

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DESGASTE DE PONTEIRAS DE HASTES SULCADORAS DE SEMEADORAS DE  
PLANTIO DIRETO E SUA INFLUÊNCIA NO ESFORÇO DE TRAÇÃO

por

Amauri Cruz Espírito Santo

Tese para obtenção do Título de  
Doutor em Engenharia

Porto Alegre, Dezembro de 2005

DESGASTE DE PONTEIRAS DE HASTES SULCADORAS DE SEMEADORAS DE  
PLANTIO DIRETO E SUA INFLUÊNCIA NO ESFORÇO DE TRAÇÃO

por

Amauri Cruz Espírito Santo  
Engenheiro Industrial Mecânico

Tese submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Doutor em Engenharia

Área de Concentração: Processos de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Vilson João Batista – PROMEC/UFRGS

Co-Orientador: Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado – DER/FAEM/UFPeI

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Carlos Ricardo Trein – PPGS/UFRGS

Prof. Dr. Joyson Luiz Pacheco – PROMEC/UFRGS

Prof. Dr. Ângelo Vieira dos Reis – DER/FAEM/UFPeI

Prof. Dr. Flávio José Lorini  
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, 09 de dezembro de 2005.

## MENSAGEM

Nasceste no lar que precisavas,  
Vestiste o corpo físico que merecias,  
Moras onde melhor Deus te proporcionou, de acordo com teu adiantamento.  
Possuis os recursos financeiros coerentes com as tuas necessidades, nem mais, nem menos, mas o justo para as tuas lutas terrenas.  
Teu ambiente de trabalho é o que elegeste espontaneamente para a tua realização.  
Teus parentes, amigos são as almas que atraíste, com tua própria afinidade.  
Portanto, teu destino está constantemente sob teu controle.  
Tu escolhes, recolhes, eleges, atraís, buscas, expulsas, modificas tudo aquilo que te rodeia a existência.  
Teus pensamentos e vontades são a chave de teus atos e atitudes...  
São as fontes de atração e repulsão na tua jornada.  
Não reclames nem te faças de vítima.  
Antes de tudo, analisa e observa.  
A mudança está em tuas mãos.  
Reprograma tua meta, busca o bem e viverás melhor.  
Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim ".

Chico Xavier

À minha família

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus grandes amigos e orientadores, Prof. Dr. Vilson João Batista e Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado, pelos ensinamentos, dedicação, apoio, confiança e amizade.

A todos os professores do PROMEC, PPGS, PPGEM, PPGP, DESIGN – UFRGS e PPGS, DEA-FAEM, FEA – UFPEL, pelos ensinamentos e colaboração na realização deste trabalho.

Aos membros da comissão de avaliação, Prof. Dr. Ângelo Vieira dos Reis, Prof. Dr. Carlos Ricardo Trein, Prof. Dr. Joyson Luiz Pacheco.

Aos funcionários do PROMEC-GPFAI-UFRGS, em especial Paulo e Carina, pela valiosa colaboração.

Aos colegas Jankiel Bordignon, Gustavo Meneghello e Sávio Pacheco Mello, pelo apoio, incentivo e amizade.

Aos alunos e bolsistas André Oldoni, Roger Spagnolo, Hendrigo Silveira, Gerson Nesso e Gelson Bauer, pelo apoio operacional.

Ao GPFAI-PROMEC-UFRGS, pelo apoio financeiro. À FAPERGS e ao CNPQ pelo financiamento e concessão das Bolsas de Iniciação Científica. À Indústria de Implementos Agrícolas Vence Tudo Ltda pela cedência da Semeadora - Adubadora.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos companheiros de lazer, em especial aos praticantes de esportes do Clube Brillhante, pelos momentos de descontração e amizade.

À minha irmã Anaizi, sempre presente nos momentos marcantes da minha vida.

À minha sogra Ambrosina, pelo belo tempo de convívio amigo e carinhoso.

Aos meus pais Francelino e Thalia, exemplos de amor, dedicação, compreensão, tolerância e sabedoria. Eterna saudade.

À minha esposa Telma e aos meus filhos Leandro, Alessandro e Fernando, razões da minha vida, pelo amor, carinho, compreensão e tolerância.

À DEUS.

## RESUMO

O tempo de vida útil das ponteiros das hastes sulcadoras de adubo tem se constituído em problema constante aos fabricantes e usuários de semeadoras-adubadoras para plantio direto. Com o transcorrer das operações de campo, as ferramentas, ao interagirem com o solo, sofrem desgaste por abrasão provocando a modificação na sua configuração geométrica e, por consequência, no formato do sulco e esforço solicitado ao elemento tracionante, vindo a comprometer a eficiência da adubação e semeadura.

Pesquisas têm demonstrado que os solos arenosos são os que apresentam maior abrasividade, entretanto, até o momento, não existem estudos que quantifiquem, passo a passo, isto é, em pequenas etapas de trabalho, como e onde ocorre o desgaste nestas ferramentas.

O objetivo geral deste trabalho foi quantificar o desgaste de uma ferramenta comercial construída em Aço SAE 1060, forjado, e outra, de mesma configuração geométrica, construída em Ferro Fundido Nodular Austemperado (ADI), através da análise de perda de massa e variação de sua geometria em função das horas trabalhadas, no sentido de estabelecer-se a vida útil destas ponteiros, operando em solo arenoso. Desta maneira, pretendeu-se verificar a possibilidade de utilização de um novo material no sentido de prolongar a vida útil desta ferramenta.

Como forma de propor métodos alternativos para análise do desgaste, foi executada a avaliação da taxa de desgaste frontal das ferramentas, através da verificação da perda de área nas diferentes etapas de trabalho.

A partir dos resultados obtidos, especificamente, analisou-se a influência do desgaste nas forças horizontal e vertical atuantes sobre a ponteira, através de um dispositivo especialmente projetado e construído para medição destes esforços.

Os resultados permitiram identificar que a ferramenta construída em Aço SAE 1060 teve a sua função comprometida após 10h de trabalho, apresentando desgaste médio de 44,39%, enquanto que a ponteira fabricada em ADI, no mesmo período, atingiu a taxa de 23,65% de perda de massa, mostrando uma tendência de vida útil de 17h de trabalho, ou seja, 70% a mais do que a ponteira original.

Os demais resultados obtidos durante as operações de campo, especialmente o de análise de esforços, foram considerados satisfatórios, evidenciando-se um aumento na força horizontal, enquanto que a força vertical não apresentou variação significativa, na medida em que a ponteira foi apresentado maior desgaste.

## **ABSTRACT**

*“WEAR OF FURROW OPENER POINTS OF A PLANTER AND ITS INFLUENCE ON THE DRAFT FORCE ”.*

The useful life of no-till planter's fertilizer furrow openers became a problem for manufacturers and users of these machines. With field work, when tools interact with soil, they suffer abrasion wear, modifying their geometrical configuration, and, therefore, the format of the furrow and required effort to the tractive element, which compromise the efficiency of these operation.

Research has shown that sand soils are those presenting greater abrasiveness, however, until the moment, there are no studies that quantify, step by step, the amount of wear and its placement at the tool as the work is being done.

The main objective of this work was to quantify the wear of a commercial tool made of forged SAE 1060 steel, as well as comparing it with another one, with the same geometric form, made of Austempered Ductile Iron (ADI), through the analysis of loss of mass and geometry variation in function of the worked hours, seeking to establish their useful life, in sand soil. The aim was to verify the possibility of use of this new material (ADI) to increase the useful life of this tool.

In order to consider alternative methods for analyzing the wear of tines, the wear rate of the front was accessed through by measuring the measurement the projected area loss at different work stages.

From the results, specifically, the influences of wear on horizontal and vertical forces on the opener were analyzed with the use of an especially designed device.

The results made it possible to identify that a tool constructed in SAE 1060 steel had its function compromised after 10h of work, presenting an wear of 44,39%, while the ADI opener, in the same period, reached 23,65% of loss of mass, showing a trend of useful life of 17h of work, 70% more than that of the original tine.

The results from the field operations, especially efforts analysis, were considered satisfactory, proving an increase in horizontal force, while that the vertical force did not present significant variation, the measure where the furrow openers was presented bigger wear.

## ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
2.1	A Germinação e Emergência das Culturas .....	7
2.2	O Preparo do Solo .....	8
2.3	O Plantio Direto .....	9
2.4	As Semeadoras-Adubadoras de Plantio Direto .....	10
2.5	O Solo .....	12
2.6	O Desgaste .....	14
2.7	Os Esforços Atuantes .....	27
2.8	Aquisição de Dados .....	32
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	34
3.1	Localização e caracterização do solo .....	34
3.2	Parâmetros de ensaio .....	34
3.3	Equipamento .....	35
3.3.1	Hastes e Ponteiras Sulcadoras de Adubo .....	35
3.4	Análises de Campo .....	37
3.4.1	Velocidade de Operação .....	37
3.4.2	Profundidade de operação do sulcador .....	37
3.4.3	Resistência à Penetração do Solo .....	39
3.4.4	Análise do Desgaste das Ponteiras Sulcadoras .....	39
3.4.5	Análise dos Esforços de Tração .....	43
3.4.5.1	Projeto e Construção do Dispositivo de Medição de Esforços .....	44
3.4.5.2	Montagem do Dispositivo de Medição de Esforços à Semeadora .....	46
3.4.5.3	Medição dos esforços – Sistema de condicionamento de sinal, aquisição e armazenamento de dados .....	47
3.4.5.4	Calibração Estática do Dispositivo de Medição de Esforços .....	47
3.5	Análise das Propriedades Físicas do Solo .....	49
3.5.1	Textura dos Solos .....	49
3.5.2	Teor de Água do Solo .....	50
3.5.3	Densidade do solo .....	50
3.5.4	Consistência .....	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
4.1	Propriedades Físicas dos Solos .....	51

4.2	Resistência à Penetração dos Solos .....	52
4.3	Desgaste das Ponteiras Sulcadoras .....	54
4.3.1	Desgaste em massa .....	54
4.3.2	Desgaste em área – Método fotográfico (2D) .....	58
4.3.3	Desgaste em área – Método 3D .....	62
4.4	Análise dos Esforços de Tração .....	65
4.4.1	Calibração do Dispositivo de Medição de Esforços .....	65
4.4.1.1	Calibração do Canal Vertical .....	65
4.4.1.2	Calibração dos Canais Horizontais .....	67
4.4.1.3	Calibração Simultânea dos Canais Horizontais e Vertical .....	68
4.4.2	Análise e Determinação das Forças Horizontal e Vertical atuantes na Ponteira .....	70
5	CONCLUSÕES .....	76
6	SUGESTÕES DE CONTINUIDADE .....	77
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78
	APÊNDICES .....	84

## LISTA DE SÍMBOLOS

ix

A1	ponteira ADI posicionada na linha 1 da semeadora-adubadora	
A3	ponteira ADI posicionada na linha 3 da semeadora-adubadora	
A6	ponteira ADI posicionada na linha 6 da semeadora-adubadora	
A8	ponteira ADI posicionada na linha 8 da semeadora-adubadora	
S2	ponteira de Aço SAE 1060 posicionada na linha 2 da semeadora-adubadora	
S4	ponteira de Aço SAE 1060 posicionada na linha 4 da semeadora-adubadora	
S7	ponteira de Aço SAE 1060 posicionada na linha 7 da semeadora-adubadora	
S9	ponteira de Aço SAE 1060 posicionada na linha 9 da semeadora-adubadora	
FH <sub>p</sub>	força horizontal atuante sobre a ponteira sulcadora	(N)
FV <sub>p</sub>	força vertical atuante sobre a ponteira sulcadora	(N)
RH	resultante das respostas das células de carga verticais	(N)
FV	resposta da célula de carga horizontal	(N)
FH <sub>s</sub>	resposta da célula de carga vertical (s)	(N)
FH <sub>i</sub>	resposta da célula de carga vertical (i)	(N)
FV <sub>x</sub>	componente horizontal da resposta da célula de carga horizontal	(N)
FV <sub>y</sub>	componente vertical da resposta da célula de carga horizontal	(N)
FH <sub>sx</sub>	componente horizontal da resposta da célula de carga (s)	(N)
Fh <sub>ix</sub>	componente horizontal da resposta da célula de carga (i)	(N)
FH <sub>sy</sub>	componente vertical da resposta da célula de carga (s)	(N)
Fh <sub>iy</sub>	componente vertical da resposta da célula de carga (i)	(N)
$\alpha$	ângulo de inclinação da haste sulcadora	(°)

## ÍNDICE DE FIGURAS

x

Figura 3.1 – Conjunto Trator – Semeadora - Adubadora utilizado no ensaio .....	35
Figura 3.2 – Haste e ponteira sulcadora removível utilizada no ensaio .....	36
Figura 3.3 – Configuração geométrica da ponteira sulcadora .....	37
Figura 3.4 – Mecanismo de regulagem da profundidade de operação do sulcador .....	38
Figura 3.5 – Método de verificação da profundidade do sulco .....	38
Figura 3.6 – Seqüência de moldagem das ponteiras em alginato .....	42
Figura 3.7 – Exemplo de superfície digitalizada através do Digimill a partir da ponteira em gesso .....	43
Figura 3.8 – Exemplo de célula de carga “shear beam” utilizada no dispositivo de medição de esforços .....	44
Figura 3.9 – Dispositivo de medição de esforços das ponteiras sulcadoras de adubo .....	45
Figura 3.10 – Dispositivo de medição de esforços das ponteiras das hastes sulcadoras projetado em SolidWorks .....	45
Figura 3.11 – Montagem do dispositivo para medição de esforços .....	46
Figura 3.12 – Condicionador de sinais e microcomputador utilizados na aquisição dos esforços .....	47
Figura 3.13 – Detalhamento da montagem utilizada para calibração dos canais das células de carga .....	48
Figura 4.1 – Gráfico comparativo da resistência à penetração dos Solos 1, 2 e 3 .....	53
Figura 4.2 – Gráfico representativo da resistência à penetração do Solo 4 .....	54
Figura 4.3 – Curvas de ajuste da tendência de desgaste, em massa, das ponteiras de Aço SAE 1060, forjado e ADI, em função das etapas de trabalho .....	57
Figura 4.4 – Curvas de ajuste linear da tendência de desgaste, em massa, das ponteiras de Aço SAE 1060, forjado e ADI, em função das etapas de trabalho .....	58
Figura 4.5 – Curvas de ajuste da tendência de desgaste da área frontal das ponteiras de Aço SAE 1060, forjado e ADI, em função das etapas de trabalho – Método Fotográfico .....	61
Figura 4.6 – Curvas de ajuste linear da tendência de desgaste da área frontal das ponteiras de Aço SAE 1060, forjado e ADI, em função das etapas de trabalho – Método Fotográfico .....	62

Figura 4.7 – Curva de ajuste linear da tendência de desgaste da área frontal das ponteiros de ADI, em função das etapas de trabalho – Método Digimill .....	63
Figura 4.8 – Gráfico comparativo das curvas de ajuste da tendência de desgaste da área frontal da ponteira A3, estabelecidas a partir dos métodos 2D e 3D .....	64
Figura 4.9 – Montagem para calibração vertical do dispositivo de medição .....	65
Figura 4.10 – Curva de calibração da força vertical em função da carga aplicada (dispositivo submetido somente à carregamento vertical) .....	66
Figura 4.11 – Montagem para calibração dos canais horizontais do dispositivo de medição .....	67
Figura 4.12 - Curva de calibração da resultante horizontal em função da carga aplicada (dispositivo submetido somente à carregamento horizontal) .....	68
Figura 4.13 – Montagem para calibração dos canais horizontais e vertical com o dispositivo de medição montado na posição de operação (inclinação de 15°) .....	69
Figura 4.14 – Média das respostas do canal vertical X componente carga aplicada (sen 15°) .....	69
Figura 4.15 – Média da resultante das respostas dos canais horizontais X componente da carga aplicada (cos 15°) .....	70
Figura 4.16 – Representação esquemática das forças atuantes .....	70
Figura 4.17 - Registro da medição das forças atuantes nas células de carga do dispositivo de medição de esforços, em uma repetição realizada durante as etapas de ensaio .....	72
Figura 4.18 – Curvas de ajuste da tendência das forças horizontal e vertical atuantes na ponteira sulcadora .....	74

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Composição química (%) do Aço utilizado nas ponteiras sulcadoras comerciais ...	36
Tabela 3.2 – Composição química (%) do material de constituição das ponteiras fabricadas em ADI .....	36
Tabela 4.1 – Atributos físicos para caracterização dos solos estudados .....	51
Tabela 4.2 – Análise granulométrica da fração areia ( $\text{kg.kg}^{-1}$ ) dos solos utilizados nas etapas de ensaios de desgaste das ponteiras sulcadoras – Solos 1, 2 e 3 .....	52
Tabela 4.3 – Valores médios da resistência à penetração e teor de água ( $\theta$ ) obtidos durante os ensaios de desgaste das ponteiras (solos 1, 2 e 3) e ensaio de tração (solo 4) .....	53
Tabela 4.4 – Evolução da perda de massa e desgaste percentual das ponteiras construídas em Aço SAE 1060, forjado, por etapa de trabalho .....	55
Tabela 4.5 – Evolução da perda de massa e desgaste percentual, por etapa de trabalho, das ponteiras construídas em ADI .....	56
Tabela 4.6 – Evolução da perda de área e desgaste percentual frontal, por etapa de trabalho, das ponteiras construídas em Aço SAE 1060, forjado – Método Fotográfico .....	59
Tabela 4.7 – Evolução da perda de área e desgaste percentual frontal, por etapa de trabalho, das ponteiras construídas em ADI – Método Fotográfico .....	60
Tabela 4.8 – Evolução do desgaste percentual frontal, por etapa de trabalho, da ponteira construídas em ADI-A3 – Método Digimill .....	63
Tabela 4.9 – Forças horizontal e vertical numa ponteira sulcadora de adubo em diferentes estágios de desgaste, operando com ângulo de inclinação da haste sulcadora de $15^\circ$ em um Planossolo .....	74

## 1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos o homem procurou desenvolver e aprimorar as técnicas para implantação de culturas, especialmente as referentes ao cultivo de cereais.

A idéia que se tinha, mormente a partir do século XVIII, é que a produção agrícola estava relacionada diretamente com a mobilização do solo e que quanto maior o volume mobilizado, maior a produtividade. Hoje, comprovadamente, verifica-se que se pode atingir excelentes índices de qualidade e produtividade agrícola sem o excesso de mobilização, apesar do solo apresentar-se muitas vezes comprometido quanto aos seus aspectos físicos, principalmente pela ação decorrente da utilização inadequada e errônea de máquinas, implementos e tratores cada vez maiores e mais pesados.

O preparo do solo realizado de forma inadequada pode gerar graves e irreversíveis conseqüências. A utilização de equipamentos, tais como o arado, grade e enxada rotativa, resolve o problema da compactação do solo nas camadas superficiais, porém, na maioria dos casos, a transfere para camadas mais profundas, logo abaixo da linha de ação dos órgãos ativos dos mesmos, gerando a denominada compactação subsuperficial (conhecida também como soleira, pé de arado ou pé de grade). Além disso, a ação excessiva nas operações de preparo, eleva de forma significativa os custos operacionais [Machado et al., 2005].

Diante da competitividade e de um mercado cada vez mais exigente, os fabricantes de máquinas e equipamentos agrícolas buscam incessantemente novas técnicas para poder fazer frente ao rápido avanço tecnológico. Em contrapartida, o produtor rural, cada vez mais informado e informatizado e, por conseqüência, mais exigente na busca de qualidade e produtividade, procura no gerenciamento de seu negócio, em especial nas máquinas agrícolas, controlar as variáveis no custo de produção que poderão representar a diferença entre o lucro ou prejuízo nas operações de campo.

No Brasil, somente a partir da década de 70, deu-se o início do desenvolvimento de uma nova técnica para cultivo de grãos, com preparo ou mobilização mínima de solo, que viria ser conhecida como Plantio Direto (PD) ou Plantio Direto na Palha (PDP).

De acordo com a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2005, a área de PD no Brasil, em 2004, atingiu aproximadamente 22 milhões de hectares.

Comparativamente com a agricultura convencional, os avanços foram altamente significativos, considerando-se que o PD iniciou no Brasil no início da década de 70, enquanto que a agricultura convencional é praticada há mais de cinco séculos. A adoção da prática de semeadura em sistema de plantio direto tem sido intensificada e largamente difundida na agricultura nacional pelas inúmeras vantagens que o sistema oferece tanto de ordem econômica

quanto ambiental (ecológica), destacando-se a diminuição dos custos de produção, o aumento na produtividade, o controle da erosão e o melhor aproveitamento da água do solo.

Uma vez que as despesas com a adubação e semeadura constituem-se em uma porção significativa dos custos de produção, independente da cultura a ser implantada, a racionalização e o desempenho operacional das máquinas envolvidas tem sido um desafio constante.

As semeadoras-adubadoras para plantio direto, pelas operações múltiplas, ou seja, mobilização do solo, adubação, semeadura e acabamento superficial do solo, se distinguem pelo preparo mínimo com operações de cultivo conjugadas. Eram compostas basicamente por um disco de corte de palha e por um conjunto de dois sulcadores de discos duplos, o primeiro para deposição de fertilizante e o segundo para deposição de sementes. [Siqueira et al., 2002].

Atualmente, as semeadoras encontram-se equipadas com hastes ou facões sulcadores dispostos nas linhas de plantio, os quais tem a função de mobilizar o solo na faixa ou linha e são desenvolvidas para operação até 15cm de profundidade. Normalmente, as hastes são ferramentas com superfícies de formatos variados, constituídas de ponteiros sulcadoras removíveis em sua extremidade, cuja função é romper o solo. Apresentam maiores capacidades de penetração em relação aos discos duplos, especialmente como alternativa para romper a camada superficial em solos mais compactados [Siqueira et al., 2002].

Portanto, o projeto adequado dessas máquinas e seus mecanismos sulcadores, requer uma série de observações e estudos envolvendo variáveis de solo e de operação.

O desempenho da haste depende de vários fatores, tais como velocidade de operação, condições de solo (textura, densidade, teor de umidade e resistência à penetração), da adesão solo-metal e das características da haste e ponteira sulcadora [Araújo et al., 2001]. Neste sentido, a ponteira sulcadora por se constituir no principal elemento de mobilização do solo e, por conseguinte, responsável pela formação do sulco, reveste-se de significativa importância na qualidade e produtividade agrícola, estando seu desempenho vinculado, principalmente, à sua configuração geométrica e, por via de consequência, em função da ação abrasiva do solo, ao material de constituição. Além disso, variações de geometria podem significar alterações ou exigências nos esforços de tração e, portanto, reflexos nos custos operacionais.

Sob o ponto de vista fisiológico, a germinação é um fenômeno no qual a semente sai do repouso e entra em atividade metabólica através de uma seqüência de eventos influenciada por fatores externos (ambientais) e internos (dormência, inibidores e ou promotores da germinação), os quais podem atuar por si ou em interação com os demais. Em síntese, em função das condições externas e internas, ocorrerá o crescimento do embrião e, por consequência, a germinação [Saraia et al, 1998].

O conhecimento de como os fatores ambientais influenciam a germinação das sementes é de extrema importância. A maximização da taxa de produtividade, velocidade e uniformidade de germinação podem ser controlados e manipulados por esses fatores, dentre os quais, citam-se como principais: a luz, a temperatura, a água e o oxigênio.

Dentre os fatores externos, a água é o fator que mais influencia o processo de germinação. Com a absorção de água, por embebição, ocorre a reidratação dos tecidos, resultando no fornecimento de energia e nutrientes necessários. Porém, o excesso de umidade provoca, em geral, decréscimo na germinação, devido ao impedimento da penetração de oxigênio e conseqüente redução de todo o processo metabólico resultante [Saraia et al, 1998].

Além da umidade, temperatura, disponibilidade de oxigênio e a luminosidade, durante o processo de germinação da semente é importante que as raízes explorem o maior volume de solo, de modo que a planta se desenvolva em boas condições .

Desta forma, o preparo da área a ser cultivada reveste-se de significativa importância na produtividade agrícola não só pela de ação de conservação do solo e da água, como também para propiciar condições favoráveis ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas, mantendo os níveis de matéria orgânica do solo. O sistema de preparo do solo exige, portanto, uma análise criteriosa, pois que influenciando a maioria das propriedades físicas do solo, afeta os processos biológicos e condiciona o estabelecimento, o desenvolvimento e a produção das plantas cultivadas. Além disto, o preparo do solo representa um dos mais importantes componentes do custo de produção.

As características do solo, o clima, a pluviosidade da região, a espécie a ser cultivada são parâmetros preponderantes na tomada de decisão quanto ao sistema de preparo do solo a ser utilizado.

De acordo com Boller, 2001, convencionou-se generalizar a denominação dos sistemas de preparo do solo em convencional e conservacionista. O sistema convencional de preparo se caracteriza pela intensa mobilização e desagregação da camada superficial do solo, predispondo-o à erosão. Em função do tipo de solo, clima e cultura, também fatores como compactação, ausência de cobertura vegetal, ação de chuvas de alta intensidade, podem contribuir para a rápida desagregação do solo, dando origem à erosão, redução da matéria orgânica e, conseqüentemente, perdas de seus nutrientes. Além de atentar contra a conservação do solo, este sistema, em virtude do número excessivo de operações a que o solo é submetido, caracteriza-se pelo elevado consumo de energia e demanda de tempo por unidade de área trabalhada, por utilizar operações de preparo primário (arados e grades pesadas) seguidas por uma ou mais operações de preparo secundário.

Já no sistema denominado conservacionista (preparo mínimo ou reduzido), ocorre menor mobilização de solo, resultando em maior proteção contra a erosão e redução das perdas de água. Além disto, em virtude do menor número de operações, comparado com o convencional, promove a diminuição dos custos de produção. Por outro lado, sistemas de preparo que mantenham restos culturais, total ou parcialmente, sobre a superfície e que favoreçam a porosidade em valores elevados são adequados para a conservação do solo. Este sistema tem no plantio direto, a modalidade de manejo considerada de excelência, especialmente em áreas destinadas às pastagens e às culturas produtoras de grãos. Os demais sistemas de preparo deverão ficar cada vez mais restritos às condições de clima, solo e culturas que impeçam o plantio direto ou, então, na prática de sistematização ou de restauração de terreno eventualmente utilizado, por vários anos de manejo sem preparo [Boller, 2001].

Desta forma, a utilização do sistema de plantio direto apresenta-se como excelente alternativa para diminuir a mobilização e degradação do solo, mantendo ou aumentando os níveis de matéria orgânica, melhorando os níveis de fertilidade, reduzindo os custos de operação (através das estratégias de manejo e racionalização no uso de máquinas de preparo). Neste, os mecanismos responsáveis pela mobilização do solo, ou seja, os sulcadores das semeadoras necessitam abrir o sulco para deposição do adubo e semente, em solos normalmente mais adensados e com grande quantidade de cobertura vegetal.

Aspectos como a distribuição, a profundidade e a cobertura das sementes devem ser observadas, por representarem fatores de influência na germinação e emergência das plântulas e, por conseguinte, garantia de uma semeadura eficiente com conseqüente redução nas perdas de produção agrícola.

A profundidade de semeadura tem influência significativa na germinação e emergência da cultura. Sementes colocadas fora da profundidade recomendada podem não germinar ou as plântulas podem não chegar à superfície, gerando falhas na distribuição de plantas na linha. Os desvios na profundidade de abertura do sulco em relação à profundidade recomendada pode afetar a uniformidade de distribuição longitudinal de plantas [Reis e Forcellini, 2002a].

Evidencia-se, desta forma, que a adequada formação do sulco durante a operação de semeadura representa um fator de significativa importância, pois que, influenciando diretamente na ação dos agentes externos, contribui na qualidade e produtividade da lavoura, estando diretamente ligado ao bom desempenho do mecanismo sulcador.

As semeadoras-adubadoras para plantio direto, diferenciam-se basicamente das semeadoras convencionais, através do mecanismo sulcador que é do tipo haste ou facão [Machado et al, 2005].

Segundo Reis e Forcellini, 2002a, o desempenho de uma semeadora quanto à garantia da correta profundidade de semeadura pode ser afetada pelos seguintes fatores: tipo de mecanismo sulcador (o desempenho de sulcadores do tipo haste e do tipo discos variam em função da classe de solo e umidade); mecanismo limitador de profundidade e velocidade de deslocamento.

Além das vantagens de economia de tempo e ganhos em energia despendida, os equipamentos de hastes são aqueles que proporcionam as melhores condições para caracterizar um sistema de preparo conservacionista do solo [Boller, 2001]. Nestes, a ação do sulcador permite, corretamente, a deposição do adubo em profundidade maior que a semente, além de proporcionar a abertura do sulco também em solos com adensamento superficial ou baixo teor de umidade na superfície. Assim sendo, mesmo onde a compactação superficial se constitui em forte restrição, como por exemplo, em solos com altos teores de argila, a utilização deste sistema tem se generalizado como alternativa para romper tal compactação [Siqueira, 2002].

Porém, estas ferramentas, por serem capazes de mobilizar o solo em maiores profundidades do que as do tipo discos duplos, além de proporcionarem maior atrito com o solo, normalmente exigem maiores esforços de tração e, por conseqüência, tratores de maiores potências.

O projeto adequado da haste e da ponteira sulcadora de uma semeadora-adubadora de plantio direto, quer seja relacionado a sua configuração geométrica, ou ao seu material constituinte, pode melhorar significativamente a necessidade de potência requerida na barra de tração do trator, proporcionando maior economia de combustível, durabilidade dos equipamentos, qualidade de semeadura, menor mobilização e maior conservação do solo. Além disto, peças projetadas inadequadamente requerem maior manutenção e reposição, contribuindo para o aumento do custo operacional.

As ponteiras dos sulcadores por representarem as partes ativas e responsáveis diretas pela mobilização do solo, estão sujeitas ao desgaste por abrasão. Neste sentido, a ação do atrito com as partículas duras do solo, origina o desprendimento de material de sua superfície [Reis e Forcellini, 2002]. Como conseqüência, com o transcorrer das operações de campo, apresentam modificações em sua configuração geométrica, podendo comprometer o formato do sulco.

Por essa razão, ponteiras projetadas inadequadamente são levadas a um número elevado de substituições. Esse procedimento torna-se dispendioso, pois, além da quantidade de

ferramentas utilizadas, demanda em tempo de reposição que poderia ser utilizado em trabalho efetivo.

Surge, então, a necessidade de se avaliar experimentalmente este desgaste e adequar soluções para o problema. E, para uma ideal avaliação, se faz necessário a realização dos ensaios em condições operacionais de campo, de forma a se obter a real vida útil destas ponteiros.

Dentre os fatores de influência no desgaste por abrasão das ponteiros sulcadoras, é importante considerar: no solo, a textura e o teor de água; na ferramenta, o tipo geral e específico do material, caracterizados pela composição química, resistência mecânica, resistência à propagação de fissuras, suscetibilidade aos tratamentos térmicos, de forma a atender os objetivos principais de tenacidade e resistência ao desgaste; no sistema de abrasão, a pressão na superfície de contato, a velocidade e duração do contato.

Entende-se, portanto que a seleção de materiais, bem como o estudo dos esforços atuantes é de suma importância para garantir uma vida útil satisfatória nas ponteiros das hastes sulcadoras das semeadoras de plantio direto.

O objetivo geral deste trabalho é quantificar o desgaste de ponteiros constituintes de hastes sulcadoras de semeadoras de plantio direto, analisando sua perda de massa e modificação de sua geometria em função das horas trabalhadas, no sentido de estabelecer-se a vida útil da ferramenta numa condição de solo abrasivo (arenoso), avaliando a influência deste desgaste nos esforços de tração.

Como objetivos específicos, neste trabalho, pretende-se:

a) Quantificar e comparar o desgaste de Ponteiros Sulcadoras de Adubo de mesma configuração geométrica e construídas respectivamente de Aço SAE 1060, forjado e Ferro Fundido Nodular Austemperado (ADI), através da análise da perda de massa e variação geométrica, em função das horas trabalhadas;

b) Avaliar a taxa de desgaste frontal da ferramenta, através da análise da perda de área, em diferentes etapas de trabalho.

b) Projetar e construir um dispositivo especial para obtenção das forças atuantes sobre a ponteira;

d) Analisar a influência do desgaste no esforço de tração.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A Germinação e Emergência das Culturas

Segundo Saraia et al., 1998, a germinação é um fenômeno biológico considerado pelos botânicos como a retomada do crescimento do embrião, com o subsequente rompimento do tegumento pela radícula. Entretanto, para os tecnólogos de sementes, a germinação é definida como a emergência e o desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, manifestando a sua capacidade para dar origem a uma plântula normal, sob condições ambientais favoráveis.

Em síntese, tendo-se uma semente viável, em repouso, por quiescência ou dormência, quando são satisfeitas uma série de condições externas (do ambiente) como luminosidade, temperatura, disponibilidade de água e oxigênio e, internas (intrínsecas do indivíduo), correrá o crescimento do embrião, o qual conduzirá à germinação. Cada fator pode atuar por si ou em interação com os demais.

De acordo com Hartmann e Kester, 1971, o fator fundamental, na fase de germinação, é a umidade disponível, sem a qual o processo não se inicia. A temperatura, disponibilidade de oxigênio e luminosidade também são importantes e, freqüentemente, o começo do processo é determinado pela interação desses fatores.

A velocidade de absorção de água varia com a espécie, com o número de poros distribuídos sobre a superfície do tegumento, disponibilidade de água, temperatura, pressão hidrostática, área de contato semente/água, forças intermoleculares, composição química e qualidade fisiológica da semente. O movimento da água para o interior da semente é devido tanto ao processo de capilaridade quanto de difusão e ocorre no sentido do maior para o menor potencial hídrico. Assim sendo, a embebição é essencialmente um processo físico relacionado às características de permeabilidade do tegumento e das propriedades dos colóides que constituem as sementes, cuja hidratação é uma de suas primeiras conseqüências [Saraia et al., 1998].

De acordo com Pellegrini et al., 2002, a semente, quando semeada muito profundamente pode esgotar suas reservas a fim de alcançar a superfície vindo a não emergir. A profundidade de semeadura está diretamente ligada ao grau de compactação do solo. A compactação leva ao aumento da densidade do solo, aumento da resistência à penetração radicular, redução da infiltração, redução da aeração, alteração do fluxo de água e calor, disponibilidade de água e nutrientes [Negi et al., 1980; Arvidson e Hakansson, 1991].

Os diferentes sistemas de cultivo do solo buscam dar boas condições de desenvolvimento à planta, possibilitando na fase de germinação um íntimo contato da semente com o solo, permitindo ainda, que no desenvolvimento da cultura, as raízes explorem maior

volume de solo. Neste sentido, o sistema de plantio direto surgiu como uma técnica eficiente, além de contribuir para o controle da erosão, quando comparado com o sistema convencional. [EMBRAPA, 2004].

## **2.2 O Preparo do Solo**

De acordo com Boller, 2001, o preparo do solo é definido como um conjunto de operações agrícolas que envolvem a mobilização da camada arável (onde se desenvolve a maior fração do sistema radicular das plantas), promovendo o seu rompimento em torrões (agregados) de tamanho adequado, assim como a mistura ou a incorporação de material vegetal ou não, encontrado na superfície. Já Machado et al. 2005, salientam que a mobilização do solo surge da necessidade que se tem de se dar condições, as mais próximas das ideais, para que a cultura que se deseja implantar venha a desenvolver-se adequadamente. O preparo do solo está relacionado com a sustentabilidade da agricultura, pois influencia a maioria das propriedades físicas do solo, afeta os processos biológicos e condiciona o estabelecimento, o desenvolvimento e a produção das plantas cultivadas. Para dar condições de produtividade a uma espécie vegetal, os sistemas de preparo têm de facilitar a conservação do solo e da água, criar condições que estimulem o desenvolvimento do sistema radicular das culturas e ainda manter níveis favoráveis de matéria orgânica do solo.

O preparo do solo pode ser decisivo para a produtividade das plantas cultivadas, dependendo do grau de sensibilidade destas às condições de solo. Na prática, com o advento da moto-mecanização no Brasil, observou-se que antes da implantação da maioria das culturas, os agricultores, baseados em recomendações técnicas provenientes de regiões onde o nível de precipitação pluvial são mais amenos do que aquelas observadas na maioria das regiões agrícolas do Brasil, utilizavam sistemas de preparo que se caracterizavam pela intensa mobilização e desagregação da camada superficial do solo, predispondo-o à rápida degradação e à erosão.

O manejo do solo quando realizado com um número excessivo de operações ou quando feito com implementos e condições de solo inadequadas, normalmente provoca a degradação física e química do solo, com conseqüente ocorrência de erosão, que leva a perdas quantitativas e qualitativas de solo.

Os fatores que causam a degradação do solo agem de forma conjunta e a importância relativa de cada um varia com as circunstâncias do clima, do próprio solo e das culturas. Entre os principais, destacam-se: a compactação, a ausência da cobertura vegetal do solo, a ação das chuvas de alta intensidade, o uso de áreas inaptas para culturas anuais e o preparo do solo com excessiva mobilização.

A matéria orgânica é, em grande parte, responsável pela capacidade de troca catiônica (CTC) e pela estabilidade das características físicas dos solos, ou seja, agregados estáveis, relação adequada entre macro e microporos, retenção de água, e outros, os quais por sua vez afetam direta, ou indiretamente, a produtividade. [EMBRAPA, 2004].

Denomina-se sistema convencional a todas as modalidades que utilizam operações de preparo primário com inversão parcial das camadas do solo e conseqüente incorporação dos resíduos (normalmente este mantém menos de 5% da superfície do solo coberta com resíduos), através de arados ou grades pesadas, seguidas por uma ou mais operações de preparo secundário. Além de atentarem contra a conservação do solo, os sistemas de preparo convencional caracterizam-se pelo elevado consumo de energia e demanda de tempo por unidade de área. Em outras palavras, sistemas de preparo convencional apresentam inconvenientes do ponto de vista da sustentabilidade econômica e ambiental. Em virtude disso, vem sendo desenvolvidos sistemas de preparo do solo alternativos, buscando reduzir os custos de produção e proteger melhor o solo contra a erosão. Sistemas de preparo do solo constituídos por um número menor de operações do que o sistema convencional e que mobilizam menor volume de solo são denominados de preparo mínimo ou preparo reduzido. Estes promovem maior rugosidade superficial e porosidade do solo do que o convencional, aumentando a capacidade de armazenamento de água e reduzindo os riscos de formação de uma crosta superficial após chuvas intensas [Boller, 2001].

### **2.3 O Plantio Direto**

A partir da tomada de consciência de que o preparo convencional estava acelerando o desgaste do solo, foram desenvolvidos novos sistemas de preparo que levam em conta as características do solo, a pluviosidade da região e a disponibilidade de máquinas e equipamentos nas propriedades rurais. Por outro lado, sistemas de preparo que mantenham restos culturais, total ou parcialmente, sobre a superfície e que favoreçam a porosidade em valores elevados são adequados para a conservação do solo. Esses sistemas, denominados conservacionistas, apresentam no plantio direto, onde ocorre a menor mobilização do solo possível, a modalidade de manejo considerada de excelência. Cabe, portanto, enfatizar que a grande tendência para o manejo do solo, em áreas destinadas à pastagens e à culturas produtoras de grãos, é o plantio direto. Os demais sistemas de preparo deverão ficar cada vez mais restritos às condições de clima, solo e culturas impeditivas ao plantio direto, cabendo-lhes, ainda, o papel de sistematização do terreno ou de prática “restauradora” de algumas situações eventualmente decorrentes dos anos de manejo sem preparo [Boller, 2001]

O sistema chamado “plantio direto” é a melhor alternativa para reverter a situação de degradação gerada pelo cultivo convencional. Como vantagens pode-se dizer que ele tende a diminuir a erosão, manter ou aumentar a quantidade de matéria orgânica, melhorando os níveis de fertilidade do solo, proporcionar a redução dos custos de produção (menor desgaste de tratores e maior economia de combustível, em razão da ausência das operações de preparo), permitir a melhor racionalização no uso de máquinas, implementos e equipamentos, possibilitando que as diferentes culturas sejam implantadas nas épocas recomendadas e, finalmente, proporcionar estabilidade na produção e melhoria de vida do produtor rural e da sociedade [EMBRAPA, 2004].

O plantio direto, poderá contribuir significativamente na qualidade e produtividade da lavoura, pois envolve a consideração das relações de interação entre os nutrientes, o solo, o clima, a planta, a atmosfera e todos os organismos presentes no sistema. Entende-se que o solo permanece coberto com resíduos de culturas anteriores ou de adubos verdes, e que a maior parte dessa cobertura permanece na superfície do solo depois do plantio [Mion et al., 2002].

Segundo Boller, 2001, o preparo conservacionista tem sido definido como qualquer sistema que reduz as perdas de solo ou água, quando comparado com o preparo convencional. Isso é obtido por meio de palha na superfície do solo e através da manutenção da rugosidade superficial em níveis elevados, ou até mesmo pela combinação de ambas as situações. Especialistas em Ciência do Solo estabeleceram que a diferença fundamental entre preparo convencional e preparo conservacionista é a percentagem da superfície do solo que permanece coberta com resíduos após a semeadura. Qualquer sistema de preparo e semeadura que permita a manutenção de, no mínimo, 30% da superfície do solo coberta com resíduos após a implantação das culturas é considerado conservacionista. Destacam, ainda que, 30% da superfície do solo coberta com resíduos proporciona 60% de redução nas perdas do solo por erosão. Verifica-se que, além das vantagens de economia de tempo e de energia que oportunizam, os equipamentos de hastes são aqueles que proporcionam as melhores condições para caracterizar um sistema de preparo conservacionista do solo.

#### **2.4 As Semeadoras-Adubadoras de Plantio Direto**

De acordo com Machado et al, 2005, o ato de semear visa colocar, no solo, uma determinada quantidade de sementes, de maneira que a cultura implantada apresente as melhores condições de desenvolvimento e produtividade. Para que isto ocorra, é necessário seguir as recomendações agrônômicas, principalmente no que se refere à densidade, espaçamento e profundidade de deposição das sementes.

Pode-se definir a semeadora como sendo a máquina agrícola cuja função é colocar, no solo, os mais variados tipos de sementes, dentro da densidade, espaçamento e profundidade recomendados para o pleno desenvolvimento produtivo da cultura de maneira que as sementes não sejam danificadas.

As semeadoras utilizadas em plantio direto eram compostas basicamente por um disco de corte de palha e por um conjunto de dois sulcadores de discos duplos, o primeiro para deposição de fertilizante e o segundo para deposição de sementes. Em função da tendência natural à acomodação da superfície dos solos na semeadura direta e da ocorrência de compactação nos solos argilosos, notadamente quando manejados com teores inadequados de água, em consequência do curto período disponível entre a colheita de uma cultura e a semeadura subsequente, passou-se a empregar as hastes como mecanismos sulcadores de fertilizantes nas semeadoras de plantio direto. Estas hastes também chamadas de facões, são ferramentas de formatos variados constituídas de ponteiros em sua extremidade, cuja função é cortar e penetrar no solo. Promovem um sulco com profundidade maior do que os discos duplos, com conseqüente aumento na mobilização do solo, nos esforços de tração e na exigência de potência dos tratores. Porém, estes efeitos negativos podem ser minimizados através de projeto adequado das hastes e ponteiros sulcadoras, proporcionando a redução na exigência de potência e, conseqüentemente, menor consumo de óleo diesel por hectare, bem como, menos solo desprotegido e menor área de solo revolvida, resultando, assim, em maior rentabilidade e maior conservação do solo [Siqueira et al., 2002].

Segundo Machado et al, 2005, as máquinas para plantio direto, diferenciam-se das máquinas para semeadura convencional, basicamente, pelo seu mecanismo sulcador. Como esse sistema prevê a semeadura sem o trabalho inicial de preparo do solo, as semeadoras necessitam abrir o sulco para deposição da semente, estando o terreno mais adensado e com grande quantidade de cobertura vegetal. Portanto, nestas máquinas, o sulcador deve apresentar boa eficiência não só na conformação do sulco, como também em relação a sua capacidade de trabalho em condições de solo com elevada cobertura vegetal e maior densidade.

Atualmente, questionamentos sobre o melhor método de implantação do sistema de semeadura direta são freqüentes, principalmente quanto ao sulco produzido pela semeadora-adubadora, em relação à profundidade e área de solo mobilizada. Estudos também vêm sendo realizados para determinar a melhor forma de disposição de fertilizantes no sistema de semeadura direta, ao lado ou na linha de semeadura e, nesse caso, em que profundidade isto ocorre [ Herzog et al., 2004].

