizada durante o trabalho, mostrou-se eficaz e confiável, pois os parâmetros do solo que poderiam influir no desempenho das ponteiros foram adequadamente controlados, mantendo-se estatisticamente constantes durante as diferentes repetições realizadas.

- Os valores médios obtidos para a força resultante foram quase idênticos aqueles referentes a força horizontal, portanto ponteiros que proporcionaram menor força horizontal produziram menor esforço de tração.

- As ponteiros PAN2 (borda de corte reta, $\theta = 60^\circ$ e $\beta = 5^\circ$) e PBN2 (borda de corte côncava, $\theta = 35^\circ$ e $\beta = 5^\circ$) apresentaram valores de resistência específica operacional (consumo energético/unidade de área de solo mobilizado) muito próximos, tendo sido estes os menores dentre todas as análises realizadas. Entretanto considera-se a ponteira PAN2 como sendo a de melhor conformação geométrica por proporcionar além do menor valor de resistência específica

operacional, um maior valor de força vertical e área de solo mobilizada, quando comparada a ponteira modelo PBN2.

- O esforço de tração embora venha a ser uma componente importante, não pode ser tomado como parâmetro único na análise do desempenho da ponteira, pois a força vertical, força horizontal e área de solo mobilizada também são fatores relevantes. Portanto torna-se mais indicado a análise geométrica das ponteiras utilizando-se todos os parâmetros listados acima, tendo-se como base principal a resistência específica operacional.

7 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

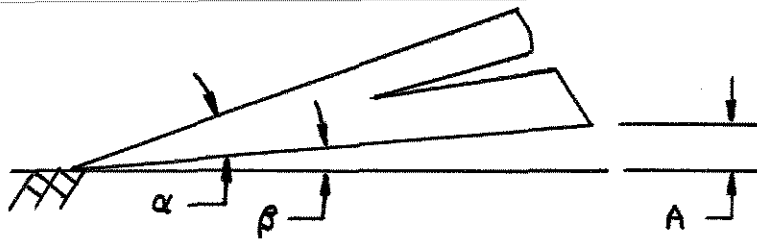
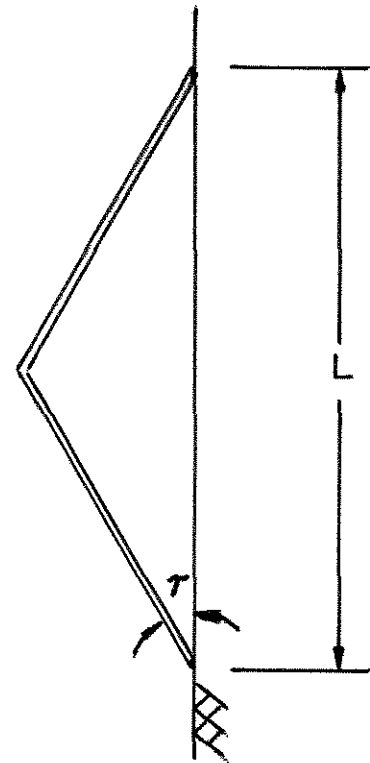
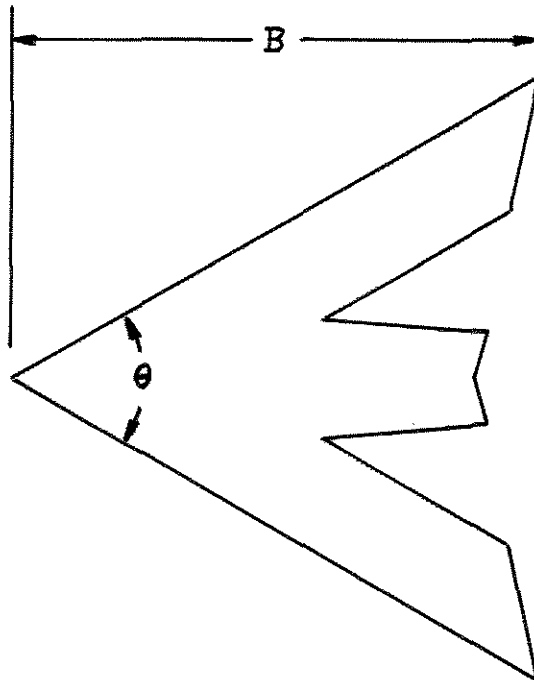
Ao finalizar-se este trabalho sugere-se a partir dos dados aqui apresentados que sejam realizados:

- Novos testes com outros ângulos de ataque, cuja finalidade vem a ser a obtenção de mais informações principalmente no que se refere a força vertical;

- ~~Diferentes variações nas bordas de corte, para~~ obter-se maiores subsídios com relação a este parâmetro geométrico;

- Com as mesmas conformações geométricas um novo trabalho variando-se a largura de corte das ponteiros, a fim de verificar-se a influência desta no desempenho geral da ponteira.

8 – ANEXOS



D M A
FEAGRI-UNICAMP

DESIGNAÇÃO

PARÂMETROS GEOMÉTRICOS
PONTEIRA MODELO PA

MATERIAL

SAE 1020

ESPESSURA

3 mm

ESCALA

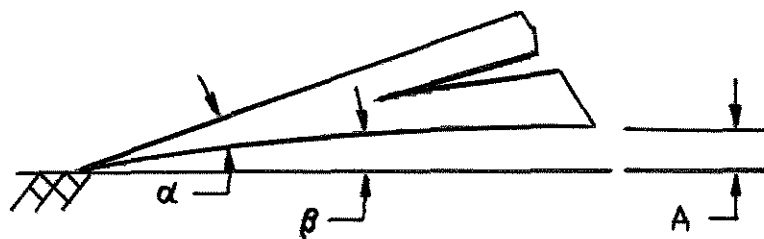
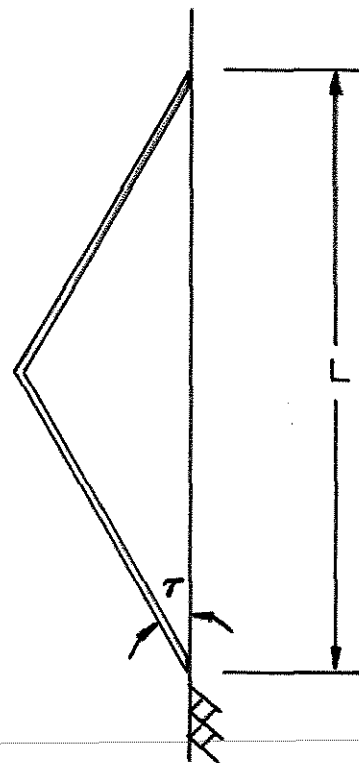
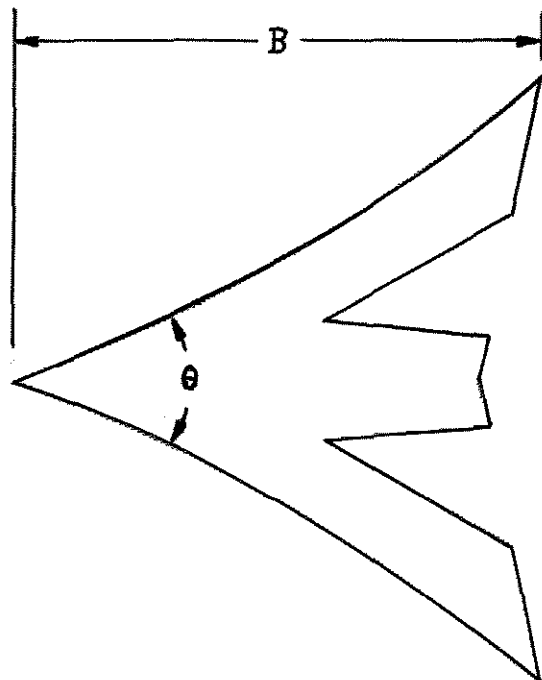
1 : 2,5

PROJETO

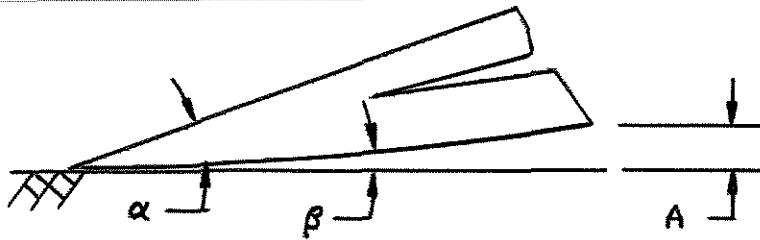
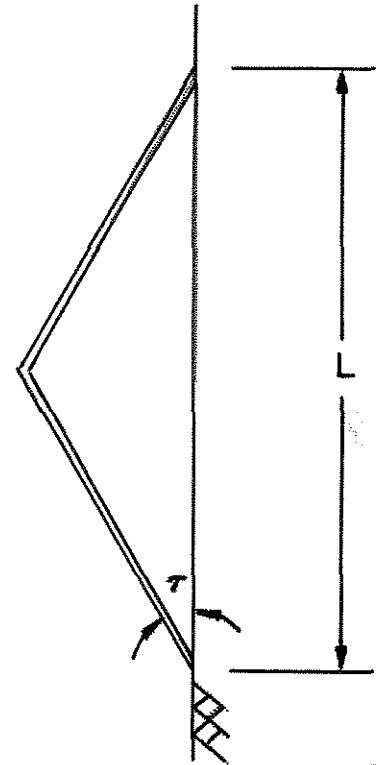
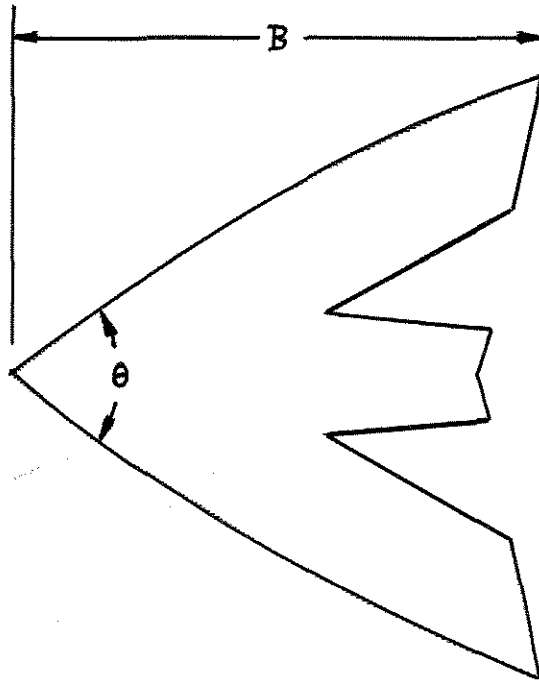
LILLES

DATA

01/10/92



D M A FEAGRI-UNICAMP		DESIGNAÇÃO PARÂMETROS GEOMÉTRICOS PONTEIRA MODELO PB	
MATERIAL	SAE 1020	ESPESSURA	3 mm
PROJETO		ESCALA	1 : 2,5
LILLES		DATA	01/10/92