A melhor haste é aquela que consegue penetrar com facilidade no solo mais compactado superficialmente, exigindo pouca força de tração e movimentando o solo no sulco o mínimo possível. O desempenho da haste depende de vários fatores, tais como velocidade de operação, posição em relação aos demais sulcadores da semeadora, condições de solo (densidade, teor de umidade e resistência à penetração), nível de aderência do solo e das características geométricas da própria haste (forma). Observações realizadas pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) mostraram que hastes com ângulo de ataque (ângulo entre a superfície superior da ponteira e a horizontal) de 20° e espessura máxima de ponteira de 20mm têm apresentado bons resultados [Araújo et al., 2001].

De acordo com Reis e Forcellini, 2002a, a germinação e a emergência da cultura é afetada pela profundidade de semeadura. A profundidade de semeadura também afeta a uniformidade de distribuição longitudinal de plantas, pois considerando-se que uma semente colocada fora da profundidade recomendada (tanto acima quanto abaixo) pode não germinar ou a plântula pode não chegar a superfície, gera-se uma falha na distribuição de plantas na linha. O erro de profundidade reflete, portanto, os desvios na profundidade de abertura do sulco em relação à profundidade recomendada/regulada na semeadora. Além disso, com a racionalização da escolha da profundidade de trabalho, pode-se economizar potência do trator e, portanto, combustível [Siqueira et al., 2002].

O desempenho de uma semeadora quanto à garantia da correta profundidade de semeadura pode ser afetada pelos seguintes fatores: (a) tipo de mecanismo sulcador (o desempenho de sulcadores do tipo facão e do tipo discos variam em função da classe de solo e umidade); (b) mecanismo limitador de profundidade; e (c) velocidade de deslocamento [Reis e Forcellini, 2002a].

Siqueira et al, 2002, avaliando hastes sulcadoras utilizadas no plantio direto no Brasil, observou que em função da maior profundidade de trabalho, os efeitos da deficiência de água para germinação e emergência de plantas são menores durante veranicos, como constatou-se em propriedades acompanhadas pelo IAPAR e ITAIPU BINACIONAL, onde lavouras semeadas com semeadoras que utilizavam hastes sulcadoras tiveram emergência de plantas superior à semeadura feita com semeadoras que utilizavam discos duplos.

## **2.5 O Solo**

A dinâmica do solo procura correlacionar aspectos na interface máquina-solo, ou seja, utilizar as ferramentas da mecânica do solo em conjunto com parâmetros de projeto de máquinas agrícolas, com o objetivo de modelar o processo, e, desta forma, prever a maneira de como ocorrerá esta inter-relação [Machado, 2001].

Para projetar uma ferramenta de preparo do solo, teoricamente, são necessárias técnicas mecânicas para determinar a melhor geometria e desempenho da ferramenta. Os critérios para a obtenção destas duas condições, podem incluir a identificação do esforço de tração necessário, o volume de solo rompido, a maneira como a ferramenta desloca-se sobre o solo e as forças que atuam sobre a mesma, entre outros [McKyes,1978].

A importância do conhecimento do teor de água do solo, no momento da realização dos trabalhos de campo, está relacionado à influência que este fator exerce sobre a maioria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, tais como: densidade, espaço aéreo, compactação, resistência ao corte e penetração, consistência, forças de sucção, cor, processos químicos e bioquímicos, atividade microbiana, assim como, sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. É uma propriedade das mais dinâmicas e depende do clima, da profundidade do solo e das condições físicas do perfil, principalmente àquelas relacionadas à infiltração e deslocamento de água através das camadas do solo [Pauletto, 1997].

Segundo Silva et al., 2003, a faixa de consistência adequada do solo que deve ser trabalhada é a da friabilidade, a qual fica entre o limite de plasticidade e o limite de contração. Estudos revelam que, quando os demais fatores mantêm-se constantes, a umidade é que governa a quantidade de deformação que pode ocorrer no solo. Assim, estando o solo mais seco, maior será a sua capacidade de suporte de carga e menor a probabilidade de compactação. Portanto, o conhecimento da consistência do solo antes das operações é fundamental para um manejo adequado.

A compactação do solo pode ser avaliada por métodos visuais, subjetivos e grosseiros (sulcos de erosão, fendas nos rastros dos rodados, crostas superficiais, restos de resíduos não decompostos, raízes mal formadas, sistema radicular raso e espalhado, falhas localizadas de germinação, plantas com tamanhos menores que o padrão, emergência lenta de plântula, coloração deficiente, sintomas de carência de N e P e toxidez de Mn), métodos precisos (densidade, percentagem de macroporos, taxa de difusão de oxigênio, condutividade hidráulica saturada) e métodos intermediários (avaliação da resistência à penetração do solo, utilizando Penetrômetros e Penetrógrafos). [Lanças, 2002]

A resistência à penetração é um indicador intermediário de compactação, não sendo uma medida física direta das condições do solo, pois é muito variável em função de outros fatores, principalmente como o teor de água e o tipo de solo. Apesar das limitações, a resistência à penetração é freqüentemente usada para a indicação comparativa de compactação em solos do mesmo tipo e mesmo teor de água, devido a facilidade e rapidez na qual numerosas medidas

podem ser realizadas. Os resultados são normalmente expressos em termos de força por unidade de área do cone ( $\text{kPa}$  ou  $\text{kgf.cm}^{-2}$ ) [Lanças, 2002].

A consistência do solo é definida como as manifestações das forças de coesão e adesão atuando sobre a massa do solo. Essas manifestações influem em propriedades como dureza ou tenacidade, friabilidade, plasticidade e pegajosidade, podendo indicar a tendência do solo em aderir a outros corpos como, por exemplo, as máquinas e equipamentos agrícolas. Assim o conhecimento dos limites e dos estados de consistência do solo é de grande valia na tomada de decisões como, por exemplo, a condição de umidade ideal do solo para realização das operações agrícolas [Silva et al., 2003].

O solo, quando considerado como um corpo rígido, rompe-se através do cisalhamento, podendo este processo acontecer através do corte puro, da compressão (propagação da tensão de compressão) ou devido a ambos. Em função do tipo de ferramenta que penetra no solo e dependendo da sua umidade e compactação, haverá predominância de um ou outro tipo de ruptura [Lanças, 2002].

## **2.6 O Desgaste**

A avaliação e a previsão correta da durabilidade de peças de corte do solo são fatores decisivos para a operação apropriada das máquinas agrícolas (Owsiak, 1999).

Segundo Bhole e Yu, 1992, o desgaste abrasivo é o que melhor descreve a remoção de material de uma superfície sólida pela ação do solo. A fricção ou o deslizamento entre duas superfícies rugosas de diferentes durezas provoca a retirada de material da mais macia, sem que haja a posterior adesão deste à outra superfície de maior dureza, ou seja, a ação do atrito do solo sobre as ferramentas de preparo (ponteiras sulcadoras), origina o desgaste desta última, sendo que o material removido não adere às partículas do solo.

De acordo com Gill e Vanden Berg, 1968; Kepner et al., 1972, a pressão na superfície, o tempo de duração e a velocidade do contato são fatores importantes no desgaste por abrasão. Além disto, propriedades e características dos materiais constituintes das ferramentas, como a sua composição química e, conseqüentemente, sua resistência mecânica, resistência à propagação de fissuras, dureza e aptidão aos tratamentos térmicos devem ser considerados. Da mesma forma, no solo, a textura e o teor de água presente, revestem-se de significativa importância.

Segundo Reis & Forcellini, 2002, as propriedades físicas, mecânicas, elétricas, químicas, térmicas e nucleares, bem como fatores diversos como a fabricação, disponibilidade presente e futura, limitações de tamanho e tolerâncias, variabilidade do material, custos, meio

ambiente a que estarão sujeitos, acabamentos requeridos, reciclagem e poluição ambiental e certificações, são importantes e decisivas na seleção de um material. Essa complexidade é agravada pelo elevado número de materiais disponíveis.

Segundo Owsiak, 1997, o desgaste de uma ferramenta de corte do solo depende das condições do solo, dos fatores operacionais e das características da ferramenta. Salienta que na prática da pesquisa, é muito difícil cobrir simultaneamente todos os fatores de influência e que, geralmente, somente os efeitos de alguns fatores são investigados, com valores fixados para outros. Resumidamente, considera-se que o desgaste das ferramentas de corte do solo é influenciado pelos seguintes fatores:

- composição química do aço e de seu tratamento térmico (que são importantes para a resistência ao desgaste abrasivo do material da ferramenta);
- tipo do solo (sua composição física e química que afetam as propriedades abrasivas do solo);
- grau de compactação do solo e atributos que determinam um complexo de propriedades físicas/mecânicas do solo (porosidade, densidade, índice de cone), que variam em consequência da compactação;
- profundidade da operação da ferramenta;
- distância percorrida; e
- localização da parte desgastada na ferramenta.

O desempenho dos implementos operando no solo é influenciado, decisivamente, pela ação do atrito entre eles e, conseqüentemente, se reveste de extrema importância tendo em vista as vastas quantidades de solo que são movidas anualmente nas operações agrícolas e de engenharia civil [Stafford & Tanner, 1976].

As características de fricção do solo no aço influenciam o desempenho dos implementos em três maneiras. Primeiramente, o desgaste se constitui num problema tanto no equipamento de preparo do solo como no cultivo devido à natureza abrasiva de muitos solos [Richardson, 1967]. Em segundo lugar, a força exigida para separar ou mover o solo não só depende das propriedades físicas do solo, mas também do atrito solo/implemento [Hettiaratchi et al., 1966]. Finalmente, a magnitude do atrito de natureza interna do solo estabelece o grau de abrasividade do solo na interface [Stafford & Tanner, 1976].

Vem a ser possível o cultivo dos solos quando as condições físicas (como o índice de umidade) são favoráveis proporcionando valores mais baixos na resistência de atrito. A probabilidade de distúrbio e compactação, naturalmente, limitará a escala de condições físicas em cima das quais o cultivo pode ser praticado [Stafford & Tanner, 1976].

O carregamento estático de uma porção de solo sobre um plano metálico é semelhante ao carregamento de dois planos metálicos em conjunto, isto é, o contato ocorre nos pontos discretos onde as partículas do solo se encontram com a aspereza da superfície do metal. Entretanto, ao contrário do contato metal com metal, quando a carga é aumentada as partículas do solo arranjam-se novamente sem que haja uma deformação significativa e até mesmo desprezível, de partículas individuais. Quando a porção de solo fica mais densa, um número maior de partículas contata o metal produzindo uma carga extra [Stafford & Tanner, 1976].

A concentração de líquido (normalmente água) além de incrementar a interface de atrito, resulta num aumento na adesão devido à tensão superficial [Fountaine, 1954]. Quando um esforço tangencial é aplicado, este é resistido tanto pelo atrito como pela adesão. Conforme Machado, 2001, a relação entre a tensão máxima de cisalhamento ( $\tau$ ) e a tensão normal ( $\sigma$ ) pode ser descrita por uma reta, obtendo-se um gráfico  $\tau = f(\alpha)$ , expressa pela equação proposta por Coulomb em 1776, a qual é:

$$\tau = C + \sigma \tan \alpha$$

Onde C é a componente de coesão e  $\alpha$  o ângulo de atrito interno do solo.

Por analogia com o deslizamento mútuo de dois materiais sólidos, poder-se-ia esperar que a força de atrito poderia ser independente da área de contato aparente entre o solo e a superfície do sólido, mas que poderia ser determinada, em parte, pela micro-aspereza da superfície do solo [Butterfield & Andrawes, 1972]. Por esta razão, a força de atrito, supostamente, varia com densidade aparente úmida [Stafford & Tanner, 1976].

Segundo Stafford & Tanner, 1976, a força de atrito, supostamente, varia com densidade úmida. A variação do comportamento do atrito com o conteúdo de umidade do solo foi observado experimentalmente por alguns pesquisadores. Nichols, 1931, definiu três regimes do comportamento do atrito entre os estados de friabilidade e saturado. Com menor conteúdo de água, a força de atrito é baixa porque a adesão é zero sendo esta devida, somente, pela tensão normal e o ângulo de atrito solo-metal. Com maior teor de água no solo, a adesão transforma-se significativamente e a força de atrito aumenta. Conforme aproximação do grau de saturação, a água presente na interface tem um efeito lubrificante e a fricção diminui [Ashburner e Sims, 1984].

A força de fricção entre duas superfícies de deslizamento rígidas secas (sem lubrificação), geralmente diminui com o aumento da velocidade, sobre uma escala muito grande de velocidades. Nenhum mecanismo satisfatório foi proposto para o efeito da velocidade, embora, em velocidades deslizantes muito elevadas, a diminuição na fricção pode ser explicada pelo efeito da fusão da superfície na área de contato [Tabor, 1967].

Comportamento semelhante é exibido pelo metal deslizando no solo, embora existam poucas provas experimentais. Nikiforov & Bedrun, 1965, demonstraram experimentalmente para um solo que a força de atrito é reduzida por um fator de dois quando a velocidade de deslizamento é aumentada de  $1-5\text{m.s}^{-1}$ . O comportamento de fricção na extremidade mais elevada desta escala de velocidade pode ser explicado para solos úmidos por um mecanismo da lubrificação. Entretanto, Payne, 1956, bem como Rowe & Barnes, 1961, não encontraram variação na fricção com a velocidade em solos variando desde muito arenosos até elevados conteúdos de argila.

De acordo com Fernandes et al., 2002, o estudo dos mecanismos de desgaste dos materiais utilizados em implementos agrícolas é fundamental para a otimização na escolha dos mesmos e para a previsão da durabilidade de um equipamento. Estudaram o desgaste de implementos agrícolas, através de simulação em laboratório, em 3 tipos de implementos e 4 tipos de solos. A metodologia empregada foi a construção de um equipamento de teste no qual a ferramenta se atritava com o solo durante 8 horas, correspondendo uma utilização em campo por 48.000 metros. A variável mensurada foi o desgaste dos corpos de prova, obtido através da porcentagem de peso perdida durante o ensaio. Este sistema mecânico permitiu a realização dos ensaios com variação da velocidade de avanço da ferramenta, compactação do solo e sua variabilidade. Os tipos de solos testados foram: Arenoso (região de Bauru); Franco arenoso (região de Pederneiras); Franco Argiloso (região de Guaxupé); e Terra Roxa Estruturada (região de Pirassununga). Os implementos testados foram: relha do arado de aiveca; ponteira de escarificador e ponteira da haste do subsolador. Observaram que os solos Arenoso e solo Franco Arenoso, respectivamente, foram os solos que mais desgastaram os corpos de prova submetidos aos ensaios e, dentre estes, o primeiro resultou em um desgaste mais acentuado. Já os solos, Terra Roxa Estruturada e Franco Argiloso, respectivamente, ocasionaram os menores desgastes e, dentre estes, o primeiro provocou um desgaste menor. Verificaram, através do comparativo entre a média aritmética das taxas de desgaste dos corpos de prova e as porcentagens de areia e argila contidas em cada tipo cada solo, que a taxa de desgaste média aumenta com a porcentagem de areia dos solos, bem como, inversamente, diminui com a porcentagem de argila. Concluíram, assim, que taxa de desgaste é diretamente proporcional a porcentagem de areia de um solo e inversamente à porcentagem de argila. Concluíram, também, que o corpo de prova representativo do implemento agrícola, escarificador, apresentou o maior desgaste de todos. Já a aiveca, o menor desgaste dos implementos.

A areia é formada principalmente por sílica ( $\text{SiO}_2$ ), que apresenta uma dureza da ordem de  $750\text{kg}\cdot\text{mm}^{-2}$ , que é bastante alta, mesmo quando comparada com a dos aços [Rabinowicz, 1995].

Testar em laboratório, através de dispositivos previamente construídos é o mais comum, onde a areia é aplicada como o abrasivo. Uma desvantagem destes métodos é a diminuição na habilidade abrasiva do meio, por causa da desintegração dos grãos de quartzo. Sua estrutura natural é destruída dentro de um tempo muito curto. Estas desvantagens podem ser evitadas conduzindo as pesquisas em testes de campo. A maioria das pesquisas foram focalizadas em determinar a resistência de desgaste e a análise da distribuição do desgaste em ferramentas em formas de cunha. Pouco trabalho foi feito no desgaste de outras ferramentas de corte do solo. As investigações complexas são necessárias para permitir a determinação do desgaste e seleção de novos materiais, quer seja em laboratório ou em campo [Owsiak, 1997].

Ferguson et al., 1998, ao analisar solos altamente abrasivos da Austrália, concluíram que ferramentas de preparo de solo trabalhando em solos secos desgastam-se 4,25 vezes mais rápido do que em solos úmidos e que o conteúdo de pedra e cascalho são fatores importantíssimos e significativos no desgaste destas ferramentas.

O desgaste por abrasão e, neste caso em especial o que ocorre na ferramenta sulcadora no trabalho com o solo, é um fenômeno difícil de quantificar. De acordo com Ashby, 1992, essa quantificação é dificultada em função de que o desgaste refere-se à superfície do material e não a sua massa, envolvendo interações entre os dois materiais e não propriedades de apenas um.

Dentre as diversas propriedades, a dureza dos aços dá um bom exemplo dessa dificuldade, pois não se correlaciona bem com a resistência ao desgaste [Gill & Berg, 1968]. Em aços com médio teor de carbono, as taxas de desgaste mais baixas foram encontradas para durezas entre 44 e 48 Rockwell C (Rc). Para durezas maiores ou menores, o desgaste aumentou [Kepner et al., 1972]. Mesmo quando o aumento da dureza traz consigo um aumento da resistência ao desgaste (aços liga), esse aumento não é tão grande quanto era de se esperar, pois o aumento da resistência ao desgaste, no geral, é de apenas 1/3 do aumento da dureza [Rabinowicz, 1995, Owsiak, 1997].

De uma maneira geral, um aumento do teor de carbono ou do elemento liga nos aços é mais efetivo que o aumento na dureza no controle de desgaste [Gill & Berg; 1968, Kepner et al., 1972].

Um dos fatores mais importantes que afetam a resistência à abrasão é a microestrutura do material abrasado. Isto pode ser relacionado a sua dureza, a qual indica a

resistência de um material ao risco (sulco), por uma partícula abrasiva. Geralmente, quanto maior a penetração abrasiva mais alta é a taxa de desgaste [Archard, 1960].

Isto promove a interpretação de que a resistência ao desgaste pode ser melhorada por um aumento de dureza do material. Porém, a dureza inicial, em função da microestrutura do material, pode mudar em serviço [Dommarco et al., 2001].

O desgaste por abrasão ocorre quando as rugosidades de um corpo contata e corta a superfície de um segundo corpo mais macio em movimento relativo, removendo material por microsulcos e microfraturas. A magnitude do desgaste depende de vários fatores, como: pressão de contato; velocidade; temperatura; umidade; dureza e resistência ao desgaste por abrasão do material; geometria da superfície exposta à abrasão, etc. Devido ao grande número de possíveis combinações de fatores de influência, o desgaste por abrasão freqüentemente é dividido em diferentes categorias, de acordo com as condições sob as quais ele ocorre [Gates, 1994].

O desgaste de peças de máquinas agrícolas que trabalham no solo é causado pela fricção que resulta dos fenômenos complexos, onde nem as contribuições de fenômenos individuais nem suas interações são sabidas. As formas das ferramentas projetadas para o trabalho no solo são desenvolvidas empiricamente e não há nenhuma teoria formalizada das interações que ocorrem. Embora um relacionamento linear seja encontrado entre a dureza do aço e sua resistência ao desgaste, isto pode ser usado somente para metais ou ligas puras com microestruturas idênticas [Owsiak, 1997].

Hebda & Wachal (1980), estudando o comportamento de aços com microestruturas diferentes (usuais, fundidos, temperados e revenidos), verificaram que, apesar da dureza igual, a resistência ao desgaste foi diferente. Conseqüentemente, para comparar o desgaste de aços de diferentes composições químicas, tratamentos térmicos e microestruturas, é necessário a execução de testes para a determinação da resistência ao desgaste [Owsiak, 1997].

Estudos realizados por Reis & Forcellini, [2002], para a seleção de materiais de ponteiros de escarificadores resistentes ao desgaste, com o auxílio das Cartas de Seleção de Materiais propostas por Ashby, 1992, considerando comparativamente o custo relativo dos materiais com a sua rigidez, resistência mecânica e resistência ao desgaste, mostraram serem os aços com médio teor de carbono, aços com alto teor de carbono, aços fundidos, aços nitretados e nylons, os materiais mais indicados para a fabricação destas ponteiros.

Com o fim de estabelecer as condições de operação do escarificador, fixaram valores para os principais atributos no uso das Cartas de Seleção de Materiais, quais sejam: área de contato do solo com a ferramenta, pressão de contato entre a ferramenta e o solo e distância percorrida.

Observando visualmente o desgaste apresentado por ponteiros de escarificadores após operações de campo, verificaram que o solo não atua de forma uniforme sobre toda a superfície da ponteira e que a sua parte inferior, onde se encontra o gume, é a mais afetada pelo solo. Esse fato também foi observado por Ferguson et al., 1998. Sendo assim, numa tentativa de expressar mais corretamente o efeito do solo sobre a ponteira, consideraram apenas essa área, compreendida pelos vértices a, b, c, d, e da fig. 1, de área  $A_{abcde}=0,0021\text{m}^2$ .

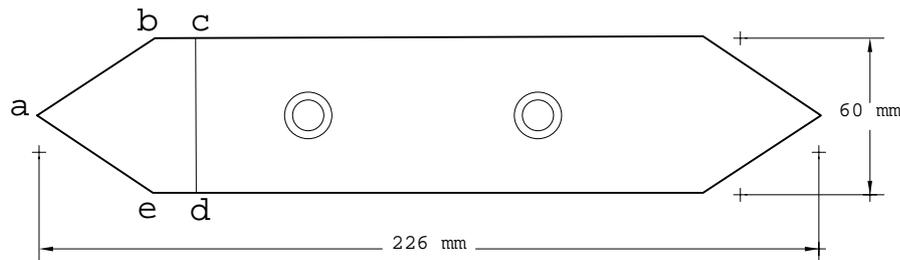


Figura 1. Vista frontal de uma ponteira estreita reversível típica.

Consideraram um escarificador hipotético com apenas uma haste operando a uma profundidade de 30cm (a máxima para a escarificação), velocidade de  $8\text{km.h}^{-1}$  e estimaram uma força de tração  $D_{30\text{cm}}=12,1\text{kN}$ .

A pressão de contato (P) entre o solo e a ferramenta foi obtida, admitindo-se uma distribuição uniforme de esforços, através da relação  $D_{30\text{cm}} / A_{abcde}$ . Assim,  $P=5,8\text{MN.m}^{-2}$ .

A distância percorrida pela ponteira durante a sua vida útil foi arbitrariamente fixada em 833km, 1.667km e 3.333km, correspondendo ao trabalho em áreas de 25, 50 e 100ha, respectivamente, com espaçamento de 0,3m entre passadas. Esse procedimento foi adotado em função da indisponibilidade de dados reais de durabilidade desse componente. Os três valores escolhidos permitiram uma simulação dos parâmetros necessários à utilização das Cartas de Seleção.

Uma forma de caracterizar a resistência ao desgaste de uma superfície é utilizar a constante de desgaste de Archard,  $K_A$  ( $\text{m}^2.\text{MN}^{-1}$  ou  $\text{MPa}^{-1}$ ), definida pela equação abaixo [Ashby, 1992]:

$$K_A = W / A \times P$$

onde,

W - a taxa de desgaste,  $\text{m}^3\text{m}^{-1}$ ;

A - área de superfície de contato,  $\text{m}^2$ ;

P - a pressão de contato entre as superfícies,  $\text{MN.m}^{-2}$ .

Nesse caso, W é fixada pelo projetista em função da durabilidade pretendida para o componente. Em seus estudos, fixaram quatro níveis de desgaste para a ponteira do escarificador

(10, 20, 30 e 40 % do volume sob  $A_{abcde}$ , com espessura de 0,01m) a fim de simular diversas condições de utilização do equipamento. Quando analisados em conjunto com as distâncias percorridas fornecem os valores de  $K_A$  utilizados na Carta de seleção de materiais.

A partir, então da Carta de Seleção de Materiais 16 –Taxa de desgaste x Pressão de contato, apresentada na figura 2, descrevem os valores dos parâmetros simulados (distância, perda de volume e constante de desgaste de Archard), através das linhas tracejadas, sendo as regiões de seleção de materiais identificadas pelas flechas.

Concluíram que existe um grande número de materiais que podem satisfazer os requisitos de projeto. Aqueles que atendem as condições mínimas (distância de 833km e 40% de perda de volume) são: aços doces, aços inoxidáveis, aços com teores de médio a alto de carbono, aços ferramenta, aços fundidos, aços nitretados, bronzes, nylons, materiais compostos, HDPE (polietileno de alta densidade), PTFE (teflon puro e estruturado).

Considerando condições extremas de operação (3.333km de distância e apenas 10% de perda de volume), os materiais reduzem-se a: aços fundidos, bronzes, aços nitretados, nylons, materiais compostos, HDPE, PTFE (teflon estruturado).

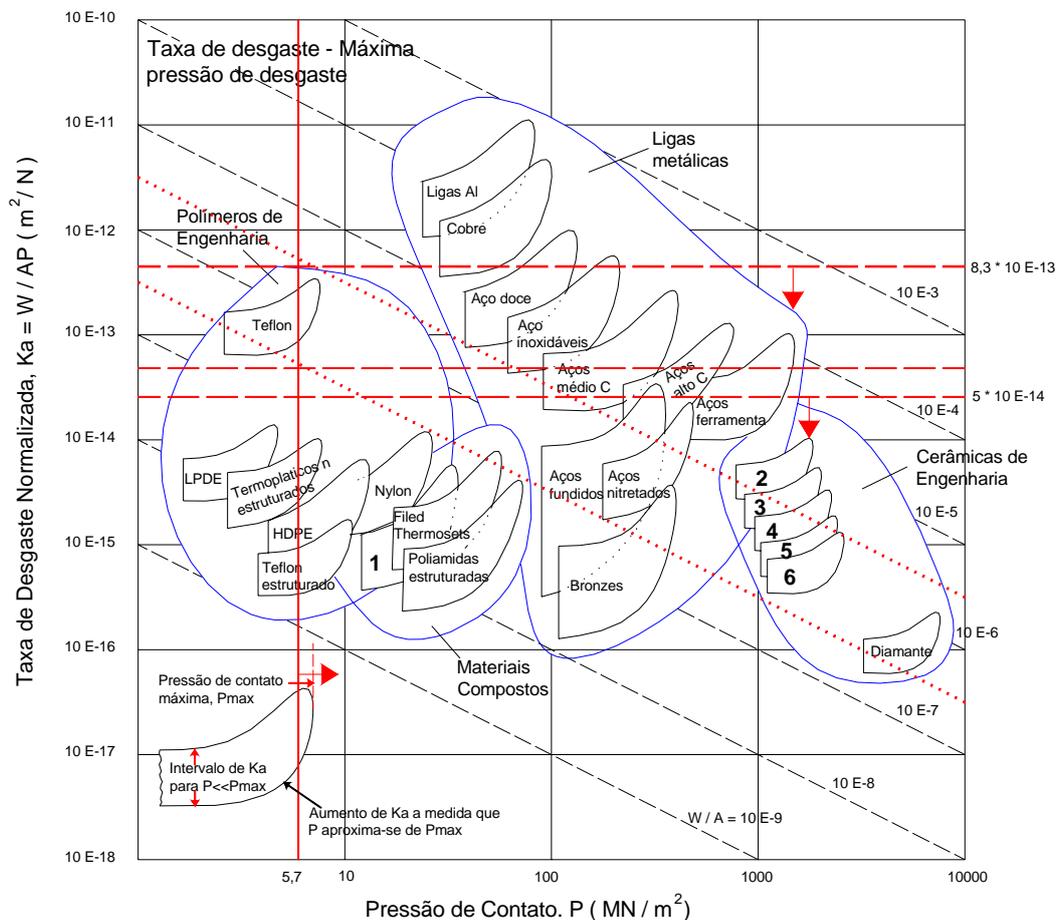


Figura 2. Carta 16 –Taxa de desgaste x Pressão de contato [Ashby,1992].

Legenda: 1. Termoplásticos estruturados; 2. Cemented carbides; 3.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 4.  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ; 5.  $\text{SiC}$ ; 6. Sialons

Valores simulados de  $K_A$  (---),  $P$  (—) e  $W/A$  (...)

Reis & Forcellini, 2002b, ainda acrescentam que o uso da Carta de Seleção de Materiais 16 [Ashby, 1992], para o projeto de ferramentas que trabalhem no solo, como é o caso da ponteira, deve ser feito com cuidado, pois a escolha de materiais como o bronze, ferro doce, teflon, por terem resistência à abrasão do solo reconhecidamente baixa, indica que, com esse método, o projetista pode ser levado ao erro. O principal inconveniente parece advir do fato da Carta 16 considerar que todos os materiais citados são atritados sobre uma superfície de aço seca. Nessas condições, além de poder surgir o desgaste adesivo, que não é o predominante entre o solo e a ferramenta, as partículas formadas pelo desgaste acabam sendo quebradas e arredondadas, tendo diminuído, assim, o seu poder abrasivo. O mesmo não ocorre na interface solo-ferramenta, onde novas partículas (solo) se apresentam à ferramenta a cada instante.

Evidencia-se, portanto, a necessidade de se validar experimentalmente os parâmetros utilizados na Carta 16 no caso de ferramentas que trabalhem no solo, principalmente a constante de Archard ( $K_A$ ) e a taxa de desgaste ( $W$ ).

Nesse caso,  $W$  além de ser fixada pelo projetista em função da durabilidade pretendida para o componente, deverá ser mensurada a partir do desgaste ocorrido na ferramenta nos ensaios de campo, verificando-se desta maneira, a validade da Carta de Seleção de Materiais 16 de Ashby, 1992, através comparativo entre os valores simulados (teóricos) e os efetivos (experimentais) de  $K_A$ ,  $P$  e  $W/A$ .

A taxa de desgaste ( $W$ ) pode ser determinada através da variação da massa e/ou pela variação da configuração geométrica da ferramenta (variação volumétrica). Desta forma, pode-se correlacionar e/ou comparar a ação abrasiva do solo e estabelecer a durabilidade da ferramenta em cada caso.

Assim como no trabalho de Reis & Forcellini, 2002b, empregando as Cartas de Seleção de Materiais, partindo de valores teóricos e do pressuposto que há independência dos três fatores de especificação no projeto de um componente (requisitos funcionais, parâmetros geométricos e propriedades do material), no presente estudo, partir-se-á de dados obtidos experimentalmente e da uniformização dos fatores de projeto das ponteiros no que concerne aos requisitos funcionais e parâmetros geométricos, de modo a estabelecer, da mesma forma, que a performance da ferramenta pode ser descrita apenas pelas características do material.

Assim, ela pode ser expressa como um critério de desempenho (mínima massa, mínimo volume, máxima rigidez, etc.). Nesse trabalho, o critério de desempenho é o da máxima

vida ou mínimo desgaste. O pressuposto da independência dos fatores de projeto traz uma grande simplificação, pois as performances dos fatores funcionais e geométricos são otimizadas com a maximização do fator material, [Back & Forcellini, 1997, apud Reis & Forcellini, 2002b]. Esse conjunto de ações é conhecido como método do índice de desempenho. O procedimento para maximizar o índice de desempenho, tanto para o assunto presente como para outros, encontra-se bem detalhado em Ashby, 1992.

Os materiais resultantes da triagem feita na seleção inicial apresentada por Reis & Forcellini, 2002b, ou já são utilizados na confecção de ponteiros (aços com médio a alto teor de carbono) ou tem bom potencial de utilização (aços nitretados, aços fundidos e nylon), desde que sua aplicação seja mais profundamente estudada sob os aspectos funcionais e de custo. Porém, especificamente quanto às ponteiros de hastes sulcadoras de semeadoras de plantio direto, os materiais até hoje utilizados deixam a desejar quanto à resistência ao desgaste por abrasão, comprometendo o tempo de vida útil da ferramenta.

Owskiak, 1997, através de ensaios em laboratório e testes de campo, utilizando partes do sulcador de uma plantadora de batatas, investigou o desgaste de ferramentas em forma de cunha. O desgaste foi quantificado a partir das variações das medidas de comprimento e espessura das ferramentas, bem como do peso das amostras. Os ensaios foram realizados utilizando um solo arenoso e outro argiloso.

Para a análise do desgaste foram utilizados quatro classes de aços (norma DIN) com composições químicas ou tratamentos térmicos diferentes: Aço 50S2, temperado e revenido; Aço 65G, temperado e revenido; Aço 65G, normalizado e Aço de St2S.

Baseado nos resultados obtidos em laboratório, concluiu que: o desgaste no solo arenoso foi aproximadamente 23% maior do que o verificado no solo argiloso; que no solo compactado o desgaste foi aproximadamente 124% maior do que o observado no solo solto; que o desgaste do aço 65G temperado e revenido foi o menor, em relação aos demais aços.

Concluiu, também que a resistência ao desgaste do aço St2S foi menor do que aquela verificada no aço 65G normalizado, provavelmente por causa de uma fração substancialmente menor no volume de carbonetos na microestrutura.

Verificou, ainda que o aço 50S2, apesar da dureza seis vezes maior em comparação ao aço St2S, apresentou somente o dobro da resistência ao desgaste. Consequentemente, à luz dos resultados e conclusões observou que não é a dureza, mas sim a microestrutura do aço que tem maior influência na resistência de desgaste.

Com relação aos trabalhos de campo verificou que; o desgaste das ferramentas que trabalharam no solo arenoso foi aproximadamente 37% maior do que aquele manifestado no solo

argiloso; que o desgaste no solo compactado foi aproximadamente 31% maior do que no solo solto.

Verificou, ainda que o desgaste das ferramentas construídas em aço 65G temperado e revenido foi o menor; que o desgaste dos aços St2S, 65G normalizado e 50S2, em relação ao aço 65G temperado e revenido, foi 2,38; 1,42 e 1,15 vezes maior, respectivamente; que a perda da espessura da ferramenta devido ao desgaste, foi linear à variação da distância percorrida.

Este mesmo autor através dos resultados de laboratório e de campo, desenvolveu um modelo matemático de desgaste em função da variação de espessura da ferramenta, descrito pela equação abaixo:

$$Z_t = 0.04 w^{-1} g^{1,5} k^{0,33} s,$$

onde:

$Z_t$ , é a perda da espessura da parte devido ao desgaste (mm),

$w$ , é a resistência relativa de desgaste do aço (1,9; 1,0; 2,2 e 1,5; para os aços 50S2 temperado e revenido, St2S, 65G temperado e revenido e para o aço 65G normalizado, respectivamente),

$g$ , é o índice de propriedades abrasivas do solo (1,0 para o solo argiloso e 1,23 para o solo arenoso),

$k$ , é o índice da condição do solo (1 para o solo solto e 2,24 para o solo compactado),

$s$ , é a distância percorrida (km).

Owsiak, 1999, estudou o desgaste das hastes flexíveis de cultivadores em solos arenosos e argilosos, no sul da Polônia. As experiências foram executadas sob condições de campo. As mudanças no comprimento e na espessura das hastes, bem como os testes padrões de desgaste de perda de massa (pesagem), foram observados. A perda no comprimento foi descrita por uma função exponencial e a perda de espessura foi descrita por uma função linear.

A pesquisa foi conduzida em solo arenoso e solo argiloso-siltoso. O teor de água nos solos durante os experimentos variou no solo arenoso de 15 a 20kg.kg<sup>-1</sup> e de 8 a 12kg.kg<sup>-1</sup> no solo argiloso-siltoso. A profundidade de trabalho máxima foi de aproximadamente 0,13m. O aço utilizado na construção das hastes foi o correspondente ao SAE 1045. As medidas do desgaste no comprimento das hastes foram feitas em sete pontos periodicamente durante o trabalho e a perda no comprimento foi calculada em função da distância percorrida e da distância entre o ponto de medição e a linha central da simetria da haste. Para descrever a mudança no comprimento propôs a seguinte equação:

$$Z_c = a b^h s^{(0,01h+0,66)}$$

onde,

$h$ , é a distância entre o ponto de medição e a linha central de simetria da haste (mm),

$s$ , é a distância percorrida (km),

$a$ ,  $b$  são coeficientes da equação.

Propôs também uma equação para descrever a mudança na espessura da haste, qual seja:

$$Z_t = a_2 s$$

onde:

$Z_t$ , é a perda na espessura (mm),

$s$  é a distância percorrida (km) e,

os valores do coeficiente  $a_2$  são tabelados, conforme a seguir.

#### Valores para o coeficiente $a_2$ .

N° Fileira	SOLO ARGILO-SILTOSO			SOLO ARENOSO		
	Na Trilha	Fora da Trilha	Média	Na Trilha	Fora da Trilha	Média
I	0,013	0,009	0,011	0,016	0,010	0,013
II	0,005	0,005	0,005	0,015	0,009	0,012
III	0,002	0,002	0,002	0,011	0,008	0,010
Média	0,007	0,005		0,014	0,009	

As medidas da perda do peso foram feitas após ter terminado os testes, isto é, após percorrida uma distância de 300Km.

Concluiu que o desgaste das hastes foi de 40 a 100% mais alto no solo arenoso do que no solo argilo-siltoso, tendo em vista o diâmetro maior dos grãos abrasivos do solo arenoso. O desgaste dentro da trilha da roda do trator foi 17 a 40% mais elevado do que fora da trilha, o qual é associado ao índice de cone mais elevado dentro da trilha da roda.

Além disso, o desgaste das hastes posicionadas na primeira fileira do cultivador foi de 26 a 100% e na segunda fileira 10 a 50% mais elevado do que o desgaste daquelas posicionadas na terceira fileira. Atribui o menor desgaste, na terceira fileira, devido ao solo já ter sido descompactado pelas hastes nas primeiras duas fileiras.

Este autor enfatiza ainda a necessidade de experiências comparativas entre hastes construídas de materiais diferentes ou de configurações geométricas diferentes, para se obter uma amplitude maior na análise do desgaste.

O mundo de engenharia dinâmica, como o voltado para o movimento e preparo do solo, continua mostrando demandas enormes para a busca de materiais de maior durabilidade e de menor custo. Por estas razões, há uma necessidade contínua de se pesquisar novos materiais e

avaliá-los em condições de serviço.

Desde o início de seu desenvolvimento, os Ferro Fundidos Nodulares vêm substituindo em grande escala os Ferro Fundido Cinzentos e Aços Fundidos por sua boa combinação de resistência e tenacidade, aliada a baixos custos de manufatura. As propriedades dos Ferros Fundidos Nodulares variam de acordo com suas matrizes e, com tratamentos térmicos adequados, pode-se obter materiais com elevada resistência mecânica e dureza [Mazzaferro et al., 2004].

Neste particular, o Ferro Fundido Nodular Austemperado (ADI, de **Austempered Ductile Iron**) tem sido origem de várias pesquisas e publicações não só quanto as suas características e propriedades, como também de aplicações. O seu comportamento quanto ao desgaste por abrasão foi estudado por vários pesquisadores.

O ADI oferece características excelentes de tenacidade, ductilidade, dureza. Também apresenta excelente resistência à fadiga e ao desgaste [Wang et al., 1997]. Ainda, conforme Ahmadabadi et al., 1999, o ADI oferece entre outras propriedades excelente dureza associada à resistência ao desgaste e baixo custo.

Zimba et al., 2003, pesquisando o ferro fundido dúctil e, concentrando-se em melhorias nas suas propriedades mecânicas, principalmente tenacidade, dureza e resistência ao desgaste, através tratamentos térmicos de austêmpera, obtiveram como resultado o Ferro Fundido Austemperado (ADI).

O ADI é um material que oferece ao engenheiro, os benefícios típicos dos aços convencionais, além de propriedades mecânicas aumentadas graças a particular microestrutura obtida por austêmpera. Diferentemente dos Aços Austemperados, a precipitação dos carbonetos é retardada durante o tratamento de calor devido à presença de silício. Este material tem custo de produção mais baixo que os aços forjados ou fundidos, e pode ser produzido com uma gama extensiva de propriedades mecânicas através de parâmetros controlados de tratamento de calor [Dommarco et al., 2001].

Dommarco et al., 2001, também observou em laboratório e em teste de campo, em solo trabalhado por arados, que o ADI foi claramente superior em condições de solos rochosos onde falha por fratura muitas vezes ocorreu, como também, em teste de campo, verificou que este material foi superior ao aço quando usado para ponteiros de escarificadores.

Mazzaferro et al., 2004, analisando e comparando a resistência ao desgaste de Ferros Fundidos Nodulares Austemperados e Temperados e Revenidos, concluiu que os Austemperados apresentaram resistência ao desgaste superior aos Temperados e Revenidos. Os testes foram realizados em laboratório através de equipamento constituído basicamente de um reservatório

preenchido com abrasivo (areia) e de um eixo rotativo, no qual foram adaptados os corpos de prova.

Percebe-se, portanto, que os Ferros Fundidos Nodulares Austemperados por serem materiais que apresentam excelentes propriedades, tais como a resistência mecânica, resistência ao desgaste, aptidão aos tratamentos térmicos, capacidade de amortecimento, resistência à fadiga e tenacidade a fratura, podem substituir peças de aço fundido ou forjado, proporcionando menor custo e melhores propriedades mecânicas, principalmente em ferramentas de formas complexas.

De acordo com Fundação e Serviços, 2003, na Europa, o ADI é empregado principalmente no projeto de veículos utilitários, na construção mecânica em geral e nas peças resistentes ao desgaste, destinadas às máquinas agrícolas, de terraplanagem, de construção civil e de mineração. Na Austrália, o mercado principal do ferro fundido nodular austemperado são as peças de desgaste e reposição para máquinas de terraplanagem, de construção civil, mineração e agrícolas, assim como para construção mecânica em geral.

## **2.7 Os Esforços Atuantes**

O estudo dos esforços que atuam em máquinas e implementos agrícolas vem a ser um dos parâmetros que maior contribuição promove para a solução dos problemas com mecanização no meio rural. A elaboração de projetos mais apropriados, a eliminação do desperdício e o uso adequado de máquinas e implementos dependem destas informações [Casão Junior & Chang, 1993].

O esforço de tração e o tempo disponível normalmente ditam a potência necessária de um trator numa propriedade agrícola. Como o trator é o maior investimento de capital, o conhecimento do correto esforço de tração se faz necessário, na tomada de decisão relativa às máquinas agrícolas. Além disso, a otimização da energia é um importante critério no projeto de uma máquina agrícola [Mielke et al., 1994].

Desbiolles et al., 1997, verificaram que a correta previsão do esforço de tração, em implementos de preparo do solo, é de grande importância, tanto para o projetista, quanto para o responsável pela utilização do maquinário agrícola dentro de uma propriedade. Ao primeiro interessa a diminuição do tempo necessário ao desenvolvimento e redução dos custos de produção de novos produtos. O segundo busca a otimização das combinações entre trator-implemento, nas operações de campo, no sentido de obter uma maior economia de energia.

A exigência de potência dos equipamentos de preparo de solo e semeadura, através da utilização de hastes sulcadoras é função de diferentes parâmetros ponderais e dimensionais da sua construção. Também, é função das características físicas e mecânicas do solo, além das

condições operacionais, como velocidade e profundidade de trabalho e atributos da interface ferramenta-solo.

Levien et al., 2004; Cepik et al., 2004, testando a influência dos discos de corte sobre a força de tração exigida pela haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em um Argissolo Vermelho distrófico típico e, tratamentos em duas condições de manejo e duas profundidades de trabalho do sulcador de adubo (6 e 12cm), concluiu que a maior profundidade de atuação da haste exigiu um maior esforço. Estes resultados ocorreram em função do aumento da resistência do solo à haste em penetrar e mobilizar o solo, em espessura e volume. O aumento na profundidade de atuação da haste de 6 para 12cm, promoveu um incremento no esforço de tração da ordem de 100%. Salienta ainda que, outro fator que deve ter contribuído foi o menor conteúdo de água do solo, acarretando no aumento da sua resistência ao cisalhamento, pela maior aproximação e conseqüente agregação das partículas (maior coesão).