D M A
FEAGRI-UNICAMP

DESIGNAÇÃO
PARÂMETROS GEOMÉTRICOS
PONTEIRA MODELO PC

MATERIAL SAE 1020

ESPESSURA 3 mm

ESCALA 1 : 2,5

PROJETO LILLES

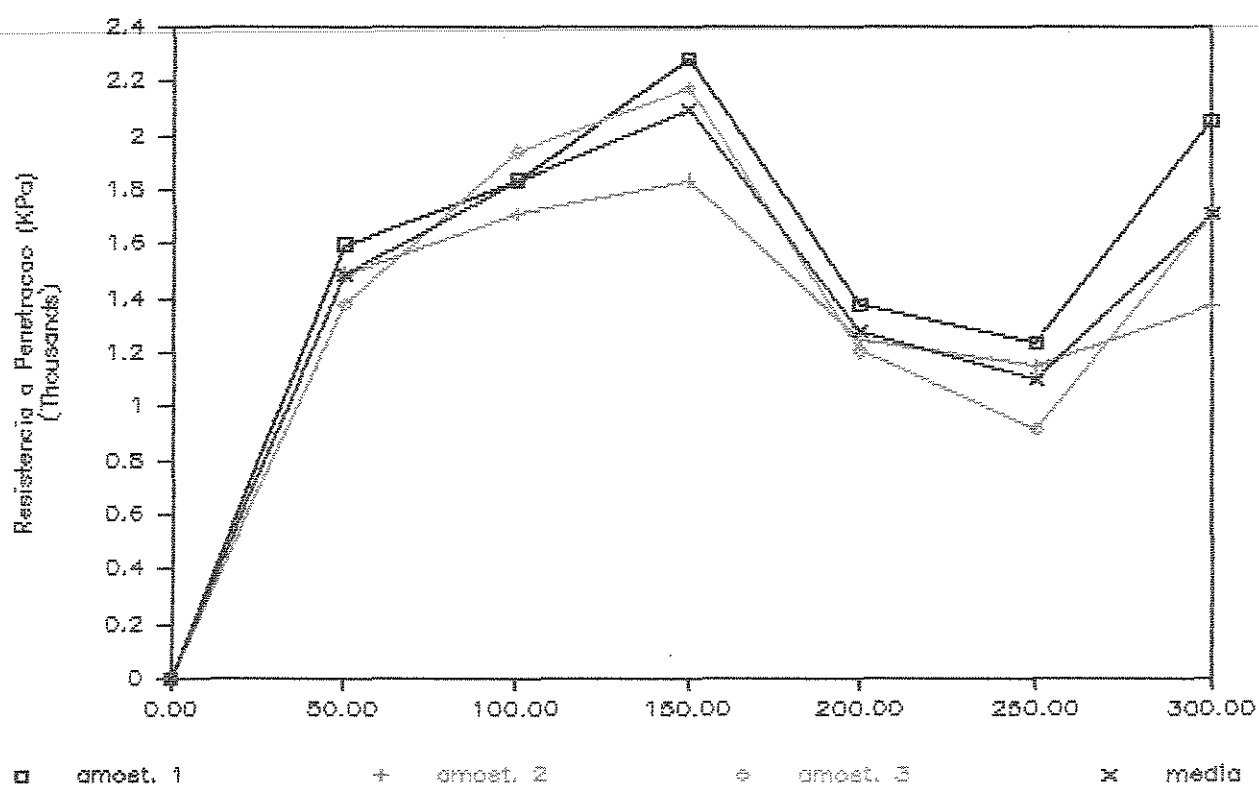
DATA 01/10/92

ANEXO 4

Tabela de valores da resistência a penetração referentes a primeira preparação da caixa de solo.

profund. (mm)	resistência a penetração (KPa)			
	amost. 1	amost. 2	amost. 3	média
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50,00	1599,03	1491,12	1373,40	1487,85
100,00	1834,47	1716,75	1942,38	1831,20
150,00	2285,73	1834,47	2177,82	2099,34
200,00	1373,40	1255,68	1206,63	1278,57
250,00	1236,06	1147,77	915,27	1099,70
300,00	2060,10	1373,40	1716,75	1716,75

Gráfico da resistência a penetração referente a primeira preparação da caixa de solo.



ANEXO 5

Tabela de valores da resistência a penetração referentes a segunda preparação da caixa de solo.

profund. (mm)	resistência a penetração (KPa)			
	amost. 1	amost. 2	amost. 3	média
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50,00	1716,75	1255,68	1491,12	1487,85
100,00	1942,38	1599,03	1599,03	1713,48
150,00	2030,67	1716,75	1942,38	1896,60
200,00	1255,68	1491,12	1373,40	1373,40
250,00	1030,05	1491,12	1314,54	1278,57
300,00	1147,77	1373,40	1314,54	1278,57

Gráfico da resistência a penetração referente a segunda preparação da caixa de solo.

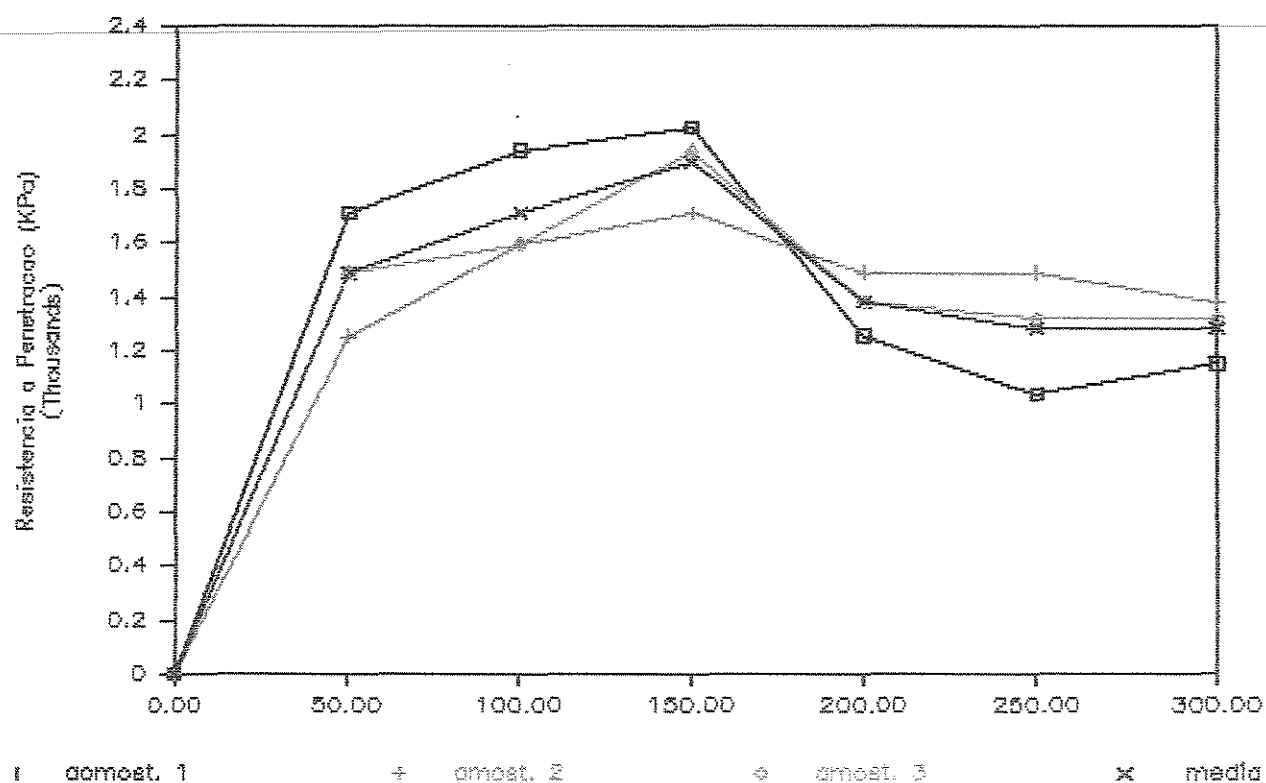
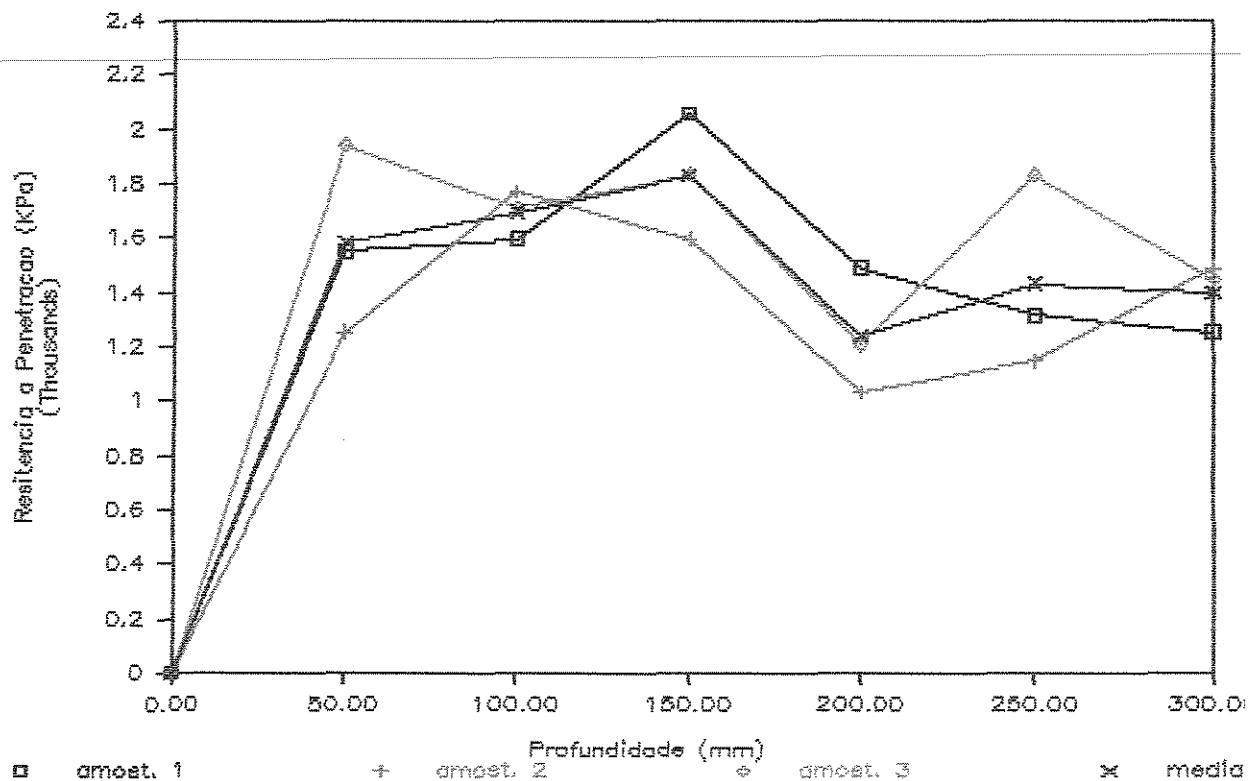
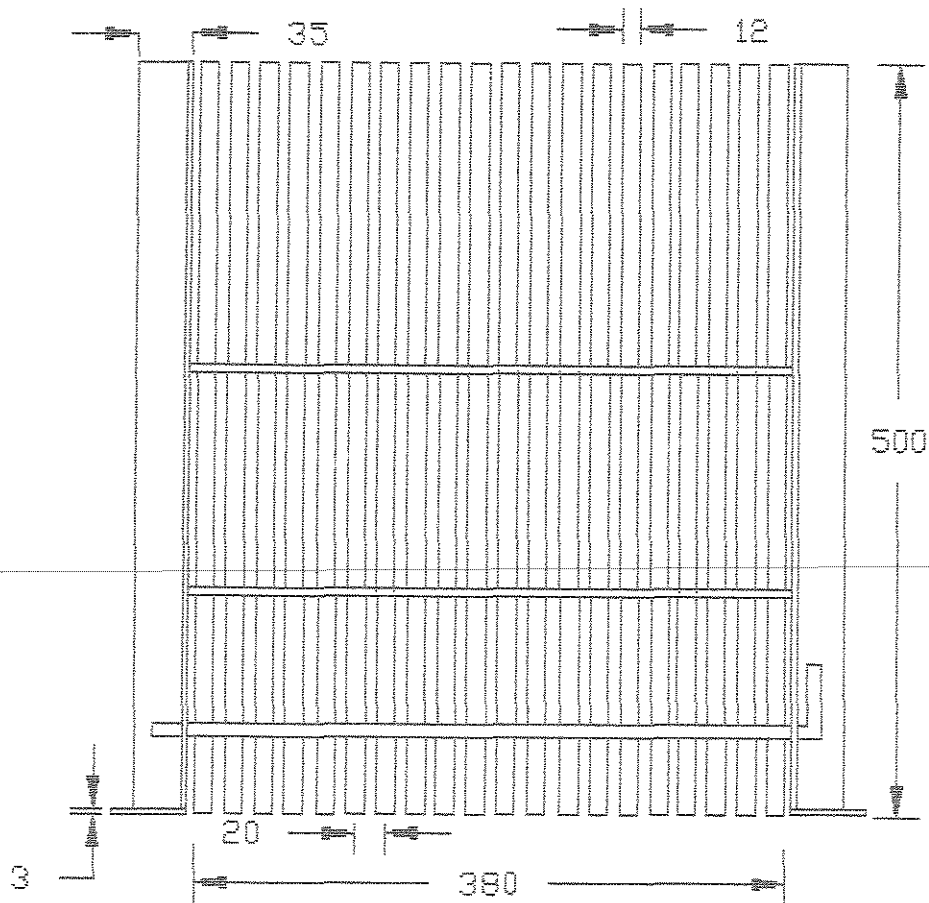


Tabela de valores da resistência a penetração referentes a terceira preparação da caixa de solo.

profund. (mm)	resistência a penetração (KPa)			
	amost. 1	amost. 2	amost. 3	média
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50,00	1549,98	1255,68	1942,38	1582,68
100,00	1599,03	1775,61	1716,75	1697,13
150,00	2060,10	1599,03	1834,47	1831,20
200,00	1491,12	1030,05	1206,63	1242,60
250,00	1314,54	1147,77	1834,47	1432,26
300,00	1255,68	1491,12	1442,07	1396,29

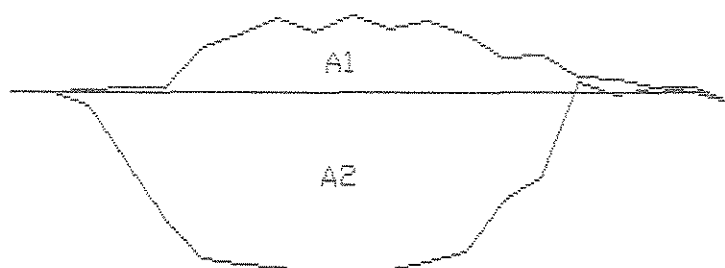
Gráfico de resistência a penetração referente a terceira preparação da caixa de solo.





D M A FEAGRI-UNICAMP		DESIGNAÇÃO PERFILÔMETRO	
MATERIAL TUBOS ALUMÍNIO $\varnothing$ 12 mm CANTONEIRAS 35x35 mm		PROJETO LILLES	ESCALA 1 : 5
			DATA 01/10/92

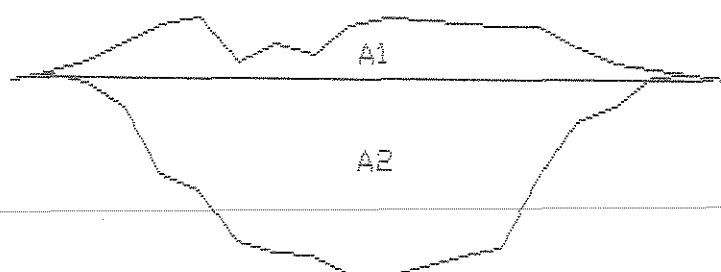
Perfil de solo mobilizado - Ponteira PAN1



Primeira repetição

$$A1 = 0,00658 \text{ m}^2$$

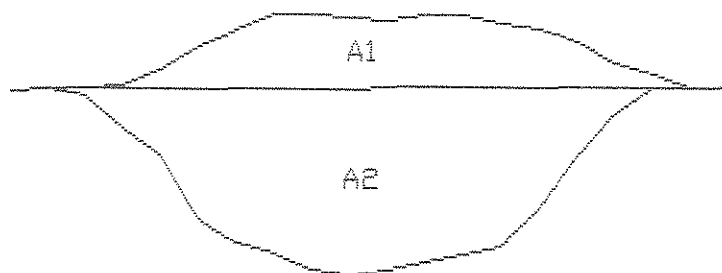
$$A2 = 0,01914 \text{ m}^2$$



Segunda Repetição

$$A1 = 0,00716 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,01912 \text{ m}^2$$

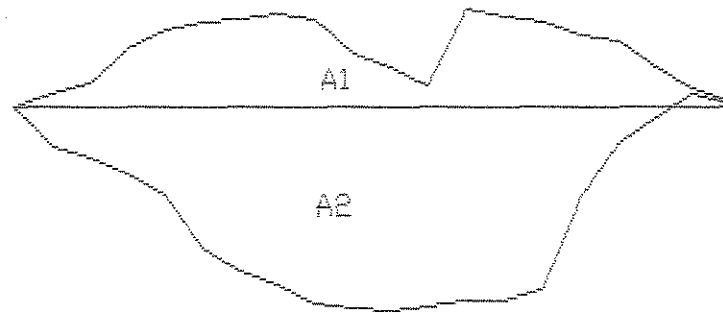


Terceira Repetição

$$A1 = 0,00814 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,01948 \text{ m}^2$$

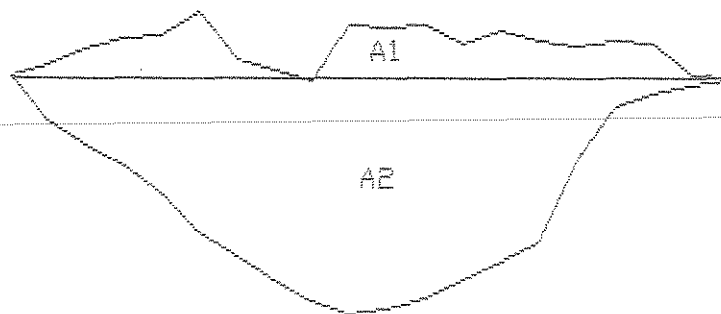
Perfil de solo mobilizado - Ponteira PAN2



Primeira Repetição

$$A1 = 0,01121 \text{ m}^2$$

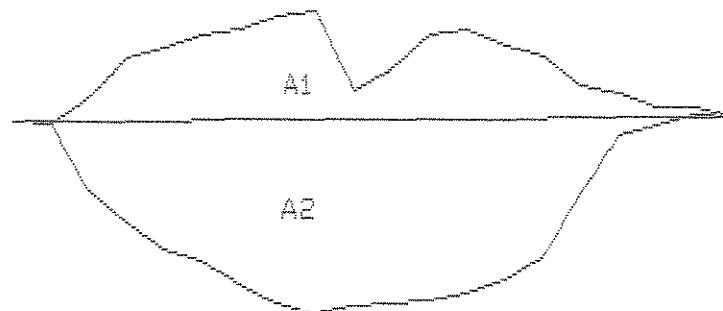
$$A2 = 0,02432 \text{ m}^2$$



Segunda Repetição

$$A1 = 0,00674 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,02560 \text{ m}^2$$

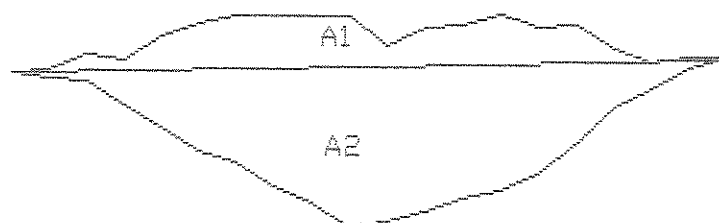


Terceira repetição

$$A1 = 0,00978 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,02249 \text{ m}^2$$

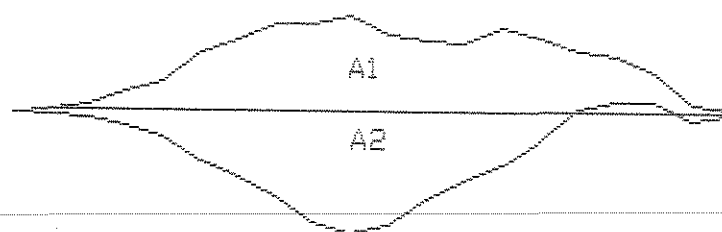
Perfil de solo mobilizado - Ponteira PBN1



Primeira Repetição

$$A1 = 0,00550 \text{ m}^2$$

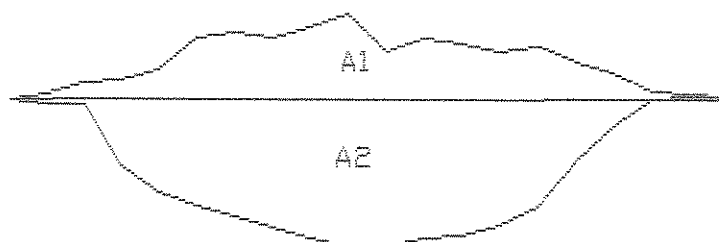
$$A2 = 0,01666 \text{ m}^2$$



Segunda Repetição

$$A1 = 0,00991 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,00953 \text{ m}^2$$

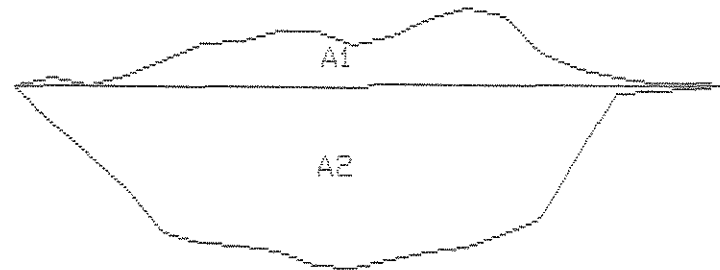


Terceira Repetição

$$A1 = 0,00779 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,01672 \text{ m}^2$$

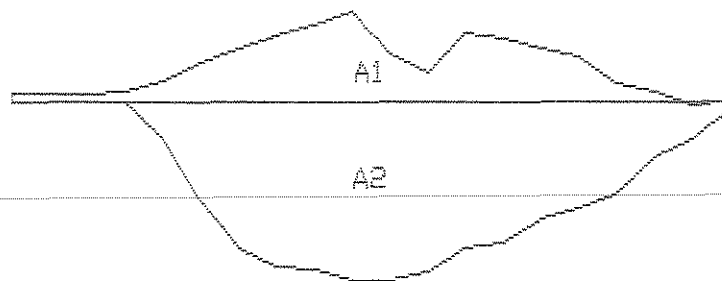
Perfil de solo mobilizado - Ponteira PBN2



Primeira Repetição

$$A1 = 0,00614 \text{ m}^2$$

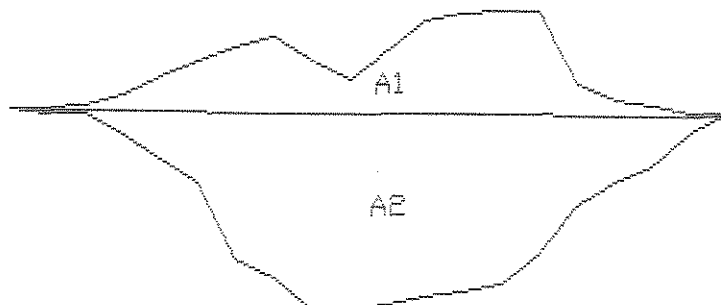
$$A2 = 0,02240 \text{ m}^2$$



Segunda Repetição

$$A1 = 0,00734 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,01972 \text{ m}^2$$

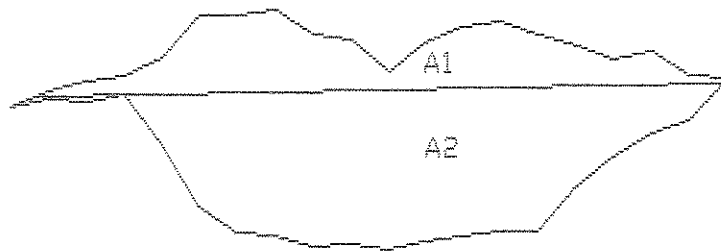


Terceira Repetição

$$A1 = 0,00834 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,02154 \text{ m}^2$$

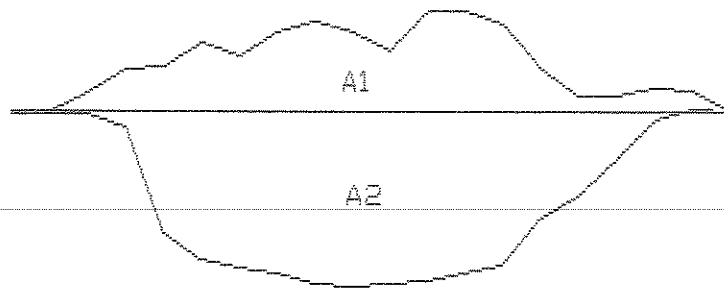
Perfil de solo mobilizado - Ponteira PCN1



Primeira Repetição

$$A1 = 0,00892 \text{ m}^2$$

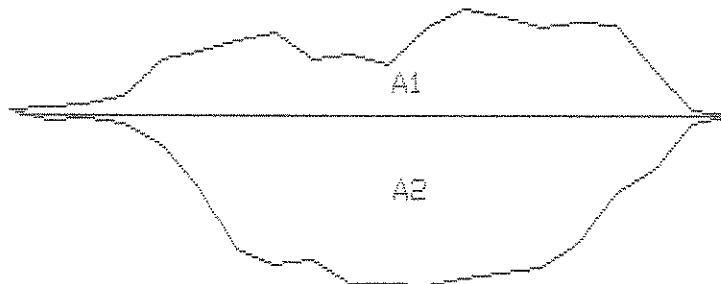
$$A2 = 0,01822 \text{ m}^2$$



Segunda Repetição

$$A1 = 0,01030 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,01970 \text{ m}^2$$

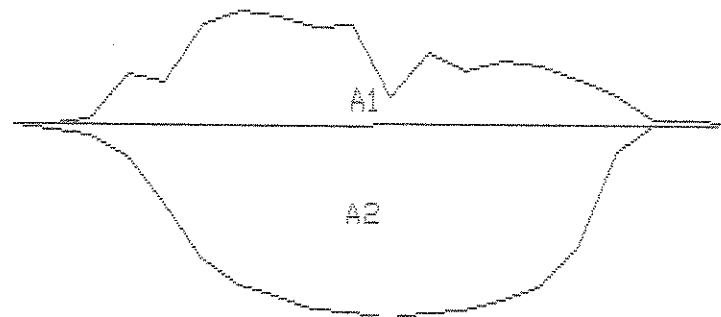


Terceira Repetição

$$A1 = 0,01124 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,01940 \text{ m}^2$$