Siqueira et al., 2002, avaliando o desempenho de hastes sulcadoras utilizadas no plantio direto no Brasil, operando em um Latossolo Roxo distrófico, com teor de argila de 68%, em diferentes teores de água no solo, profundidades de trabalho e modelos de hastes comerciais, verificou que aumentando a profundidade de 12 para 20cm, ocorreram aumentos na força de tração de 170 para 465kgf (aproximadamente 180%), o que representa cerca de 4kW e 11kW no motor por haste, respectivamente. Assim, com a racionalização da escolha da profundidade de trabalho, pode-se economizar potência do trator e, portanto, combustível. Implica, também, na necessidade das máquinas terem opções de regulagem das hastes quanto à profundidade de trabalho. Deve-se considerar, ainda, que as hastes semeadoras-adubadoras são desenvolvidas para operação até 0,15m de profundidade. Ainda, avaliou que a força e potência requeridas por 13 modelos de hastes comerciais, trabalhando em uma mesma profundidade variou entre 140 e 225kgf. Tal variação é função, principalmente, do projeto da haste, do ângulo de ataque da ponteira, do formato da haste e da largura da ponteira da haste, que neste estudo variou entre 13 e 41mm. Considerando que a geometria da haste afetou a força e a potência requeridas de tração, Siqueira et al., 2002, realizaram estudos posteriores com diferentes ângulos de ataque em relação ao solo e diferentes espessuras da ponteira da haste. Concluíram que o uso de hastes com formato parabólico, ângulo de ataque em torno de 20° e espessura máxima de ponteira de 22mm podem representar até 50% de redução na potência requerida de tração de uma semeadora-adubadora de plantio direto com 9 linhas. Neste caso, a redução de 50% na potência significou uma redução máxima de 20kW na potência do motor. Enfatizam, ainda, que a demanda de tração depende das variáveis de solo (umidade, textura, etc) e a profundidade de penetração da haste depende do ângulo de ataque da ponteira, o que determina a intensidade de força vertical, no

sentido para cima. De modo geral, o aumento da profundidade de operação de uma haste resulta, também, no aumento das forças vertical e horizontal atuantes.

A mobilização do solo contribui consideravelmente com os custos de produção de uma lavoura. Por isso, faz-se necessário otimizar os projetos dos equipamentos, no sentido de reduzir seu consumo de energia e desgaste. Isto pode ser obtido de duas maneiras; através de experimentos ou de modelos matemáticos. Os experimentos são, normalmente, mais dispendiosos, ao passo que, através modelos matemáticos, pode-se obter um custo mais baixo, caso esses modelos apresentem resultados de acordo com a realidade, permitindo desta forma a sua aplicação. Se os resultados teóricos forem bem ajustados aos dados experimentais, o modelo poderá ser adotado na investigação de variáveis importantes [Mouazen & Neményi, 1999].

Existem diferentes modelos teóricos que permitem prever o esforço de tração para um sulcador, de acordo com Machado, 2001. Os modelos teóricos devem ser acompanhados de testes, em condições de campo, medições da eficiência, necessidades de energia e qualidade da manipulação do solo [McKyes & Desir, 1984].

Com o objetivo de obter parâmetros para verificar a precisão do modelo matemático para demanda de esforços em hastes estreitas, Queiroz et al., 2002, estudaram o comportamento de hastes sulcadoras de semeadoras de plantio direto em solo argiloso, visando aperfeiçoar o trabalho apresentado por Serpa, 1997. O estudo constituiu-se da combinação de diferentes parâmetros de solo, hastes e condições operacionais, que foram correlacionados com a exigência de esforços e mobilização do solo. Os tratamentos, foram executados com três hastes de características construtivas diferentes (altura, largura e espessura da haste, ângulo de ataque e espessura da ponteira), da variação da profundidade do sulco e a velocidade de trabalho como parâmetros operacionais, bem como teor de água e resistência a penetração do solo. O solo analisado foi um Latossolo Roxo Distrófico com  $1,23\text{g.cm}^{-2}$  de densidade global, 23,6% de água no solo e 3715 kPa de resistência à penetração. Observaram que para maiores ângulos de ataque da haste aumenta a força horizontal, quanto maior for a largura da ponteira, maior será a força vertical e que esta é diretamente proporcional ao ângulo de ataque da ponteira. Concluíram, ainda que é possível estimar a força horizontal, vertical e momento de hastes sulcadoras de plantio direto em função de parâmetros construtivos da haste, operacionais e mecânicos do solo. Como resultado obtiveram três equações de regressão, para a determinação dos esforços exigidos pelas hastes sulcadoras, os quais estimam a força horizontal, força vertical e momento. São elas:

$$FH = -3538,85 + 6,30 \alpha + 6,58 L + 35,60 U + 0,22 R + 695,76 D + 208,47 P - 248,98 V$$

$$R^2 = 0,946$$

$$FV = -3999,99 + 6,73 \alpha + 14,12 L - 20,40 U - 0,18 R + 1050,66 D - 36,03 P + 177,03 V$$

$$R^2 = 0,780$$

$$M = -2609,77 + 7,47 \alpha + 6,61 L + 10,17 U + 0,07 R + 971,02 D + 93,12 P + 22,01 V$$

$$R^2 = 0,937$$

FH, força horizontal de tração (N);

FV, força vertical de tração (N);

D, densidade ( $\text{g.cm}^{-3}$ );

P, profundidade de trabalho da haste (cm);

$\alpha$ , ângulo de ataque da ferramenta (graus);

V, velocidade de trabalho ( $\text{m.s}^{-1}$ );

L, largura da ponteira (mm);

U, umidade gravimétrica do solo (%);

R, resistência a penetração do solo (kPa).

Machado, 2001, trabalhando na previsão do esforço de tração para ferramentas estreitas em solos do Rio Grande do Sul, concluiu que os modelos estudados por Reece, Hettiaratchi e Reece, e Godwin, foram os que melhor se adequaram à previsão destes esforços em solos como o Planossolo e Argissolo Vermelho, sendo que o modelo proposto por Reece, por possuir menor complexidade de cálculo, foi o que melhor se comportou. São eles:

O modelo de Reece, também denominado de “equação universal de mobilização do solo”, vem a ser [Machado, 2001]:

$$H = P \text{sen}(\alpha + \phi) + C d W \text{cot}\alpha,$$

Onde:

$$P = (\gamma g d^2 N_\gamma + C d N_c + q d N_q) W$$

Hettiaratchi e Reece, 1967:

$$H = (\gamma g d^2 N_\gamma + C d N_c + q d N_q + C_a d N_{ca}) W \text{sen}(\alpha + \delta) + C_a d W \text{cot}\alpha + P_2 \text{sen}\alpha$$

Goodwin e Spoor, 1977:

$$H = (\gamma g d N_\gamma + C d N_c + q d N_q + C_a d N_{ca})(W + s) \text{sen}(\alpha + \delta) + C_a d W \text{cot}\alpha$$

Sendo:

H, força de tração (kN);

C, índice de coesão do solo (kPa);

$C_a$ , índice de adesão solo metal (kPa);

P, reação do solo na região central acima da profundidade crítica (kN);

$P_2$ , força que mobiliza as zonas laterais (kN);

W, largura da ferramenta (m);

$N_\gamma$ , fator de densidade do solo;  
 $N_c$ , fator do índice de coesão do solo;  
 $N_q$ , fator de sobretaxa vertical;  
 $N_{ca}$ , fator do índice de adesão do solo;  
 $d$ , profundidade de trabalho (m);  
 $g$ , aceleração da gravidade ( $\text{ms}^{-2}$ );  
 $q$ , sobretaxa de pressão vertical atuando na superfície do solo;  
 $\alpha$ , ângulo de ataque da ferramenta ( $^\circ$ );  
 $\delta$ , ângulo de fricção solo metal ( $^\circ$ );  
 $\phi$ , ângulo de atrito interno do solo ( $^\circ$ );  
 $\gamma$ : densidade do solo ( $\text{kgm}^{-3}$ ).

Conforme Fielke, 1996, pesquisas demonstram que as forças atuantes sobre os implementos de preparo do solo são alteradas devido ao desgaste das ponteiros, o qual muda a sua geometria. Em trabalho onde visou analisar o efeito do desgaste de ponteiros aladas de escarificadores, no esforço de tração e mobilização do solo, observou que, ponteiros com bordas de corte mais grossas (mais desgastadas), proporcionam aumento de tração, diminuição da força vertical que auxiliam a penetração e maior mobilização do solo à frente e para cima da ponteira, quando comparadas a ponteiros cuja borda de corte foi mais estreita (menos desgastada). Também verificou que o aumento da velocidade de trabalho proporcionou aumento do esforço de tração.

Segundo Reis & Forcellini, 2002b, os modelos teóricos para a otimização de projetos de máquinas, na maioria dos casos, são construídos a partir do conhecimento das propriedades físicas dos agentes ou dos materiais empregados. Acrescentam ainda, que o solo, até o momento, não propiciou que as suas propriedades físicas ou características de estado fossem utilizadas com sucesso para esse fim.

Há, portanto, a necessidade de se avaliar experimentalmente as soluções propostas para um problema, especialmente quando se trata do fenômeno do desgaste [Owsiak,1997].

Desta forma, verifica-se que a configuração geométrica da ponteira sulcadora vem a ser de significativa importância, cabendo um estudo aprofundado em sua vida útil, já que o seu desgaste compromete a formação do sulco em sua forma ideal, bem como pode representar um fator de influencia significativa nos esforços de tração.

## 2.8 Aquisição de Dados

A aquisição de dados é uma atividade essencial em todo tipo de tecnologia e ciência e seu objetivo é apresentar, ao observador, os valores das variáveis, ou parâmetros, que estão sendo medidos. Uma vez que a tomada de dados é uma das etapas mais tediosas de um ciclo de pesquisa, pode-se automatizar o sistema de aquisição sem comprometer a precisão, com as vantagens de reduzir os erros gerados pela transcrição de dados, eliminar as variáveis induzidas pelo operador nos processos de coletas e aumentar a taxa de leitura de dados.

Na agricultura, vários pesquisadores tem trabalhado em diferentes áreas, utilizando algum tipo de aquisição de dados, com a finalidade de monitorar eventos em suas pesquisas. A versatilidade de um sistema de aquisição de dados também se torna importante, permitindo sua adaptação para diferentes pesquisas sem grande elevação de custos. A configuração, controle e monitoramento da aquisição de dados podem ser realizados com auxílio de programas de computador específico. Estes programas permitem precisão na aquisição automática de dados, que são usados na avaliação de máquinas agrícolas, descartando erros que antes eram cometidos na coleta convencional [Garcia, 2003].

Com referência a trabalhos de avaliação de esforços em ferramentas de preparo de solo, vários métodos diferentes tem sido aplicados.

Machado, 2001, na previsão do esforço de tração em ferramentas estreitas em solos do Rio Grande do sul, partindo da instalação de um sensor acoplado à haste de um escarificador, obteve os resultados referentes aos esforços de tração através de um sistema coletor e processador de sinais com transferência para microcomputador.

Cepik, 2002, na análise do desempenho de uma haste sulcadora de semeadora-adubadora, em diferentes teores de água no solo, velocidades e profundidades de trabalho, como forma de coletar os de dados a campo e determinar a força de tração na haste, utilizou-se de quatro extensômetros instalados no suporte da haste, de tal forma a medir a sua deformação quando em operação de campo. Os extensômetros foram ligados em Pontes de Wheaststone e conectados à caixa de aquisição dos dados, permitindo a conversão e obtenção dos esforços atuantes. A instrumentação utilizada na aquisição de dados, foi desenvolvida pelo Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, sendo constituída de um sistema coletor e processador de sinais analógicos, responsáveis pela obtenção dos esforços de tração nas hastes, os quais, através de uma interface, foram transferidos para o microcomputador.

Godwin, 1975, desenvolveu um transdutor de força em forma de anel octogonal estendido para o estudo de ferramentas de preparo do solo, partindo da premissa que o sistema de forças atuantes no preparo do solo, onde a falha do solo é simétrica, consiste de duas

componentes de forças perpendiculares mutuamente, sendo uma força horizontal, outra vertical e um momento no plano dessas duas forças.

Souza & Magalhães, 1989, apresentaram um transdutor de força baseado na metodologia de cálculo de Godwin, 1975, e com as estimativas de forças horizontal e vertical de Spoor & Godwin, 1978, para a análise de esforços em hastes de escarificadores.

Observando que as condições de contorno estabelecidas para o dimensionamento feito por Souza & Magalhães, 1989, Bordignon, 2005, verificou que o equipamento de medição projetado por estes autores, mesmo tendo sido para hastes escarificadoras, poderia atender a análise de esforços em semeadoras adubadoras. Considerou o dimensionamento feito e utilizou os valores por eles obtidos para a construção do elemento elástico do sensor. E, a partir das características estáticas nominais de trabalho, ou seja, força horizontal máxima de 19,6 kN, força vertical máxima de 7,84kN e um momento máximo de 13,05kN.m, desenvolveu e analisou a implementação de transdutores de força, do tipo anel octogonal estendido, capaz de auxiliar na avaliação de esforços em máquinas agrícolas, sobretudo em semeadoras-adubadoras.

Segundo ASAE, 1999, a exigência de força de tração pelas semeadoras de precisão, em semeadura direta, varia de 1,82 a 3,4kN por linha de semeadura, para sulcador de discos e facão, respectivamente, de acordo com a textura do solo, podendo variar em  $\pm 25\%$  .

Cepik, 2004, analisando a demanda de tração na haste sulcadora de adubo em função de coberturas de inverno e profundidades de atuação, em semeadura direta de milho e soja, em um Argissolo Vermelho distrófico típico, concluiu que a força de tração média na haste sulcadora de adubo, em função do número de linhas da semeadora-adubadora e profundidade de atuação do sulcador apresentou os valores médios de 1445,5 e 2930,2N, respectivamente para 0,6 e 0,12m de profundidade.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização do solo.

De acordo com pesquisas realizadas os solos arenosos são aqueles que se constituem como os mais abrasivos. Por esta razão, a escolha do solo para realização dos ensaios recaiu sobre um Planossolo cujas características físicas atenderam satisfatoriamente as exigências, principalmente quanto aos aspectos de abrasividade.

O solo utilizado durante os trabalhos de campo foi aquele localizado na Faculdade de Veterinária da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Município de Capão do Leão, RS, compreendido entre a latitude 31° 52' 00'' sul, e longitude 52° 21' 24'' oeste e pertencente a antiga unidade de mapeamento Pelotas, Planície Costeira, Província Geomorfológica do Rio Grande do Sul, atualmente é denominado de Planossolo Hidromórfico [Streck et al., 1999]. Segundo Brasil, 1973, o Planossolo da antiga unidade de mapeamento Pelotas, ocupa uma área de aproximadamente 7320km<sup>2</sup>, representando 2,72% da área do Estado do Rio Grande do Sul. Apresenta densidade natural elevada e relação micro/macroporos alta o que contribui para dificultar sua drenagem interna. Possui aspectos favoráveis à agricultura, como facilidade de irrigação e utilização de máquinas, com pouca ou nula suscetibilidade à erosão. Apresenta horizonte A raso com predominância de textura franco arenosa [Gomes et al., 1992].

#### 3.2 Parâmetros de ensaio.

Para a análise do desgaste foram utilizadas ponteiras constituídas de Aço SAE 1060, forjado e ADI, tomadas quatro a quatro e posicionadas intercaladamente nas linhas de operação da semeadora-adubadora. A avaliação do desgaste foi realizada a partir da primeira 1/2h de trabalho e, seqüencialmente, de hora em hora, até o total de 12 horas. A velocidade de operação do conjunto trator-semeadora-adubadora foi de 1,39ms<sup>-1</sup> (5km.h<sup>-1</sup>), sendo os ensaios de campo desenvolvidos em três áreas distintas.

Antes e durante o efetivo trabalho de operação da máquina no campo, foram coletados dados de resistência à penetração dos solos, bem como retiradas amostras deformadas e indeformadas, na profundidade média de 0,12m, para a devida caracterização dos solos através dos parâmetros de textura, densidade e consistência dos solos.

Os ensaios para aquisição dos dados referentes aos esforços de tração, foram realizados utilizando ponteiras ADI em uma quarta área de campo, devidamente caracterizada através dos mesmos parâmetros das demais e desenvolvido em idênticas condições operacionais.

Cabe ainda salientar que os locais de campo utilizados para os ensaios eram áreas nativas de pastagens.

### 3.3 Equipamento

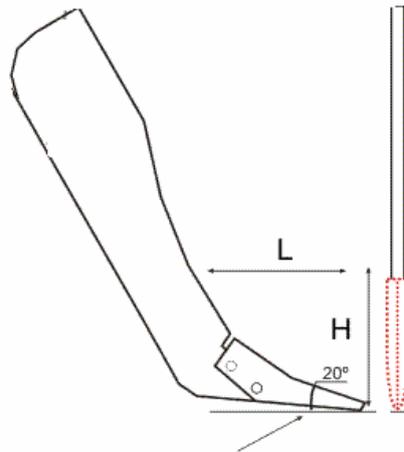
O equipamento utilizado para realização dos ensaios de campo, fig. 3.1, foi um trator marca Massey Ferguson modelo 299 com TDA, 95kW de potência no motor e massa total de 6704kg. Trabalhou-se com o trator a uma velocidade média de trabalho de  $1,39\text{ms}^{-1}$  ( $5\text{km.h}^{-1}$ ) e uma semeadora-adubadora marca Vence-Tudo, modelo SA9400, com 9 linhas espaçadas de 0,45m, dosador de sementes do tipo disco horizontal perfurado, dosador de adubo do tipo eixo acanalado, sistema de corte de palha de disco vertical com diâmetro de 406,4mm (16”), sulcador de adubo do tipo facão com ponteira substituível, sulcador de sementes de dois discos montados em “V” defasados por diâmetros diferentes de 330,2mm/355,6mm (13”/14”), sendo a pressão de trabalho dos sistemas sulcadores obtida através de uma mola helicoidal.



**Figura 3.1 – Conjunto Trator – Semeadora - Adubadora utilizado no ensaio.**

#### 3.3.1 Hastes e Ponteiras Sulcadoras de Adubo

Como objetivo geral do trabalho foi o estudo da relação solo-ferramenta, a partir de duas ferramentas construídas de materiais diferentes e de mesma configuração geométrica, tomou-se como critério (para estabelecer as mesmas condições operacionais em cada etapa de trabalho) trabalhar com as hastes montadas sob uma mesma inclinação e ângulo de ataque da ferramenta de  $20^\circ$  (Figura 3.2). Para tanto, efetuou-se os procedimentos de regulagem do equipamento, o que permitiu, também, uniformizar a profundidade média de trabalho das ponteiras em 0,12m.



**Figura 3.2 – Haste e ponteira sulcadora removível utilizada no ensaio.**

Como um dos propósitos foi o de estudar uma nova alternativa de material para as ponteiros sulcadoras, sob o enfoque especial de desgaste, adotou-se como parâmetro inicial uma ferramenta comercial fabricada em Aço SAE 1060, forjado (Tabela 3.1).

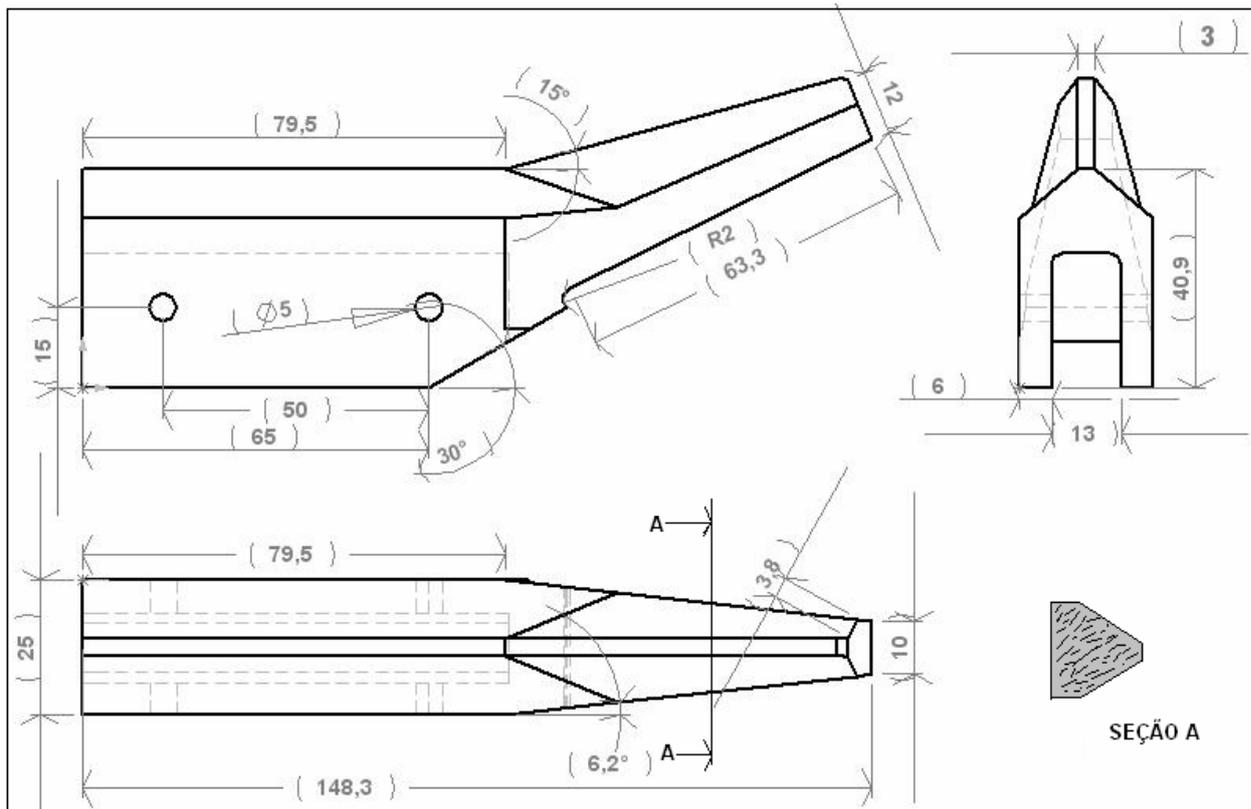
**Tabela 3.1 – Composição química (%) do Aço utilizado nas ponteiros sulcadoras comerciais.**

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>
0.577	0.3795	0.818	0.0077	0.0101	0.0386	<0.0050
<b>Ni</b>	<b>Al</b>	<b>Co</b>	<b>Cu</b>	<b>Nb</b>	<b>Ti</b>	<b>V</b>
0.0348	<0.0010	<0.0100	0.0946	<0.0010	0.0016	<0.0010
<b>W</b>	<b>Pb</b>	<b>Sn</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>		
<0.0100	<0.0020	0.0062	<0.0001	98.03		

As ponteiros, construídas em Ferro Fundido Nodular Austemperado (ADI), cuja composição química encontra-se na tabela 3.2, foram desenvolvidas nos laboratórios do Grupo de Projeto, Fabricação e Automação Industrial (GPF AI) da Faculdade de Engenharia Mecânica e Metalurgia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), partindo da configuração geométrica da ferramenta existente (figura 3.3) e distribuída comercialmente.

**Tabela 3.2 – Composição química (%) do material de constituição das ponteiros fabricadas em ADI.**

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Mo</b>	<b>Mg</b>
3.72	2.39	0.21	0.01	0.05	0.43	0.048



**Figura 3.3 – Configuração geométrica da ponteira sulcadora.**

### 3.4 Análises de Campo

Os dados referentes a velocidade de operação do conjunto trator-semeadora adubadora, profundidade de trabalho da ferramenta, resistência à penetração do solo, desgaste das ponteiros sulcadoras e esforços de tração foram adquiridos ou estabelecidos diretamente no campo, através de instrumentos de medição e controle disponíveis ou especialmente projetado e construído, como o dispositivo para medição de esforços.

#### 3.4.1 Velocidade de Operação

Procurou-se manter a velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora adubadora aproximadamente em  $1,39\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $5\text{kmh}^{-1}$ ), correspondente à condições normais de semeadura.

#### 3.4.2 Profundidade de operação do sulcador

Tomou-se como parâmetro para a profundidade média de trabalho a dimensão de 0,12m. Para tanto e como forma de privilegiar a real condição de operação da semeadora-adubadora, no campo, utilizou-se o sistema de regulagem de profundidade do mecanismo sulcador de adubo existente na máquina, o qual se constitui, basicamente, de um conjunto de molas helicoidais vinculados à estrutura da semeadora-adubadora (Figura 3.4).



**Figura 3.4 – Mecanismo de regulagem da profundidade de operação do sulcador.**

Para acompanhamento e verificação da profundidade do sulco formado pelas ferramentas sulcadoras em todas as linhas de atuação e durante todas as etapas de trabalho, utilizou-se um sistema de medição da altura das garras de pneu do trator, o qual constitui-se basicamente de uma régua graduada e um suporte (figura 3.5) . As medidas foram tomadas aleatoriamente a cada 10 minutos e anotadas em planilhas, possibilitando a verificação do nível de precisão do mecanismo de regulagem da máquina, assim como a determinação da profundidade média de trabalho dos sulcadores de adubo.



**Figura 3.5 – Método de verificação da profundidade do sulco.**

### **3.4.3 Resistência à Penetração do Solo**

Avaliação da resistência a penetração do solo foi realizada com o auxílio de um Penetômetro de Impacto, marca Kamac, modelo IAA/Planalsucar-Stolf. Este procedimento permitiu identificar, de forma satisfatória a resistência à penetração do solo, proporcionando uma análise abrangente das parcelas e, por conseguinte, das áreas trabalhadas tanto nos ensaios de desgaste da ferramenta, como também na área utilizada para os testes de coleta dos dados relativos aos esforços de tração. Como critério, a área utilizada em cada etapa de trabalho de desgaste foi dividida em dois blocos e, estes subdivididos em cinco pontos tomados ao acaso, perfazendo 10 ensaios de verificação da resistência a penetração do solo, até a profundidade de 0,54m, por parcela percorrida pela semeadora-adubadora. No caso específico da área destinada à análise dos esforços atuantes na ferramenta, foram tomados 15 pontos ao acaso, até a mesma profundidade, ou seja, 0,54m.

Paralelamente, em ambos os casos, foram colhidas amostras de solo, através de um trado, com a finalidade da análise do teor de água no solo, em diferentes profundidades em cada local onde se efetuaram os testes de resistência a penetração.

### **3.3.4 Análise do Desgaste das Ponteiras Sulcadoras**

Como o desgaste das ponteiras sulcadoras é uma realidade, neste trabalho, o estudo foi realizado em função do material utilizado em escala industrial na fabricação das ferramentas e, do Ferro Fundido Nodular Austemperado, tem vista as pesquisas realizadas direcionarem para a maior resistência ao desgaste que este material apresenta. Estabeleceu-se, portanto, um comparativo entre duas ponteiras de mesma configuração geométrica, porém constituídas de materiais diferentes, ou seja, fabricadas em Aço SAE 1060, forjado e ADI, respectivamente.

Também pelas avaliações e exposições apresentadas e para que se tivesse uma abrangência mais significativa, os ensaios foram realizados em solos de arenosos, de forma a se estabelecer uma análise do comportamento da ferramenta numa condição de maior abrasividade. Ao se maximizar o efeito dos fatores do meio, bem como o de constituição, procura-se atingir que a ferramenta trabalhe num maior número possível de solos com um mínimo desgaste.

Nos testes de campo utilizou-se a semeadora-adubadora com os respectivos depósitos de adubo e semente vazios.

Selecionaram-se oito das nove linhas de adubo da máquina, tomadas quatro a quatro, ou seja, as hastes foram distribuídas em conjuntos de quatro, sendo um conjunto constituído de ponteiras de ADI e o outro com ponteiras fabricadas em Aço SAE 1060, forjado. As hastes, por sua vez, foram montadas de forma intercalada, excluindo-se a linha central (linha L5). Desta

forma, as hastes das linhas L1, L3, L6 e L8 foram providas com ponteiras ADI e, as demais hastes das linhas L2, L4, L7 e L9 montadas com ferramentas de aço SAE 1060. Este critério teve por finalidade proporcionar uma maior uniformidade nos resultados dos ensaios, tendo em vista a distribuição dos esforços trativos, quer pela condição própria do terreno ou pelos aspectos de manobra do equipamento durante as fases de operação ou de deslocamento. Os resultados de desgaste obtidos referem-se, portanto, a quatro corpos de prova de cada tipo de material.

Como etapas de trabalho, para análise do desgaste das ponteiras, definiu-se o período inicial de meia hora e, completada a primeira hora de ensaio, procedeu-se a seqüência de hora em hora até o final dos testes de campo. A cada etapa as hastes sulcadoras foram retiradas da máquina e levadas ao Laboratório de Máquinas Agrícolas do Departamento de Engenharia Rural (DER) da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), onde as ponteiras foram desmontadas e limpadas, a fim de retirar-se qualquer vestígio de solo ou outro material. Após os procedimento de tomada de dados, as mesmas foram remontadas às hastes e estas, por sua vez, à máquina, dando seqüência aos ensaios de campo.

A análise do comportamento e medida do desgaste obedeceu aos critérios da metodologia padrão (perda de massa), através pesagem das ponteiras. Utilizou-se também dois novos métodos com a finalidade de quantificar a perda volumétrica, através medição em 3D e a área desgastada (perda de área), por intermédio de fotografia digital. Através destas duas últimas metodologias, pretendeu-se, além da proposição de novas técnicas para coleta de dados referentes a desgaste, também quantificar, de forma mais detalhada, a evolução do desgaste da ponteira, propiciando alternativas para o estudo não só do propósito em questão, como também para a verificação da variação da configuração geométrica que ocorre na ferramenta a partir do momento em que esta começa a trabalhar e a desgastar-se.

Portanto, os procedimentos adotados em laboratório foram:

a) Quantificação, através de pesagem, da perda de massa;

As ponteiras, em número de 4, para cada tipo de material, a cada etapa de operação ou deslocamento, foram retiradas, lavadas, secas e pesadas através utilização de uma balança digital de precisão pertencente ao laboratório de física do solo do Departamento de Solos (DS) da FAEM-UFPel.

b) Quantificação da perda de área da ferramenta através de fotografia digital.

A avaliação da perda de área teve o objetivo de permitir a localização da perda da massa da ponteira, o que poderá auxiliar no projeto futuro de outras ferramentas. Adicionalmente, propõe-se estudar um novo método que venha privilegiar a análise localizada

do desgaste, assim como permitir a utilização de novos parâmetros dimensionais para utilização em modelos matemáticos que contemplem a influência da variação geometria da ferramenta nos esforços de tração.

Para a quantificação da perda de área da ferramenta, os procedimentos foram realizados utilizando-se uma câmara fotográfica digital, marca Sony, modelo Cyber-Shot, com resolução de 2,1 Mpixel, pertencente ao DER-FAEM-UFPEL. Todas as 8 ferramentas, efetuados os procedimentos iniciais de rotina, após cada etapa de trabalho foram fotografadas, frontal e lateralmente, tomando-se como ponto de partida as ponteiras em seu estado original. Para a elaboração das fotos das peças, confeccionou-se um gabarito apropriado, com fundo em papel milimetrado, a fim de que as peças fossem fixadas sempre na mesma posição criando-se, desta forma, parâmetros de medida e cotas de origem para introdução em programa de Auto-CAD.

c) Quantificação da perda de área frontal da ferramenta através medição em 3D.

Com os mesmos objetivos da variação da perda de área através da fotografia digital, será feito o estudo do formato da ponteira em 3D e, a partir daí, com auxílio do programa de Auto-CAD, também identificar a perda de área frontal da ferramenta e comparar os métodos propostos.

A metodologia aplicada foi a da modelagem em gesso de todas as ponteiras originais e desgastadas, após os procedimentos rotineiros de desmontagem, lavagem, secagem a cada etapa de operação. Para a obtenção das peças em gesso, o procedimento realizado, baseou-se em duas fases. A primeira, preparação do molde das ponteiras, em alginato e, a segunda, vazamento em gesso com parafuso adaptado para suporte da peça no equipamento Digmill 3D (Figura 3.6).



A



B



C



D



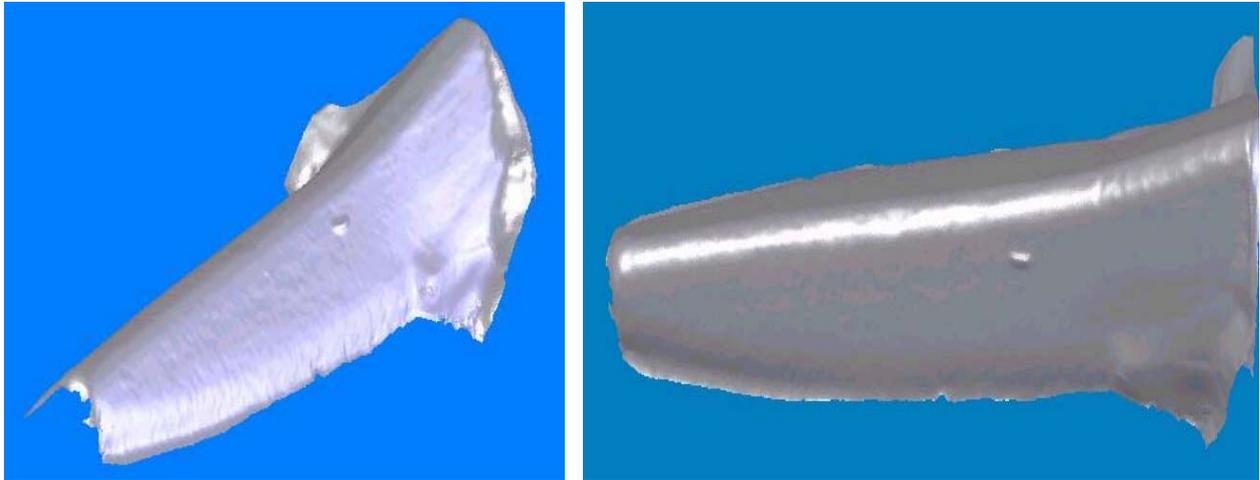
E

**Figura 3.6 – Seqüência de moldagem das ponteiras em alginato. Onde: A - Elaboração do molde, B - Ponteira moldada, C - Molde em Alginato, D - Desmoldagem da ponteira, E-Ponteiras em gesso.**

O material utilizado para moldagem das ponteiras foi o Alginato para Impressão Ezact Kromm, Presa Normal Tipo II, fabricado pela empresa Vigodent. O gesso utilizado foi o do tipo Gesso Pedra Max Gesso, produzido pela empresa Max Polo Gesso Ltda.

A digitalização das ponteiras de gesso em três dimensões (Figura 3.7) foi realizada com o auxílio do equipamento Digimill, fabricado pela Tecnodrill Indústria de Máquinas Ltda., de propriedade do Núcleo de Design e Seleção de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS.

Trata-se o Digimill de um scanner tridimensional a laser, que captura pontos com precisão nominal de até  $1,5\mu\text{m}$ , com uma velocidade de até 1.000 pontos por segundo. Através da obtenção de uma nuvem de pontos, podem-se gerar superfícies tridimensionais e malhas de triângulos para análises de elementos finitos, por exemplo.



**Figura 3.7 – Exemplo de superfície digitalizada através do Digimill a partir da ponteira em gesso.**

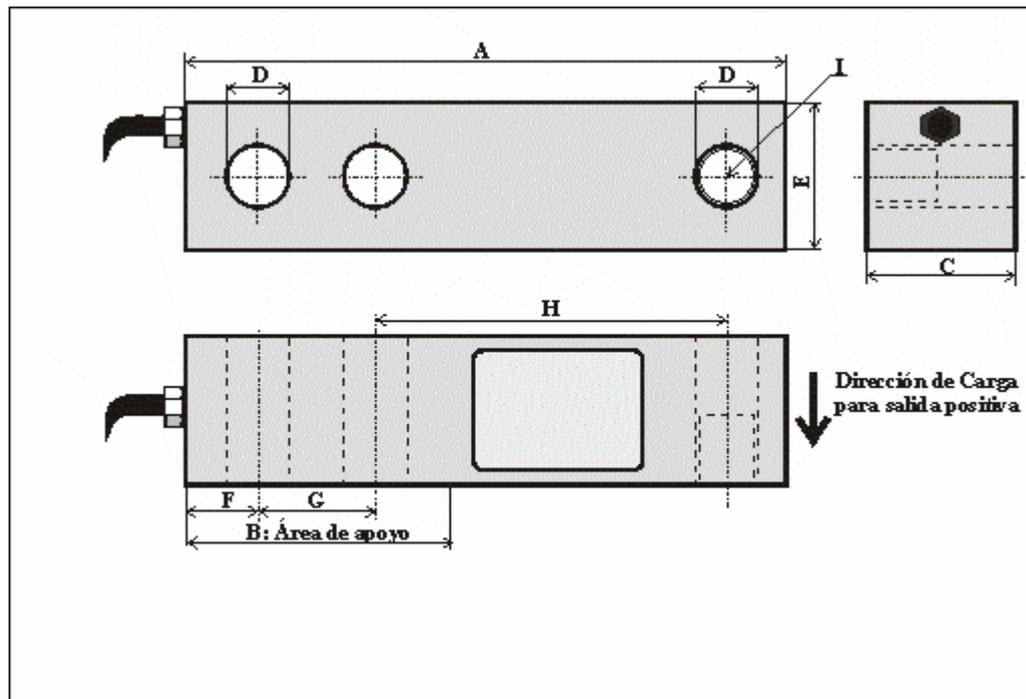
### 3.4.5 Análise dos Esforços de Tração

A medição dos esforços teve como principal objetivo estabelecer a influência do desgaste frontal da ferramenta nas forças horizontal e vertical que atuam sobre a ponteira, em etapas pré determinadas de tempo e percurso da semeadora-adubadora, devidamente quantificados quanto aos parâmetros estabelecidos e correlacionadas nos ensaios iniciais de desgaste.

Tendo em vista os resultados obtidos nos ensaios preliminares e pela análise da variabilidade média, obtida através da análise estatística do desgaste das ferramentas de Aço SAE 1060 e ADI, decidiu-se realizar a aquisição de dados referentes aos esforços atuantes nas ferramentas, utilizando somente as ponteiras construídas em ADI pela sua melhor performance. Além disso, pela demanda de tempo necessário à realização dos ensaios embarcados e por considerar-se como fundamental a uniformidade dos parâmetros de solo para a fidelidade dos resultados, as etapas de aquisição dos dados foram executadas na mesma data e período do dia (tarde). Para tanto, uma nova bateria de ensaios de desgaste foi executada, utilizando-se apenas ferramentas em ADI. A partir da ferramenta original, 15 ensaios foram realizados para verificação dos esforços atuantes, ou seja, foram coletados dados de 4 etapas de desgaste, além da ponteira original, em três repetições de 20 metros de percurso retilíneo, cada uma.

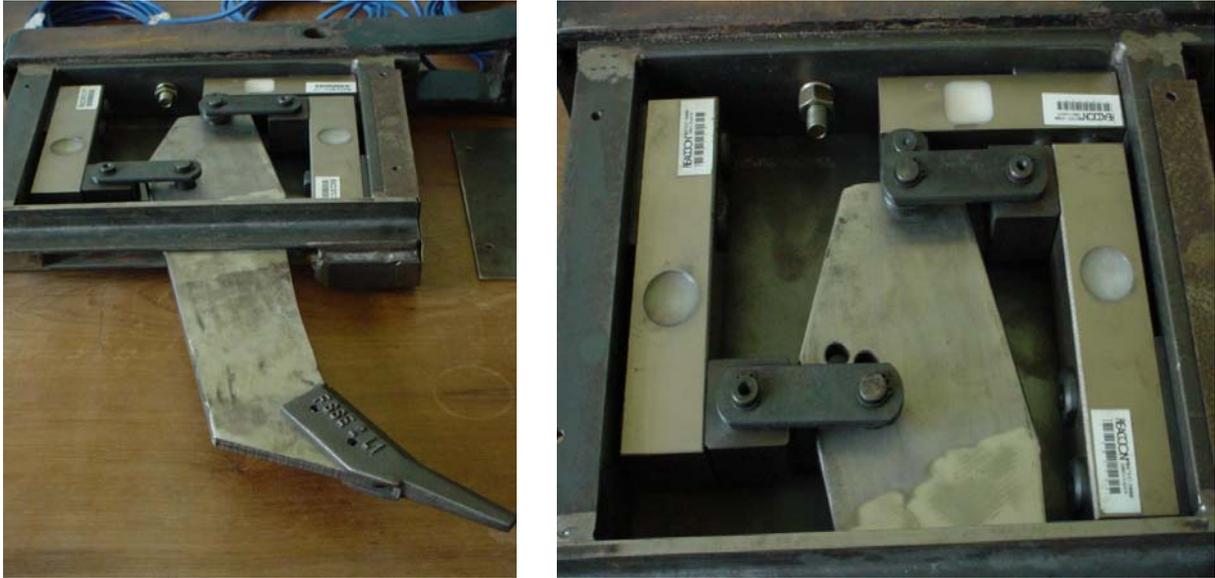
### 3.4.5.1 Projeto e Construção do Dispositivo de Medição de Esforços.

Para a análise e coletas de dados referentes aos esforços horizontal e vertical atuantes na ponteira sulcadora, projetou-se e construiu-se um dispositivo especial, a partir de células de carga “shear beam”- Reaccion<sup>®</sup> CVCC, (Figura 3.8), comercializadas pela empresa Flexar Instrumentos Eletrônicos Ltda (APÊNDICE 1).



**Figura 3.8 – Exemplo de célula de carga “shear beam” utilizada no dispositivo de medição de esforços.**

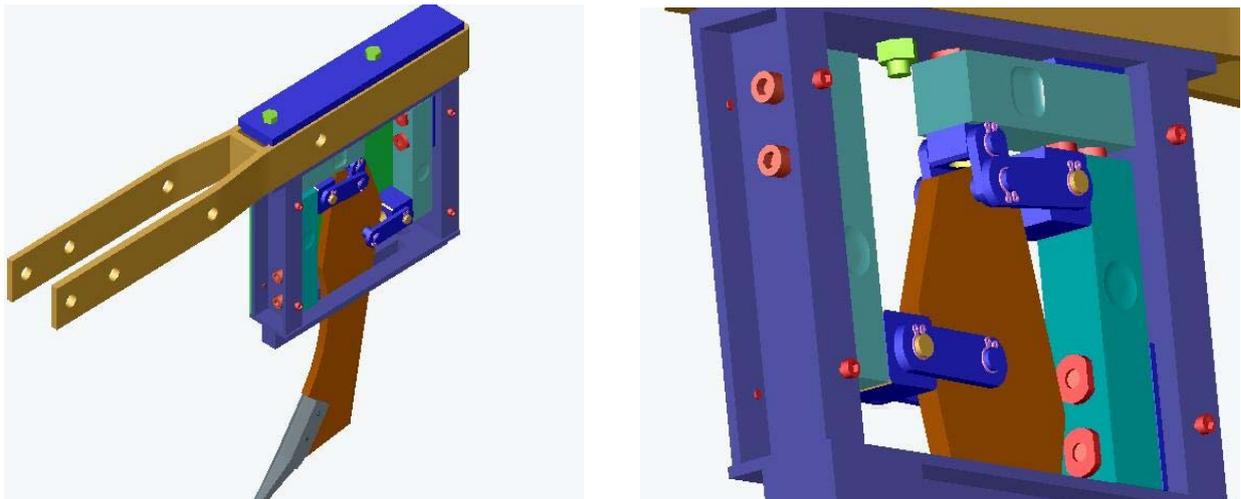
No caso específico deste trabalho o dispositivo para medição dos esforços (figura 3.9) foi construído com três células de carga de aço, sendo duas com capacidade para 50kN, montadas paralelamente e, uma de 15kN disposta ortogonalmente em relação as outras duas. Como princípio e como forma de possibilitar a recepção das cargas atuantes, as mesmas foram vinculadas à haste através de um conjunto de peças especialmente construídas. Esta disposição possibilitou, por meio das duas células dispostas verticalmente, a determinação da força horizontal e, através da célula de carga montada na posição horizontal, o esforço vertical, ambos atuantes na ponteira sulcadora.



**Figura 3.9 – Dispositivo de medição de esforços das ponteiras sulcadoras de adubo.**

Como forma de adaptação e proteção física das células de carga, foi construída uma caixa retangular a partir de perfis e chapas de Aço SAE 1020, com dimensões tais que permitiram a adaptação do aparato de medição na mesma posição e disposição do suporte da haste sulcadora na condição original (APÊNDICE 2)

Para otimização do processo de desenvolvimento, o projeto mecânico do dispositivo de medição foi realizado com o auxílio do software SolidWorks-3D (Figura 3.10)



**Figura 3.10 – Dispositivo de medição de esforços projetado em SolidWorks**

Com as fases de projeto concluídas e, como etapa subsequente, partiu-se para a construção do dispositivo.