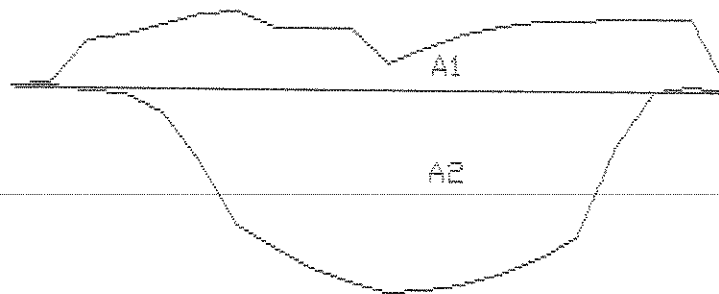
Perfil de solo mobilizado - Ponteira PCN2



Primeira Repetição

$$A1 = 0,01038 \text{ m}^2$$

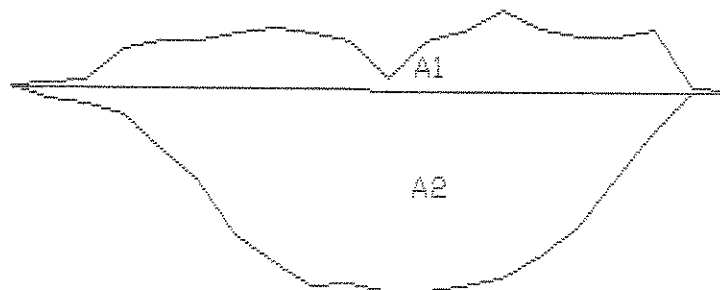
$$A2 = 0,02142 \text{ m}^2$$



Segunda Repetição

$$A1 = 0,01086 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,02038 \text{ m}^2$$



Terceira Repetição

$$A1 = 0,00837 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,02292 \text{ m}^2$$

Quadro de análise de variância para a FORÇA VERTICAL.

Causas da var.	G.L.	S.Q.	Q.M.	valor F	prob.>F
borda	2	4506,14	2253,07	0,99	0,60
ângulo	1	1085,36	1085,36	0,48	0,51
borda*ângulo	2	213,73	106,86	0,05	0,95
resíduo	12	27272,32	2272,69		
total	17	33077,55			

média geral = 104,40 N

C.V. = 45,67%

Teste de Tukey para as médias do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	3	convexa	6	121,38	121,38	A	a
2	1	reta	6	108,52	108,52	A	a
3	2	côncava	6	83,29	83,29	A	a

Teste de Tukey para médias do fator BORDA DE CORTE
dentro nível 15° do fator ÂNGULO DE ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	3	convexa	3	108,77	108,77	A	a
2	1	reta	3	103,65	103,65	A	a
3	2	côncava	3	77,46	77,46	A	a

Teste de Tukey para médias do fator BORDA DE CORTE
dentro nível 20° do fator ÂNGULO DE ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	3	convexa	3	133,99	133,99	A	a
2	1	reta	3	113,38	113,38	A	a
3	2	côncava	3	89,12	89,12	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE
ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	9	112,16	112,16	A	a
2	1	15°	9	96,63	96,63	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE ATAQUE dentro do nível RETA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	3	113,38	113,38	A	a
2	1	15°	3	103,65	103,65	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE ATAQUE dentro do nível CÔNCAVA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	3	89,11	89,11	A	a
2	1	15°	3	77,46	77,46	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE ATAQUE dentro do nível CONVEXA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	3	133,99	133,99	A	a
2	1	15°	3	108,77	108,77	A	a

* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

Quadro de análise de variância para a FORÇA HORIZONTAL.

Causas da var.	G.L.	S.Q.	Q.M.	valor F	prob.>F
borda	2	14089,99	7044,99	2,67	0,11
ângulo	1	6342,15	6342,15	2,41	0,14
borda*ângulo	2	199,30	99,65	0,04	0,96
resíduo	12	31650,87	2637,57		
total	17	52282,31			

média geral = 407,52 N

C.V. = 12,60%

Teste de Tukey para as médias do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	3	convexa	6	437,26	437,26	A	a
2	1	reta	6	415,25	415,25	A	a
3	2	côncava	6	370,05	370,05	A	a

Teste de Tukey para médias do fator BORDA DE CORTE
dentro nível 15° do fator ÂNGULO DE ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	3	convexa	3	414,10	414,10	A	a
2	1	reta	3	397,19	397,19	A	a
3	2	côncava	3	354,95	354,95	A	a

Teste de Tukey para médias do fator BORDA DE CORTE
dentro nível 20° do fator ÂNGULO DE ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	3	convexa	3	460,41	460,41	A	a
2	1	reta	3	433,32	433,32	A	a
3	2	côncava	3	385,14	385,14	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE
ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	9	426,29	426,29	A	a
2	1	15°	9	388,75	388,75	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE
ATAQUE dentro do nível RETA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	3	433,32	433,32	A	a
2	1	15°	3	397,19	397,19	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE
ATAQUE dentro do nível CÔNCAVA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	3	385,14	385,14	A	a
2	1	15°	3	354,95	354,95	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE
ATAQUE dentro do nível CONVEXA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	3	460,41	460,41	A	a
2	1	15°	3	414,10	414,10	A	a

* Médias seguidas por letras distintas diferem
entre si ao nível de significância indicado.

Quadro de análise de variância para a FORÇA RESULTANTE.

Causas da var.	G.L.	S.Q.	Q.M.	valor F	prob.>F
borda	2	17329,39	8664,70	3,49	0,06
ângulo	1	7144,50	7144,50	2,88	0,11
borda*ângulo	2	303,13	151,57	0,06	0,94
resíduo	12	29773,74	2481,15		
total	17	54550,76			

média geral = 422,71 N

C.V. = 11,78%

Teste de Tukey para as médias do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	3	convexa	6	454,82	454,82	A	a
2	1	reta	6	432,55	432,55	A	a
3	2	côncava	6	380,75	380,75	A	a

Teste de Tukey para médias do fator BORDA DE CORTE dentro nível 15° do fator ÂNGULO DE ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	3	convexa	3	429,12	429,12	A	a
2	1	reta	3	413,03	413,03	A	a
3	2	côncava	3	364,20	364,20	A	a

Teste de Tukey para médias do fator BORDA DE CORTE dentro nível 20° do fator ÂNGULO DE ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	3	convexa	3	480,52	480,52	A	a
2	1	reta	3	450,07	450,07	A	a
3	2	côncava	3	397,30	397,30	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	9	442,63	442,63	A	a
2	1	15°	9	402,78	402,78	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE ATAQUE dentro do nível RETA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	3	450,07	450,07	A	a
2	1	15°	3	415,03	415,03	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE ATAQUE dentro do nível CÔNCAVA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	3	397,30	397,30	A	a
2	1	15°	3	364,20	364,20	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE ATAQUE dentro do nível CONVEXA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	3	480,52	480,52	A	a
2	1	15°	3	429,12	429,12	A	a

* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

Quadro de análise de variância para a ÁREA
TRANSVERSAL DE SOLO MOBILIZADO.

Causas da var.	G.L.	S.Q.	Q.M.	valor F	prob.>F
borda	2	0,000048	0,000024	6,05	0,01510
ângulo	1	0,000102	0,000102	25,77	0,00047
borda*ângulo	2	0,000015	0,000007	1,88	0,19329
resíduo	12	0,000047	0,000004		
total	17	0,000212			

média geral = 0,01993 m²

C.V. = 9,97%

Teste de Tukey para as médias do fator BORDA DE
CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	1	reta	6	0,02169	0,02169	A	a
2	3	convexa	6	0,02034	0,02034	AB	a
3	2	côncava	6	0,01776	0,01776	B	a

Teste de Tukey para médias do fator BORDA DE CORTE
dentro nível 15° do fator ÂNGULO DE ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	1	reta	3	0,01925	0,01925	A	a
2	3	convexa	3	0,01911	0,01911	A	a
3	2	côncava	3	0,01430	0,01430	B	a

Teste de Tukey para médias do fator BORDA DE CORTE
dentro nível 20° do fator ÂNGULO DE ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	1	reta	3	0,02413	0,02413	A	a
2	3	convexa	3	0,02157	0,02157	A	a
3	2	côncava	3	0,02122	0,02122	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE
ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	9	0,02231	0,02231	A	a
2	1	15°	9	0,01755	0,01755	B	b

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE ATAQUE dentro do nível RETA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	3	0,02413	0,02413	A	a
2	1	15°	3	0,01925	0,01925	B	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE ATAQUE dentro do nível CONCAVA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	3	0,02122	0,02122	A	a
2	1	15°	3	0,01430	0,01430	B	b

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE ATAQUE dentro do nível CONVEXA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	20°	3	0,02157	0,02157	A	a
2	1	15°	3	0,01911	0,01911	A	a

* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

ANEXO 18

Quadro de análise e variância para a RESISTÊNCIA ESPECÍFICA.

Causas da var.	G.L.	S.Q.	Q.M.	valor F	prob.>F
borda	2	28,40	14,20	0,61	0,57
ângulo	1	69,57	69,57	2,97	0,11
borda*ângulo	2	54,34	54,34	1,16	0,35
resíduo	12	280,88	23,41		
total	17	433,19			

média geral = 21,87 KN/m²

C.V. = 22,12%

Teste de Tukey para as médias do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	côncava	6	23,07	23,07	A	a
2	3	convexa	6	22,40	22,40	A	a
3	1	reta	6	20,13	20,13	A	a

Teste de Tukey para médias do fator BORDA DE CORTE
dentro nível 15° do fator ÂNGULO DE ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	2	côncava	3	27,38	27,38	A	a
2	3	convexa	3	22,57	22,57	A	a
3	1	reta	3	21,55	21,55	A	a

Teste de Tukey para médias do fator BORDA DE CORTE
dentro nível 20° do fator ÂNGULO DE ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	3	convexa	3	22,24	22,24	A	a
2	2	côncava	3	18,75	18,75	A	a
3	1	reta	3	18,72	18,72	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE
ATAQUE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	1	15°	9	23,84	23,84	A	a
2	2	20°	9	19,90	19,90	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE ATAQUE dentro do nível RETA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	1	15°	3	21,55	21,55	A	a
2	2	20°	3	18,72	18,72	A	a

Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE ATAQUE dentro do nível CÔNCAVA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	1	15°	3	27,38	27,38	A	a
2	2	20°	3	18,75	18,75	B	a

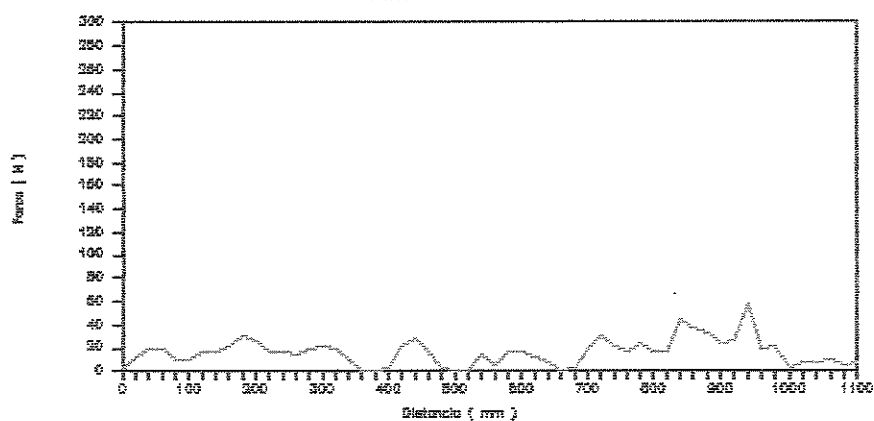
Teste de Tukey para médias do fator ÂNGULO DE ATAQUE dentro do nível CONVEXA do fator BORDA DE CORTE.

n.ord.	n.trat.	nome	n.rep.	médias	médias orig.	5%	1%
1	1	15°	3	22,57	22,57	A	a
2	2	20°	3	22,24	22,24	A	a

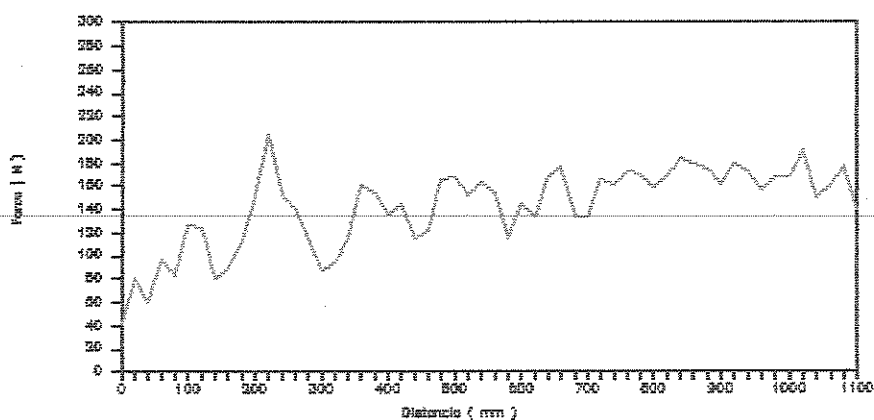
* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

Gráfico da força vertical referente a ponteira modelo PAN1.