### 3.4.5.2 Montagem do Dispositivo de Medição de Esforços à Semeadora.

A forma construtiva da caixa medidora permitiu de maneira rápida e simples, não só a montagem do dispositivo à estrutura da semeadora adubadora, como também facilitou a operação de troca das ponteiros durante os testes, sem a necessidade de retirada do equipamento da máquina. Além disso, possibilitou a manutenção da real posição de trabalho do conjunto haste-ponteira sulcadora em sua forma original.

Os testes para aquisição dos dados referentes aos esforços de tração realizaram-se sem o sistema corte de palha, com a intenção de se verificar a máxima sollicitação na ponteira sulcadora, sendo o dispositivo montado na linha central (L5) (Figura 3.11).



**Figura 3.11 – Montagem do dispositivo para medição de esforços.**

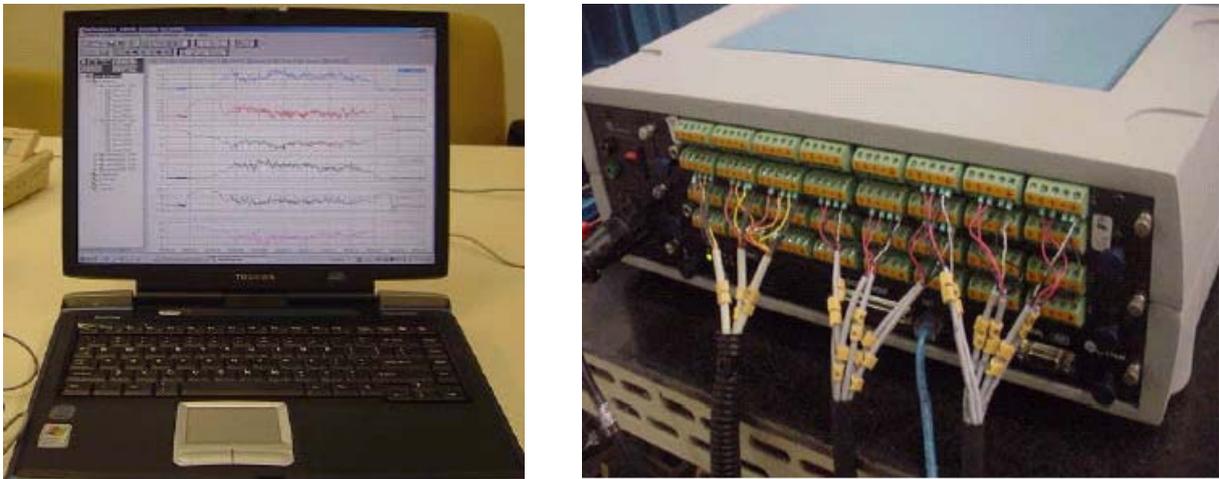
O dispositivo mostrou-se ser de baixo custo de confecção e facilidade de adaptação à semeadora-adubadora. Além disso, apresenta como vantagem a precisão oferecida pelas células de carga utilizadas, não exigindo calibração posterior. Outro aspecto a ser considerado é a praticidade de reposição das células de carga, visto que, por serem comerciais são de fácil aquisição, não exigindo demanda de tempo em construção.

Durante os ensaios embarcados, verificou-se a facilidade de operação do dispositivo e do sistema eletrônico, permitindo rapidez e eficiência nas operações de campo e aquisição de dados. Foi observado ainda a capacidade de combinar o sistema implementado para atender as demandas de diversas pesquisas, podendo ser utilizado em diferentes tipos de semeadoras-adubadoras.

### 3.4.5.3 Medição dos esforços – Sistema de condicionamento de sinal, aquisição e armazenamento de dados.

A aquisição de dados realizada durante os ensaios específicos para análise da influência do desgaste nas forças horizontal e vertical atuantes na ponteira sulcadora, foi realizada com o auxílio de um equipamento para o condicionamento dos sinais e uma unidade de registro, pertencentes ao Grupo de Projeto, Fabricação e Automação Industrial da UFRGS.

O condicionador de sinais utilizado foi o da marca Lynx, modelo ADS20000IP, composto por conversor A/D e controlador AC2122 de 16 bits, condicionador de sinais AI2164 contendo 32 canais de entrada configuráveis por *software*. Como unidade de registro, foi utilizado um microcomputador portátil da marca Toshiba, modelo Satélite, processador Intel de 2GHz, 256 MB de memória RAM, capacidade de disco rígido de 30 Gbytes (Figura 3.12).



**Figura 3.12 – Condicionador de sinais e microcomputador utilizados na aquisição dos esforços.**

Nos ensaios de campo utilizou-se uma taxa de aquisição de 300 Hz (300 amostras por segundo). Para pós-processamento dos dados, utilizou-se o programa Microsoft Excel na tabulação, ajuste das curvas e geração de gráficos.

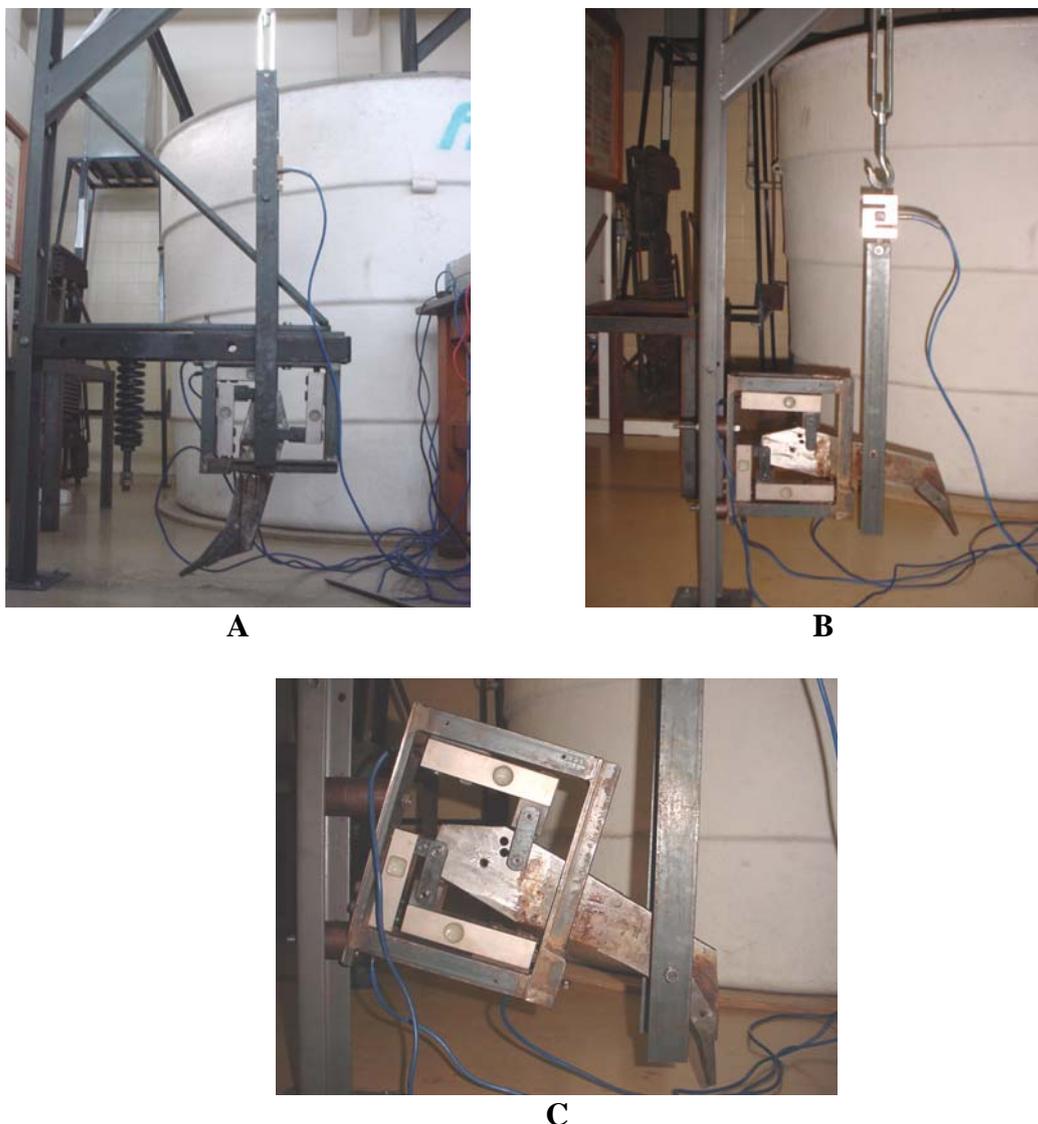
### 3.4.5.4 Calibração Estática do Dispositivo de Medição de Esforços.

Para a verificação da interferência causada nas forças horizontal e vertical medidas pelas diferentes células de carga, principalmente pela ação dos vínculos existentes entre a haste e as células de carga, submeteu-se o dispositivo à ação de carregamentos individuais e ortogonais, na posição de operação, de forma a simular a verdadeira condição de trabalho durante a realização dos testes de campo. Para efetivação dos ensaios, foram usinadas peças e suportes especiais como forma de fixar o aparato de medição à uma estrutura metálica.

Nas três condições de calibração, ou seja, horizontal, vertical e inclinada, utilizou-se uma célula de carga comercial do tipo “S”, capacidade de 20kN, como referência padrão para medição dos valores de carga aplicados através de um esticador de rosca a ela vinculado e responsável, por conseguinte, pela aplicação dos esforços às células de carga constituintes do dispositivo. Antecedendo os ensaios, a célula “S” foi submetida a uma pré-calibração.

O processo, determinado como padrão foi realizado com três repetições em cada etapa de calibração, utilizando-se uma taxa de aquisição de 30 Hz (amostras por segundo).

Na figura 3.13, a seguir, tem-se o detalhamento da montagem utilizada para calibração dos dois canais horizontais e um vertical.



**Figura 3.13 – Detalhamento da montagem utilizada para calibração dos canais das células de carga: A – Canal vertical, B – Canais horizontais, C – Canais horizontais e vertical (dispositivo posicionado na condição de trabalho).**

### **3.5 Análise das Propriedades Físicas do Solo.**

O conhecimento dos atributos físicos do solo é de fundamental importância na análise da interação solo-ferramenta.

Para tanto, em função dos objetivos do trabalho, foram coletadas e analisadas no laboratório de física do solo do DS-FAEM-UFPel, amostras de solo das áreas de trabalho representativas das etapas de análise do desgaste e de estudo das solicitações na ferramenta, definidas a partir dos testes de campo.

Foram os seguintes os parâmetros analisados:

#### **3.5.1 Textura dos Solos.**

A parte sólida de um solo é constituída por material inorgânico e orgânico, geralmente intimamente ligados. Em certos solos o material inorgânico sólido é constituído por partículas grosseiras, dando-lhes o aspecto cascalhento ou arenoso; em outros, predominam as partículas minerais coloidais, dando ao solo características argilosa. A argila, matéria orgânica, o calcário e os sesquióxidos de ferro e alumínio, funcionam como agentes cimentantes, agregando as demais partículas.

A textura do solo é estudada pela análise granulométrica, a qual permite classificar os componentes sólidos em classes de acordo com seus diâmetros. Para uma mesma classe há um limite superior e um inferior de acordo com a escala adotada. A textura do solo é expressa, portanto, unicamente pelas classes de tamanho de partículas dentro de determinadas amplitudes de variação e englobando material com diferentes composições e características. As partículas de solo são assim denominadas: areia, silte e argila.

Para a análise da distribuição das partículas por tamanho, e, por conseguinte, a determinação da granulometria dos solos, o procedimento utilizado foi o método do densímetro de Bouyoucos [EMBRAPA, 1997].

Foram coletados, em cada área destinada aos ensaios de desgaste da ferramenta, 2 blocos de 6 amostras de solo deformadas, tomadas ao acaso, perfazendo um total de 36 amostras. Os ensaios de laboratório foram realizados em 3 repetições de 6 amostras, por bloco. Na área utilizada para análise dos esforços atuantes, o procedimento foi o mesmo, porém com somente um bloco.

### **3.5.2 Teor de Água do Solo.**

A metodologia para determinação do teor de água dos solos foi a do método gravimétrico padrão, sendo as amostras coletadas à profundidade média de 0,12m.

Como critério de amostragem foram tomadas dez amostras de solo por etapa trabalhada durante os ensaios de desgaste das ponteiros e quinze amostras na área destinada aos ensaios para aquisição dos dados referentes aos esforços de tração.

### **3.5.3 Densidade do solo.**

Para esta análise, a metodologia a usada foi a do anel volumétrico, onde a densidade do solo é obtida através da relação entre a massa de solo seco em estufa à 105°C e o volume total da amostra [EMBRAPA, 1997].

Amostras indeformadas foram coletadas na profundidade média de 0,12m e em número de 6 por área utilizada nos ensaios.

### **3.5.4 Consistência.**

A obtenção do índice de plasticidade dos solos foi feita a partir de amostras coletadas a uma profundidade média de 0,12m e em número de 6 por área utilizada nos ensaios.

A metodologia usada para obtenção dos limites superior e inferior de plasticidade foi aquela descrita em EMBRAPA, 1997.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Propriedades Físicas dos Solos.

Os dados referentes aos atributos físicos dos solos utilizados para os ensaios de desgaste, assim como os usados para a análise dos esforços atuantes nas ponteiros sulcadoras, encontram-se descritos na tabela 4.1. Os dados apresentados referem-se às frações médias dos valores obtidos a partir das amostras ensaiadas em laboratório (APÊNDICES 3 a 10).

**Tabela 4.1 – Atributos físicos para caracterização dos solos estudados.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Solo 1</b>	<b>Solo 2</b>	<b>Solo 3</b>	<b>Solo 4</b>
<b>Textura (kg.kg<sup>-1</sup>)</b>				
Areia	0,831	0,748	0,737	0,611
Silte	0,100	0,149	0,162	0,257
Argila	0,069	0,103	0,101	0,132
<b>Densidade (kg.m<sup>-3</sup>)</b>				
Densidade do Solo	1629,24	1791,59	1663,72	1512,93
<b>Consistência (kg.kg<sup>-1</sup>)</b>				
Limite Superior Plasticidade	0,2003	0,2016	0,2499	0,2173
Limite Inferior Plasticidade	0,1897	0,1738	0,2225	0,1814
Índice de plasticidade	0,0106	0,0278	0,0274	0,0359

Observando-se os dados referentes a textura dos solos e utilizando-se o diagrama de repartição de classes texturais para classificação granulométrica, apresentado em Oliveira et al., 1992, pode-se classificar os solos como sendo de textura franco arenosa. Entretanto, verifica-se que dentre os solos utilizados para a análise de desgaste das ponteiros, o solo 1 apresenta-se com quantidade de areia superior aos demais solos (2 e 3), em aproximadamente 10%.

Com a finalidade de se verificar uma possível influência do diâmetro e a distribuição dos grãos no desgaste da ferramenta, procedeu-se a análise granulométrica das frações areia dos solos 1, 2 e 3 (tabela 4.2).

**Tabela 4.2 – Análise granulométrica da fração areia ( $\text{kg.kg}^{-1}$ ) dos solos utilizados nas etapas de ensaios de desgaste das ponteiros sulcadoras – Solos 1, 2 e 3.**

Peneira (mm)	Solo 1			Solo 2			Solo 3		
	Média ( $\text{kg.kg}^{-1}$ )	Retida (%)	Acumul. (%)	Média ( $\text{kg.kg}^{-1}$ )	Retida (%)	Acumul. (%)	Média ( $\text{kg.kg}^{-1}$ )	Retida (%)	Acumul. (%)
1,00	0,025	2,49	2,49	0,034	3,36	3,36	0,071	7,11	7,11
0,50	0,399	39,87	42,35	0,289	28,89	32,25	0,279	27,95	35,06
0,25	0,404	40,37	82,72	0,397	39,70	71,95	0,292	29,20	64,26
0,10	0,125	12,52	95,24	0,201	20,15	92,10	0,249	24,92	89,17
0,05	0,041	4,15	99,39	0,067	6,74	98,84	0,095	9,45	98,62
< 0,05	0,006	0,610	100,00	0,012	1,16	100,00	0,014	1,38	100,00

Pela análise da tabela 4.2, verifica-se uma maior concentração dos grãos nas peneiras 0,50 e 0,25mm, no solo 1, enquanto que, nos solos 2 e 3, os grãos da fração areia encontram-se mais distribuídos entre as peneiras de 0,50, 0,25 e 0,10mm, dando a indicação de uma maior superfície específica e, conseqüentemente, de atrito com a ferramenta. Porém, por não se tratar de um dado conclusivo, requer um estudo mais aprofundado a respeito.

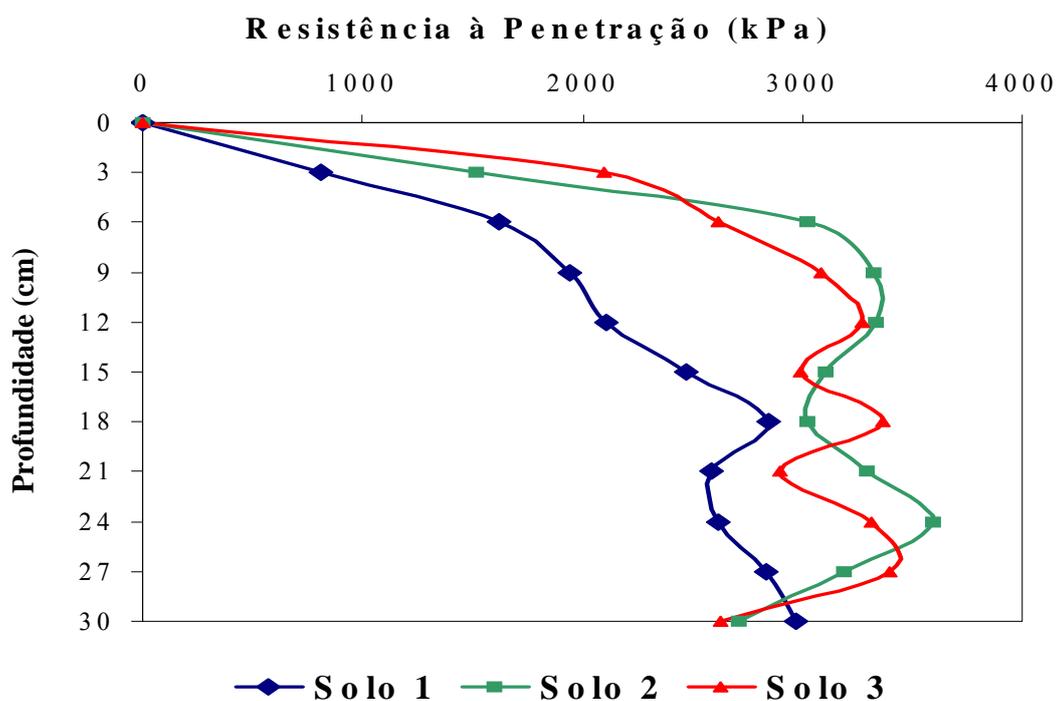
#### **4.2 Resistência à Penetração dos Solos.**

Os valores médios obtidos nos ensaios para verificação da resistência à penetração dos solos utilizados para os ensaios de desgaste (solos 1, 2 e 3), assim como o usado para a análise dos esforços atuantes nas ponteiros sulcadoras (solo 4), encontram-se descritos na tabela 4.3. Da mesma forma, os correspondentes valores do teor de água apresentados referem-se a média dos valores obtidos durante as diversas etapas de ensaio de campo (APÊNDICES 11 a 19).

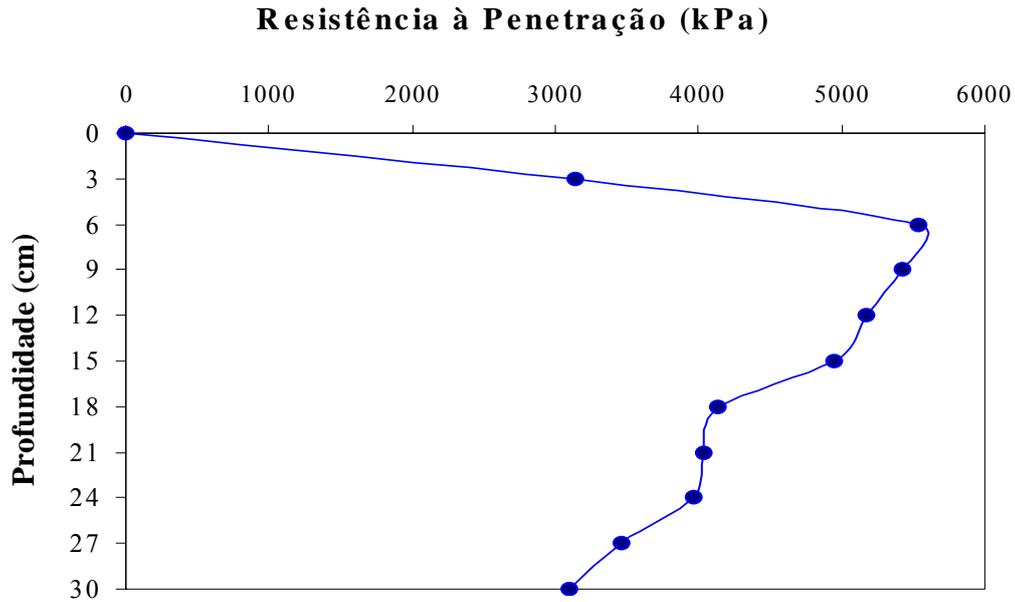
A partir dos dados obtidos, foram montados os gráficos representativos da resistência à penetração média dos solos em cada modalidade de ensaio, os quais se encontram apresentados nas figuras 4.1 e 4.2.

**Tabela 4.3 – Valores médios da resistência à penetração e teor de água ( $\theta$ ) obtidos durante os ensaios de desgaste das ponteiros (solos 1, 2 e 3) e ensaio de tração (solo 4).**

Profundidade (cm)	Resistência à Penetração (kPa)			
	Solo 1	Solo 2	Solo3	Solo 4
	0,0	0,00	0,00	0,00
3,0	807,91	1513,33	2101,07	3142,88
6,0	1615,83	3026,66	2613,74	5541,68
9,0	1938,07	3326,96	3082,97	5432,20
12,0	2110,11	3336,34	3270,65	5178,82
15,0	2476,11	3111,12	2989,12	4947,34
18,0	2851,48	3026,66	3364,50	4134,02
21,0	2590,28	3289,42	2895,28	4031,36
24,0	2613,74	3589,72	3317,58	3966,23
27,0	2832,71	3186,19	3399,69	3463,79
30,0	2971,92	2706,84	2626,88	3101,36
$\theta$ média (kg.kg <sup>-1</sup> )	8,22	12,38	14,06	13,11



**Figura 4.1 – Gráfico comparativo da resistência à penetração dos Solos 1, 2 e 3.**



**Figura 4.2 – Gráfico representativo da resistência à penetração do Solo 4.**

Pela análise da tabela 4.3 e figura 4.1, considerando a profundidade média de trabalho de 0,12m, observa-se que os solos 2 e 3, apresentam a resistência à penetração com valores muito próximos. Já o solo 1, estabelecendo-se a mesma análise em relação aos outros dois (solos 2 e 3), apresenta-se, nesta mesma profundidade, com resistência à penetração inferior na ordem de aproximadamente 36%.

O solo 4, utilizado para os ensaios de tração, pela análise da tabela 4.3 e em consonância com a figura 4.2, mostrou-se com a resistência à penetração mais elevada do que aquela presente nos demais solos, atingindo o patamar de 5.178kPa na profundidade de 0,12m. Tal fato pode ser explicado pela utilização que vinha sendo dada a este solo, ou seja, o mesmo servia para a pastagem de gado.

### **4.3 Desgaste das Ponteiros Sulcadoras**

#### **4.3.1 Desgaste em massa.**

As tabelas, a seguir, apresentam os valores da perda de massa e o desgaste percentual por etapa trabalhada (Tabelas 4.4 e 4.5), das ponteiros construídas em Aço SAE 1060 e ADI, respectivamente (APÊNDICES 20 a 28).

**Tabela 4.4 – Evolução da perda de massa e desgaste percentual das ponteiras construídas em Aço SAE 1060, forjado, por etapa de trabalho.**

<b>PONTEIRAS DE AÇO SAE 1060, FORJADO</b>										
<b>Etapa</b>	<b>S2</b>		<b>S4</b>		<b>S7</b>		<b>S9</b>		<b>Média</b>	
	<b>Desgaste</b>		<b>Desgaste</b>		<b>Desgaste</b>		<b>Desgaste</b>		<b>Desgaste</b>	
	<b>acumulado</b>									
<b>(h)</b>	<b>(gr)</b>	<b>(%)</b>								
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	5,71	1,52	7,42	1,83	8,16	2,12	8,36	2,20	7,41	1,92
1,0	10,57	2,81	13,77	3,40	15,21	3,95	15,66	4,12	13,80	3,57
2,0	26,01	6,91	25,98	6,41	30,59	7,94	28,80	7,58	27,85	7,21
3,0	37,64	10,00	38,20	9,42	44,82	11,63	40,96	10,78	40,41	10,46
4,0	50,79	13,49	49,84	12,30	55,51	14,40	51,67	13,60	51,95	13,45
5,0	66,26	17,60	63,67	15,71	71,60	18,58	67,74	17,82	67,32	17,43
6,0	90,11	23,93	81,94	20,22	92,71	24,06	88,31	23,24	88,27	22,86
7,0	111,39	29,58	98,97	24,42	112,93	29,30	112,41	29,58	108,93	28,22
8,0	137,65	36,56	123,36	30,44	131,67	34,17	136,84	36,01	132,38	34,29
9,0	159,07	42,25	142,00	35,03	150,23	38,98	159,00	41,84	152,58	39,53
10,0	178,51	47,41	158,37	39,07	171,80	44,58	176,63	46,48	171,33	44,39
11,0	210,57	56,79	181,91	45,72	195,10	51,72	202,23	54,41	197,45	52,16
12,0	235,79	62,63	204,42	50,44	221,04	57,36	230,21	60,57	222,87	57,75

**Tabela 4.5 – Evolução da perda de massa e desgaste percentual, por etapa de trabalho, das ponteiras construídas em ADI.**

PONTEIRAS DE ADI										
Etapa	A1		A3		A6		A8		Média	
	Desgaste acumulado		Desgaste acumulado		Desgaste acumulado		Desgaste acumulado		Desgaste acumulado	
(h)	(gr)	(%)								
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	5,97	1,25	5,85	1,20	6,24	1,29	5,44	1,13	5,88	1,22
1,0	11,19	2,34	9,83	2,02	10,36	2,15	10,98	2,28	10,59	2,20
2,0	18,83	3,94	19,71	4,06	19,61	4,06	20,36	4,22	19,63	4,07
3,0	27,24	5,70	27,98	5,76	29,21	6,05	30,00	6,22	28,61	5,93
4,0	37,20	7,78	37,30	7,68	37,08	7,69	38,69	8,03	37,57	7,79
5,0	45,90	9,60	45,80	9,43	45,94	9,52	49,98	10,37	46,91	9,73
6,0	60,30	12,62	60,26	12,41	58,18	12,06	67,30	13,96	61,51	12,76
7,0	74,77	15,64	73,37	15,11	71,08	14,73	83,23	17,26	75,61	15,69
8,0	88,19	18,45	86,64	17,84	84,03	17,42	97,86	20,30	89,18	18,50
9,0	101,06	21,15	98,90	20,37	97,55	20,22	113,76	23,60	102,82	21,33
10,0	111,60	23,35	109,00	22,45	108,57	22,50	126,77	26,29	113,99	23,65
11,0	129,20	27,38	126,37	26,34	124,48	26,14	144,34	30,28	131,10	27,53
12,0	144,64	30,26	142,05	29,25	142,35	29,51	164,24	34,07	148,32	30,77

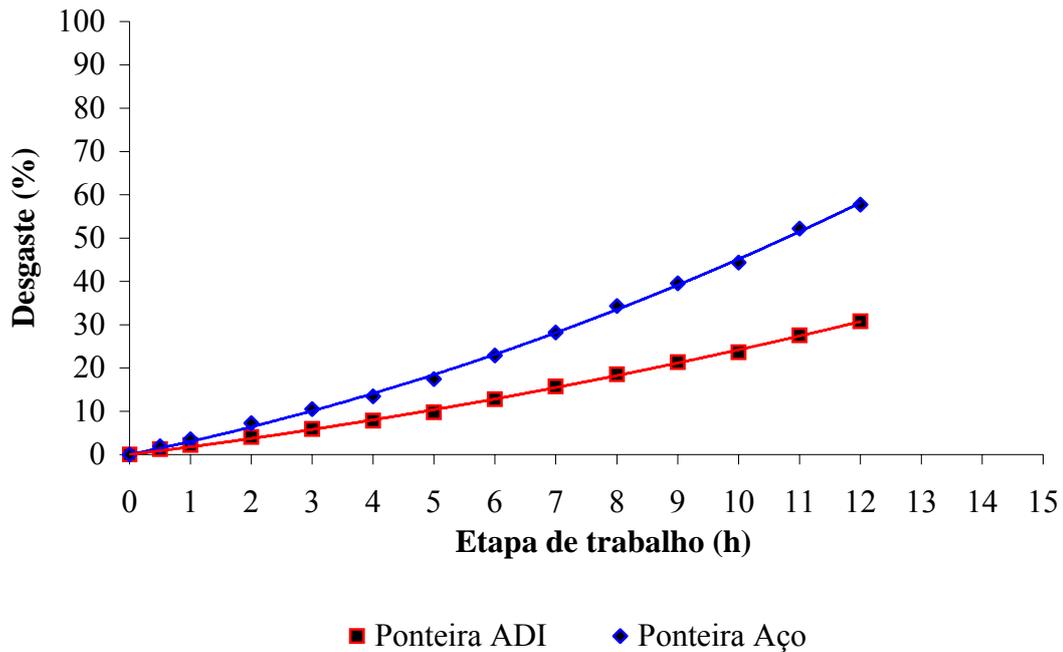
A análise de variância do desgaste percentual da massa das ponteiras de Aço SAE 1060, forjado e ADI (APÊNDICE 28), demonstra que as mesmas diferem entre si, ao nível de 1% de significância.

O gráfico (Figura 4.3), montado a partir das tabelas 4.4 e 4.5, apresenta as curvas de ajuste, determinando a tendência de desgaste médio de cada ferramenta, em função das etapas em que as mesmas foram utilizadas. Por meio destes pontos foram obtidas as equações de ajuste, que permitem a identificação do desgaste percentual das ponteiras em função do período de tempo trabalhado, as quais vêm a ser:

$D = 0,1649h^2 + 2,8657h$ , com  $R^2 = 0,9988$ , para a ferramenta de Aço SAE 1060 e,

$D = 0,0701h^2 + 1,7181h$ , com  $R^2 = 0,9988$ , para a ferramenta de ADI;

onde D é o desgaste em percentagem e h é o número de horas trabalhadas.



**Figura 4.3 – Curvas de ajuste da tendência de desgaste percentual, em massa, das ponteiros de Aço SAE 1060, forjado e ADI, em função das etapas de trabalho.**

Através da análise das tabelas 4.4 e 4.5, em conjunto com a figura 4.3, observa-se que para a condição de solo arenoso, o desgaste médio das ponteiros apresentou-se de duas formas distintas; até a quinta hora de trabalho e posteriormente a esta. Em ambas as situações ele mostrou-se linear, entretanto após 5h de trabalho o desgaste foi mais acentuado. Também se verifica que estas ponteiros terão uma tendência de vida útil em torno de 10h e 17h, respectivamente para as ferramentas de Aço SAE 1060 e ADI. A partir destes períodos de trabalho, utilizando-se as equações acima referidas, observa-se que as ferramentas passam a apresentar uma perda de massa em torno de 50% com relação a sua massa inicial, fazendo com que as mesmas não sejam mais capazes de cumprir a sua função.

Em face das pesquisas realizadas por Dommarco et al., 2001, e Zimba et al., 2003, como era de se esperar, também verificou-se a melhor performance do Ferro Fundido Nodular Austemperado.

O melhor comportamento do ADI pode ser atribuído a particular microestrutura em toda a seção da ferramenta obtida pela austêmpera, onde a precipitação dos carbonetos é retardada durante o tratamento de calor. Já a ponteira em Aço SAE 1060, obtida através do processo de forjamento, induz a uma resistência ao desgaste apenas superficial, diferentemente do núcleo da ferramenta, em face do provável encruamento superficial do material originado

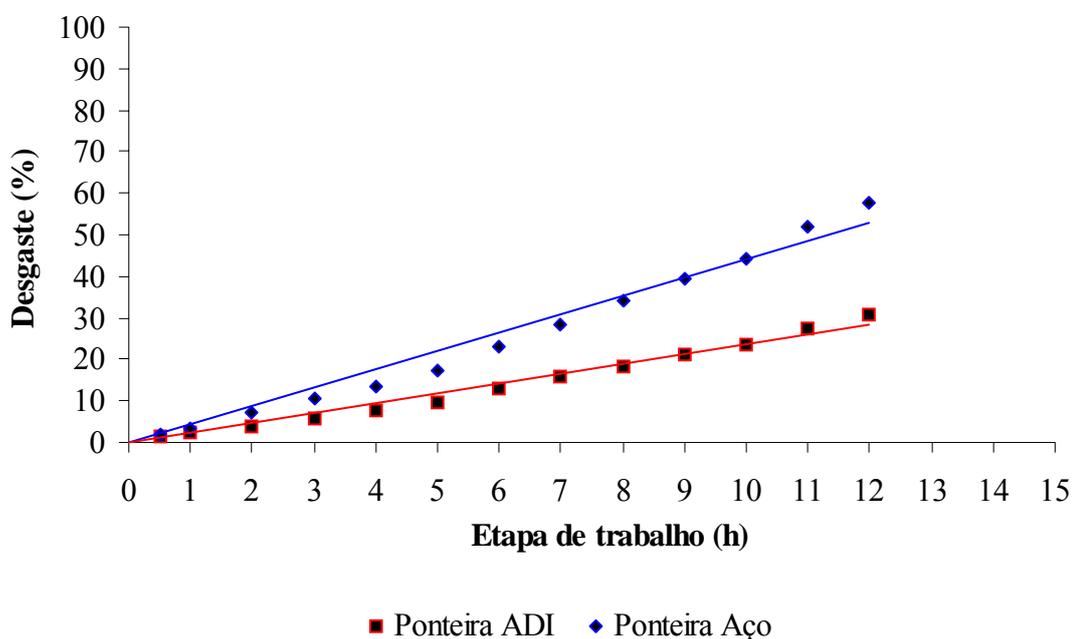
pelo processo de fabricação. Isto pode ser uma explicação para a maior taxa de desgaste observada a partir da quinta hora com aquele material.

Como forma de privilegiar uma análise mais generalizada e de forma mais simplificada procurou-se definir a tendência de desgaste das ferramentas de forma linear, estabelecendo-se as equações de ajuste a partir do gráfico (figura 4.4), correspondente às linhas de tendência de desgaste das ponteiros de Aço e ADI. São elas:

$D = 4,4084h$  com  $R^2 = 0,9744$ , para a ferramenta de Aço SAE 1060 e,

$D = 2,3739h$  com  $R^2 = 0,9828$ , para a ferramenta de ADI;

onde D é o desgaste em percentagem e h é o número de horas trabalhadas.



**Figura 4.4 – Curvas de ajuste linear da tendência de desgaste percentual, em massa, das ponteiros de Aço SAE 1060, forjado e ADI, em função das etapas de trabalho.**

#### 4.3.2 Desgaste em área – Método fotográfico

As tabelas, a seguir, apresentam os valores da perda de área frontal (projeção frontal) e o respectivo desgaste percentual por etapa trabalhada (Tabelas 4.6 e 4.7), das ponteiros construídas em Aço SAE 1060 e ADI, respectivamente, obtidas através fotografia digital e determinadas a partir do programa AutoCAD (APÊNDICES 29 a 41).

O gráfico (figura 4.5), obtido a partir das tabelas 4.6 e 4.7, mostra as curvas de ajuste, determinando a tendência de desgaste médio de cada ferramenta, em função das etapas de ensaio. A partir daí, foram calculadas as equações de ajuste, o que permitiu a identificação do desgaste percentual das ponteiros em função do período de tempo trabalhado, as quais vêm a ser:  $D = 0,2775h^2 + 2,8755h$ , com  $R^2 = 0,9993$ , para a ferramenta de Aço SAE 1060 e,

$D = 0,0789h^2 + 2,9003h$ , com  $R^2 = 0,9997$ , para a ferramenta de ADI;  
onde D é o desgaste em percentagem e h é o número de horas trabalhadas.

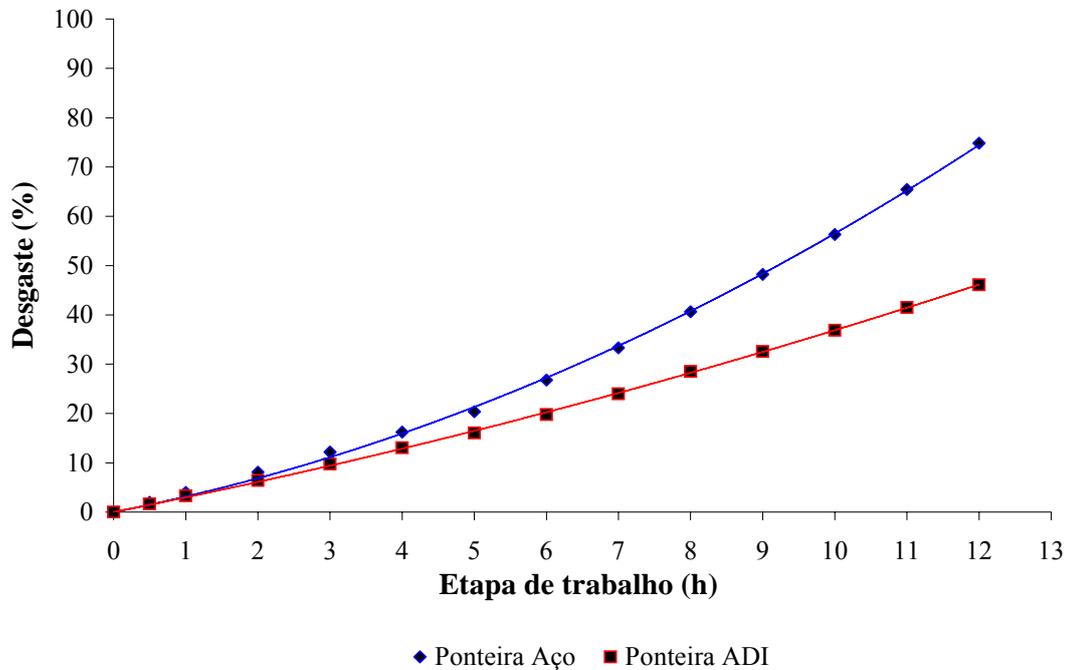
**Tabela 4.6 – Evolução da perda de área e desgaste percentual frontal, por etapa de trabalho, das ponteiros construídas em Aço SAE 1060, forjado – Método Fotográfico.**

<b>PONTEIRAS DE AÇO SAE 1060, FORJADO</b>										
Etapa	<b>S2</b>		<b>S4</b>		<b>S7</b>		<b>S9</b>		<b>Média</b>	
	Desgaste acumulado		Desgaste acumulado		Desgaste acumulado		Desgaste acumulado		Desgaste acumulado	
(h)	(mm <sup>2</sup> )	(%)								
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	21,8	1,95	21,8	1,94	22,1	1,96	22,6	2,00	22,1	1,96
1,0	43,3	3,86	44,7	3,98	45,9	4,07	45,9	4,06	45,0	4,00
2,0	89,4	7,98	90,8	8,09	92,4	8,20	91,8	8,13	91,1	8,10
3,0	132,6	11,83	135,7	12,09	138,9	12,33	140,0	12,40	136,8	12,16
4,0	178,8	15,96	181,2	16,15	184,0	16,33	186,1	16,48	182,5	16,23
5,0	225,4	20,12	226,1	20,15	231,6	20,56	233,3	20,66	229,1	20,37
6,0	298,0	26,60	298,6	26,61	303,5	26,94	304,8	26,99	301,2	26,78
7,0	371,2	33,13	372,4	33,18	376,3	33,40	377,9	33,47	374,5	33,29
8,0	453,0	40,43	455,5	40,59	459,4	40,77	460,7	40,80	457,2	40,65
9,0	537,2	47,94	541,0	48,20	544,0	48,28	546,3	48,38	542,1	48,20
10,0	629,4	56,17	631,7	56,29	635,4	56,39	636,8	56,39	633,3	56,31
11,0	732,3	65,35	733,2	65,33	738,2	65,52	740,3	65,56	736,0	65,44
12,0	840,6	75,02	837,1	74,59	843,6	74,87	845,1	74,84	841,6	74,83

**Tabela 4.7 – Evolução da perda de área e desgaste percentual frontal, por etapa de trabalho, das ponteiras construídas em ADI – Método Fotográfico.**

<b>PONTEIRAS DE ADI</b>										
Etapa	<b>A1</b>		<b>A3</b>		<b>A6</b>		<b>A8</b>		<b>Média</b>	
	Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste	
	acumulado		acumulado		acumulado		acumulado		acumulado	
(h)	(mm <sup>2</sup> )	(%)								
0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
0,5	17,2	1,68	17,8	1,73	16,4	1,60	16,80	1,63	17,0	1,66
1,0	34,3	3,35	34,9	3,39	33,5	3,26	33,70	3,28	34,1	3,32
2,0	68,0	6,64	68,7	6,67	63,8	6,21	62,00	6,03	65,6	6,39
3,0	101,7	9,92	103	10,00	100,7	9,79	95,30	9,27	100,2	9,75
4,0	137,6	13,43	136	13,20	131,8	12,82	130,80	12,73	134,1	13,04
5,0	161,9	15,80	166,9	16,20	167,9	16,33	164,10	15,97	165,2	16,08
6,0	200,4	19,56	201,3	19,54	205,8	20,02	205,50	20,00	203,3	19,78
7,0	241,6	23,58	248	24,08	247,0	24,02	250,30	24,36	246,7	24,01
8,0	282,7	27,59	303,4	29,45	291,2	28,32	294,40	28,65	292,9	28,50
9,0	325,7	31,78	347,3	33,72	331,4	32,23	334,10	32,51	334,6	32,56
10,0	369,4	36,05	385,8	37,45	379,0	36,86	382,50	37,22	379,2	36,90
11,0	418,2	40,81	430,8	41,82	419,6	40,81	438,00	42,62	426,7	41,52
12,0	468,4	45,71	472,3	45,85	467,0	45,42	488,50	47,54	474,1	46,13

A análise de variância do desgaste percentual frontal das ponteiras de Aço SAE 1060, forjado e ADI (APÊNDICE 37), também demonstra que as mesmas diferem entre si, ao nível de 1% de significância.