REPETICAO 1



REPETICAO 2



REPETICAO 3

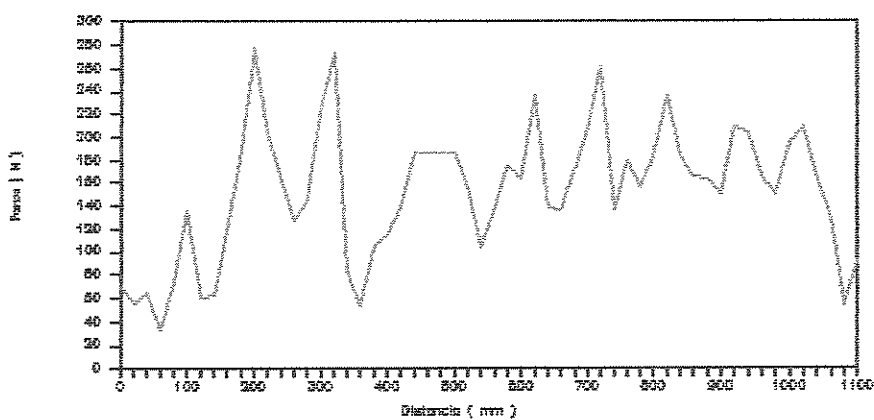
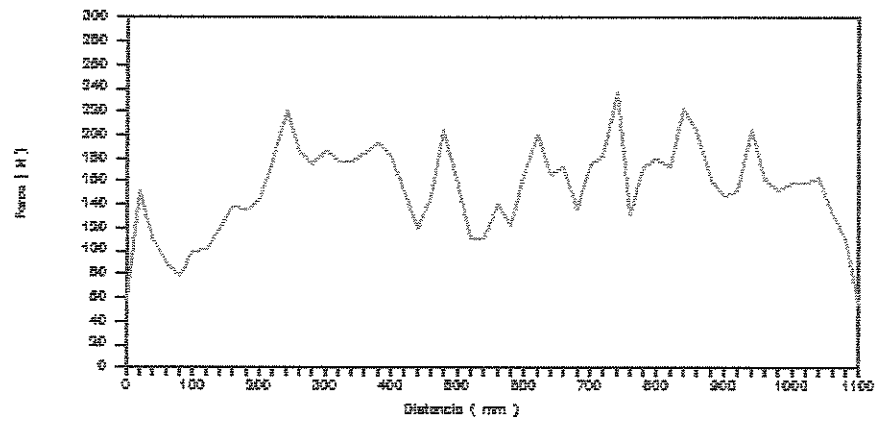
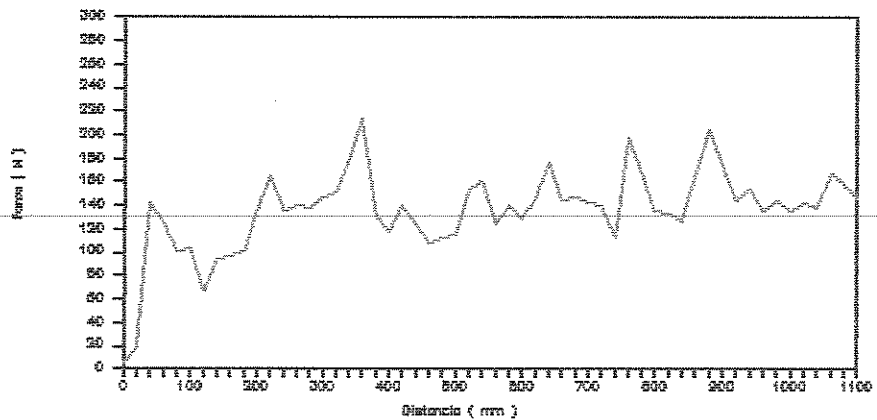


Gráfico da força vertical referente a ponteira modelo PAN2.

REPETICAO 1



REPETICAO 2



REPETICAO 3

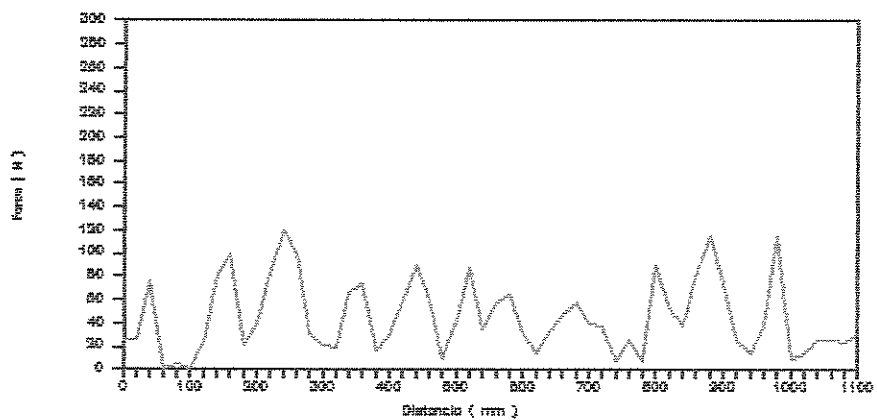
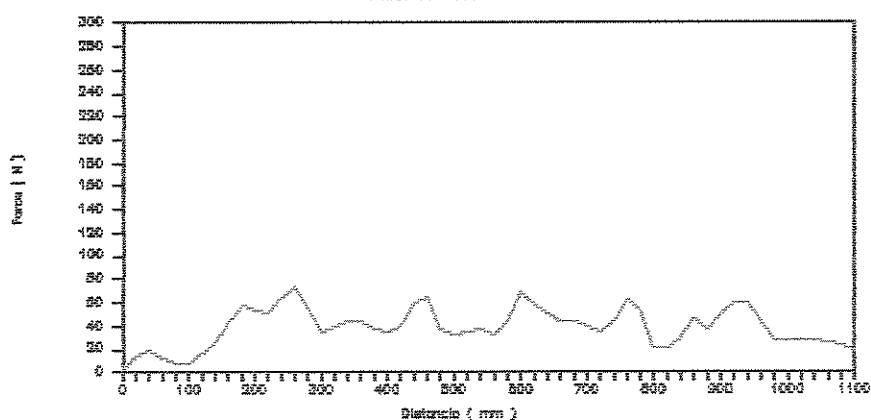
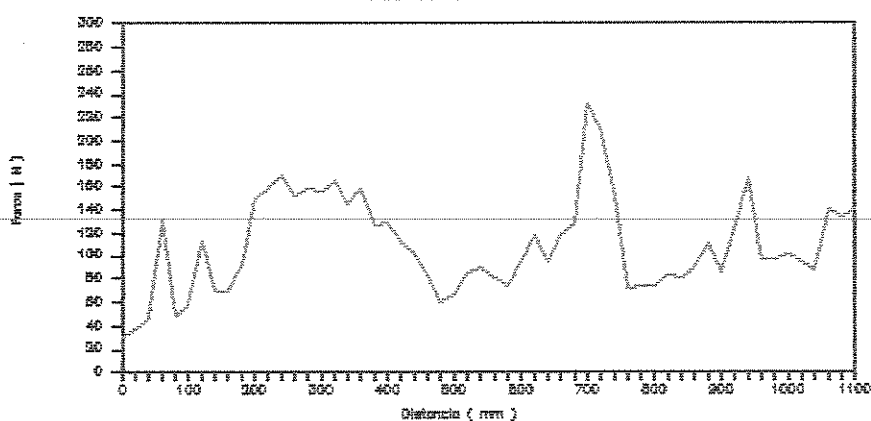


Gráfico da força vertical referente a ponteira modelo PBN1.

REPETICAO 1



REPETICAO 2



REPETICAO 3

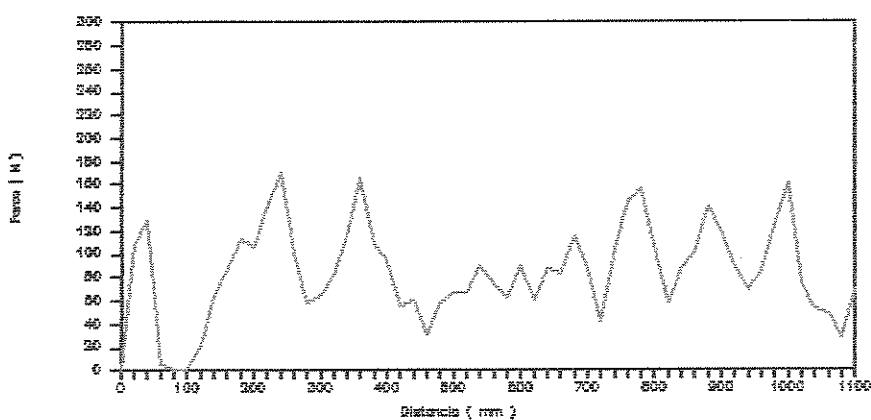
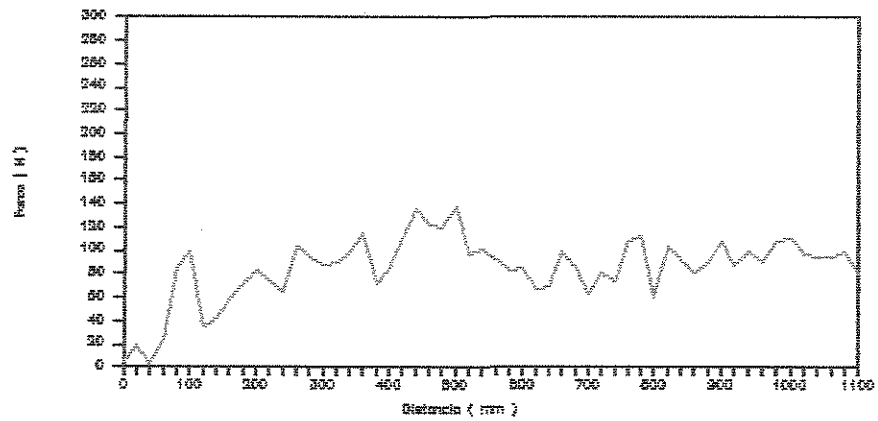
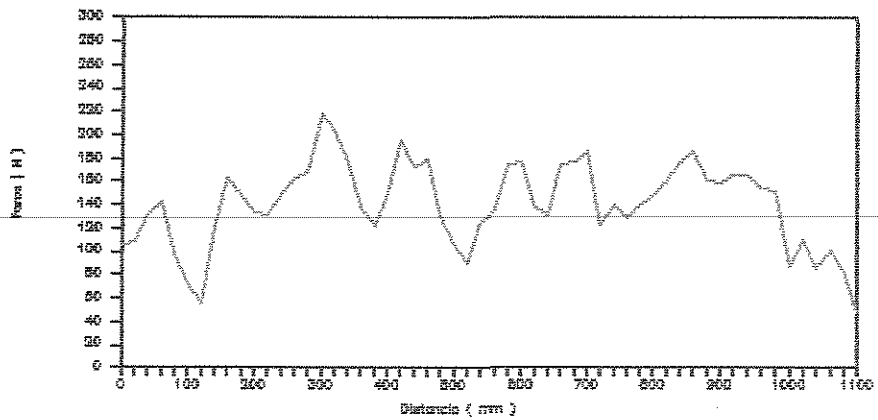


Gráfico da força vertical referente a ponteira modelo PBN2.

REPETICAO 1



REPETICAO 2



REPETICAO 3

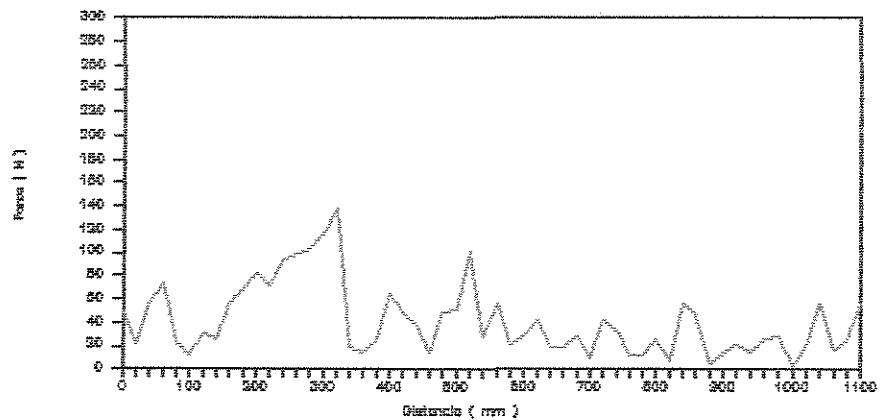
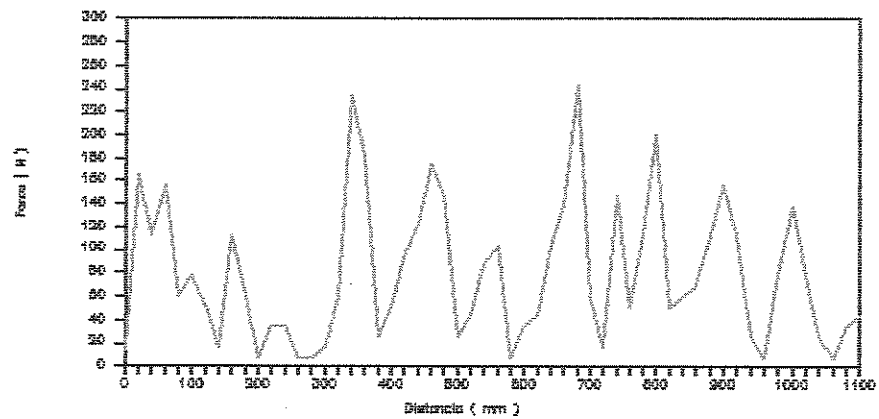
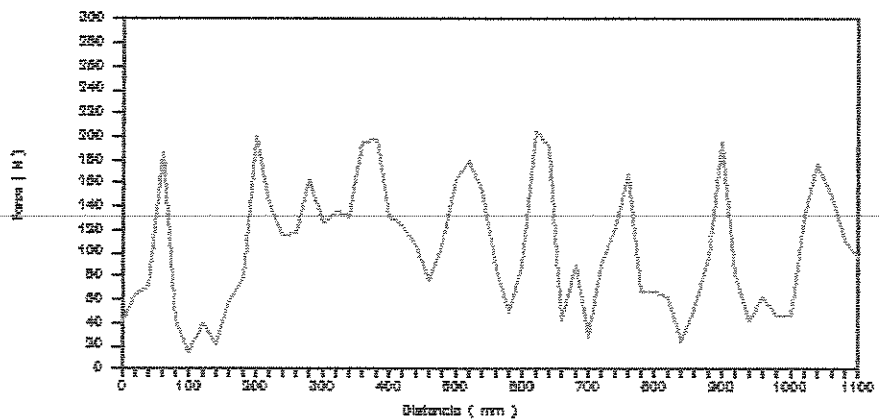


Gráfico da força vertical referente a ponteira modelo PCN1.

REPETICAO 1



REPETICAO 2



REPETICAO 3

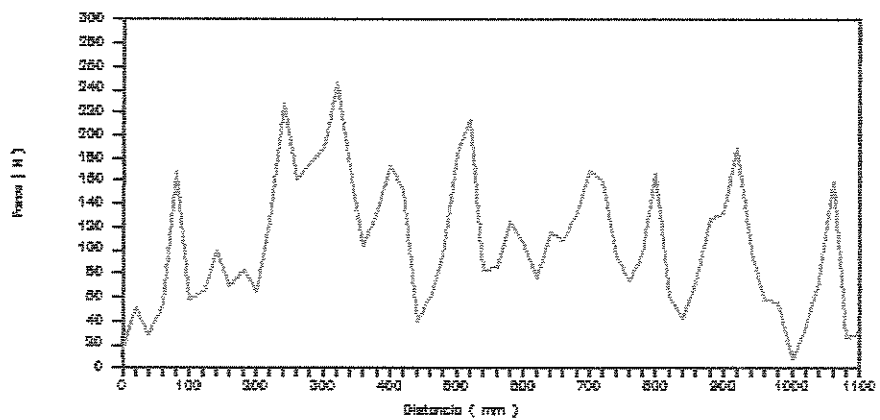
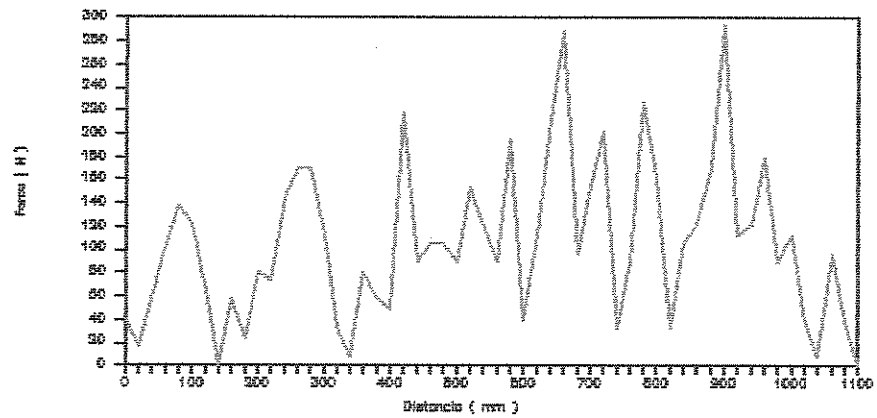
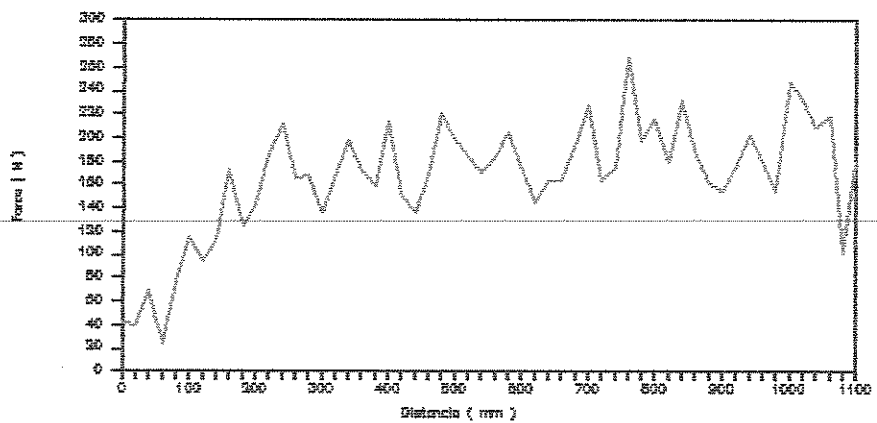


Gráfico da força vertical referente a ponteira modelo PCN2.

REPETICAO 1



REPETICAO 2



REPETICAO 3

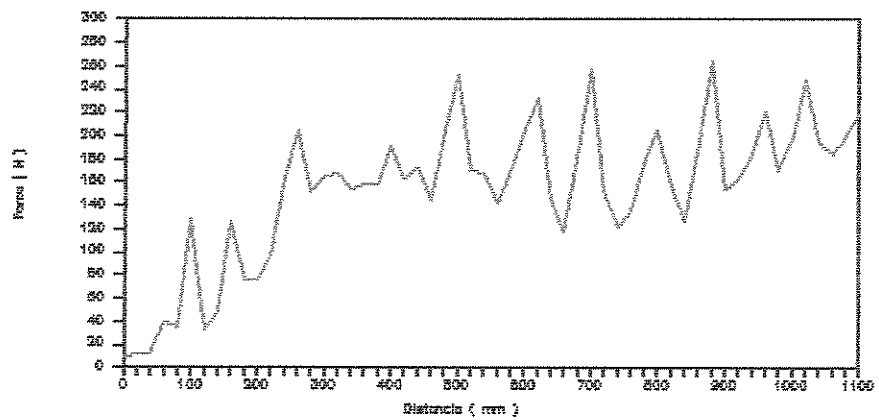
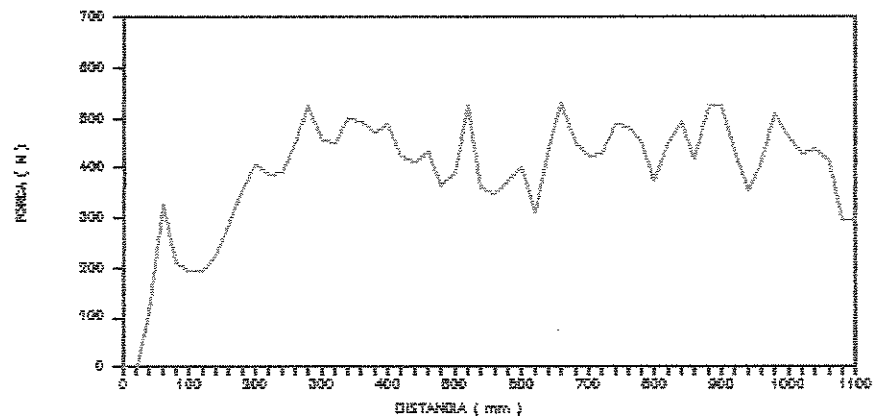
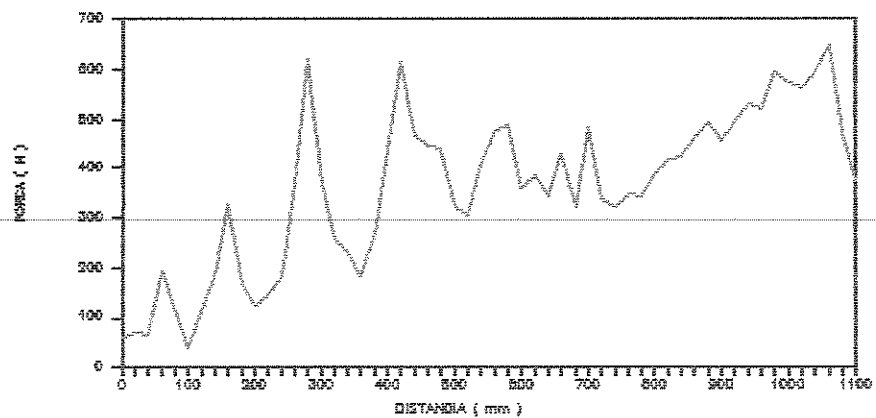


Gráfico da força horizontal referente a ponteira modelo PAN1.

REPETICAO 1



REPETICAO 2



REPETICAO 3

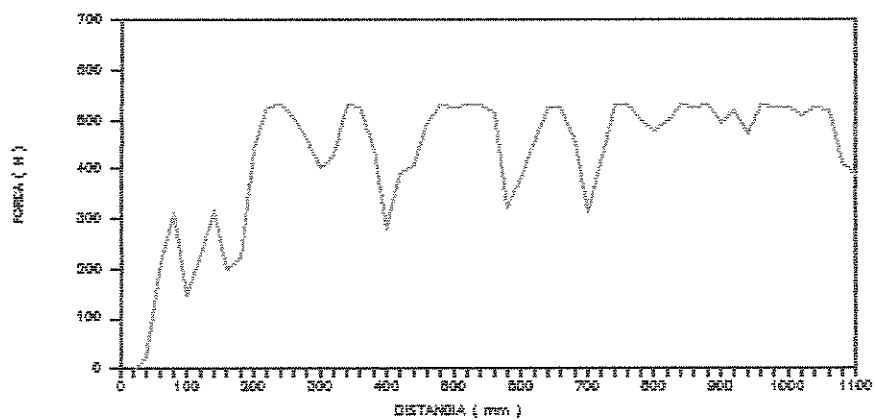
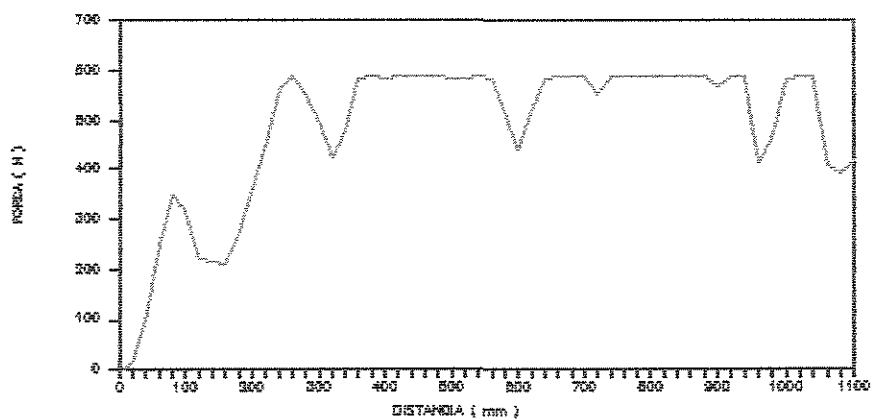
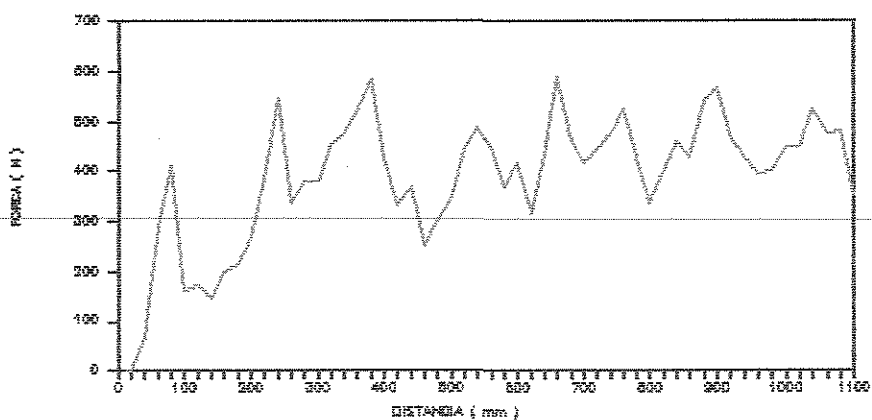


Gráfico da força horizontal referente a ponteira modelo PAN2.