**Figura 4.5 – Curvas de ajuste da tendência de desgaste da área frontal das ponteiros de Aço SAE 1060, forjado e ADI, em função das etapas de trabalho – Método Fotográfico.**

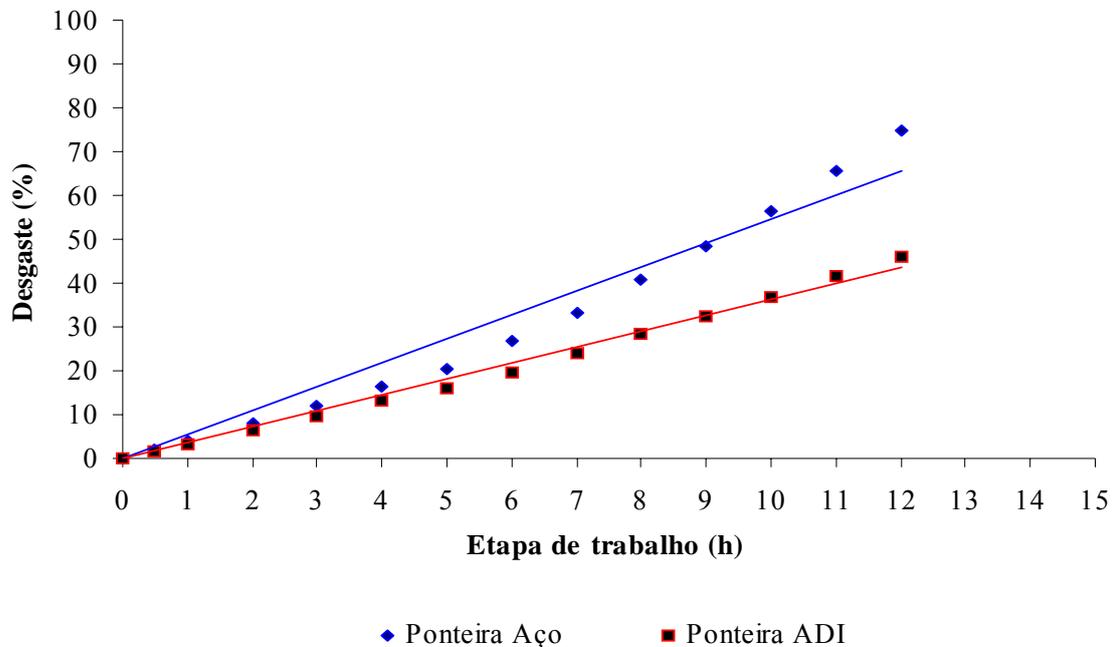
Observando-se as tabelas 4.6 e 4.7 e a figura 4.5, verifica-se que o desgaste médio da área frontal das ponteiros e, neste caso, determinado a partir das variações da projeção da área frontal das ferramentas, apresentou-se também de duas formas distintas e similares ao desgaste em massa, ou seja, até a quinta hora de trabalho e posteriormente a esta. Em ambas as situações ele mostrou-se linear, entretanto após 5h de trabalho o desgaste se manifesta de forma mais acentuada nas ponteiros de aço. As ponteiros de ADI apresentam-se, linearmente, com menor desvio. Verifica-se ainda que, após 12 horas, o desgaste médio frontal das ferramentas de aço foi na ordem de 74,83%, enquanto que, as de ADI, apresentaram um desgaste de 46,13%, representando uma diferença aproximada de 62%.

Como forma de definir a tendência linear de desgaste da área frontal das ferramentas, foram estabelecidas as equações de ajuste a partir do gráfico (figura 4.5), tomando-se como base a linha de tendência de desgaste de cada tipo de material constituinte das ponteiros, ou seja:

$D = 5,4720h$ , com  $R^2 = 0,9623$ , para a ferramenta de Aço SAE 1060 e,

$D = 3,6382h$ , com  $R^2 = 0,9920$ , para a ferramenta de ADI;

onde D é desgaste em percentagem e h é o número de horas trabalhadas.



**Figura 4.6 – Curvas de ajuste linear da tendência de desgaste da área frontal das ponteiros de Aço SAE 1060, forjado e ADI, em função das etapas de trabalho – Método Fotográfico.**

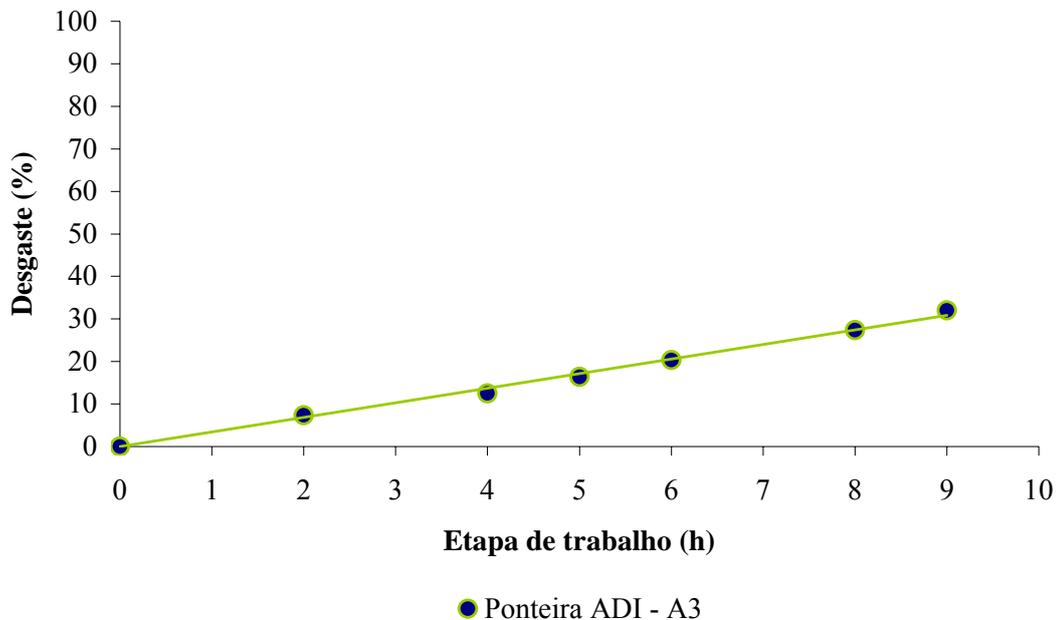
#### 4.3.3 Desgaste em área – Método Digmill (digitalização a laser)

A tabela 4.8, apresenta os valores da perda de área frontal e o respectivo desgaste percentual em 7 etapas de trabalho, a partir de uma das ponteiros construídas em ADI e escolhida aleatoriamente (ponteira A3). A escolha recaiu sobre as ponteiros em ADI, tendo em vista a melhor performance destas ferramentas em relação as de Aço SAE 1060. Os resultados foram obtidos tomando-se como base as peças moldadas em gesso (APÊNDICE 42).

**Tabela 4.8 – Evolução do desgaste percentual frontal, por etapa de trabalho, das ponteiras construídas em ADI – Método Digimill.**

<b>Etapa</b>	<b>Desgaste Acumulado</b>
<b>(h)</b>	<b>(%)</b>
0,0	0,00
2,0	7,32
4,0	12,51
5,0	16,37
6,0	20,32
8,0	27,39
9,0	31,99

O gráfico (figura 4.7), obtido a partir da tabela 4.8, apresenta a curva de ajuste, determinando a tendência de desgaste da ferramenta, em função das etapas de ensaio.



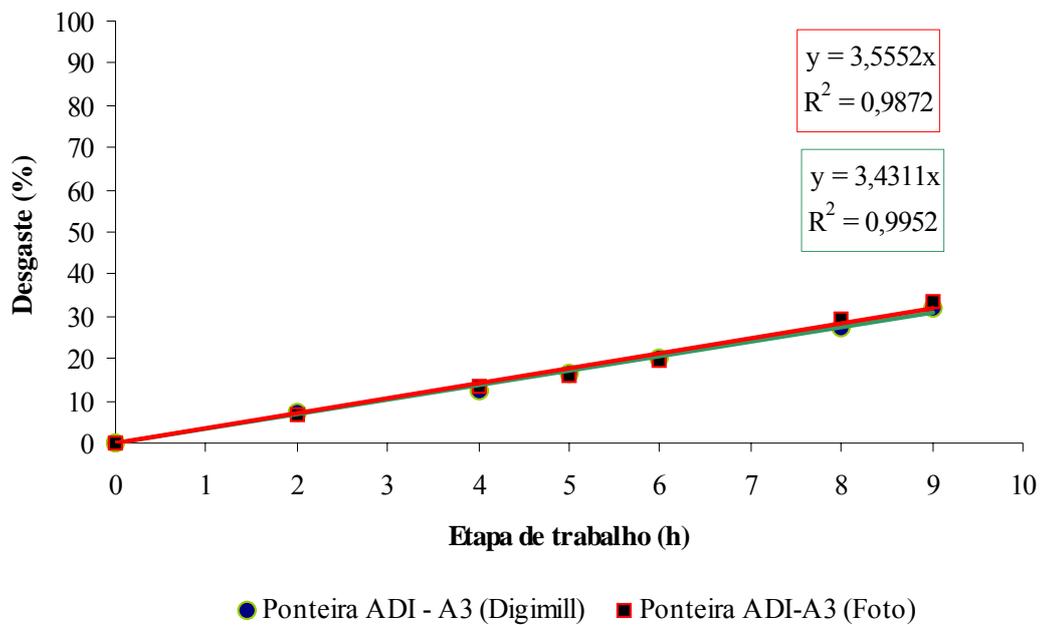
**Figura 4.7 – Curva de ajuste linear da tendência de desgaste da área frontal das ponteiras de ADI, em função das etapas de trabalho – Método Digimill.**

Através da análise da tabela 4.8, em consonância com a figura 4.7, verifica-se que o desgaste da parte frontal das ponteiros, apresentou-se com uma tendência de desgaste linear. Como forma de definir esta condição, determinou-se a equação de ajuste linear a partir do gráfico (figura 4.8), a qual vem a ser:

$D = 3,4311h$ , com  $R^2 = 0,9952$ , para a ferramenta de ADI;

onde D é o desgaste em percentagem e h é o número de horas trabalhadas.

O gráfico (figura 4.8), obtido a partir das tabelas 4.7 e 4.8, apresenta as curvas de ajuste da tendência de desgaste da área frontal da ponteira A3, estabelecidas a partir dos métodos fotográfico e da digitalização a laser..



**Figura 4.8 – Gráfico comparativo das curvas de ajuste da tendência de desgaste da área frontal da ponteira A3, estabelecidas a partir dos métodos fotográfico e Digimill.**

Devido ao alto custo dos testes no aparelho Digimill e a pouca disponibilidade de seu uso, devido à demanda de trabalho, somente foi possível realizar o ensaio na ponteira ADI-A3. Isso não permitiu a verificação de testes estatísticos para comparação dos dois métodos. No entanto, pela análise visual do gráfico da figura 4.8, assim como pelas equações de ajuste calculadas, verifica-se a correspondência de resultados entre os dois métodos utilizados, apontando para a escolha do menos oneroso, ou seja, o da fotografia digital das ferramentas.

## 4.4 - Análise dos Esforços de Tração.

### 4.4.1 – Calibração do Dispositivo de Medição de Esforços.

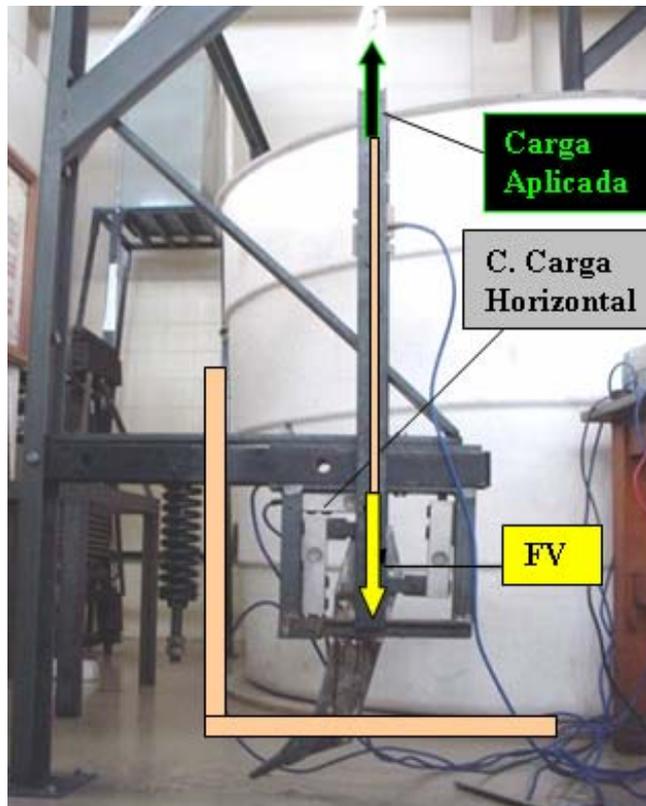
Para a realização do processo de calibração e, como forma de medir os esforços horizontal e vertical transmitidos pela haste sulcadora, o dispositivo de medição foi afixado a uma estrutura metálica em três posições distintas, ou seja, vertical, horizontal e inclinada (correspondente à posição de trabalho). Através da aplicação de esforços conhecidos, a partir da célula de carga do tipo S tomada como referência de padrão secundário, verificou-se os valores obtidos e correspondentes aos canais de saída das células de carga comerciais “shear beam” constituintes do aparato de medição. Como resultado obteve-se a geração dos arquivos de aquisição em cada etapa de ensaio, os quais foram convertidos em gráficos, possibilitando a análise dos dados e, conseqüentemente, a avaliação da calibração do dispositivo.

Descrição dos arquivos de aquisição:

- a) Calibração do Canal Vertical;
- b) Calibração dos Canais Horizontais;
- c) Calibração dos Canais Horizontais e Vertical (posição de operação no campo).

#### 4.4.1.1 – Calibração do Canal Vertical

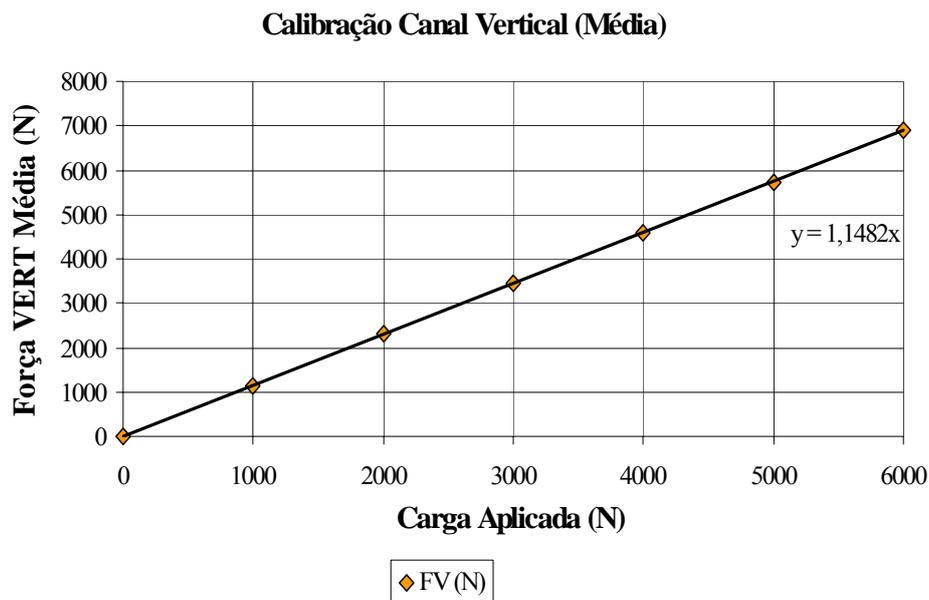
Os gráficos correspondentes à calibração vertical (APÊNDICES 43 e 44 ), apresentam os dados dos arquivos obtidos nos ensaios 01 a 05, a partir da montagem conforme figura 4.9.



**Figura 4.9 – Montagem para calibração vertical do dispositivo de medição.**

Importante salientar, neste caso, que a proposição foi a de aplicar as cargas de carregamento e descarregamento perpendicularmente à célula de carga disposta na posição horizontal do dispositivo de medição.

Observando-se o gráfico representativo da média dos valores obtidos (figura 4.10), verifica-se, através da equação de ajuste, um desvio no valor da resposta da célula de carga em relação à carga aplicada. Este fato pode advir de interferência das peças responsáveis pela vinculação da célula de carga à haste sulcadora, por incorreções na montagem dos dispositivos empregados para o tracionamento do mecanismo, por incerteza do instrumento de medição ou erros aleatórios. Apesar disso, verifica-se uma boa linearidade e pouca dispersão, demonstrando uma aceitável correspondência aos carregamentos aplicados, o que se observou também nos canais horizontais, os quais apresentaram um desvio pouco significativo, demonstrando não haver interferência quando da aplicação da carga vertical isoladamente

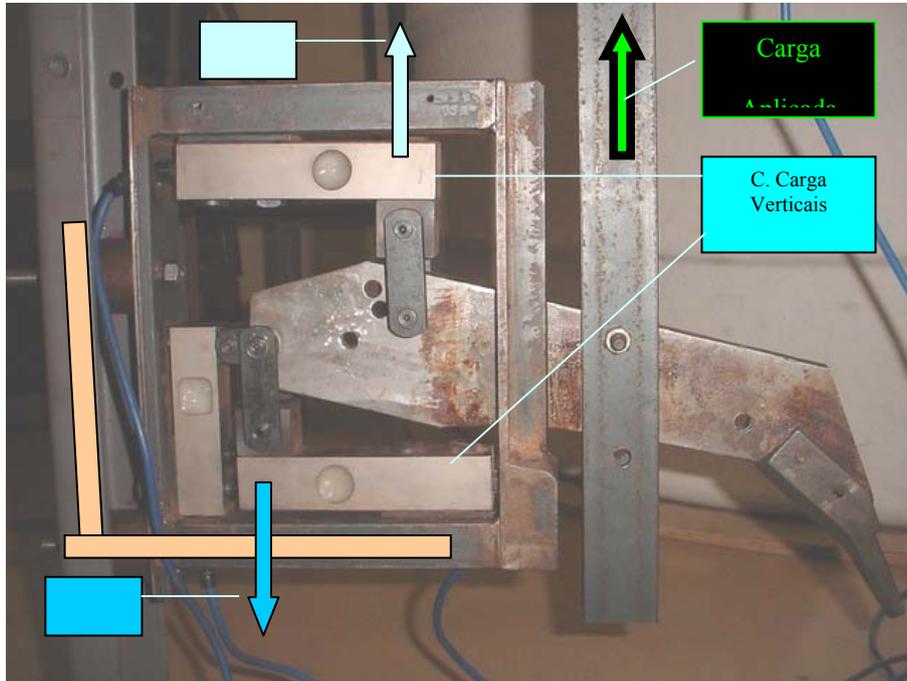


**Figura 4.10 – Curva de calibração da força vertical em função da carga aplicada (dispositivo submetido somente à carregamento vertical).**

Como forma de avaliar estes efeitos com maior acuidade e buscando obter melhores informações quanto à precisão do mecanismo e, conseqüentemente, dar uma maior confiabilidade nos resultados, o dispositivo de medição foi analisado em mais duas condições de montagem diferentes e em três repetições cada uma.

#### 4.4.1.2 – Calibração dos Canais Horizontais.

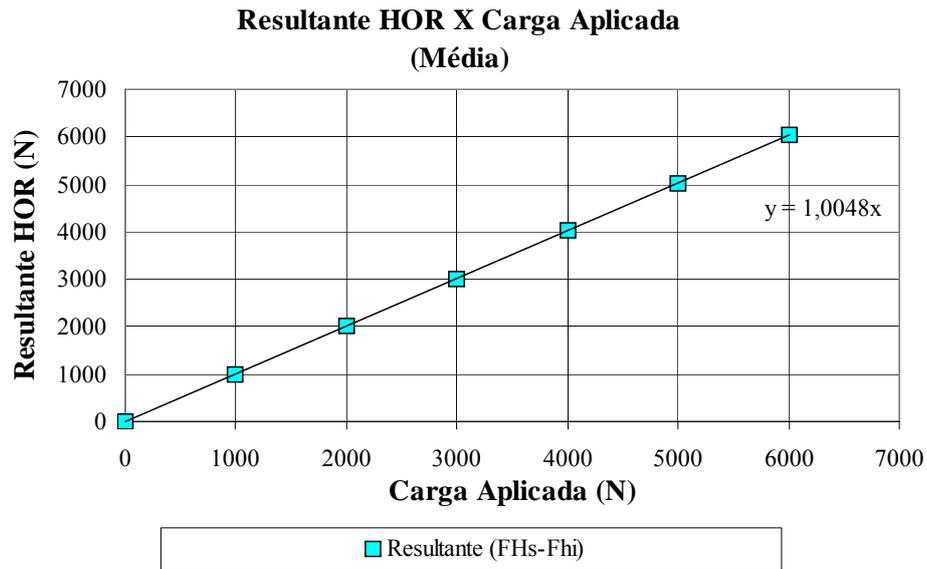
Os gráficos correspondentes à calibração dos canais horizontais (APÊNDICES 45 a 47), apresentam os dados dos arquivos obtidos nos ensaios 06 a 08, a partir da montagem conforme figura 4.11.



**Figura 4.11 – Montagem para calibração dos canais horizontais do dispositivo de medição.**

Neste ensaio, o propósito foi o de aplicar as cargas de carregamento e descarregamento perpendicularmente às células de carga dispostas verticalmente no dispositivo de medição de esforços.

Para cada gráfico de aquisição tem-se um gráfico representativo da resultante das forças FHs e Fhi obtidas como resposta das células à carga aplicada. Assim, o valor do resultante deveria ser igual ao valor de carga aplicada, resultando numa relação de 1:1. Tomando-se o valor médio dos valores obtidos nos ensaios correspondentes, tem-se o valor de  $1,0048 \approx 1$ ; ou seja, o dispositivo respondeu adequadamente (figura 4.12). Verifica-se, ainda, uma boa linearidade e pouca dispersão o que demonstra que os valores medidos pelo dispositivo corresponderam ao carregamento aplicado de forma correta.



**Figura 4.12 - Curva de calibração da resultante horizontal em função da carga aplicada (dispositivo submetido somente à carregamento horizontal).**

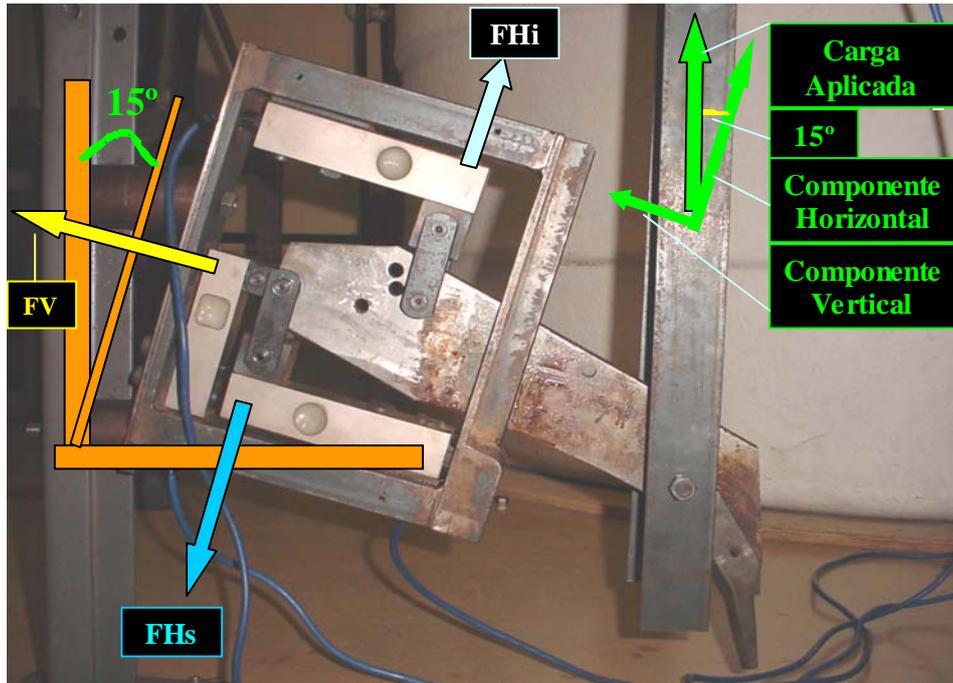
Nesta situação de ensaio, ou seja, ao aplicar-se somente o carregamento e descarregamento horizontal, verificou-se novamente uma interferência no canal vertical, indicando um provável erro de ajuste entre as peças utilizadas como vínculo da célula de carga à haste ou incorreções na montagem do mecanismo.

#### **4.4.1.3 Calibração Simultânea dos Canais Horizontais e Vertical.**

Os gráficos correspondentes à calibração simultânea dos canais horizontais e vertical (APÊNDICES 48 a 53), apresentam os dados dos arquivos obtidos nos ensaios 09 a 11, a partir da montagem conforme figura 4.13. Representam as respostas dos canais horizontais e vertical do dispositivo de medição de esforços aos correspondentes carregamentos e descarregamentos aplicados, na condição de inclinação de 15°.

Para cada gráfico de aquisição tem-se dois gráficos representativos da resultante das forças FHs e Fhi obtidas como resposta das células de carga às solicitações aplicadas, ou seja, carga plena e componente da carga ( $\cos 15^\circ$ ). Na resposta ao esforço vertical, para cada gráfico de aquisição foi gerado um gráfico considerando-se a componente da carga aplicada, a partir da inclinação estabelecida ( $\sin 15^\circ$ ).

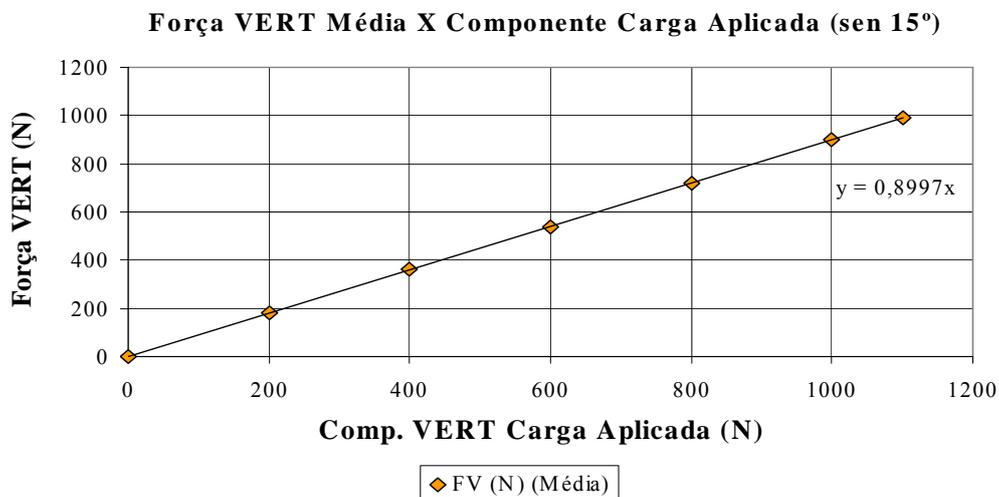
Neste ensaio, portanto, o propósito foi o da aplicação das cargas com o dispositivo orientado condição semelhante a de montagem na semeadora adubadora, de forma a simular a real condição de operação das ponteiros sulcadoras durante as operações de campo.



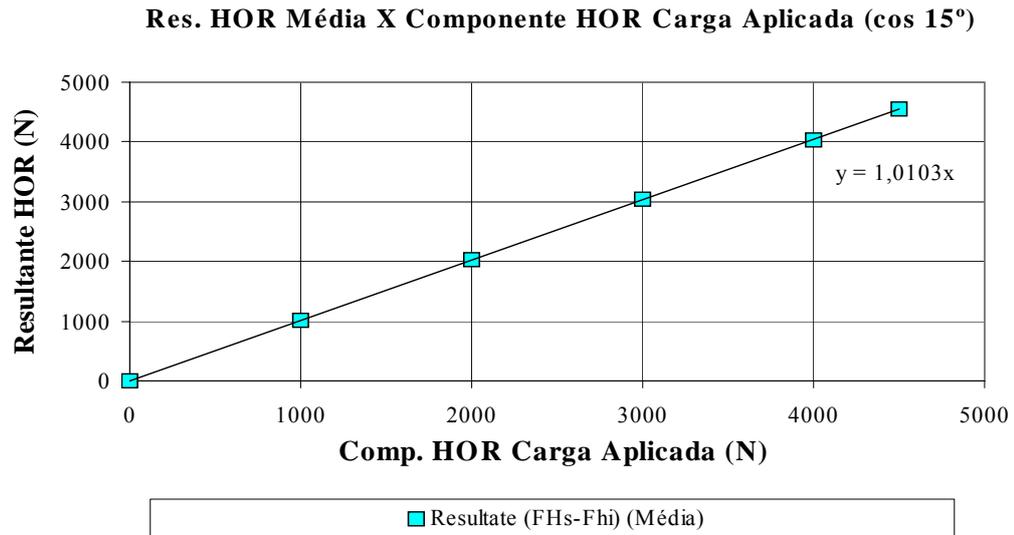
**Figura 4.13 – Montagem para calibração dos canais horizontais e vertical com o dispositivo de medição montado na posição de operação (inclinação de 15°).**

Observando-se os gráficos de resposta dos canais horizontais tem-se uma linearidade com pouco desvio, enquanto que no canal vertical tem-se uma resposta não linear do sistema, percebendo-se, novamente, a aparente interferência da montagem mecânica no resultado lido. Observa-se que os comportamentos se repetem nas três aquisições realizadas.

A partir dos arquivos obtidos nas três repetições realizadas, tomou-se como procedimento determinar a média dos resultados e considerá-lo como coeficiente de resposta do sistema (figuras 4.14 e 4.15).



**Figura 4.14 – Média das respostas do canal vertical X componente carga aplicada (sen 15°)**

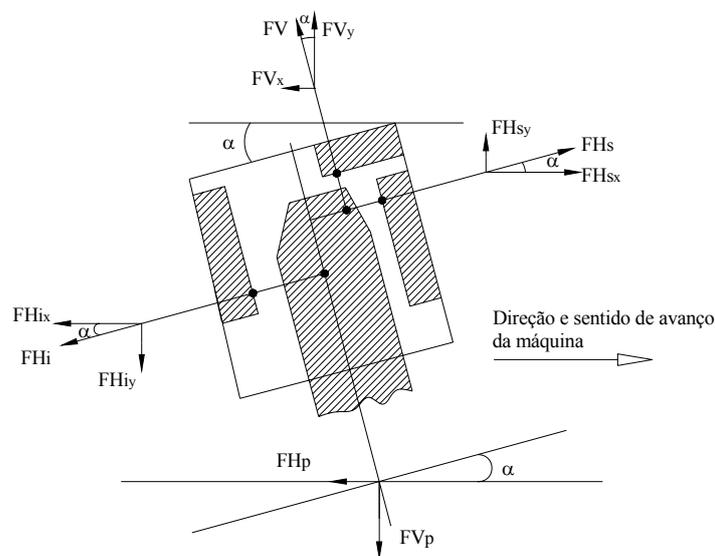


**Figura 4.15 – Média da resultante das respostas dos canais horizontais X componente da carga aplicada (cos 15°).**

Pela análise dos gráficos obtidos, verifica-se que a resultante horizontal apresenta desvio de linearidade pouco perceptível, o que demonstra que o sistema está medindo adequadamente. Os valores apresentam pequena dispersão, resultando num  $R^2$  superior a 0,99.

Já os gráficos das resultantes dos valores de carregamento vertical, apresentam uma histerese bastante saliente, repetindo o que se verificou nos ensaios anteriores. Mesmo assim, a curva de ajuste linear dos pontos resultou em valores aceitáveis, denotando que ao final, se forem feitas médias com os valores de aquisição a uma taxa de aquisição mais alta, pode-se ter bons resultados práticos.

#### 4.4.2 Análise e Determinação das Forças Horizontal e Vertical atuantes na Ponteira.



**Figura 4.16 – Representação esquemática das forças atuantes.**

A partir da representação esquemática (figura 4.16), estabeleceram-se as equações que determinam as forças horizontal e vertical atuantes, em função do ângulo de inclinação da haste sulcadora (Eq. 1 e 2), conforme desenvolvimento a seguir:

$$FH_P + FHi_x + FV_x = FHs_x ,$$

logo:

$$FH_P = FHs_x - FHi_x - FV_x .$$

Como:

$$FHs_x = FHs . \cos \alpha ,$$

$$FHi_x = FHi . \cos \alpha ,$$

$$FV_x = FV . \sin \alpha ;$$

e,

$$RH = FHs - FHi ,$$

então,

$$FH_P = FHs . \cos \alpha - FHi . \cos \alpha - FV . \sin \alpha ,$$

ou,

$$FH_P = (FHs - FHi) . \cos \alpha - FV . \sin \alpha ,$$

logo,

$$FH_P = RH . \cos \alpha - FV . \sin \alpha \dots\dots\dots(1)$$

De maneira análoga:

$$FV_P + FHi_y = FV_y + FHs_y ,$$

ou,

$$FV_P = FHs_y - FHi_y + FV_y ,$$

então,

$$FV_P = FHs . \sin \alpha - FHi . \sin \alpha + FV . \cos \alpha ,$$

logo,

$$FV_P = (FHs - FHi) . \sin \alpha + FV . \cos \alpha ,$$

Assim sendo,

$$FV_P = RH . \sin \alpha + FV . \cos \alpha \dots\dots\dots(2)$$

Onde:

$FH_P$  e  $FV_P$ , forças horizontal e vertical atuantes sobre a ponteira sulcadora (N),

$RH$ , resultante das respostas das células de carga posicionadas verticalmente (N),

$\alpha$ , ângulo de inclinação da haste sulcadora (°),

$FV$ , resposta da célula de carga posicionada horizontalmente (N),

$FH_s$  e  $FHi_s$ , respostas das células de carga posicionadas verticalmente (N),

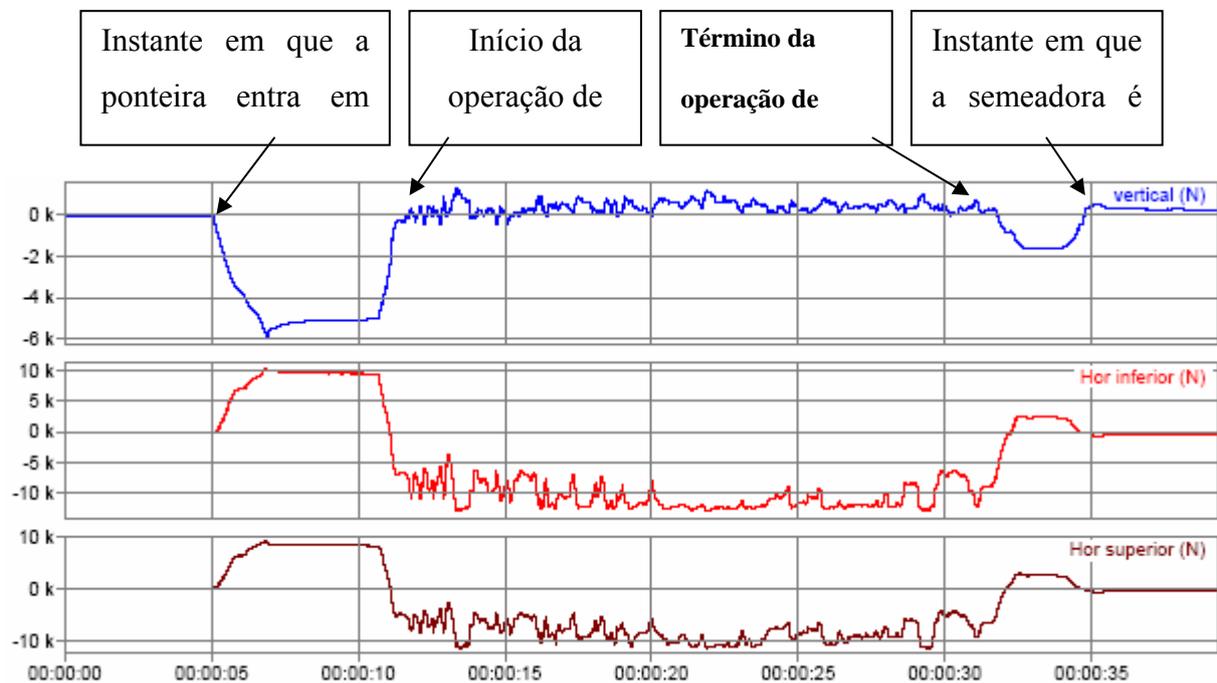
$FV_x$  e  $FV_y$ , respectivamente, componentes horizontal e vertical da resposta da célula de carga posicionada horizontalmente (N),

$FH_{s_x}$  e  $FHi_{s_x}$ , componentes horizontais das respostas das células de carga posicionadas verticalmente (N),

$FH_{s_y}$  e  $FHi_{s_y}$ , componentes verticais das respostas das células de carga posicionadas verticalmente (N).

A figura 4.17 apresenta um conjunto de gráficos típicos e representativos das respostas das células de carga aos esforços atuantes, em uma medição de campo. Estes registros possibilitaram analisar e quantificar o comportamento e a influência do desgaste nas forças horizontal e vertical atuantes na ponteira sulcadora (APÊNDICES 54 a 84).

Através do exemplo gráfico da figura 4.17, é possível observar, de forma qualitativa, o comportamento da máquina em uma repetição durante o período de ensaio. Entre 0 e 5 segundos (eixo X), tem-se o momento em que a máquina foi baixada. De 5 a aproximadamente 10 segundos, permaneceu parada. A partir deste momento, tem-se o início do deslocamento, percebendo-se a região de aceleração do conjunto e, após, o regime de operação na condição plena com a velocidade constante (aproximadamente de 15 a 30 segundos).



**Figura 4.17 - Registro da medição das forças atuantes nas células de carga do dispositivo de medição de esforços, em uma repetição realizada durante as etapas de ensaio.**

Os valores da demanda de tração na ponteira sulcadora em um Planossolo com 0,611 kg.kg<sup>-1</sup> de areia, 0,257kg.kg<sup>-1</sup> de silte e 0,132kg.kg<sup>-1</sup> de argila, com conteúdo médio de água de 0,13kgkg<sup>-1</sup>, operando a uma profundidade média de 0,12m, foram agrupados na tabela 4.9, a partir das respostas das células de carga obtidas durante nos ensaios de campo e calculados através das equações 1 e 2, considerando-se um ângulo de inclinação da haste de 15°. Referem-se, portanto, aos valores das forças horizontal e vertical atuantes na ferramenta em diferentes etapas de desgaste, tomando-se como ponto de partida a ponteira em seu estado original.

**Tabela 4.9 – Forças horizontal e vertical numa ponteira sulcadora de adubo em diferentes estágios de desgaste, operando com ângulo de inclinação da haste sulcadora de 15° em um Planossolo.**

Etapa Desgaste	Arquivo	FV Média	FHs Média	FHi Média	RH Média	FV	RH	FV <sub>P</sub>	FH <sub>P</sub>
(%)	n°	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)
0	1	643,5	12565,8	10930,8	1635,1				
	2	633,7	12575,6	10574,7	2000,9	628,4	1910,3	1101,4 A	1682,6 A
	3	607,9	12250,2	10155,3	2094,9				
6	4	418,5	11171,3	8731,4	2439,9				
	5	637,2	11904,0	9743,4	2160,6	535,0	2282,6	1107,5 A	2066,3 AB
	6	549,3	11643,5	9396,3	2247,2				
15	7	362,4	11293,2	9067,3	2225,8				
	8	442,2	9926,0	7662,4	2263,7	397,8	2270,2	971,8 A	2089,9 AB
	9	388,9	11728,0	9406,9	2321,2				
31	10	471,5	11634,7	9193,0	2441,8				
	11	274,5	9371,5	6948,6	2422,9	328,5	2479,2	959,0 A	2309,7 BC
	12	239,6	10790,3	8217,2	2573,1				
46	13	236,1	10364,6	7549,0	2815,6				
	14	434,9	9823,3	7196,2	2627,1	309,4	2671,6	990,4 A	2500,5 C
	15	257,3	9236,5	6664,5	2572,0				

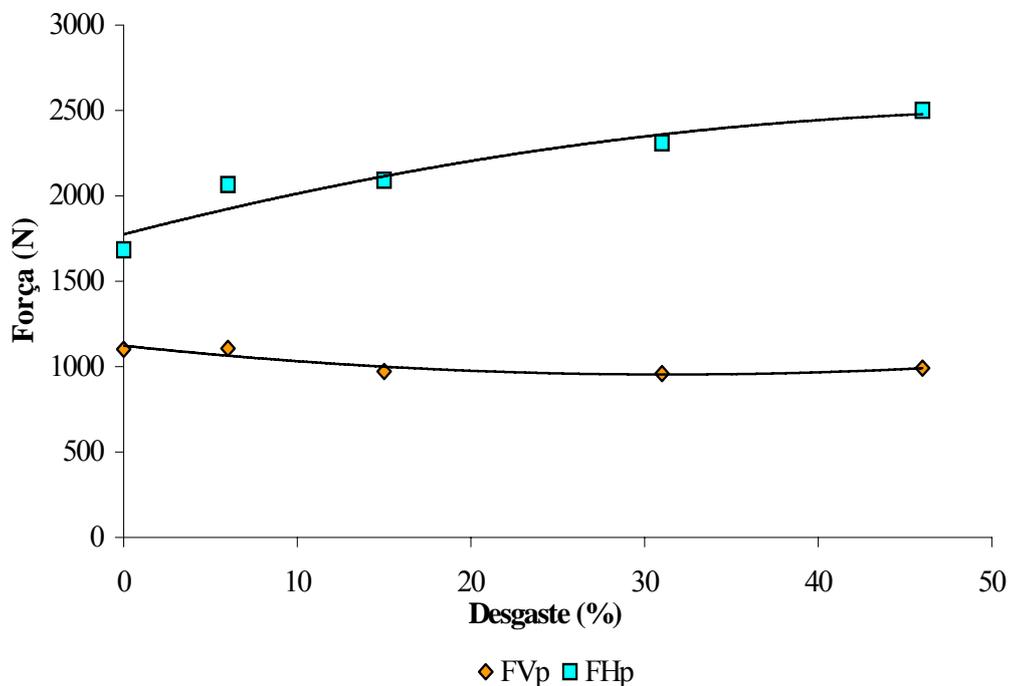
Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente no nível de significância de 5% pelo teste de Tuckey (dms = 407,9N). (APÊNDICES 85 e 86)

O gráfico (Figura 4.18), montado a partir da tabela 4.9, mostra as curvas de ajuste, determinando a tendência das forças horizontal e vertical atuantes, em função do desgaste, em massa, da ferramenta. As equações de ajuste, que permitem a identificação destes esforços vêm a ser:

$$FH_p = -0,2378D^2 + 26,23D + 1774,4 \text{ com } R^2 = 0,9136 \text{ e,}$$

$$FV_p = 0,1716D^2 - 10,757D + 1122,3 \text{ com } R^2 = 0,8510;$$

onde  $FH_p$  e  $FV_p$  são, respectivamente, as forças horizontal e vertical atuantes sobre a ponteira e  $D$  o desgaste percentual, em massa, da ferramenta.



**Figura 4.18 – Curvas de ajuste da tendência das forças horizontal e vertical atuantes na ponteira sulcadora.**

Através da análise da tabela 4.9 e da figura 4.19, podemos identificar que:

- até 15% de desgaste não houve aumento significativo na força horizontal medida na ponteira, a nível de 5% de probabilidade. Já com desgastes maiores, a  $FH_p$  aumentou;
- respostas entre 6 e 31% não provocaram diferenças significativas na força horizontal, a nível de 5% de probabilidade;
- houve aumento significativo de  $FH_p$ , ao nível de 5% de significância, quando o desgaste passou de 15 para 46%;

– com relação a força vertical na ponteira, não houve influência significativa do desgaste, considerando-se o nível de significância de 5%.

Discutindo-se estes dados de uma forma genérica, observa-se que a  $F_{HP}$  aumenta à medida que a ferramenta vai se desgastando. Fenômeno este mais evidente a partir de 15% de desgaste.

Este comportamento pode ser atribuído à variação do ângulo de ataque da ferramenta na medida em que a ponteira é desgastada, perdendo-se a condição ótima de projeto. Outra hipótese para explicar o aumento da força horizontal é a compensação da profundidade de trabalho pelo mecanismo de regulagem de profundidade da máquina, promovendo o aprofundamento a parte mais larga da ponteira, o que aumenta a área de contato solo-ferramenta e, conseqüentemente,  $F_{HP}$ .

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados permitiram identificar que num período de 12h de trabalho, em um solo franco arenoso, a perda média de massa das ferramentas, construídas em Aço SAE 1060 e ADI foi, respectivamente, de 57,75% e 30,77% em relação a sua massa original. Verificou-se que a ponteira em ADI, apresentou a tendência em atingir 17h de vida útil, enquanto que para a ponteira em Aço SAE 1060, forjado, esta tendência foi de 10h, o que representa dizer que a ferramenta construída em ADI registrou uma vida útil superior, a ponteira de Aço SAE 1060, em aproximadamente 70%.

Não foi possível comparar estatisticamente a medida do desgaste da área frontal das ferramentas através da fotografia digital e o da digitalização a laser. Porém, a análise visual dos resultados aponta para os mesmos valores de desgaste.

O dispositivo de medição dos esforços mostrou-se ser de baixo custo de confecção e facilidade de adaptação à semeadora-adubadora, apresentando como vantagem a precisão oferecida pelas células de carga, além da praticidade de reposição das mesmas. Além disso, pela facilidade de operação, rapidez e eficiência nas operações de campo e aquisição de dados, o mesmo pode ser utilizado em diferentes tipos de semeadoras-adubadoras.

Com relação aos esforços atuantes na ponteira os resultados permitiram identificar que a força horizontal aumentou na medida em que a ferramenta foi se desgastando, evidenciando-se de forma mais significativa a partir de 15% de desgaste. Já com relação com relação à força vertical na ponteira, o desgaste não a influenciou significativamente, considerando-se o nível de probabilidade de 5%.