REPETICAO 1



REPETICAO 2



REPETICAO 3

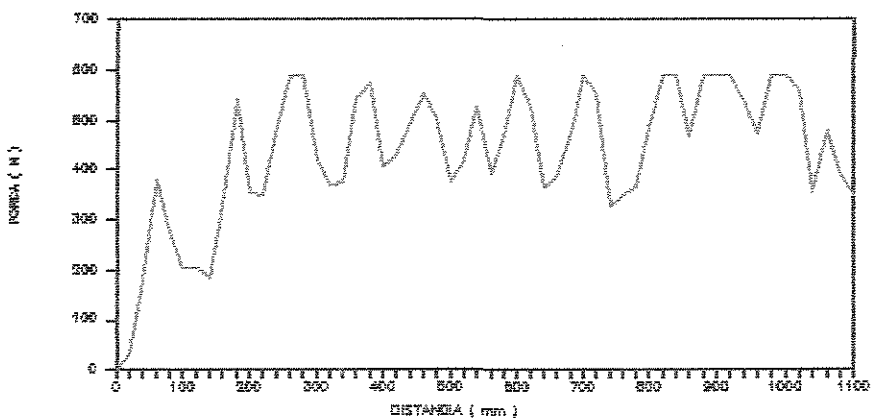
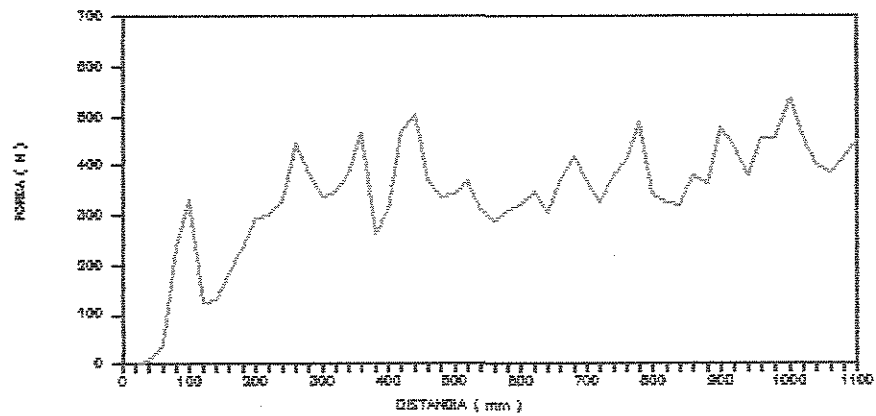
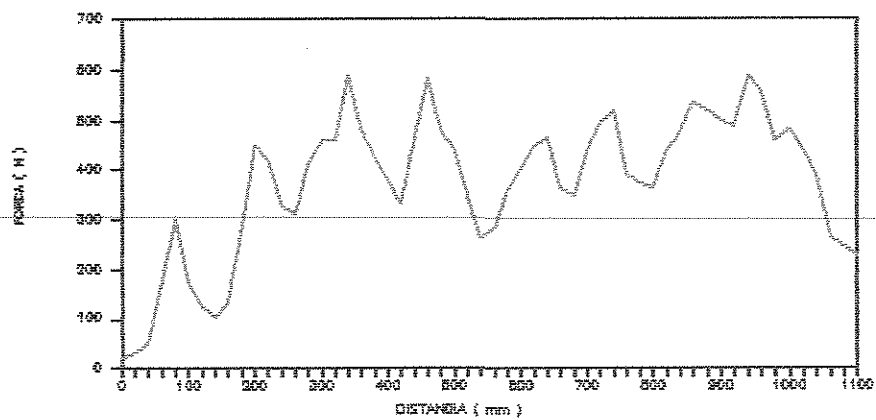


Gráfico da força horizontal referente a ponteira modelo PBN1.

REPETICAO 1



REPETICAO 2



REPETICAO 3

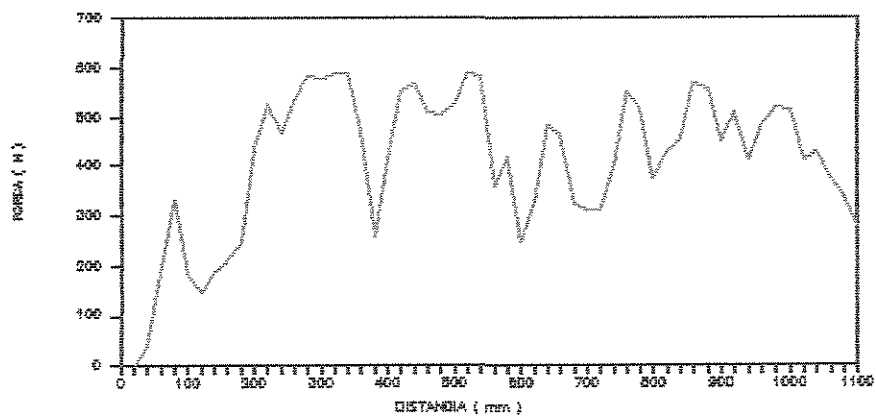
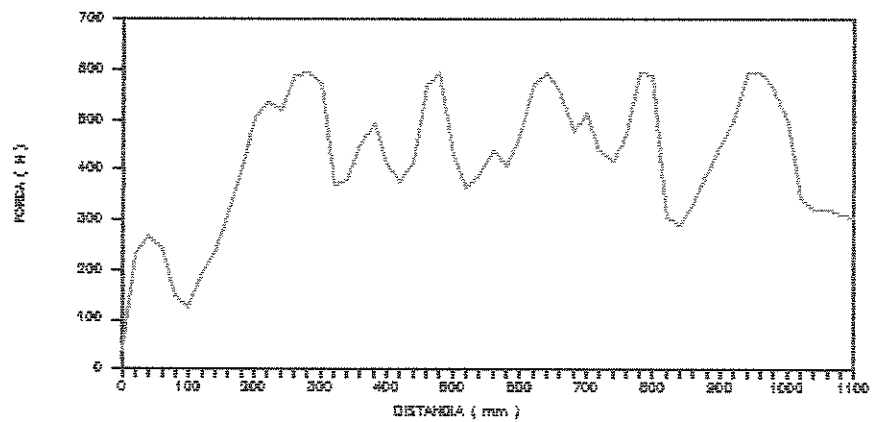
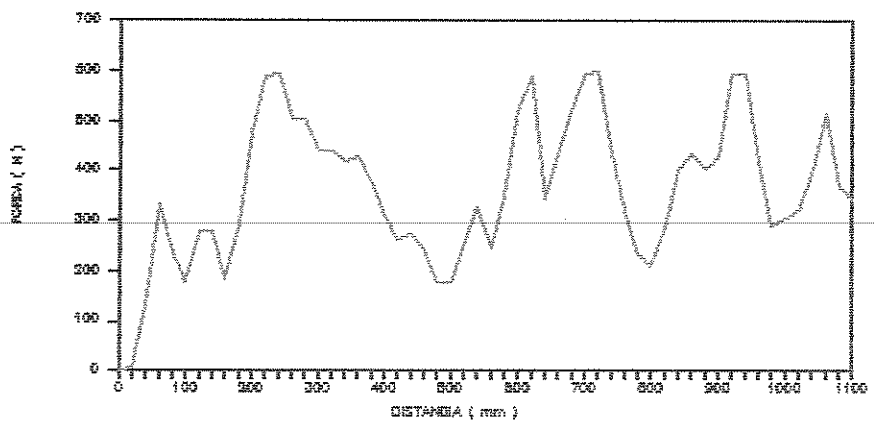


Gráfico da força horizontal referente a ponteira modelo PBN2.

REPETICAO 1



REPETICAO 2



REPETICAO 3

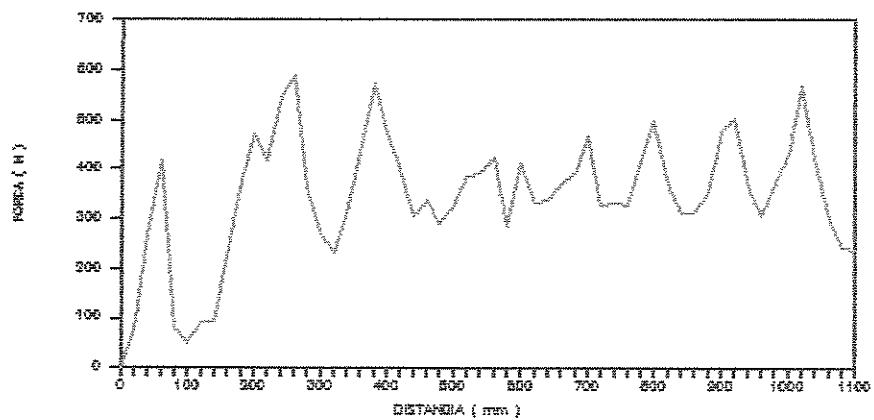
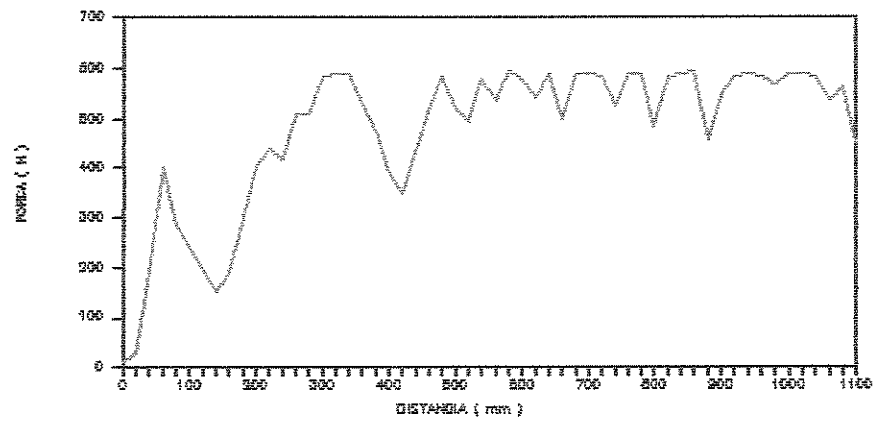
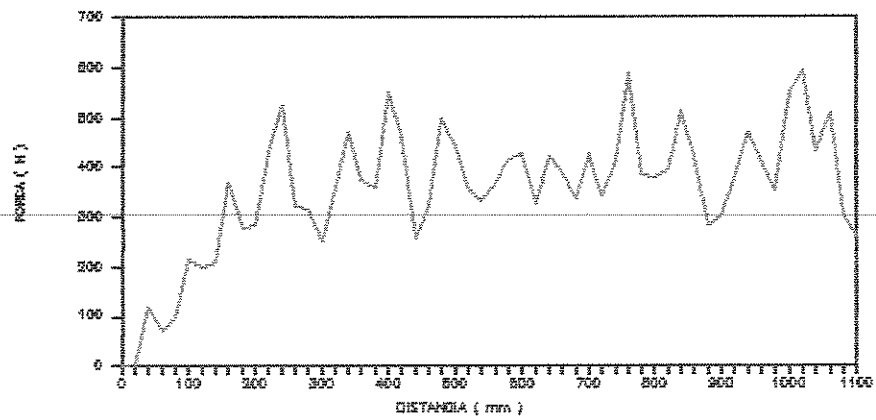


Gráfico da força horizontal referente a ponteira modelo PCN1.