## **6. SUGESTÕES DE CONTINUIDADE**

– ENSAIOS EM DIFERENTES TIPOS DE SOLOS – Sugere-se a continuidade de investigação em outros tipos de solos com a finalidade promover informações adicionais que possam contribuir com o desenvolvimento das máquinas utilizadas para a agricultura..

– MULTITESTE – Desenvolvimento de uma máquina ou mecanismo versátil que possibilite a realização múltipla de ensaios com diferentes tipos de ferramentas e regulagens em uma mesma condição de solo.

– GEOMETRIA DA FERRAMENTA – A partir da geração das superfícies tridimensionais das ponteiros em suas diversas etapas de desgaste, verificar a localização do desgaste e propor novas alternativas para a configuração geométrica da ferramenta, através malhas de triângulos para análises de elementos finitos, por exemplo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmadabadi, M.N., Ghasemi, H.M., Osia, M., 1999. **“Effects of successive austempering on the tribological behavior of ductile cast iron”**. University of Tehran, Tehran, Iran, .

American Society of Agricultural Engineers. “Agricultural machinery management”. In: **ASAE standards 1999**: Standards engineering practices data. San Joseph, 1999. p.359-66.

AqDados, 2003. **“Manual do Usuário”**. Lynx Tecnologia Eletrônica Ltda. São Paulo, SP. Revisão 5.

Araújo, A.G., Casão Júnior, R., Siqueira, R., 2001. **“Máquinas para semear”**. Cultivar Máquinas, Ano I, n.2, p.10-11.

Archard, J.F., 1960. **“Contact and rubbing of flat surfaces”**. Journal of Applied Physics, (1960) 24-981.

Arvidson, J. & Hakansson, I., 1991. **“A model for estimating crop yield losses caused by soil Compaction”**. Soil & Tillage Research, v.20, p.319-332.

Ashburner, J., Sims, B., 1984. **“Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza”**. San José: IICA, 473p.

Ashby, M.F., 1992. **“Materials selection in mechanical design”**. Oxford: Pergamon Press, 1992, 311p.

Bhole, S.D., Yu, H., 1992. **“Abrasive wear evaluation of tillage tool materials”**. Lubrication Engineering, v.48, n.12, p.925-34.

Boller, W., 2001. **“Cuidados com o solo”**. Cultivar Máquinas, 2001, Ano I, n.5, p.6-8.

Bordignon, J., 2005. **“Projeto e construção de sensores de força para medição de esforços em semeadoras-adubadoras”**. Dissertação de Mestrado.PPG em Engenharia Mecânica, UFRGS, 2005,141f. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

Butterfield, R., Andrawes, K.Z., 1972. **“On the angles of friction between sand and plane surfaces”**. Journal of Terramechanics, v.8, p.15-23.

Casão Júnior, R., Chang, C.S., 1993. **“Estudo dos esforços tridimensionais em hastes de paraplow em caisa de solo”**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 22, 1993, Ilhéus. Anais...Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola - SBEA, 1993, p.1878-1894.

Cepik, C.T., 2002. **“Análise do desempenho de uma haste sulcadora-adubadora, em diferentes teores de água no solo, velocidades e profundidades de trabalho”**. Dissertação de Mestrado. PPG em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Porto Alegre, RS.

Cepik, C.T., Levien, R., Beutler, J.F., Trein, C.R., 2004. **“Demanda de tração na haste sulcadora de adubo em função de coberturas de inverno e profundidades de atuação, em semeadura direta de milho e soja”**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, 2004, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004. 1 CD ROM.

Desbiolles, J.M.A., Godwin, R.J., Kilgour, J. et al., 1997. **“A novel approach to the prediction of tillage tool draught using a standart tine”**. Journal of Agricultural Engineering. Research, London, v. 66, p. 295-309.

Dommarco, R., I. Galarreta, I., H. Ortíz, H. et al., 2001. **“The use of ductile iron for wheel loader bucket tips”**. Wear, v.249, p.101–108.

Embrapa, 1997. **“Manual de métodos de análise do solo”**. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ. Centro Nacional de Pesquisa de Solos- CNPS, 212p.

EMBRAPA, 2004. **“Manejo do solo”**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Soja.

Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2005. **“Expansão da Área Cultivada em Plantio Direto de 1992/1993 a 2004/2005 – Safra Verão / Safrinha / Inverno”**. Fonte: EMATER-RS, EPAGRI-SC, EMATER-PR, CATI-SP, FUNDAÇÃO MS, APDC-CERRADO.

Ferguson, S.A., Fielke, J.M., Riley, T.W., 1998. **“Wear of cultivator shares in abrasive south australian soils”**. Journal of Agricultural Engineering Research; v.69, p.99-105.

Fernandes, J.C., Santos, J.E.G., Santos Filho, A.G., Bormio, M.R., 2002. **“Avaliação do desgaste de implementos agrícolas para diversos tipos de solos”**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola , 31, 2002, Salvador, BA. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola – SBEA, 2002. 1 CD ROM.

Fielke, J.M., 1996. **“Interaction of the cutting edge of tillage implements with soil”**. Journal of Agricultural Engineering. Resourch., Silsoe, v. 63, p.61-71.

Fountaine, E.R. 1954. **“Investigations into the mechanism of soil adhesion”**. Soil Science of America Journal, v.5, p.251-263.

Fundição e Serviços, 2003. **“As propriedades, desenvolvimento de componentes e aplicações do ADP”**. Aranda Editora, Ano 13, n.121. p.20-37.

Garcia, R.F., 2003. **“Coleta Precisa”**. Cultivar Máquinas, Ano III, n.24, p.12-14.

Gates, J.D., 1994 **“Two body and three-body abrasion: a critical discussion”**. Wear, 1994,v.214, p.139–146.

Gill, W.R., Berg, G.E.V.,1968. **“Soil dynamics in tillage and traction”**. Washington: U.S. Department of Agriculture, p.511.

Godwin, R.G., 1975. **“An extend octogonal ring transducer for use in tillage studies”**. Journal of Agricultural Engineering Research, 20: 347-352.

Godwin, R.J., Spoor, G., 1977. **“Soil failure with narrow tines”**. J. Agric. Engng. Res. , Silsoe, v.22, p.213-228. 1977.

Gomes, A. da S., Cunha, N.G., Pauletto, E.A., et al., 1992. **“Solos de várzea uso e manejo”**. In: Marcoantonio, G. Solos e irrigação. Porto Alegre: Ed. Universidade, UFRGS, Federacite, 123p, p.64-79.

Gomes, A.S., Cunha, N.G., Pauletto, E.A., et al., 1992. **“Solos de várzea uso e manejo”**. In: Marcantônio, G. Solos e irrigação, Porto Alegre, Ed Universidade, UFRGS, Federacite, 1992, 123p, p.64-79.

Hartmann, H. T. & Kester, D. F., 1971. **“Principios de la propagación por semillias”**. In.: Propagación de Plantas. México continental, Cap. 6, p.141-176.

Hebda, M., Wachal, A., 1980. **“Trybologia”**. WNT, Warszawa, 154p.

Herzog, L.S., Levien, R., Trein, C.R., 2004. **“Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado”**. Eng. Agríc., v.24, n.3, p.771-780, Jaboticabal, SP.

Hettiaratchi, D.R.P., Witney, B.D., Reece, A.R., 1966. **“The calculation of passive pressure in two-dimensional soil failure”**. Journal of Agricultural Engineering Resourch, v.11, p.89-107.

Kepner, R.A., Bainer, R., Barger E.L., 1972. **“Principles of farm machinery”**. 2<sup>nd</sup> ed., Westport: Avi Publishing Company, p.487.

Lanças, H.P., 2002. **“Subsolagem ou escarificação”**. Cultivar Máquinas, Ano III, n.14, p.38-41.

Levien, R., Beutler, J.F., Cepik, C.T., Trein, C.R., 2004. **“Força de tração em haste sulcadora tipo facão, operando a duas profundidades em solo com e sem vegetação de campo nativo, na presença e ausência de disco de corte de palha”**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, 2004, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004. 1 CD ROM.

Machado, A.L.T., 2001. **“Previsão do Esforço de Tração para ferramentas Estreitas em Solos do Rio Grande do Sul”**. UFRGS, 2001, 172f. Tese de Doutorado em Ciência do Solo, UFRGS, 2001, 172f. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS

Machado, A.L.T., Reis, A.V., Moraes, M.L.B., Alonço, A.S., 2005. **“Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais”**. 2<sup>a</sup> ed. Pelotas:Gráfica e Editora Universitária, Universidade Federal de Pelotas , UFPel, 253p.

- Mazzaferro, C.C.P., Israel, C.L., Gomes, J., Strohaecker, T.R., Batista, V.J., 2004. **“Resistência ao desgaste de ferros fundidos nodulares austemperados e temperados revenidos”**. In: Congresso Internacional em Metalurgia e Materiais, 59, 2004, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: ABM, 2004. 1 CD ROM.
- Mckyes, E., 1978. **“The calculation of draft forces and soil failure boundaries of narrow cutting blades”**. Transaction of the ASAE, St Joseph, v.21, p. 20-24.
- Mckyes, E., Desir, F.L., 1984. **“Prediction and field measurements of tillage tool draft forces and efficiency in cohesive soils”**. Soil & Tillage Research, Amsterdam, n.4, 1980, p.459-470.
- Mielke, L.N., Grisso, R.D., Bashford, L.L. et al., 1994. **“Bi-level subsoiler performance using tandem shanks. Applied Engineering in Agriculture”**. St. Joseph, v. 10, n.3, p.345-349.
- Mion, R.L., Nery, M.S., Carvalho, W.P.A. et al., 2002. **“Influência da profundidade de trabalho de uma haste de semeadora na força de tração e na área de solo mobilizada em plantio direto”**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31, 2002, Salvador, BA. **Anais...** Salvador: SBEA, 2002. 1 CD ROM.
- Mouazen, A.M., Neményi, M., 1999. **“Tillage tool design by finite element method: Part 1. Finit element modelling of soil plastic behaviour”**. Journal Agricultural Engineering. Resourch., Silsoe, v.72, p.37-51.
- Negi, S.C., McKyes, E., Taylor, F. et al., 1980. **“Crop performance as affected by traffic and tillage in a clay soil”**. Transactions of the ASAE, v.23, p.1364-1368.
- Nichols, M.L., 1931. **“The dynamic properties of soil”**. Part II. Soil and metal friction, Part II. Journal of Agricultural. Engineering Research, v.12, p.321-324.
- Nikiforov, P.E., Bedrun, M.I., 1965. **“The sliding friction of soil on metal and planes surfaces”**. Vest. sel', koz. Nauki, Mosk, V.10, p.112-6.
- Oliveira, J.B., Jacomine, P.K.T., Camargo, M.N., 1992. **“Classes gerais de solos do Brasil – guia auxiliar para seu reconhecimento”**. Jaboticabal, FUNEP, 201p.
- Owsiak, Z., 1997. **“Wear of symmetrical wedge-shaped tillage tools”**. Soil & Tillage Research, v.43 (1997), p.295-308. Institute of Agricultural Machinery, University of Agriculture, ul. Chelmokiego 37/41, 51-630 Wroclaw, Poland
- Owsiak, Z., 1999. **“Wear of spring tine cultivator points in sandy loam and light clay soils in southern Poland”**. Soil & Tillage Research, v.50 (1999), p.333-340. Institute of Agricultural Engineering, Agricultural University of Wrocøaw ul. CheømonÅskiego 37/41, 51-630 Wrocøaw, Poland

Pauletto, E.A., 1997. **“Determinação de Atributos Físicos do Solo – Manual de Laboratório”**. UFPel, 59p. Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

Payne, P.C.J., 1956. **“A field method of measuring soil metal friction”**. Soil Science of America Journal, v7, p.235.

Pellegrini, A., Barreto, U.F., Reichert, J.M., et al., 2002. **“Crescimento e produtividade da cultura do feijoeiro sob diferentes sistemas de manejo do solo”**. UFSM, 2002. Departamento de Solos, Universidade de Santa Maria, Santa Maria,RS.

Queiroz, G.A.C., Casão Junior, R., Siqueira, R., 2002. **“Predição de esforços em hastes sulcadoras para semeadoras de plantio direto”**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31, 2002, Salvador, Bahia. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD ROM.

Rabinowicz, E., 1995. **“Friction and wear of materials”**. 2<sup>nd</sup> ed., New York: John Wiley & Sons, 2<sup>nd</sup> ed., 1995, 315p.

Reis, A.V., Forcellini, F. A., 2002. **“Análise da precisão funcional da semeadora”**. Tecno Lógica, Santa Cruz do Sul, v. 6, n. 2, p. 91-104.

Reis, A.V., Forcellini, F.A., 2002. **“Seleção de materiais para ponteiros de escarificadores”**. UFSC, 2002. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

Richardson, R.C.D., 1967. **“The wear of metallic materials by soil”**. Journal of Agricultural Engineering Research, p.22-39.

Rowe, R.J., Barnes, K.K., 1961. **“Influence of speed on elements of draft of a till tool”**. Transaction of American Society of Agricultural Engineers, v.4, p.55-57.

Saraia, M.L.N., Israel, G.V., Gelson, D.F., 1998. **“Fatores externos (ambientais) que Influenciam na germinação de Sementes”**. Informativo SEMENTES IPEF – Instituto Pesquisa e Estudos Florestais, São Paulo, SP.

Serpa, F.M., 1997. **“Estimativa de esforços em implementos de preparo do solo e adequação trator implemento”**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola, UNICAMP, 1997, 93f. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

Silva, R.B., Lanças, K.P., Dias Júnior, M.S., 2003. **“O limite da terra”**. Cultivar Máquinas, Ano III, n.25, p.12-19.

Siqueira, R., Casão Júnior, R., Araújo, A.G., 2002. **“Ângulo ideal”**. Cultivar Máquinas, Ano III, n.13, p.30-32.

Siqueira, R.R., 2002. **“Semeadura Direta”**. IAPAR. Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR, 2002.

Souza, W.R.; Magalhães, P.S.G., **“Projeto e construção de um transdutor para teste de implementos agrícolas”**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 18., 1989, Recife. Anais... Recife: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, v.1, p. 295-306, 1989.

Stafford, J.V., Tanner, D.W., 1976. **“The frictional characteristics of a steel sliding on soil”**. National Institute of Agricultural Engineering, West Park, Silsoe, Bedford. 1976.

Streck, E.V., Kampf, N., Klamt, E., 1999. **“Atualização da classificação taxonômica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solo do estado do Rio Grande do Sul”**. Informativo EMATER/RS, Porto Alegre, n. 9, 1999. 5p.

Tabor, D., 1967. **“Solid friction and boundary lubrication”**. Proc. Instn mech. Engrs (3 A), p.262-280.

Wang, C.C., Yan, B.H, Chow, H.M., Suzuki, Y., 1999. **“Cutting austempered ductile iron using an EDM sinker”**. Journal of Materials Processing Technology 88 (1999) 83–89.

Zimba, J., D. Simbi, D.J., Navara, E., 2003. **“Austempered ductile iron: an alternative material for earth moving components”**. Cement & Concrete Composites, v.25 (2003), p.643–649.

## APÊNDICES

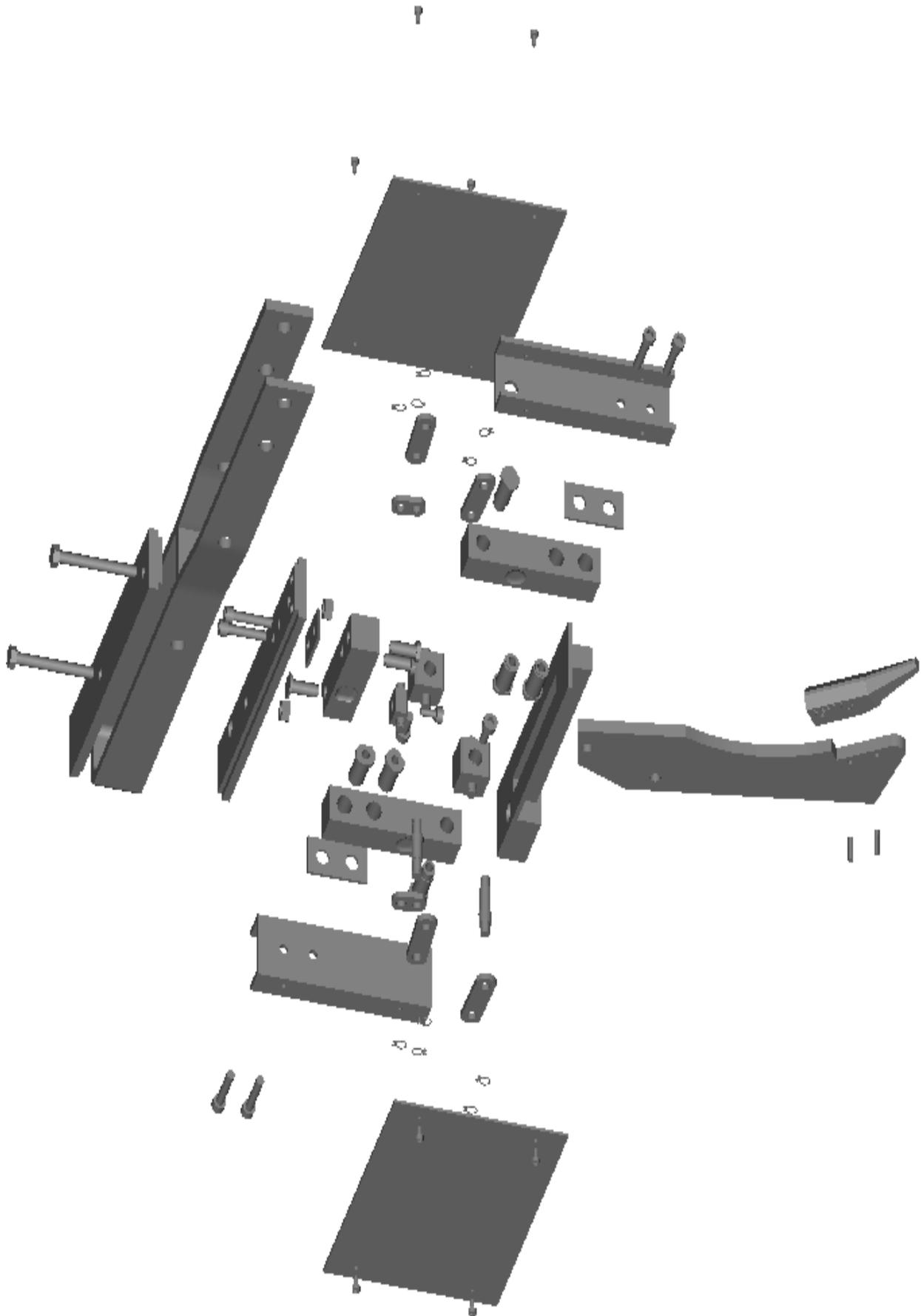
### APÊNDICE 1 – Características gerais das células de carga utilizadas no dispositivo de medição das forças horizontal e vertical atuantes na ponteira sulcadora.

Célula de carga shear beam										
Material	Capacidade (Kgf)	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Alumínio	1000	130	57	31,8	Ø13,5	31,8	15,9	25,4	76	1/2"UNF
Aço	500, 1000,1500	130	57	31,8	Ø13,6	31,9	15,9	25,4	76	1/2"UNF
Aço	2000, 5000	171	76	38	Ø20	38	19	38	95	3/4"UNF

A, B, C, D, E, F, G, H - Dimensões em milímetros

Especificações gerais	
Excitação (V)	15
Resistência elétrica (Ohms)	3503
Saída nominal (m V/V)	3
Temperatura de trabalho útil/ compensada (°C)	-10 a 40
Zero inicial (% S.N.)	+/-1
Não linearidade (% S.N.)	0,03
Histerese (% C.N.)	0,02
Não repetibilidade (% S.N.)	0,02
Creep a capacidade nominal (% de carga em 20')	0,03
Comprimento do cabo	3 m
Grau de proteção	IP 67
Máxima sobrecarga sem alterações (% S.N.)	150
Efeito da temperatura no zero (% S.N./°C)	+/-0,003
Efeito da temperatura na calibração. (S.N./°C)	+/-0,0015
Resistência de isolamento (Megaohms)	5000
Material	Aço

**APÊNDICE 2 – Vista explodida do dispositivo para medição das forças horizontal e vertical atuantes na ponteira sulcadora.**



**APÊNDICE 3 – Frações de areia, silte e argila ( $\text{kg.kg}^{-1}$ ) obtidas nos solos utilizados nas etapas de ensaios de desgaste das ponteiros sulcadoras – Solos 1, 2 e 3 – Bloco 1.**

AMOSTRA	SOLO 1			SOLO 2			SOLO 3		
	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
1	0,846	0,101	0,053	0,744	0,178	0,079	0,746	0,163	0,091
2	0,843	0,105	0,053	0,768	0,153	0,080	0,770	0,153	0,078
3	0,844	0,090	0,066	0,771	0,152	0,078	0,768	0,154	0,079
4	0,821	0,126	0,054	0,768	0,144	0,089	0,743	0,177	0,080
5	0,843	0,103	0,055	0,768	0,164	0,068	0,721	0,201	0,079
6	0,853	0,076	0,071	0,766	0,140	0,094	0,750	0,142	0,108
7	0,850	0,080	0,070	0,764	0,140	0,096	0,762	0,162	0,076
8	0,850	0,079	0,071	0,775	0,129	0,096	0,775	0,141	0,084
9	0,850	0,079	0,071	0,753	0,151	0,096	0,748	0,154	0,098
10	0,825	0,092	0,083	0,753	0,151	0,096	0,725	0,179	0,096
11	0,852	0,076	0,073	0,750	0,142	0,108	0,741	0,157	0,102
12	0,854	0,076	0,071	0,765	0,139	0,096	0,779	0,151	0,071
13	0,866	0,062	0,072	0,779	0,126	0,096	0,777	0,126	0,098
14	0,852	0,076	0,072	0,778	0,137	0,085	0,752	0,151	0,098
15	0,854	0,074	0,073	0,729	0,175	0,097	0,728	0,176	0,097
16	0,849	0,080	0,071	0,779	0,138	0,083	0,748	0,156	0,096
17	0,858	0,080	0,062	0,766	0,137	0,097	0,756	0,155	0,089
18	0,846	0,085	0,069	0,777	0,139	0,084	0,754	0,159	0,087
<b>MÉDIA</b>	<b>0,847</b>	<b>0,086</b>	<b>0,067</b>	<b>0,764</b>	<b>0,146</b>	<b>0,090</b>	<b>0,752</b>	<b>0,159</b>	<b>0,089</b>

**APÊNDICE 4 – Frações de areia, silte e argila ( $\text{kg.kg}^{-1}$ ) obtidas nos solos utilizados nas etapas de ensaios de desgaste das ponteiros sulcadoras – Solos 1, 2 e 3 – Bloco 2.**

AMOSTRA	SOLO 1			SOLO 2			SOLO 3		
	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
1	0,846	0,094	0,060	0,744	0,171	0,086	0,746	0,155	0,098
2	0,843	0,097	0,060	0,768	0,146	0,087	0,770	0,146	0,085
3	0,844	0,083	0,073	0,771	0,145	0,085	0,768	0,146	0,086
4	0,821	0,119	0,061	0,768	0,136	0,096	0,743	0,170	0,088
5	0,843	0,096	0,062	0,768	0,157	0,075	0,721	0,194	0,086
6	0,830	0,092	0,078	0,732	0,172	0,096	0,728	0,157	0,115
7	0,828	0,096	0,077	0,742	0,155	0,103	0,740	0,177	0,083
8	0,828	0,095	0,078	0,753	0,145	0,103	0,753	0,156	0,091
9	0,828	0,095	0,078	0,730	0,167	0,103	0,726	0,170	0,105
10	0,803	0,107	0,090	0,730	0,167	0,103	0,703	0,195	0,103
11	0,785	0,139	0,077	0,728	0,157	0,115	0,674	0,158	0,168
12	0,786	0,137	0,077	0,743	0,154	0,103	0,711	0,152	0,137
13	0,799	0,138	0,063	0,711	0,127	0,162	0,710	0,164	0,127
14	0,785	0,138	0,078	0,710	0,138	0,151	0,685	0,152	0,164
15	0,786	0,139	0,075	0,661	0,176	0,163	0,660	0,177	0,163
16	0,807	0,128	0,065	0,711	0,139	0,149	0,724	0,163	0,113
17	0,806	0,126	0,068	0,699	0,138	0,163	0,722	0,167	0,111
18	0,804	0,132	0,064	0,710	0,140	0,150	0,720	0,170	0,110
<b>MÉDIA</b>	<b>0,815</b>	<b>0,114</b>	<b>0,071</b>	<b>0,732</b>	<b>0,152</b>	<b>0,116</b>	<b>0,722</b>	<b>0,165</b>	<b>0,113</b>

**APÊNDICE 5 – Frações médias de areia, silte e argila ( $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) dos solos 1, 2 e 3, utilizados nas etapas de ensaios de desgaste das ponteiros sulcadoras.**

<b>MÉDIA</b>	<b>SOLO 1</b>			<b>SOLO 2</b>			<b>SOLO 3</b>		
	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>
<b>Bloco 1</b>	0,847	0,086	0,067	0,764	0,146	0,090	0,752	0,159	0,089
<b>Bloco 2</b>	0,815	0,114	0,071	0,732	0,152	0,116	0,722	0,165	0,113
<b>Média / Solo</b>	<b>0,831</b>	<b>0,100</b>	<b>0,069</b>	<b>0,748</b>	<b>0,149</b>	<b>0,103</b>	<b>0,737</b>	<b>0,162</b>	<b>0,101</b>

**APÊNDICE 6 – Frações de areia, silte e argila ( $\text{kg.kg}^{-1}$ ) obtidas no solo utilizado nas etapas de ensaios de tração – Solo 4.**

<b>SOLO 4</b>			
<b>AMOSTRA</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>
<b>1</b>	0,650	0,248	0,102
<b>2</b>	0,625	0,285	0,090
<b>3</b>	0,650	0,235	0,115
<b>4</b>	0,625	0,198	0,177
<b>5</b>	0,600	0,248	0,152
<b>6</b>	0,575	0,247	0,178
<b>7</b>	0,650	0,270	0,080
<b>8</b>	0,650	0,246	0,105
<b>9</b>	0,580	0,279	0,142
<b>10</b>	0,575	0,246	0,180
<b>11</b>	0,678	0,195	0,128
<b>12</b>	0,553	0,295	0,153
<b>13</b>	0,656	0,242	0,102
<b>14</b>	0,581	0,317	0,102
<b>15</b>	0,606	0,241	0,153
<b>16</b>	0,556	0,266	0,178
<b>17</b>	0,631	0,266	0,103
<b>18</b>	0,556	0,304	0,139
<b>MÉDIA</b>	<b>0,611</b>	<b>0,257</b>	<b>0,132</b>

**APÊNDICE 7 – Análise granulométrica da fração areia ( $\text{kg.kg}^{-1}$ ) dos solos utilizados nas etapas de ensaios de desgaste das ponteiros sulcadoras – Solo 1.**

<b>SOLO 1</b>						
<b>Amostra</b>	<b>Peneira (mm)</b>					
	<b>1,00</b>	<b>0,50</b>	<b>0,25</b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>Fundo</b>
<b>1</b>	0,009	0,368	0,439	0,132	0,043	0,010
<b>2</b>	0,034	0,454	0,341	0,130	0,036	0,004
<b>3</b>	0,036	0,446	0,347	0,129	0,037	0,005
<b>4</b>	0,009	0,375	0,438	0,123	0,040	0,014
<b>5</b>	0,030	0,338	0,449	0,139	0,035	0,008
<b>6</b>	0,024	0,396	0,403	0,131	0,038	0,009
<b>7</b>	0,010	0,374	0,427	0,138	0,038	0,012
<b>8</b>	0,040	0,444	0,340	0,116	0,059	0,001
<b>9</b>	0,038	0,363	0,454	0,119	0,024	0,001
<b>10</b>	0,009	0,382	0,442	0,117	0,038	0,012
<b>11</b>	0,026	0,423	0,356	0,123	0,069	0,003
<b>12</b>	0,025	0,397	0,404	0,123	0,045	0,006
<b>13</b>	0,029	0,454	0,339	0,113	0,063	0,003
<b>14</b>	0,038	0,375	0,436	0,125	0,026	0,001
<b>15</b>	0,012	0,392	0,441	0,115	0,032	0,007
<b>16</b>	0,026	0,444	0,357	0,122	0,049	0,002
<b>17</b>	0,026	0,348	0,449	0,137	0,034	0,005
<b>18</b>	0,026	0,403	0,405	0,122	0,041	0,004
<b>Média</b>	<b>0,025</b>	<b>0,399</b>	<b>0,404</b>	<b>0,125</b>	<b>0,041</b>	<b>0,006</b>
<b>% Retida</b>	<b>2,49</b>	<b>39,87</b>	<b>40,37</b>	<b>12,52</b>	<b>4,15</b>	<b>0,61</b>
<b>% Acumulada</b>	<b>2,49</b>	<b>42,35</b>	<b>82,72</b>	<b>95,24</b>	<b>99,39</b>	<b>100,00</b>

**APÊNDICE 8 – Análise granulométrica da fração areia ( $\text{kg.kg}^{-1}$ ) dos solos utilizados nas etapas de ensaios de desgaste das ponteiros sulcadoras – Solo 2.**

<b>SOLO 2</b>						
<b>Amostra</b>	<b>Peneira (mm)</b>					
	<b>1,00</b>	<b>0,50</b>	<b>0,25</b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>Fundo</b>
<b>1</b>	0,032	0,232	0,444	0,219	0,063	0,010
<b>2</b>	0,043	0,323	0,337	0,224	0,065	0,010
<b>3</b>	0,022	0,306	0,408	0,177	0,065	0,022
<b>4</b>	0,022	0,304	0,405	0,191	0,058	0,021
<b>5</b>	0,047	0,281	0,442	0,180	0,042	0,009
<b>6</b>	0,033	0,289	0,407	0,198	0,059	0,014
<b>7</b>	0,031	0,228	0,439	0,220	0,064	0,018
<b>8</b>	0,024	0,280	0,409	0,191	0,077	0,019
<b>9</b>	0,042	0,309	0,344	0,205	0,095	0,005
<b>10</b>	0,045	0,288	0,424	0,195	0,045	0,003
<b>11</b>	0,022	0,305	0,402	0,192	0,064	0,014
<b>12</b>	0,027	0,308	0,355	0,184	0,121	0,004
<b>13</b>	0,016	0,267	0,426	0,195	0,073	0,023
<b>14</b>	0,042	0,315	0,343	0,213	0,081	0,005
<b>15</b>	0,067	0,249	0,387	0,226	0,064	0,006
<b>16</b>	0,017	0,316	0,403	0,192	0,055	0,016
<b>17</b>	0,041	0,357	0,330	0,205	0,064	0,004
<b>18</b>	0,031	0,245	0,441	0,219	0,057	0,006
<b>Média</b>	<b>0,034</b>	<b>0,289</b>	<b>0,397</b>	<b>0,201</b>	<b>0,067</b>	<b>0,012</b>
<b>% Retida</b>	<b>3,36</b>	<b>28,89</b>	<b>39,70</b>	<b>20,15</b>	<b>6,74</b>	<b>1,16</b>
<b>% Acumulada</b>	<b>3,36</b>	<b>32,25</b>	<b>71,95</b>	<b>92,10</b>	<b>98,84</b>	<b>100,00</b>

**APÊNDICE 9 – Análise granulométrica da fração areia ( $\text{kg.kg}^{-1}$ ) dos solos utilizados nas etapas de ensaios de desgaste das ponteiros sulcadoras – Solo 3.**

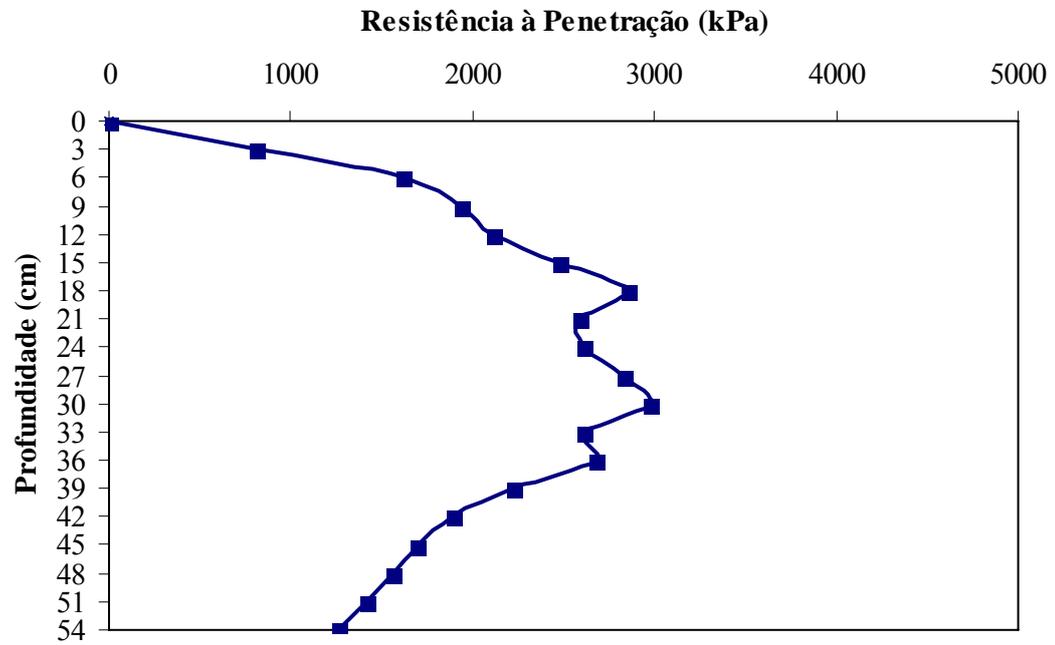
<b>SOLO 3</b>						
<b>Amostra</b>	<b>Peneira (mm)</b>					
	<b>1,00</b>	<b>0,50</b>	<b>0,25</b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>Fundo</b>
<b>1</b>	0,031	0,281	0,317	0,254	0,090	0,028
<b>2</b>	0,066	0,299	0,262	0,264	0,097	0,012
<b>3</b>	0,073	0,322	0,255	0,246	0,094	0,010
<b>4</b>	0,115	0,289	0,231	0,256	0,096	0,014
<b>5</b>	0,098	0,245	0,325	0,249	0,069	0,013
<b>6</b>	0,077	0,287	0,278	0,254	0,089	0,015
<b>7</b>	0,056	0,237	0,343	0,280	0,075	0,008
<b>8</b>	0,038	0,282	0,311	0,256	0,091	0,022
<b>9</b>	0,073	0,288	0,275	0,240	0,118	0,005
<b>10</b>	0,116	0,246	0,311	0,250	0,071	0,005
<b>11</b>	0,053	0,277	0,300	0,241	0,108	0,022
<b>12</b>	0,067	0,266	0,308	0,253	0,093	0,012
<b>13</b>	0,030	0,281	0,321	0,270	0,078	0,020
<b>14</b>	0,081	0,312	0,255	0,230	0,115	0,007
<b>15</b>	0,070	0,259	0,343	0,258	0,063	0,007
<b>16</b>	0,082	0,298	0,280	0,234	0,078	0,028
<b>17</b>	0,084	0,276	0,251	0,210	0,174	0,006
<b>18</b>	0,069	0,285	0,290	0,240	0,102	0,013
<b>Média</b>	<b>0,071</b>	<b>0,279</b>	<b>0,292</b>	<b>0,249</b>	<b>0,095</b>	<b>0,014</b>
<b>% Retida</b>	<b>7,11</b>	<b>27,95</b>	<b>29,20</b>	<b>24,92</b>	<b>9,45</b>	<b>1,38</b>
<b>% Acumulada</b>	<b>7,11</b>	<b>35,06</b>	<b>64,26</b>	<b>89,17</b>	<b>98,62</b>	<b>100,00</b>

**APÊNDICE 10 – Análise granulométrica da fração areia ( $\text{kg.kg}^{-1}$ ) do solo utilizado nas etapas de ensaios de tração – Solo 4 .**

<b>SOLO 4</b>						
<b>Amostra</b>	<b>Peneira (mm)</b>					
	<b>1,00</b>	<b>0,50</b>	<b>0,25</b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>Fundo</b>
<b>1</b>	0,094	0,140	0,252	0,331	0,130	0,053
<b>2</b>	0,102	0,136	0,236	0,343	0,144	0,039
<b>3</b>	0,100	0,142	0,243	0,337	0,142	0,036
<b>4</b>	0,102	0,127	0,238	0,345	0,145	0,044
<b>5</b>	0,092	0,153	0,165	0,350	0,155	0,085
<b>6</b>	0,098	0,140	0,227	0,341	0,143	0,052
<b>7</b>	0,055	0,156	0,184	0,280	0,167	0,157
<b>8</b>	0,064	0,180	0,221	0,305	0,155	0,075
<b>9</b>	0,074	0,168	0,205	0,300	0,159	0,094
<b>10</b>	0,088	0,143	0,251	0,352	0,145	0,021
<b>11</b>	0,088	0,139	0,238	0,357	0,150	0,027
<b>12</b>	0,074	0,157	0,220	0,319	0,155	0,075
<b>13</b>	0,088	0,156	0,182	0,379	0,164	0,031
<b>14</b>	0,050	0,178	0,227	0,322	0,170	0,053
<b>15</b>	0,063	0,167	0,218	0,325	0,165	0,062
<b>16</b>	0,091	0,145	0,252	0,347	0,143	0,023
<b>17</b>	0,110	0,149	0,234	0,343	0,143	0,021
<b>18</b>	0,080	0,159	0,222	0,343	0,157	0,038
<b>Média</b>	<b>0,084</b>	<b>0,152</b>	<b>0,223</b>	<b>0,334</b>	<b>0,152</b>	<b>0,055</b>
<b>% Retida</b>	<b>8,41</b>	<b>15,20</b>	<b>22,29</b>	<b>33,43</b>	<b>15,19</b>	<b>5,47</b>
<b>% Acumulada</b>	<b>8,41</b>	<b>23,62</b>	<b>45,91</b>	<b>79,34</b>	<b>94,53</b>	<b>100,00</b>

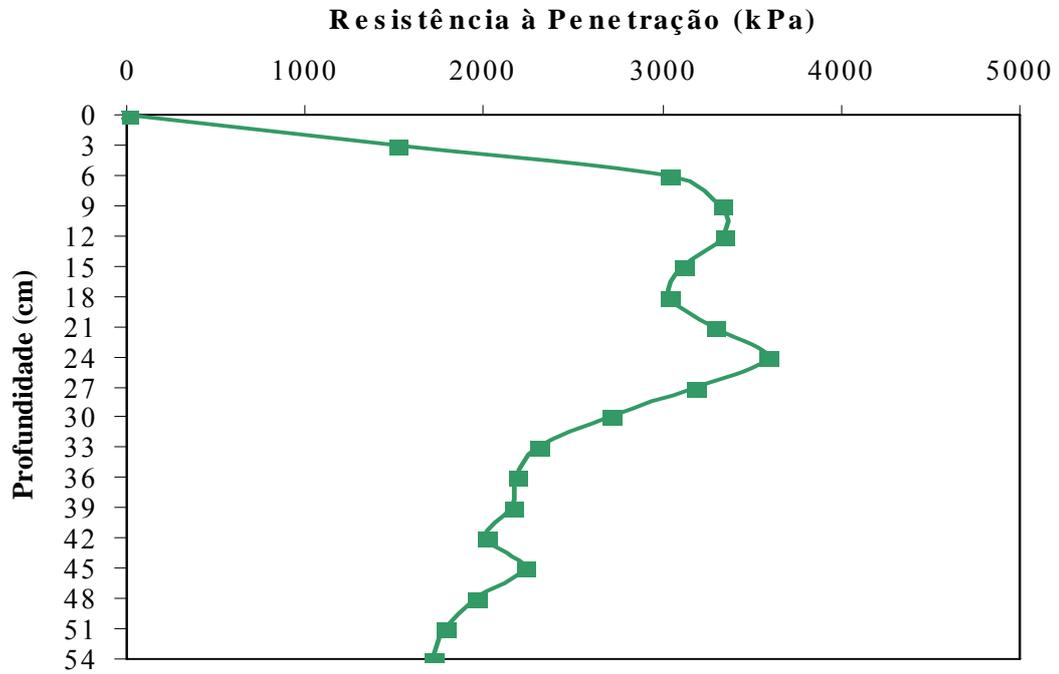
**APÊNDICE 11 – Valores médios da resistência à penetração do solo e teor de água ( $\theta$ ), por etapa de trabalho durante os ensaios de desgaste das ponteiros – Solo 1.**

Prof. (cm)	Resistência à Penetração (kPa)						Média Solo 1
	Etapa (h)						
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
3,0	746,12	558,43	950,26	558,43	633,51	1400,72	<b>807,91</b>
6,0	1492,25	1116,87	1900,53	1116,87	1267,02	2801,43	<b>1615,83</b>
9,0	2238,37	1675,30	1900,53	1675,30	1900,53	2238,37	<b>1938,07</b>
12,0	2238,37	1900,53	1900,53	1956,84	2238,37	2426,06	<b>2110,11</b>
15,0	2069,45	1862,99	2801,43	3082,97	2238,37	2801,43	<b>2476,11</b>
18,0	1900,53	1750,38	2801,43	3927,56	3927,56	2801,43	<b>2851,48</b>
21,0	2238,37	2050,68	3552,19	2801,43	2238,37	2660,67	<b>2590,28</b>
24,0	2801,43	2801,43	2801,43	2801,43	2238,37	2238,37	<b>2613,74</b>
27,0	2801,43	3364,50	2801,43	3552,19	2238,37	2238,37	<b>2832,71</b>
30,0	3927,56	3176,81	2801,43	2660,67	3364,50	1900,53	<b>2971,92</b>
33,0	2801,43	2801,43	3364,50	2238,37	2801,43	1647,15	<b>2609,05</b>
36,0	2519,90	2441,07	3927,56	1876,40	3927,56	1393,77	<b>2681,04</b>
39,0	2238,37	1900,53	3552,19	1514,43	2801,43	1340,98	<b>2224,65</b>
42,0	2013,14	1735,06	2660,67	1425,33	2238,37	1288,20	<b>1893,46</b>
45,0	1787,92	1569,58	2238,37	1336,23	1956,84	1235,41	<b>1687,39</b>
48,0	1562,69	1456,51	2238,37	1247,13	1675,30	1182,62	<b>1560,44</b>
51,0	1337,46	1369,64	1956,84	1158,03	1525,15	1129,83	<b>1412,82</b>
54,0	1112,24	1282,77	1675,30	1068,92	1375,00	1077,05	<b>1265,21</b>
<b><math>\theta</math> média (kg.kg<sup>-1</sup>)</b>	8,00	9,00	8,03	8,81	7,79	7,68	<b>8,22</b>

**APÊNDICE 12 – Gráfico representativo da resistência à penetração – Solo 1.**

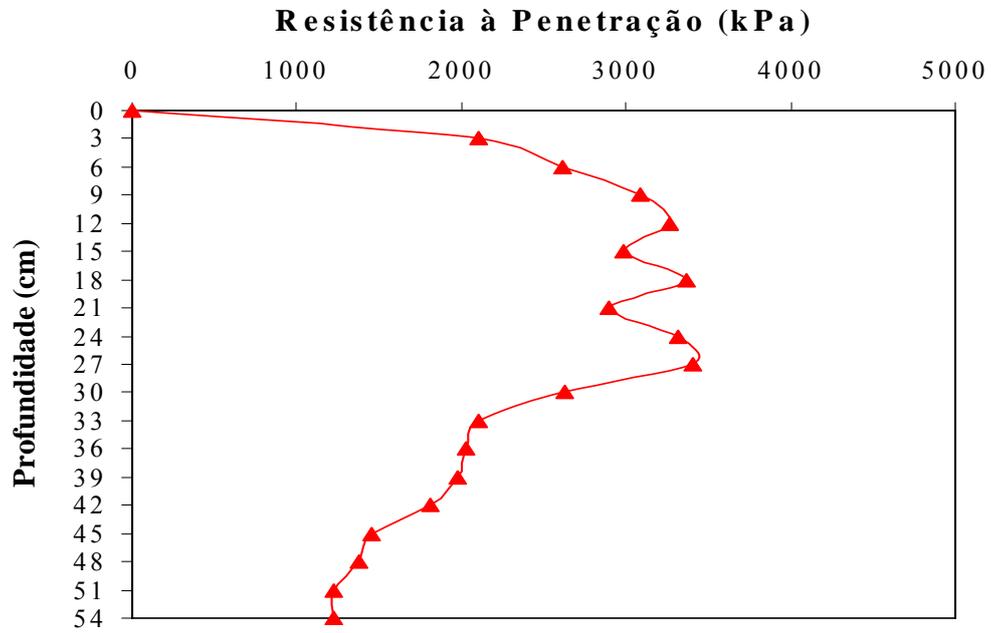
**APÊNDICE 13 – Valores médios da resistência à penetração e teor de água ( $\theta$ ), por etapa de trabalho durante os ensaios de desgaste das ponteiros – Solo 2.**

<b>Resistência à Penetração (kPa)</b>						
<b>Prof. (cm)</b>	<b>Etapa (h)</b>					<b>Média Solo 2</b>
	<b>6,0</b>	<b>7,0</b>	<b>8,0</b>	<b>9,0</b>	<b>10,0</b>	
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
3,0	1400,72	1400,72	1400,72	1963,78	1400,72	<b>1513,33</b>
6,0	2801,43	2801,43	2801,43	3927,56	2801,43	<b>3026,66</b>
9,0	3927,56	3927,56	2801,43	3176,81	2801,43	<b>3326,96</b>
12,0	3927,56	3927,56	3646,03	2801,43	2379,13	<b>3336,34</b>
15,0	2660,67	3927,56	2801,43	3927,56	2238,37	<b>3111,12</b>
18,0	2238,37	3927,56	2801,43	3927,56	2238,37	<b>3026,66</b>
21,0	2426,06	3927,56	3927,56	3927,56	2238,37	<b>3289,42</b>
24,0	3364,50	3927,56	2801,43	3927,56	3927,56	<b>3589,72</b>
27,0	3176,81	2660,67	2238,37	3927,56	3927,56	<b>3186,19</b>
30,0	2801,43	3927,56	2103,23	1900,53	2801,43	<b>2706,84</b>
33,0	2519,90	2801,43	1900,53	1900,53	2379,13	<b>2300,31</b>
36,0	2238,37	2801,43	1844,22	1984,99	2031,53	<b>2180,11</b>
39,0	2238,37	2801,43	1787,92	2238,37	1721,27	<b>2157,47</b>
42,0	2238,37	2379,13	1731,61	2238,37	1485,47	<b>2014,59</b>
45,0	3927,56	2238,37	1675,30	1900,53	1398,60	<b>2228,07</b>
48,0	2660,67	2134,95	1675,30	1997,05	1311,72	<b>1955,94</b>
51,0	2103,23	1824,69	1675,30	2069,45	1224,85	<b>1779,50</b>
54,0	1900,53	1514,43	1675,30	2141,84	1348,95	<b>1716,21</b>
<b><math>\theta</math> média (kg.kg<sup>-1</sup>)</b>	11,79	12,15	11,93	12,56	13,48	<b>12,38</b>

**APÊNDICE 14 – Gráfico representativo da resistência à penetração – Solo 2.**

**APÊNDICE 15 – Valores médios da resistência à penetração e teor de água ( $\theta$ ), por etapa de trabalho durante os ensaios de desgaste das ponteiros – Solo 3.**

Profundidade (cm)	Resistência à Penetração (kPa)		
	Etapa (h)		Média
	11,0	12,0	Solo 3
0,0	0,00	0,00	<b>0,00</b>
3,0	2101,07	2101,07	<b>2101,07</b>
6,0	2801,43	2426,06	<b>2613,74</b>
9,0	2801,43	3364,50	<b>3082,97</b>
12,0	3364,50	3176,81	<b>3270,65</b>
15,0	3176,81	2801,43	<b>2989,12</b>
18,0	2801,43	3927,56	<b>3364,50</b>
21,0	2519,90	3270,65	<b>2895,28</b>
24,0	3082,97	3552,19	<b>3317,58</b>
27,0	3082,97	3716,41	<b>3399,69</b>
30,0	2170,80	3082,97	<b>2626,88</b>
33,0	1968,10	2238,37	<b>2103,23</b>
36,0	1825,45	2238,37	<b>2031,91</b>
39,0	1712,84	2238,37	<b>1975,60</b>
42,0	1585,21	2035,66	<b>1810,44</b>
45,0	1450,08	1450,08	<b>1450,08</b>
48,0	1314,94	1427,55	<b>1371,25</b>
51,0	1224,85	1224,85	<b>1224,85</b>
54,0	1224,85	1224,85	<b>1224,85</b>
<b><math>\theta</math> média (kg.kg<sup>-1</sup>)</b>	13,68	14,44	<b>14,06</b>

**APÊNDICE 16 – Gráfico representativo da resistência à penetração – Solo 3.**

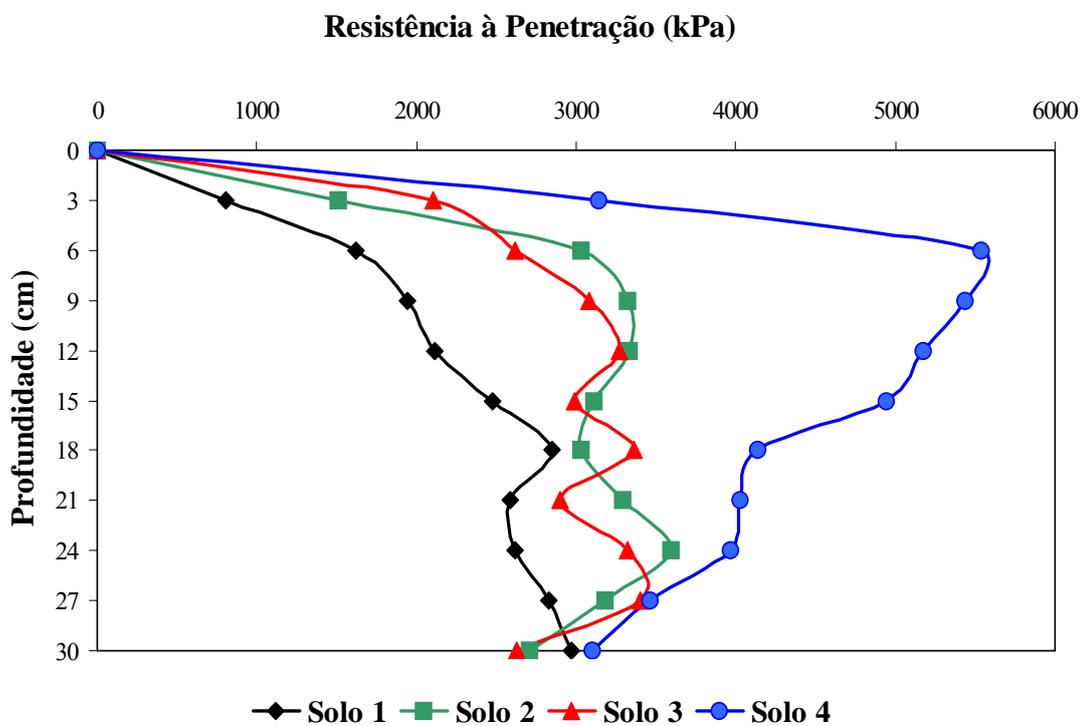
**APÊNDICE 17 – Planilha comparativa da resistência à penetração dos Solos 1, 2 e 3.**

<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Resistência à Penetração</b>		
	<b>(kPa)</b>		
	<b>Solo 1</b>	<b>Solo 2</b>	<b>Solo3</b>
0,0	0,00	0,00	0,00
3,0	807,91	1513,33	2101,07
6,0	1615,83	3026,66	2613,74
9,0	1938,07	3326,96	3082,97
12,0	2110,11	3336,34	3270,65
15,0	2476,11	3111,12	2989,12
18,0	2851,48	3026,66	3364,50
21,0	2590,28	3289,42	2895,28
24,0	2613,74	3589,72	3317,58
27,0	2832,71	3186,19	3399,69
30,0	2971,92	2706,84	2626,88
<b><math>\theta</math> média (kg.kg<sup>-1</sup>)</b>	8,22	12,38	14,06

**APÊNDICE 18 – Valores do índice da resistência à penetração e teor de água ( $\theta$ ) verificados na área utilizada para os ensaios de tração – Solo 4.**

Prof. (cm)	Resistência à Penetração (kPa)							
	Ensaio							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>0,0</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>3,0</b>	5479,47	2945,67	2945,67	2945,67	2101,07	5479,47	2101,07	2101,07
<b>6,0</b>	3927,56	5616,76	7305,95	3927,56	3364,50	7305,95	5616,76	5616,76
<b>9,0</b>	4772,16	7305,95	7305,95	5804,45	5616,76	7305,95	3927,56	5616,76
<b>12,0</b>	3927,56	3927,56	7305,95	7305,95	5804,45	7305,95	3927,56	3927,56
<b>15,0</b>	3927,56	7305,95	7305,95	4772,16	4209,10	7305,95	3176,81	5616,76
<b>18,0</b>	3927,56	3927,56	7305,95	3927,56	3927,56	7305,95	3927,56	3176,81
<b>21,0</b>	3176,81	6461,36	7305,95	3739,87	5616,76	7305,95	3505,26	3434,88
<b>24,0</b>	2441,07	3927,56	7305,95	2801,43	3927,56	7305,95	2238,37	2660,67
<b>27,0</b>	1971,85	4772,16	4772,16	3927,56	3927,56	7305,95	2707,59	2103,23
<b>30,0</b>	1787,92	3927,56	3927,56	3927,56	3176,81	7305,95	2801,43	1900,53
<b>33,0</b>	1764,45	3176,81	3927,56	3270,65	2503,61	7305,95	2379,13	2153,91
<b>36,0</b>	2097,60	2433,72	3927,56	3927,56	2056,88	6250,21	2613,74	2613,74
<b>39,0</b>	2613,74	1882,14	3716,89	5616,76	1610,15	5933,48	3646,03	2519,90
<b>42,0</b>	2801,43	1541,24	3429,61	3927,56	1163,43	5616,76	3927,56	2426,06
<b>45,0</b>	3434,88	1621,68	3314,70	2989,12	1249,80	5300,03	5804,45	2801,43
<b>48,0</b>	2660,67	1720,35	3199,79	2801,43	1336,18	4983,31	3364,50	2621,25
<b>51,0</b>	2238,37	1810,44	3123,18	3927,56	1393,77	4772,16	3505,26	2260,89
<b><math>\theta</math> média (kg.kg<sup>-1</sup>)</b>	14,36	12,82	10,99	12,69	12,91	12,74	13,42	13,17

Prof. (cm)	Resistência à Penetração (kPa)							Média Solo 4
	Ensaio							
	9	10	11	12	13	14	15	
<b>0,0</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>3,0</b>	2101,07	2945,67	5479,47	2945,67	1680,86	2945,67	2945,67	<b>3142,88</b>
<b>6,0</b>	3927,56	3927,56	7305,95	7305,95	3364,50	7305,95	7305,95	<b>5541,68</b>
<b>9,0</b>	5616,76	5616,76	3927,56	3927,56	5616,76	3505,26	5616,76	<b>5432,20</b>
<b>12,0</b>	5616,76	3927,56	5616,76	3927,56	3927,56	3927,56	7305,95	<b>5178,82</b>
<b>15,0</b>	7305,95	4561,01	3176,81	3927,56	2918,74	4772,16	3927,56	<b>4947,34</b>
<b>18,0</b>	5616,76	2660,67	2519,90	3927,56	2379,13	3552,19	3927,56	<b>4134,02</b>
<b>21,0</b>	3927,56	2238,37	2170,80	3270,65	2103,23	2660,67	3552,19	<b>4031,36</b>
<b>24,0</b>	3927,56	2238,37	1968,10	7305,95	1900,53	2238,37	7305,95	<b>3966,23</b>
<b>27,0</b>	3927,56	2191,45	2069,45	4772,16	1787,92	2238,37	3481,80	<b>3463,79</b>
<b>30,0</b>	3552,19	1956,84	2170,80	3927,56	1675,30	2103,23	2379,13	<b>3101,36</b>
<b>33,0</b>	2801,43	1792,61	1968,10	3927,56	1675,30	1934,31	2238,37	<b>2854,65</b>
<b>36,0</b>	2660,67	2097,60	1825,45	7305,95	1675,30	1900,53	2426,06	<b>3054,17</b>
<b>39,0</b>	2402,60	2238,37	1712,84	3833,72	1810,44	1984,99	2519,90	<b>2936,13</b>
<b>42,0</b>	2801,43	2238,37	1956,84	3552,19	2200,83	2238,37	2238,37	<b>2804,00</b>
<b>45,0</b>	3082,97	2238,37	3082,97	2801,43	2801,43	2238,37	2707,59	<b>3031,28</b>
<b>48,0</b>	3927,56	2801,43	3176,81	2801,43	2621,25	2238,37	2801,43	<b>2870,39</b>
<b>51,0</b>	7305,95	2801,43	2426,06	2801,43	2260,89	2238,37	2801,43	<b>3044,48</b>
<b>θ média (kg.kg<sup>-1</sup>)</b>	12,99	12,89	13,12	13,77	14,39	14,83	11,63	<b>13,11</b>

**APÊNDICE 19 – Gráfico comparativo da resistência à penetração – Solos 1, 2, 3 e 4.**

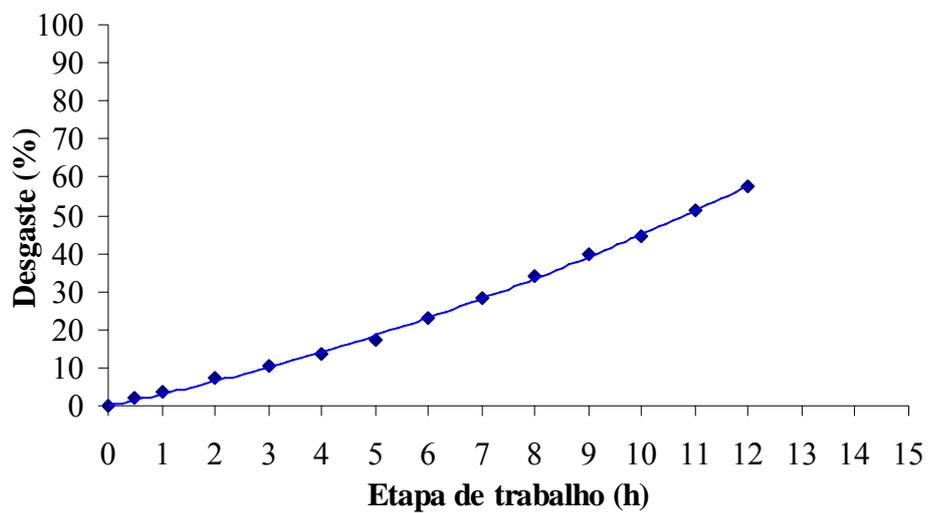
**APÊNDICE 20 – Evolução da perda de massa das ponteiros construídas em Aço SAE 1060, forjado, por etapa de trabalho.**

<b>PONTEIRAS DE AÇO SAE 1060</b>										
	<b>S2</b>		<b>S4</b>		<b>S7</b>		<b>S9</b>		<b>Média</b>	
	Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste	
Etapa	Peso	acumulado	Peso	acumulado	Peso	acumulado	Peso	acumulado	Peso	acumulado
(h)	(gr)	(gr)								
0,0	376,51		405,31		385,38		380,05		386,81	
0,5	370,80	5,71	397,89	7,42	377,22	8,16	371,69	8,36	379,40	7,41
1,0	365,94	10,57	391,54	13,77	370,17	15,21	364,39	15,66	373,01	13,80
2,0	350,50	26,01	379,33	25,98	354,79	30,59	351,25	28,80	358,97	27,85
3,0	338,87	37,64	367,11	38,20	340,56	44,82	339,09	40,96	346,41	40,41
4,0	325,72	50,79	355,47	49,84	329,87	55,51	328,38	51,67	334,86	51,95
5,0	310,25	66,26	341,64	63,67	313,78	71,60	312,31	67,74	319,50	67,32
6,0	286,40	90,11	323,37	81,94	292,67	92,71	291,74	88,31	298,55	88,27
7,0	265,12	111,39	306,34	98,97	272,45	112,93	267,64	112,41	277,89	108,93
8,0	238,86	137,65	281,95	123,36	253,71	131,67	243,21	136,84	254,43	132,38
9,0	217,44	159,07	263,31	142,00	235,15	150,23	221,05	159,00	234,24	152,58
10,0	198,00	178,51	246,94	158,37	213,58	171,80	203,42	176,63	215,49	171,33
11,0	165,94	210,57	223,40	181,91	190,28	195,10	177,82	202,23	189,36	197,45
12,0	140,72	235,79	200,89	204,42	164,34	221,04	149,84	230,21	163,95	222,87

**APÊNDICE 21 – Evolução do desgaste, em percentagem, das ponteiras construídas em Aço SAE 1060, forjado, por etapa de trabalho.**

<b>PONTEIRAS DE AÇO SAE 1060</b>										
	<b>S2</b>		<b>S4</b>		<b>S7</b>		<b>S9</b>		<b>Média</b>	
	Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste	
Etapa	Peso acumulado									
(h)	(gr)	(%)								
0,0	376,51		405,31		385,38		380,05		386,81	
0,5	370,80	1,52	397,89	1,83	377,22	2,12	371,69	2,20	379,40	1,92
1,0	365,94	2,81	391,54	3,40	370,17	3,95	364,39	4,12	373,01	3,57
2,0	350,50	6,91	379,33	6,41	354,79	7,94	351,25	7,58	358,97	7,21
3,0	338,87	10,00	367,11	9,42	340,56	11,63	339,09	10,78	346,41	10,46
4,0	325,72	13,49	355,47	12,30	329,87	14,40	328,38	13,60	334,86	13,45
5,0	310,25	17,60	341,64	15,71	313,78	18,58	312,31	17,82	319,50	17,43
6,0	286,40	23,93	323,37	20,22	292,67	24,06	291,74	23,24	298,55	22,86
7,0	265,12	29,58	306,34	24,42	272,45	29,30	267,64	29,58	277,89	28,22
8,0	238,86	36,56	281,95	30,44	253,71	34,17	243,21	36,01	254,43	34,29
9,0	217,44	42,25	263,31	35,03	235,15	38,98	221,05	41,84	234,24	39,53
10,0	198,00	47,41	246,94	39,07	213,58	44,58	203,42	46,48	215,49	44,39
11,0	165,94	55,93	223,40	44,88	190,28	50,63	177,82	53,21	189,36	51,16
12,0	140,72	62,63	200,89	50,44	164,34	57,36	149,84	60,57	163,95	57,75

**APÊNDICE 22 – Gráfico representativo da tendência de desgaste das ponteiros de Aço SAE 1060, forjado, em percentagem, em função das etapas de operação.**



Equação de ajuste  $D = 0,1649h^2 + 2,8657h$ ,

$$R^2 = 0,9988,$$

onde:

D = desgaste em percentagem;

h = horas trabalhadas

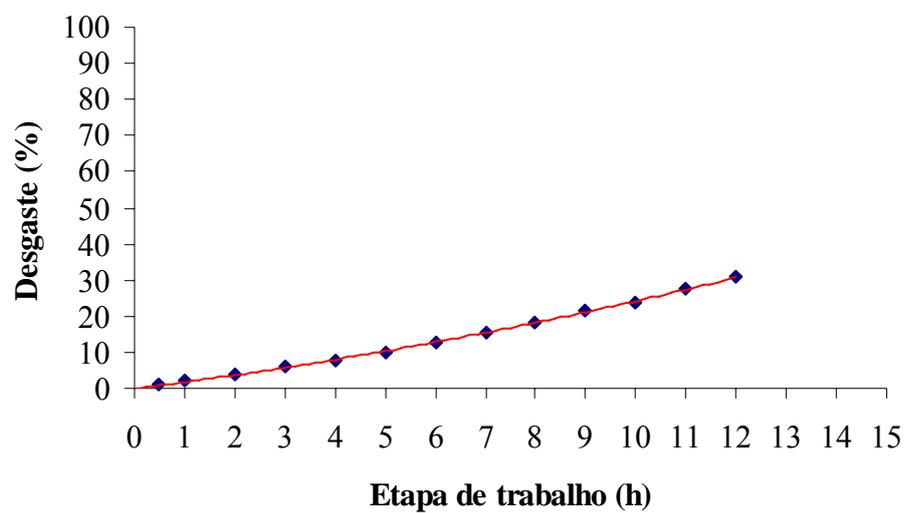
**APÊNDICE 23 – Evolução da perda de massa das ponteiras construídas em ADI, por etapa de trabalho.**

<b>PONTEIRAS DE ADI</b>										
	<b>A1</b>		<b>A3</b>		<b>A6</b>		<b>A8</b>		<b>Média</b>	
	Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste	
Etapa	Peso	acumulado	Peso	acumulado	Peso	acumulado	Peso	acumulado	Peso	acumulado
(h)	(gr)	(gr)								
0,0	477,92		485,59		482,45		482,11		482,02	
0,5	471,95	5,97	479,74	5,85	476,21	6,24	476,67	5,44	476,14	5,88
1,0	466,73	11,19	475,76	9,83	472,09	10,36	471,13	10,98	471,43	10,59
2,0	459,09	18,83	465,88	19,71	462,84	19,61	461,75	20,36	462,39	19,63
3,0	450,68	27,24	457,61	27,98	453,24	29,21	452,11	30,00	453,41	28,61
4,0	440,72	37,20	448,29	37,30	445,37	37,08	443,42	38,69	444,45	37,57
5,0	432,02	45,90	439,79	45,80	436,51	45,94	432,13	49,98	435,11	46,91
6,0	417,62	60,30	425,33	60,26	424,27	58,18	414,81	67,30	420,51	61,51
7,0	403,15	74,77	412,22	73,37	411,37	71,08	398,88	83,23	406,41	75,61
8,0	389,73	88,19	398,95	86,64	398,42	84,03	384,25	97,86	392,84	89,18
9,0	376,86	101,06	386,69	98,90	384,90	97,55	368,35	113,76	379,20	102,82
10,0	366,32	111,60	376,59	109,00	373,88	108,57	355,34	126,77	368,03	113,99
11,0	348,72	129,20	359,22	126,37	357,97	124,48	337,77	144,34	350,92	131,10
12,0	333,28	144,64	343,54	142,05	340,10	142,35	317,87	164,24	333,70	148,32

**APÊNDICE 24 – Evolução do desgaste, em percentagem, das ponteiros construídas em ADI, por etapa de trabalho.**

<b>PONTEIRAS DE ADI</b>										
Etapa	<b>A1</b>		<b>A3</b>		<b>A6</b>		<b>A8</b>		<b>Média</b>	
	Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste	
	Peso acumulado		Peso acumulado		Peso acumulado		Peso acumulado		Peso acumulado	
(h)	(gr)	(%)								
0,0	477,92		485,59		482,45		482,11		482,02	
0,5	471,95	1,25	479,74	1,20	476,21	1,29	476,67	1,13	476,14	1,22
1,0	466,73	2,34	475,76	2,02	472,09	2,15	471,13	2,28	471,43	2,20
2,0	459,09	3,94	465,88	4,06	462,84	4,06	461,75	4,22	462,39	4,07
3,0	450,68	5,70	457,61	5,76	453,24	6,05	452,11	6,22	453,41	5,93
4,0	440,72	7,78	448,29	7,68	445,37	7,69	443,42	8,03	444,45	7,79
5,0	432,02	9,60	439,79	9,43	436,51	9,52	432,13	10,37	435,11	9,73
6,0	417,62	12,62	425,33	12,41	424,27	12,06	414,81	13,96	420,51	12,76
7,0	403,15	15,64	412,22	15,11	411,37	14,73	398,88	17,26	406,41	15,69
8,0	389,73	18,45	398,95	17,84	398,42	17,42	384,25	20,30	392,84	18,50
9,0	376,86	21,15	386,69	20,37	384,90	20,22	368,35	23,60	379,20	21,33
10,0	366,32	23,35	376,59	22,45	373,88	22,50	355,34	26,29	368,03	23,65
11,0	348,72	27,38	359,22	26,34	357,97	26,14	337,77	30,28	350,92	27,53
12,0	333,28	30,26	343,54	29,25	340,10	29,51	317,87	34,07	333,70	30,77

**APÊNDICE 25 – Gráfico representativo da tendência de desgaste das ferramentas de ADI, em percentagem, em função das etapas de operação.**



Equação de ajuste  $D = 0,0701h^2 + 1,7181h$ ,

$$R^2 = 0,9988,$$

onde:

D = desgaste em percentagem;

h = horas trabalhadas

**APÊNDICE 26 – Cálculo e análise estatística do desgaste, em massa, das ponteiros construídas em Aço SAE 1060, forjado.**

Etapa	Desgaste Parcial/hora (gr)				Desgaste Médio das Ponteiros	Medida de Dispersão em relação à Média	Variância	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (CV)
	S2	S4	S7	S9					
0,0									
0,5	5,71	7,42	8,16	8,36					
1,0	10,57	13,77	15,21	15,66	13,8025	0,3390	0,1149		
2,0	15,44	12,21	15,38	13,14	14,0425	0,5790	0,3352		
3,0	11,63	12,22	14,23	12,16	12,5600	-0,9035	0,8163		
4,0	13,15	11,64	10,69	10,71	11,5475	-1,9160	3,6711		
5,0	15,47	13,83	16,09	16,07	15,3650	1,9015	3,6157		
					13,4635	0,0000	2,1383	1,4623	0,10861
6,0	23,85	18,27	21,11	20,57	20,9500	0,1480	0,0219		
7,0	21,28	17,03	20,22	24,10	20,6575	-0,1445	0,0209		
8,0	26,26	24,39	18,74	24,43	23,4550	2,6530	7,0384		
9,0	21,42	18,64	18,56	22,16	20,1950	-0,6070	0,3684		
10,0	19,44	16,37	21,57	17,63	18,7525	-2,0495	4,2005	1,7066	0,08204
					20,8020	0,0000	2,9125		
11,0	32,06	23,54	23,30	25,60	26,1250	0,3562	0,1269		
12,0	25,22	22,51	25,94	27,98	25,4125	-0,3562	0,1269		
					25,7688	0,0000	0,2538	0,5038	0,01955

**APÊNDICE 27 – Cálculo e análise estatística do desgaste, em massa, das ponteiros construídas em ADI.**

Etapa	Desgaste Parcial/hora (gr)				Desgaste Médio das Ponteiros	Medida de Dispersão em relação à Média	Variância	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (CV)
	A1	A3	A6	A8					
0,0									
0,5	5,97	5,85	6,24	5,44					
1,0	11,19	9,83	10,36	10,98	10,5900	1,2090	1,4617		
2,0	7,64	9,88	9,25	9,38	9,0375	-0,3435	0,1180		
3,0	8,41	8,27	9,60	9,64	8,9800	-0,4010	0,1608		
4,0	9,96	9,32	7,87	8,69	8,9600	-0,4210	0,1772		
5,0	8,70	8,5	8,86	11,29	9,3375	-0,0435	0,0019		
					9,3810	0,0000	0,4799	0,6927	0,0738
6,0	14,40	14,46	12,24	17,32	14,6050	1,1890	1,4137		
7,0	14,47	13,11	12,90	15,93	14,1025	0,6865	0,4713		
8,0	13,42	13,27	12,95	14,63	13,5675	0,1515	0,0230		
9,0	12,87	12,26	13,52	15,90	13,6375	0,2215	0,0491		
10,0	10,54	10,10	11,02	13,01	11,1675	-2,2485	5,0558		
					13,4160	0,0000	1,7532	1,3241	0,0987
11,0	17,60	17,37	15,91	17,57	17,1125	-0,0550	0,0030		
12,0	15,44	15,68	17,87	19,90	17,2225	0,0550	0,0030		
					17,1675	0,0000	0,0061	0,0778	0,0045

**APÊNDICE 28 – Análise de variância do desgaste percentual da massa das ponteiros de Aço SAE 1060, forjado e ADI.**

<b>Anova: fator único alfa = 0,01</b>								
Grupo		Contagem	Soma	Média	Variância			
<b>Etapa – 3,0h</b>	SAE 1060	4	41,83	10,46	0,92			
SAE 1060	ADI	4	23,73	5,93	0,06			
10,00	5,70							
9,42	5,76	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
11,63	6,05	Entre grupos	40,95	1	40,95	83,44	9,68E-05	13,75
10,78	6,22	Dentro dos grupos	2,94	6	0,49			
		Total	43,89	7				

<b>Anova: fator único alfa = 0,01</b>								
Grupo		Contagem	Soma	Média	Variância			
<b>Etapa – 6,0h</b>	SAE 1060	4	91,45	22,86	3,23			
SAE1060	ADI	4	51,05	12,76	0,69			
23,93	12,62							
20,22	12,41	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
24,06	12,06	Entre grupos	204,02	1	204,02	103,99	5,18E-05	13,74
23,24	13,96	Dentro dos grupos	11,77	6	1,96			
		Total	215,79	7				

<b>Anova: fator único alfa = 0,01</b>								
Grupo		Contagem	Soma	Média	Variância			
<b>Etapa – 10,0h</b>	SAE 1060	4	177,54	44,38	13,94			
SAE1060	ADI	4	94,58	23,64	3,28			
47,41	23,35							
39,07	22,44	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
44,58	22,50	Entre grupos	860,29	1	860,29	99,89	5,81E-05	13,74
46,48	26,29	Dentro dos grupos	51,67	6	8,61			
		Total	911,96	7				

<b>Anova: fator único alfa = 0,01</b>								
Grupo		Contagem	Soma	Média	Variância			
<b>Etapa – 12,0h</b>	SAE 1060	4	231	57,75	28,45			
SAE1060	ADI	4	123,09	30,77	5,01			
62,63	30,26							
50,44	29,25	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
57,36	29,51	Entre grupos	1455,57	1	1455,57	86,98	8,61E-05	13,74
60,57	34,07	Dentro dos grupos	100,40	6	16,73			
		Total	1555,97	7				

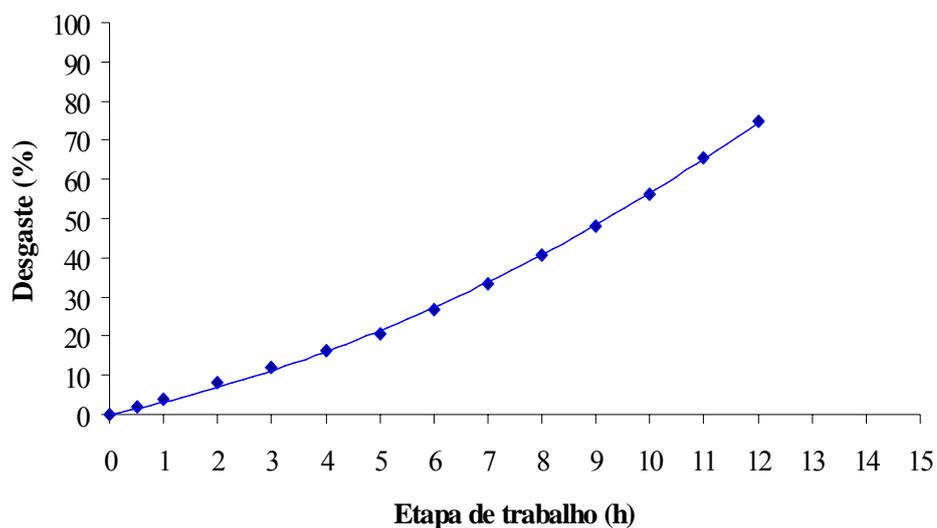
**APÊNDICE 29 – Evolução do desgaste da área frontal das ponteiras construídas em Aço SAE 1060, forjado, por etapa de trabalho.**

<b>PONTEIRAS DE AÇO SAE 1060, FORJADO</b>										
	<b>S2</b>		<b>S4</b>		<b>S7</b>		<b>S9</b>		<b>Média</b>	
	Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste	
Etapa	Área	Desgaste								
(h)	(mm <sup>2</sup> )									
0,0	1120,5		1122,3		1126,7		1129,2		1124,7	0,00
0,5	1098,7	21,8	1100,5	21,8	1104,6	22,1	1106,6	22,6	1102,6	22,1
1,0	1077,2	43,3	1077,6	44,7	1080,8	45,9	1083,3	45,9	1079,7	45,0
2,0	1031,1	89,4	1031,5	90,8	1034,3	92,4	1037,4	91,8	1033,6	91,1
3,0	987,9	132,6	986,6	135,7	987,8	138,9	989,2	140,0	987,9	136,8
4,0	941,7	178,8	941,1	181,2	942,7	184,0	943,1	186,1	942,2	182,5
5,0	895,1	225,4	896,2	226,1	895,1	231,6	895,9	233,3	895,6	229,1
6,0	822,5	298,0	823,7	298,6	823,2	303,5	824,4	304,8	823,5	301,2
7,0	749,3	371,2	749,9	372,4	750,4	376,3	751,3	377,9	750,2	374,5
8,0	667,5	453,0	666,8	455,5	667,3	459,4	668,5	460,7	667,5	457,2
9,0	583,3	537,2	581,3	541,0	582,7	544,0	582,9	546,3	582,6	542,1
10,0	491,1	629,4	490,6	631,7	491,3	635,4	492,4	636,8	491,4	633,3
11,0	388,2	732,3	389,1	733,2	388,5	738,2	388,9	740,3	388,7	736,0
12,0	279,9	840,6	285,2	837,1	283,1	843,6	284,1	845,1	283,1	841,6

**APÊNDICE 30 – Evolução do desgaste da área frontal, em percentagem, das ponteiras construídas em Aço SAE 1060, forjado, por etapa de trabalho.**

<b>PONTEIRAS DE AÇO SAE 1060, FORJADO</b>										
Etapa	<b>S2</b>		<b>S4</b>		<b>S7</b>		<b>S9</b>		<b>Média</b>	
	Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste	
	Área	acumulado								
(h)	(mm <sup>2</sup> )	(%)								
0,0	1120,5		1122,3		1126,7		1129,2		1124,7	0,00
0,5	1098,7	1,95	1100,5	1,94	1104,6	1,96	1106,6	2,00	1102,6	1,96
1,0	1077,2	3,86	1077,6	3,98	1080,8	4,07	1083,3	4,06	1079,7	4,00
2,0	1031,1	7,98	1031,5	8,09	1034,3	8,20	1037,4	8,13	1033,6	8,10
3,0	987,9	11,83	986,6	12,09	987,8	12,33	989,2	12,40	987,9	12,16
4,0	941,7	15,96	941,1	16,15	942,7	16,33	943,1	16,48	942,2	16,23
5,0	895,1	20,12	896,2	20,15	895,1	20,56	895,9	20,66	895,6	20,37
6,0	822,5	26,60	823,7	26,61	823,2	26,94	824,4	26,99	823,5	26,78
7,0	749,3	33,13	749,9	33,18	750,4	33,40	751,3	33,47	750,2	33,29
8,0	667,5	40,43	666,8	40,59	667,3	40,77	668,5	40,80	667,5	40,65
9,0	583,3	47,94	581,3	48,20	582,7	48,28	582,9	48,38	582,6	48,20
10,0	491,1	56,17	490,6	56,29	491,3	56,39	492,4	56,39	491,4	56,31
11,0	388,2	65,35	389,1	65,33	388,5	65,52	388,9	65,56	388,7	65,44
12,0	279,9	75,02	285,2	74,59	283,1	74,87	284,1	74,84	283,1	74,83

**APÊNDICE 31 – Gráfico representativo da tendência de desgaste da área frontal das ponteiros de Aço SAE 1060, forjado, em percentagem, em função das etapas de trabalho.**



Equação de ajuste:  $D = 0,2775h^2 + 2,8755h$

$$R^2 = 0,9993$$

onde:

D = desgaste em percentagem;

h = horas trabalhadas.

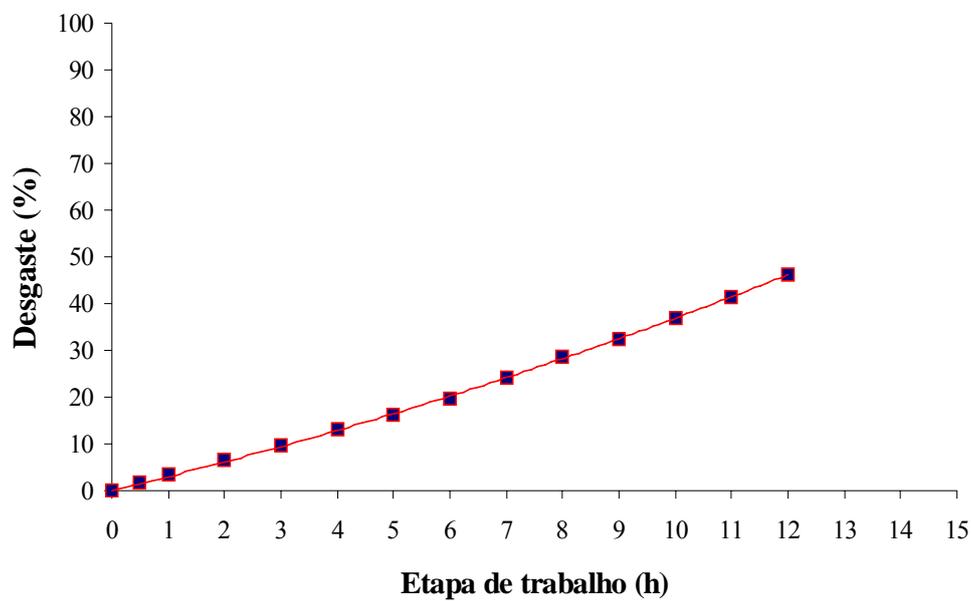
**APÊNDICE 32 – Evolução do desgaste da área frontal das ponteiros construídas em ADI, por etapa de trabalho.**

<b>PONTEIRAS DE ADI</b>										
Etapa	<b>A1</b>		<b>A3</b>		<b>A6</b>		<b>A8</b>		<b>Média</b>	
	Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste	
	Área									
(h)	(mm <sup>2</sup> )									
0,0	1024,8		1030,1		1028,1		1027,6		1027,7	
0,5	1007,6	17,2	1012,3	17,8	1011,7	16,4	1010,8	16,80	1010,6	17,0
1,0	990,5	34,3	995,2	34,9	994,6	33,5	993,9	33,70	993,6	34,1
2,0	956,8	68,0	961,4	68,7	964,3	63,8	965,6	62,00	962,0	65,6
3,0	923,1	101,7	927,1	103	927,4	100,7	932,3	95,30	927,5	100,2
4,0	887,2	137,6	894,1	136	896,3	131,8	896,8	130,80	893,6	134,1
5,0	862,9	161,9	863,2	166,9	860,2	167,9	863,5	164,10	862,5	165,2
6,0	824,4	200,4	828,8	201,3	822,3	205,8	822,1	205,50	824,4	203,3
7,0	783,2	241,6	782,1	248	781,1	247,0	777,3	250,30	780,9	246,7
8,0	742,1	282,7	726,7	303,4	736,9	291,2	733,2	294,40	734,7	292,9
9,0	699,1	325,7	682,8	347,3	696,7	331,4	693,5	334,10	693,0	334,6
10,0	655,4	369,4	644,3	385,8	649,1	379,0	645,1	382,50	648,5	379,2
11,0	606,6	418,2	599,3	430,8	608,5	419,6	589,6	438,00	601,0	426,7
12,0	556,4	468,4	557,8	472,3	561,1	467,0	539,1	488,50	553,6	474,1

**APÊNDICE 33 – Evolução do desgaste da área frontal, em percentagem, das ponteiros construídas em ADI, por etapa de trabalho.**

<b>PONTEIRAS DE ADI</b>										
Etapa	<b>A1</b>		<b>A3</b>		<b>A6</b>		<b>A8</b>		<b>Média</b>	
	Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste		Desgaste	
	Área	acumulado								
(h)	(mm <sup>2</sup> )	(%)								
0,0	1024,8		1030,1		1028,1		1027,6		1027,7	0,00
0,5	1007,6	1,68	1012,3	1,73	1011,7	1,60	1010,8	1,63	1010,6	1,66
1,0	990,5	3,35	995,2	3,39	994,6	3,26	993,9	3,28	993,6	3,32
2,0	956,8	6,64	961,4	6,67	964,3	6,21	965,6	6,03	962,0	6,39
3,0	923,1	9,92	927,1	10,00	927,4	9,79	932,3	9,27	927,5	9,75
4,0	887,2	13,43	894,1	13,20	896,3	12,82	896,8	12,73	893,6	13,04
5,0	862,9	15,80	863,2	16,20	860,2	16,33	863,5	15,97	862,5	16,08
6,0	824,4	19,56	828,8	19,54	822,3	20,02	822,1	20,00	824,4	19,78
7,0	783,2	23,58	782,1	24,08	781,1	24,02	777,3	24,36	780,9	24,01
8,0	742,1	27,59	726,7	29,45	736,9	28,32	733,2	28,65	734,7	28,50
9,0	699,1	31,78	682,8	33,72	696,7	32,23	693,5	32,51	693,0	32,56
10,0	655,4	36,05	644,3	37,45	649,1	36,86	645,1	37,22	648,5	36,90
11,0	606,6	40,81	599,3	41,82	608,5	40,81	589,6	42,62	601,0	41,52
12,0	556,4	45,71	557,8	45,85	561,1	45,42	539,1	47,54	553,6	46,13

**APÊNDICE 34 – Gráfico representativo da tendência de desgaste da área frontal das ponteiros de ADI, em percentagem, em função das etapas de trabalho.**



Equação de ajuste  $D = 0,0789h^2 + 2,90031h$ ,

$$R^2 = 0,9997,$$

onde:

D = desgaste em percentagem;

h = horas trabalhadas.