REPETICAO 1



REPETICAO 2



REPETICAO 3

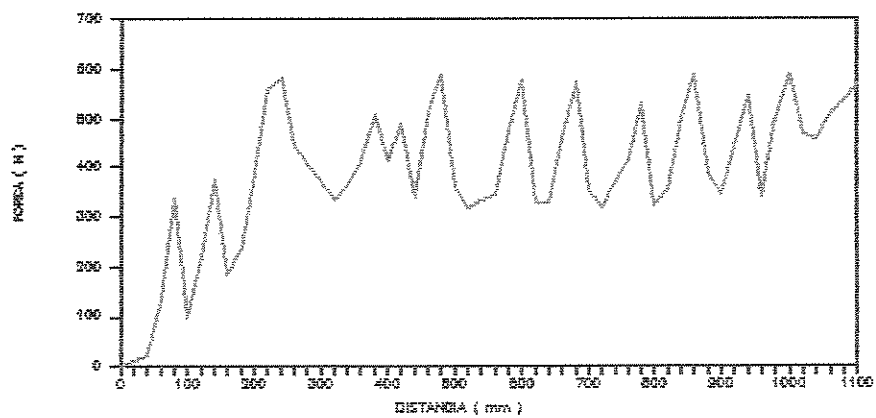
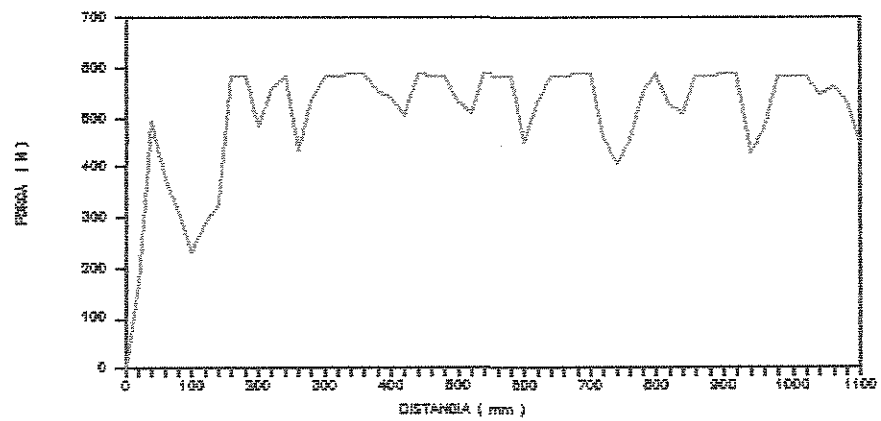
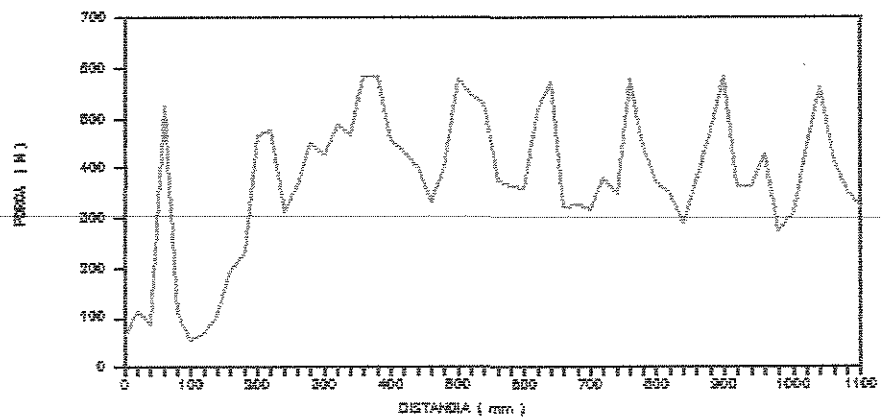


Gráfico da força horizontal referente a ponteira modelo PCN2.

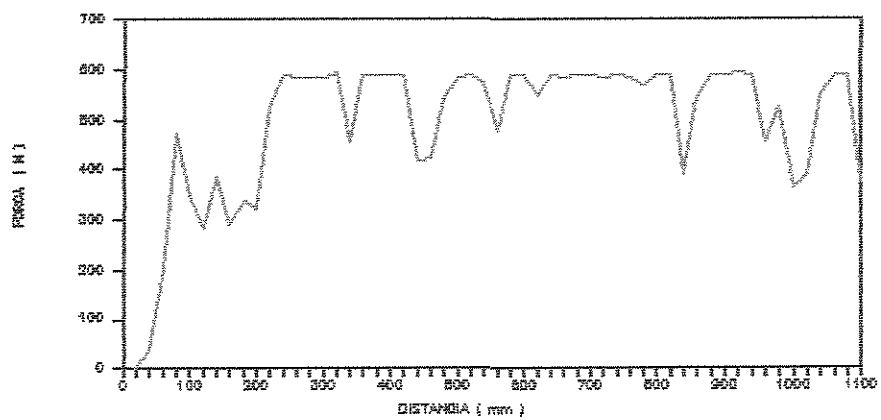
REPETICAO 1



REPETICAO 2



REPETICAO 3



9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AQUINO, Luiz H. **Estatística Experimental**. Apostila do Departamento de Ciências Exatas da Escola Superior de Agricultura de Lavras. Lavras : [s.n.], 1991. 252 p.
 2. BARAÑO, Teófilo V., CHIESA, Carlos A. **Maquinaria agrícola**. Buenos Aires : Editorial Hemisferio Sur S. A., 1982. 347 p.
 3. BERNACKI, Henrick, HAMAN, Janusz, KANAFAJOSKI, Czeslaw. **Agricultural machines, theory and construction**. Washington D. C. : U. S. Department of Agriculture and National Science Foundation, 1972. v. 1. 883 p.
 4. CHANG, Cheu-Shang. Developing multi-function tillage for a common animal draw-bar. in: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING**, Berlin : [s.n.], 1990. Paper n. P12.22.
-
5. CLARK, S. J., LILJEDAHN, J. B. Soil bins, artificial soils and scale-model testing. **Trans. ASAE**, St. Joseph, MI, v. 13, n. 2, p. 198-202, 1970.
 6. CULPIN, C. **Farm machinery**. 11 ed. London : BSP Professional books, 1986. 450 p.
 7. DRANSFIELD, P., WILLATT, S. T., WILLIS, A. H. Soil to implement reaction experienced with simple tines at various angles of attack. **J. agric. eng. res.**, London, v. 9, n. 3, p. 220-4, 1964.
 8. FIELKE, J. M. Scarifier and combine share testing using comparison dynamometers. in: **CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING**. Bundaberg : South Australian Institute of Technology, 1984.

9. FIELKE, J. M. The influence of chisel plough share wing geometry on tillage forces. In: **PROCEEDINGS OF THE ELEVENTH INTERNATIONAL CONGRESS ON AGRICULTURAL ENGINEERING**. Dublin : Agricultural and Food Engineering Departament, University College Dublin, 1989. p. 1531-8.
10. FIELKE, J. M., RILEY, T. W. The influence of chisel plough share wing geometry on wear and furrow profiles. in: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AGRICULTURAL ENGINEERING**, Beijin : International Academic Publishers, 1989. p. 217-7.
11. GADANHA JÚNIOR, Casemiro Dias et al. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil**. São Paulo : IPT-CIENTEC, 1992.
12. GILL, Willan R., VANDEN BERG, Glen E. **Soil dynamics in tillage and traction**. Washington : United States Departament of Agriculture, 1968. 511 p.
13. GODWIN, R. J. An extended octagonal ring transducer for use in tillage studies. **J. agric. eng. res.**, London, v. 20, p. 347-52, 1975.
14. GODWIN, R. J., SPOOR, G. Soil failure with narrow tines. **J. agric. eng. res.**, London, v. 22, p. 213-28, 1977.
15. GODWIN, R. J., SPOOR, G., KILGOUR, J. The design and operation of a simple low cost soil bin. **J. agric. eng. res.**, London, v. 25, p. 99-104, 1980.
16. KEPNER, R. A., BAINER, R., BARGER, E. L. **Principles of farm machinery**. 3. ed. Westport, Conn. : The Avi Publishing Company, 1982. 527 p.
17. KHIEL, Edmar J. **Manual de edafologia**. São Paulo : Editora Agronômica Ceres Ltda., 1979. 262 p.
18. KRUGUER, I. R., PALMER, A. L. Effects on scarifier draft of soil moisture, depth and speed of tillage. in: **CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING**. Armidale : Research Agricultural Engineers, New South Wales Departament of Agriculture, 1982. p. 123-7.
19. LANÇAS, K. P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiras e velocidades de deslocamento**. Botucatu, SP : UNESP, 1987. 112 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agronomicas, Universidade Estadual Paulista, 1987.

20. LANÇAS, K. P. **Subsolador: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiros e números de hastes.** Botucatu, SP : UNESP, 1988. 171 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrômicas, Universidade Estadual Paulista, 1988.
21. LÉPORE, N., STEFFEN Jr., F. P. Estudo da redução da força de arraste num implemento agrícola vibratório. in: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECANICA, 7., Uberlândia : [s.n.], 1983. *Anais.* p. 417-9.
22. MAZUCHOWSKI, J. Z., DERPSH, R. **Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas.** Curitiba : ACARPA, 1984. 156 p.
23. O'CALLAGHAN, J. R., McCULLEN, P. J. Cleavage of soil by inclined and wedge shaped tines. *J. agric. eng. res.*, London, v. 10, p. 248-54, 1965.
24. ORTIZ-CANAVATE, Jaime. **Las máquinas agrícolas y su aplicación.** 2.ed. Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 1984. 492 p.
25. PALMER, A. L., KRUGUER, I. R., HUMPHRIES, M. R. Horizontal and vertical forces on scarifier shares: the influence of type, width, speed, depth and positions in an array. *Mec. eng. trans.*, I. E. Aust., v. ME8, n. 2, p. 59-62, 1983.
26. PAYNE, P. C. J. ~~The relationship between the mechanical properties of soil and performance of simple cultivation implements.~~ *J. agric. eng. res.*, London, v. 1, n. 1, p. 23-50, 1956.
27. PAYNE, P. C. J., TANNER, D. W. The relationship between rack angle and the performance of simple cultivation implements. *J. agric. eng. res.*, London, v. 4, n. 4, p. 312-25, 1959.
28. PLASSE, R., RAGHAVAN, G. S. V., McKEYS, E. Simulation of narrow blade performance in different soils. *Trans. ASAE*, St. Joseph, MI, v. 28, n. 4, p. 1007-12, 1985.
29. SCHAFER, R. L., BOCKHOP, C. W., LOVELY, W. G. Prototype studies of tillage implements. *Trans. ASAE*, St. Joseph, MI, v. 11, n. 5, p. 661-4, 1968.
30. SIROHI, B. J., REAVES, C. A. Similitude techniques applied to performance studies of cultivator sweeps. *Trans. ASAE*, St. Joseph, MI, v. 12, n.1, p. 786-9, 1969.

- 31.SOUZA, W. R. Subsolador: influência de parâmetros geométricos na distribuição das forças. Campinas, SP : UNICAMP, 1989. 113 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1989.
 - 32.SMITH, H. P., WILKES, L. H. Farm Machinery and Equipament. Westport, Conn. : The Avi Publishing Company, 1982. 248 p.
 - 33.STAFFORD, J. V. A versatile high-speed soil tank for studing soil and implements interaction. J. agric. eng. res., London, v. 24, p. 57-66, 1979.
 - 34.STAFFORD, J. V. The performance of a rigid tine in relation to soil properties and speed. J. agric. eng. res., London, v. 24, p. 41-56, 1979.
 - 35.VANDEN BERG, G. E. Analysis of forces on tillage tools. J. agric. eng. res., London, v. 11, n. 3, p. 201-5, 1966.
 - 36.WILKINSON, R. H. & BRAUNBECK, O. A. Elements of agricultural machinery. Roma : Food and Agricultural of the United Nation, Agricultural Engeneering Service, 1977. 241 p.
-

10 - ABSTRACT

This work analysed the geometry of the chisel plough share wing and its influence in the vertical, horizontal and the draft forces, as well as in the furrow profile and specific resistance. The geometrical parameter of the chisel plough share wing studied were, the cutting edge in order to check in which situations the cut of the soil tends to be more effective. The studies were done in soil bin because of the possibility of keeping an adequate control of the different variables of the soil that affect the performance of the chisel plough share wing. The results showed that chisel plough share wing with 20° rake angle and straight cutting edge spend less energy per unity of soil mobilized.