**APÊNDICE 35 – Cálculo e análise estatística do desgaste da área frontal das ponteiros construídas em Aço SAE, 1060, forjado.**

Etapa	Desgaste Parcial/hora (mm <sup>2</sup> )				Desgaste Médio das Ponteiros	Medida de Dispersão em relação à Média	Variância	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (CV)
	S2	S4	S7	S9					
0,0									
0,5	21,8	21,8	22,1	22,6					
1,0	43,3	44,7	45,9	45,9	44,950	-0,870	0,757		
2,0	46,1	46,1	46,5	45,9	46,150	0,330	0,109		
3,0	43,2	44,9	46,5	48,2	45,700	-0,120	0,014		
4,0	46,2	45,5	45,1	46,1	45,725	-0,095	0,009		
5,0	46,6	44,9	47,6	47,2	46,575	0,755	0,570		
					45,820	0,000	0,365	0,604	0,013
6,0	72,6	72,5	71,9	71,5	72,125	-8,720	76,038		
7,0	73,2	73,8	72,8	73,1	73,225	-7,620	58,064		
8,0	81,8	83,1	83,1	82,8	82,700	1,855	3,441		
9,0	84,2	85,5	84,6	85,6	84,975	4,130	17,057		
10,0	92,2	90,7	91,4	90,5	91,200	10,355	107,226		0,100
					80,845	0,000	65,457	8,091	
11,0	102,9	101,5	102,8	103,5	102,675	-1,462	2,139		
12,0	108,3	103,9	105,4	104,8	105,600	1,462	2,139		
					104,138	0,000	4,278	2,068	0,020

**APÊNDICE 36 – Cálculo e análise estatística do desgaste da área frontal das ponteiros construídas em ADI.**

Etapa	Desgaste Parcial/hora (mm <sup>2</sup> )				Desgaste Médio das Ponteiros	Medida de Dispersão em relação à Média	Variância	Desvio Padrão	Coeficiente Variação (CV)
	A1	A3	A6	A8					
0,0									
0,5	17,20	17,80	16,40	16,80					
1,0	34,30	34,90	33,50	33,70	34,1000	1,0600	1,1236		
2,0	33,70	33,80	30,30	28,30	31,5250	-1,5150	2,2952		
3,0	33,70	34,30	36,90	33,30	34,5500	1,5100	2,2801		
4,0	35,90	33,00	31,10	35,50	33,8750	0,8350	0,6972		
5,0	24,30	30,90	36,10	33,30	31,1500	-1,8900	3,5721		
					33,0400	0,0000	2,4921	1,5786	0,0478
6,0	38,50	34,40	37,90	41,40	38,0500	-4,7450	22,5150		
7,0	41,20	46,70	41,20	44,80	43,4750	0,6800	0,4624		
8,0	41,10	55,40	44,20	44,10	46,2000	3,4050	11,5940		
9,0	43,00	43,90	40,20	39,70	41,7000	-1,0950	1,1990		
10,0	43,70	38,50	47,60	48,40	44,5500	1,7550	3,0800		
					42,7950	0,0000	9,7126	3,1165	0,0728
11,0	48,80	45,00	40,60	55,50	47,4750	0,0375	0,0014		
12,0	50,20	41,50	47,40	50,50	47,4000	-0,0375	0,0014		
					47,4375	0,0000	0,0028	0,0530	0,0011

**APÊNDICE 37 – Análise de variância do desgaste percentual frontal das ponteiros de Aço SAE 1060, forjado e ADI.**

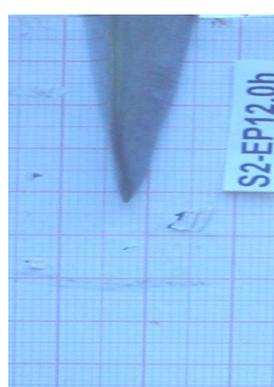
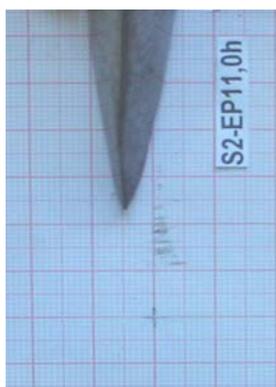
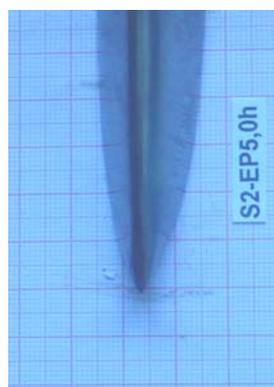
<b>Anova: fator único alfa = 0,01</b>								
Grupo		Contagem	Soma	Média	Variância			
<b>Etapa – 3,0h</b>	SAE 1060	4	48,65	12,16	0,07			
SAE1060	ADI	4	38,98	9,74	0,11			
11,83	9,92							
12,09	10,00	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
12,33	9,79	Entre grupos	11,69	1	11,69	133,95	2,5E-05	13,74
12,40	9,27	Dentro dos grupos	0,52	6	0,09			
		Total	12,21	7				

<b>Anova: fator único alfa = 0,01</b>								
Grupo		Contagem	Soma	Média	Variância			
<b>Etapa – 6,0h</b>	SAE 1060	4	107,14	26,78	0,04			
SAE1060	ADI	4	79,12	19,78	0,07			
26,60	19,56							
26,61	19,54	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
26,94	20,02	Entre grupos	98,14	1	98,14	1717,24	1,32E-08	13,74
26,99	20,00	Dentro dos grupos	0,34	6	0,06			
		Total	98,48	7				

<b>Anova: fator único alfa = 0,01</b>								
Grupo		Contagem	Soma	Média	Variância			
<b>Etapa – 10,0h</b>	SAE 1060	4	225,24	56,31	0,01			
SAE1060	ADI	4	147,58	36,89	0,38			
56,17	36,05							
56,29	37,45	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
56,39	36,86	Entre grupos	753,88	1	753,88	3893,69	1,14E-09	13,74
56,39	37,22	Dentro dos grupos	1,16	6	0,19			
		Total	755,04	7				

<b>Anova: fator único alfa = 0,01</b>								
Grupo		Contagem	Soma	Média	Variância			
<b>Etapa – 12,0h</b>	SAE 1060	4	299,32	74,83	0,03			
SAE1060	ADI	4	184,52	46,13	0,92			
75,02	45,71							
74,59	45,85	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
74,87	45,42	Entre grupos	1647,38	1	1647,38	3477,44	1,6E-09	13,74
74,84	47,54	Dentro dos grupos	2,84	6	0,47			
		Total	1650,22	7				

**APÊNDICE 38 – Exemplo da seqüência do desgaste frontal de uma ponteira de Aço SAE 1060, forjado (S2), após 12 horas de trabalho.**



**APÊNDICE 39 – Exemplo da seqüência do desgaste lateral de uma ponteira de Aço SAE 1060, forjado (S2), após 12 horas de trabalho.**



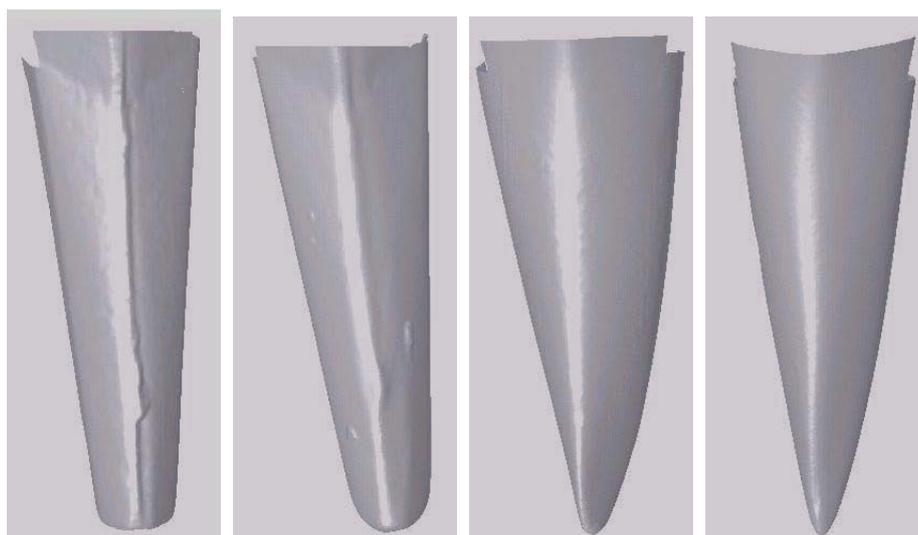
**APÊNDICE 40 – Exemplo da seqüência do desgaste frontal de uma ponteira de ADI (A1), após 12 horas de trabalho.**



**APÊNDICE 41 – Exemplo da seqüência do desgaste lateral de uma ponteira de ADI (A1), após 12 horas de trabalho.**



**APÊNDICE 42 – Exemplo da seqüência do desgaste frontal da ponteira em ADI (A3), obtida através digitalização 3D.**

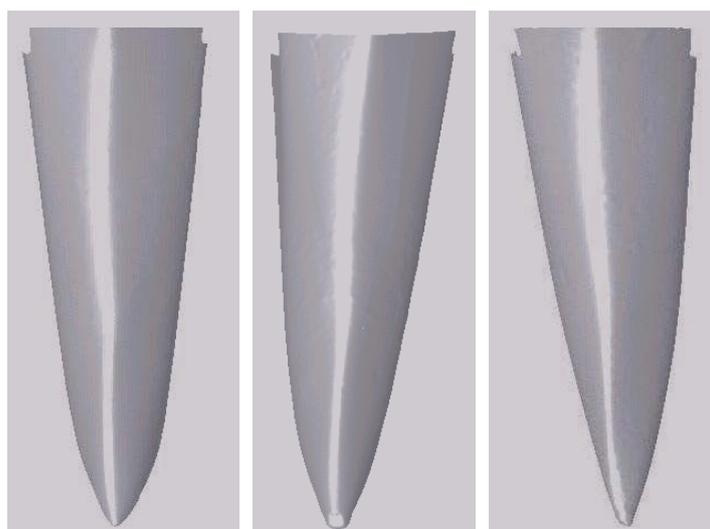


**Etapa 0,0h**

**Etapa 2,0h**

**Etapa 4,0h**

**Etapa 5,0h**



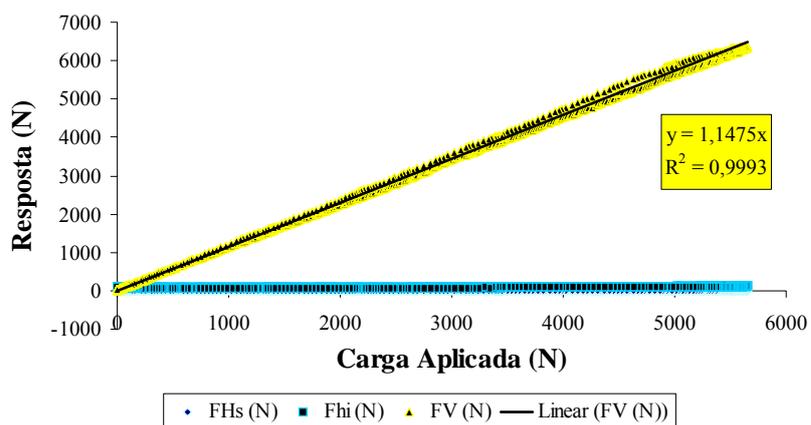
**Etapa 6,0h**

**Etapa 8,0h**

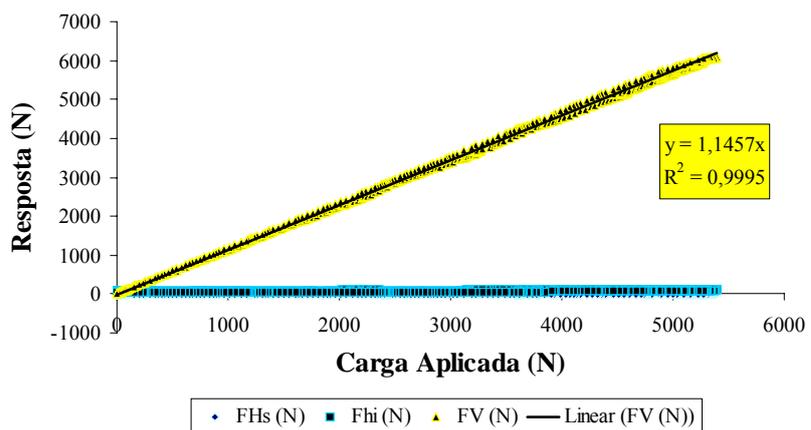
**Etapa 9,0h**

**APÊNDICE 43 – Gráficos referentes aos dados dos arquivos obtidos nos ensaios de calibração do canal vertical – Ensaios 1, 2.**

**Calibração Canal Vertical (Ensaio 1)**

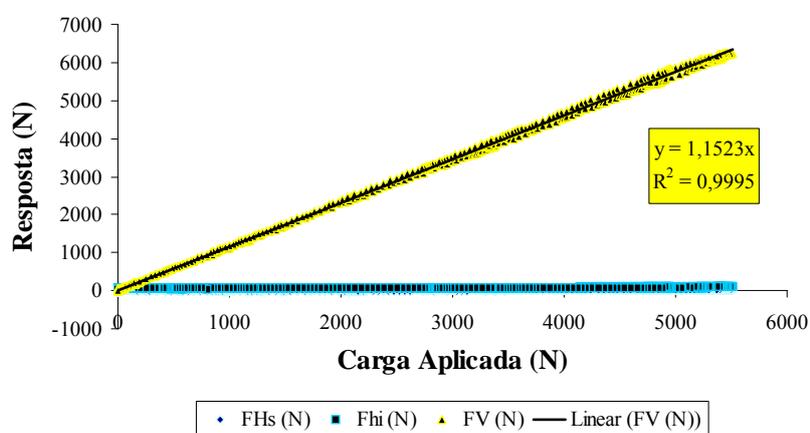


**Calibração Canal Vertical (Ensaio 2)**

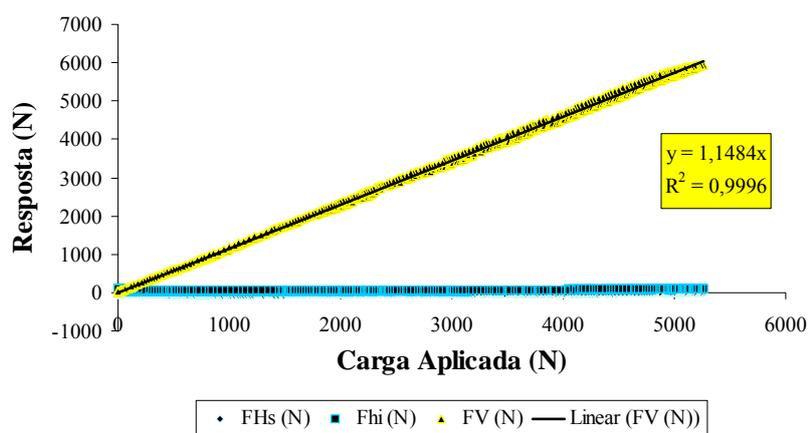


**APÊNDICE 44 – Gráficos referentes aos dados dos arquivos obtidos nos ensaios de calibração do canal vertical – Ensaios 3, 4 e 5.**

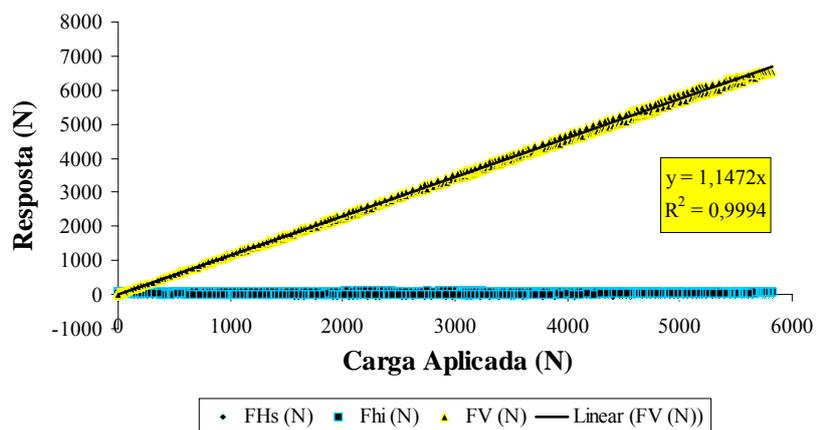
**Calibração Canal Vertical (Ensaio 3)**



**Calibração Canal Vertical (Ensaio 4)**

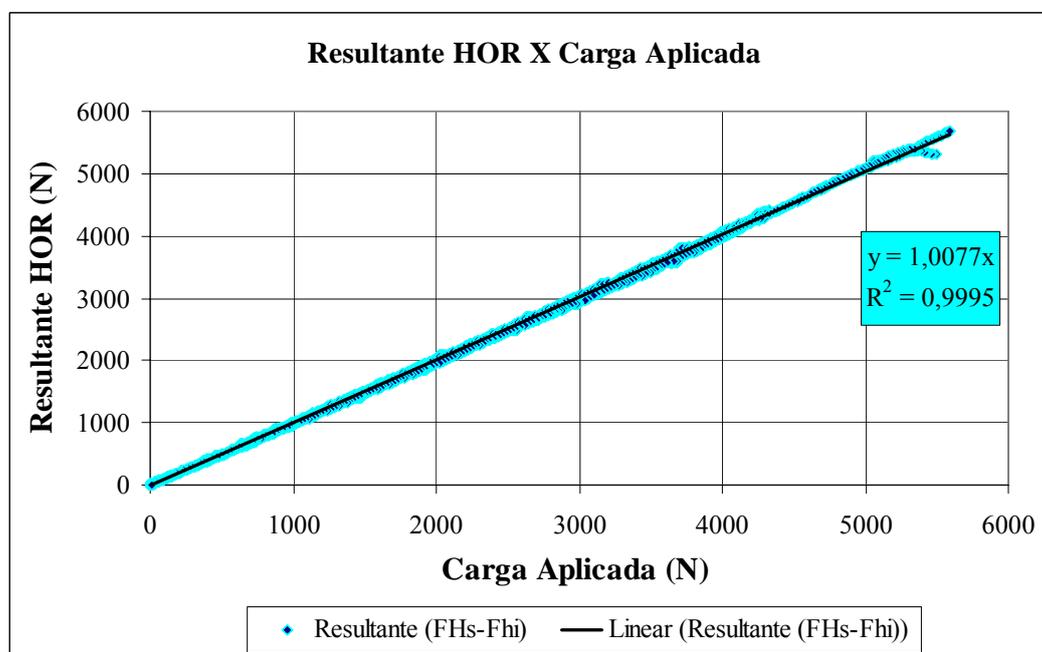
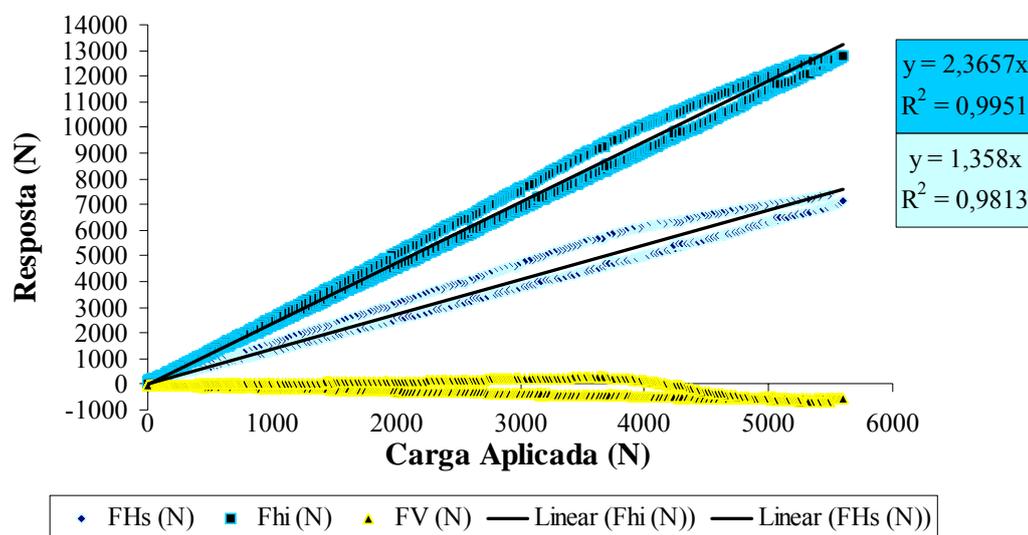


**Calibração Canal Vertical (Ensaio 5)**



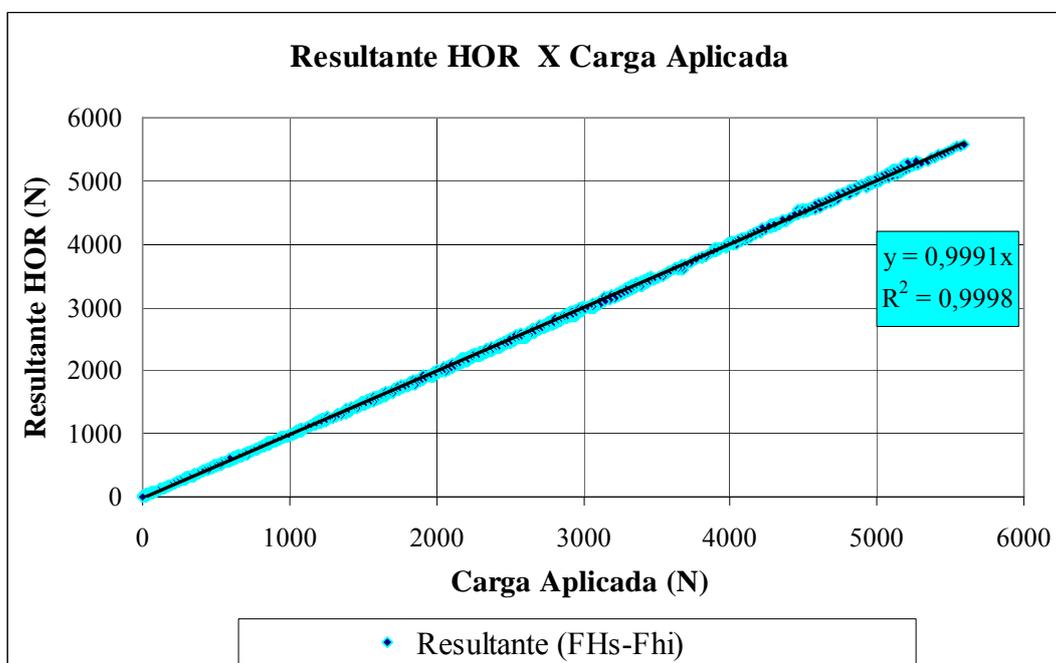
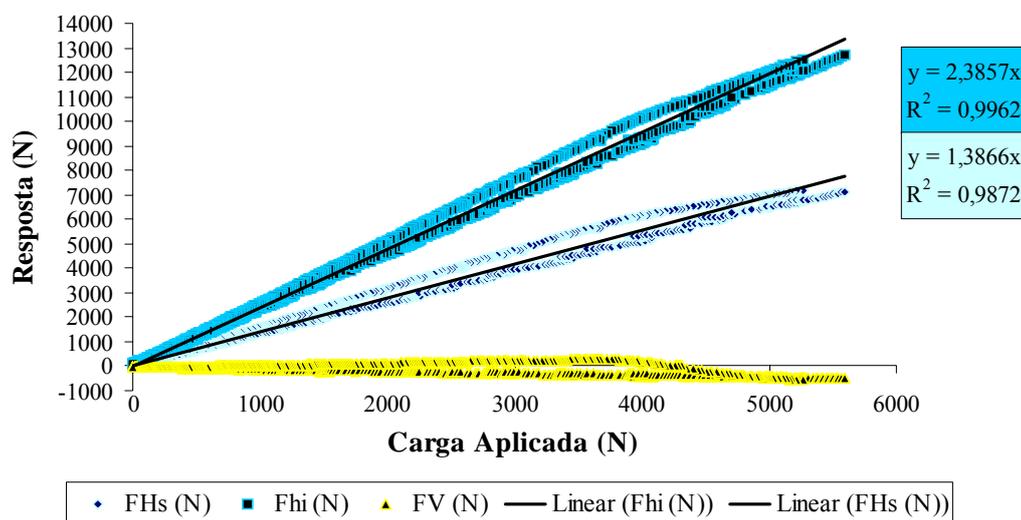
**APÊNDICE 45 – Gráficos referentes aos dados do arquivo obtido no ensaio de calibração dos canais horizontais – Ensaio 6.**

**Calibração Canais Horizontais (Ensaio 6)**



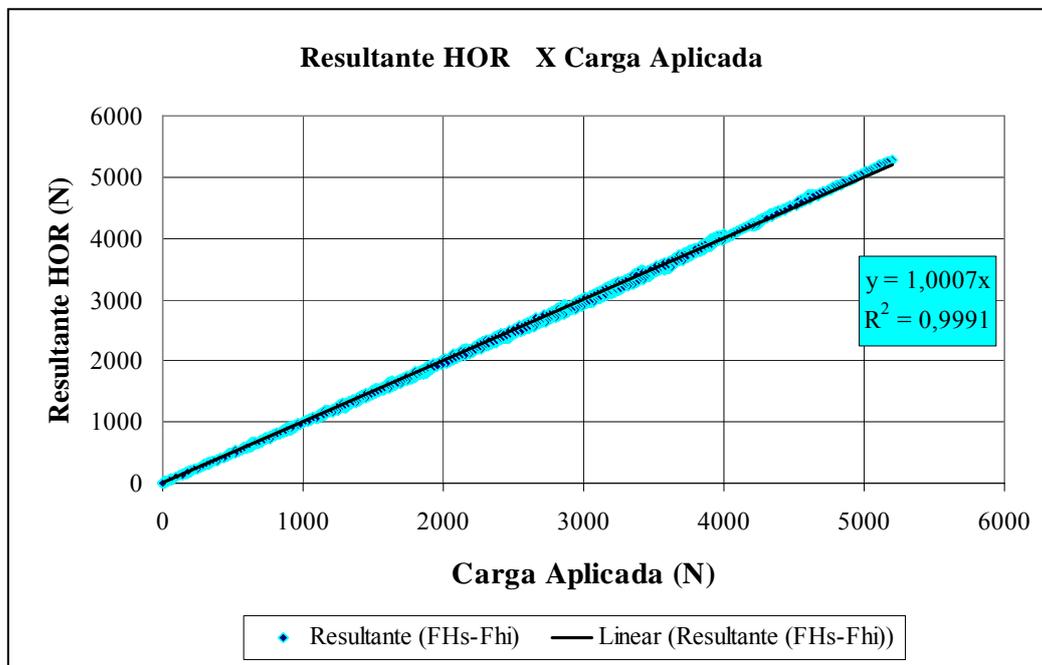
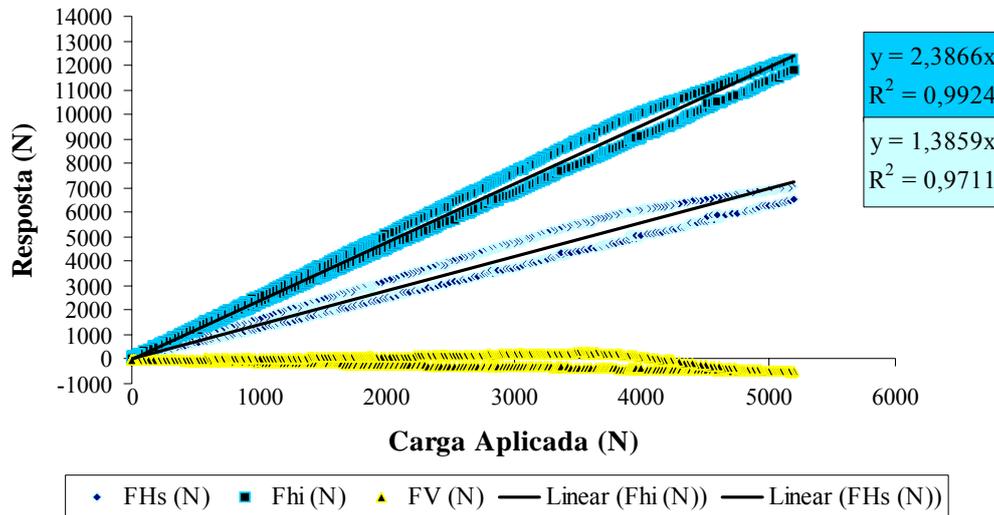
**APÊNDICE 46 – Gráficos referentes aos dados do arquivo obtido no ensaio de calibração dos canais horizontais – Ensaio 7.**

**Calibração Canais Horizontais (Ensaio 7)**



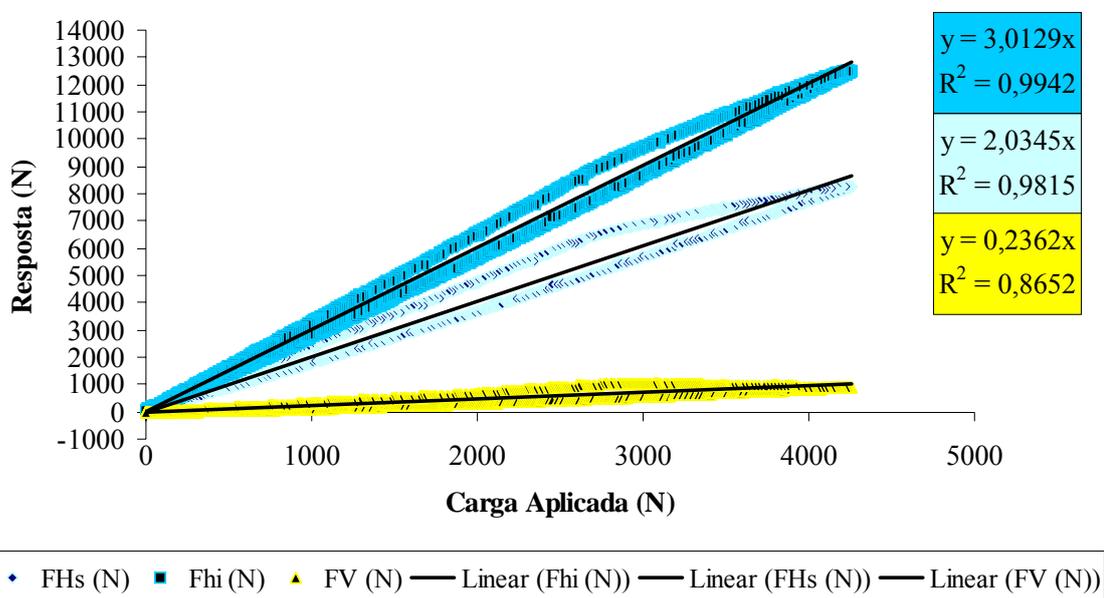
**APÊNDICE 47 – Gráficos referentes aos dados do arquivo obtido no ensaio de calibração dos canais horizontais – Ensaio 8.**

**Calibração Canais Horizontais (Ensaio 8)**

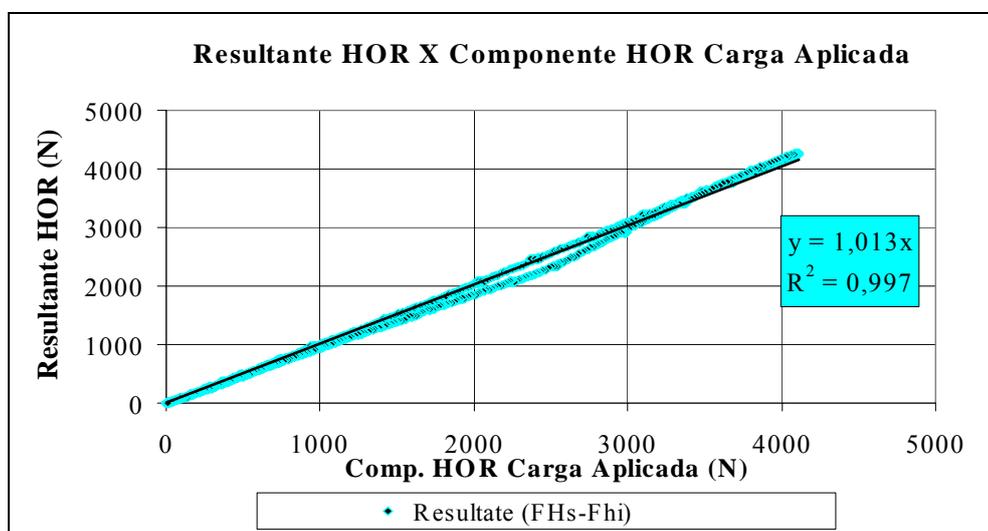
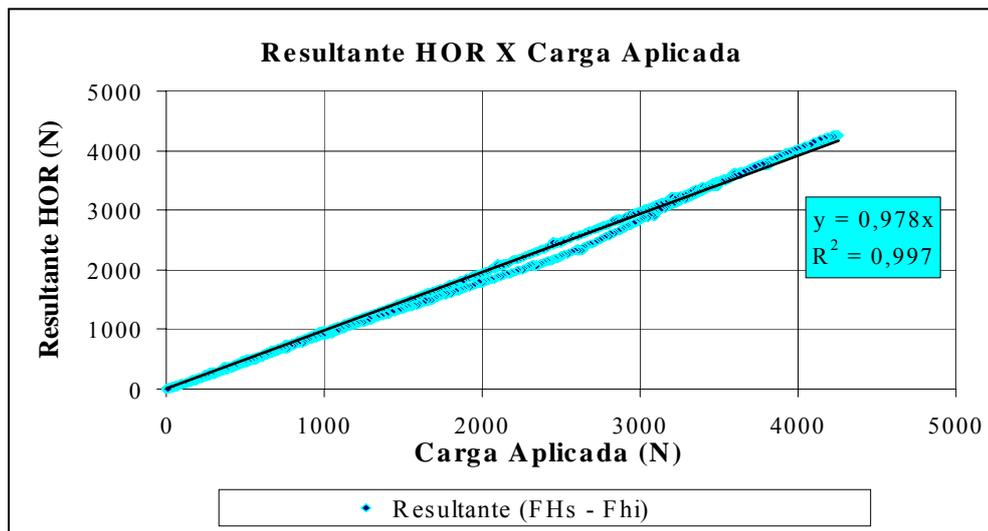
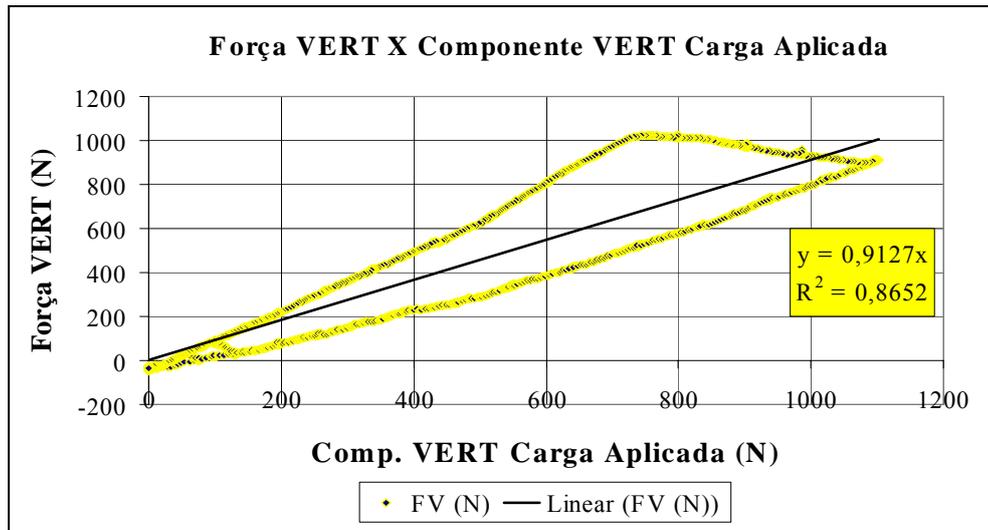


**APÊNDICE 48 – Gráfico referente aos dados do arquivo obtido no ensaio de calibração dos canais horizontais e vertical (dispositivo de medição na posição de operação no campo – inclinação 15°) – Ensaio 9.**

**Calibração Canais Horizontais e Vertical (Ensaio 9)**

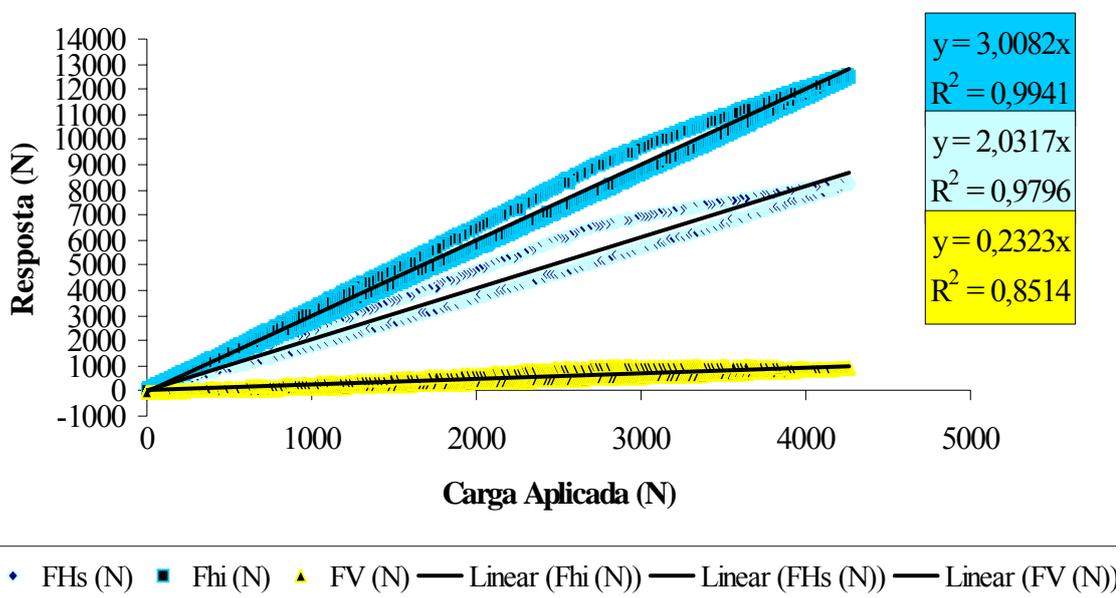


APÊNDICE 49 – Gráficos das resultantes das forças horizontais e vertical - Ensaio 9.

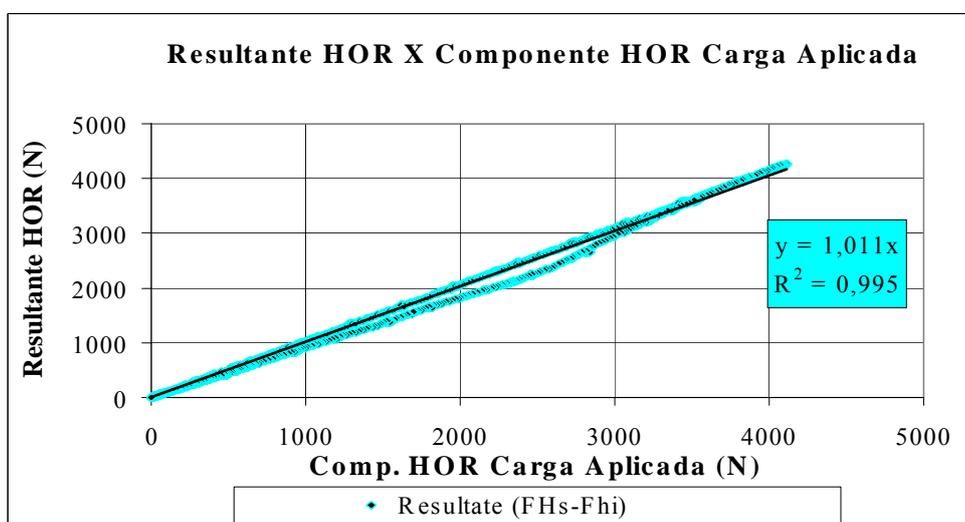
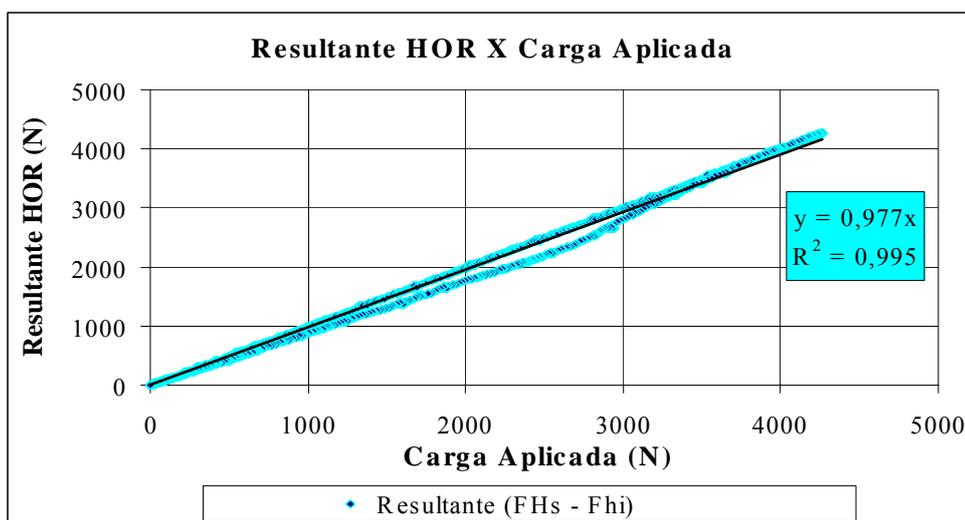
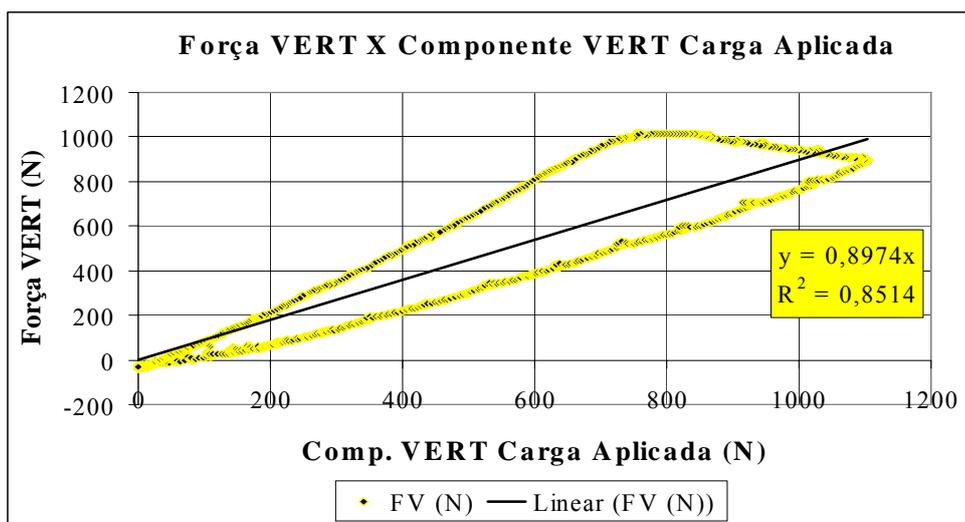


**APÊNDICE 50 – Gráfico referente aos dados do arquivo obtidos no ensaio de calibração dos canais horizontais e vertical (dispositivo de medição na posição de operação no campo – inclinação 15°) – Ensaio 10.**

**Calibração Canais Horizontais e Vertical (Ensaio 10)**

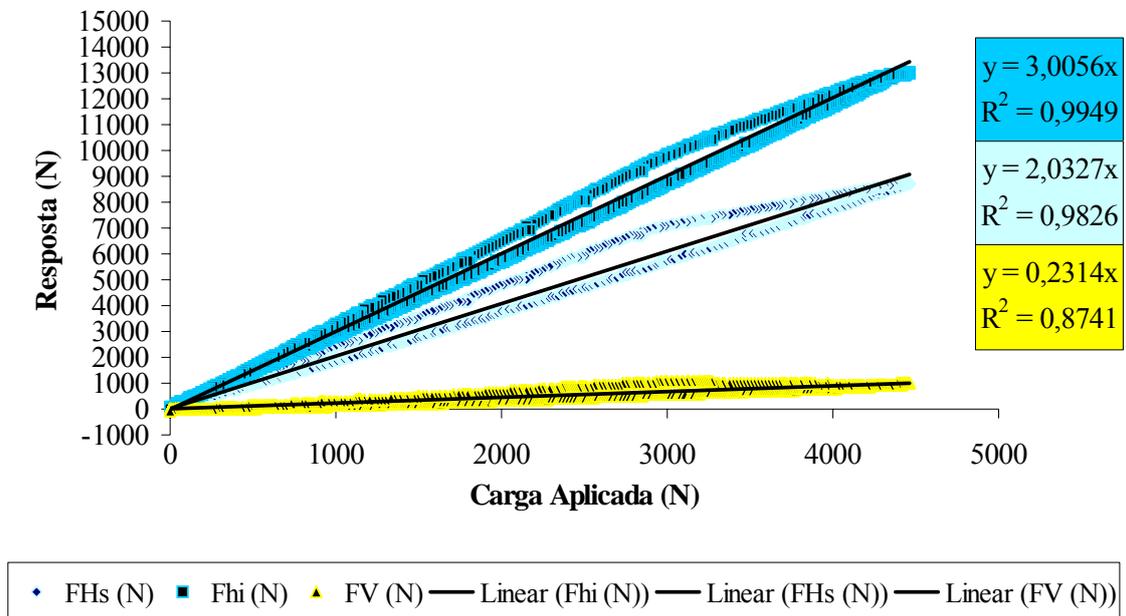


APÊNDICE 51 – Gráficos das resultantes das forças horizontais e vertical – Ensaio 10.

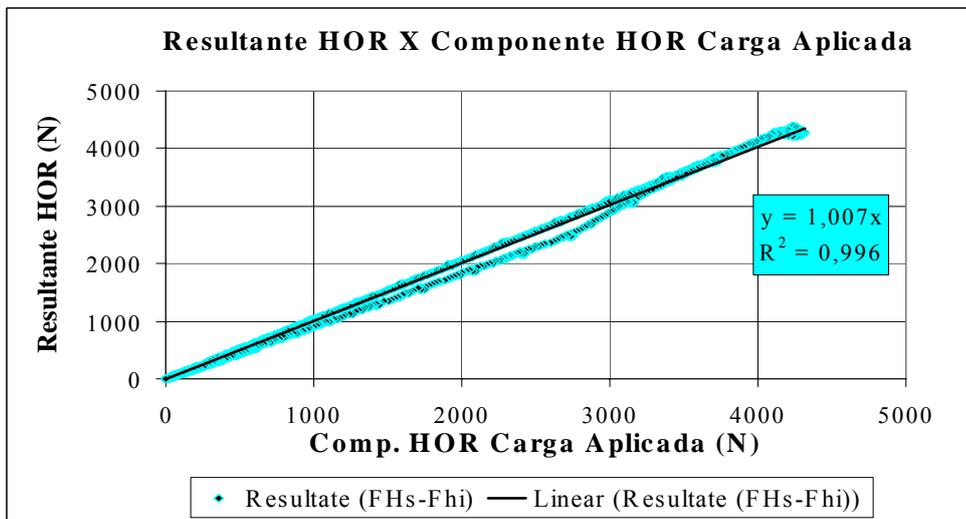
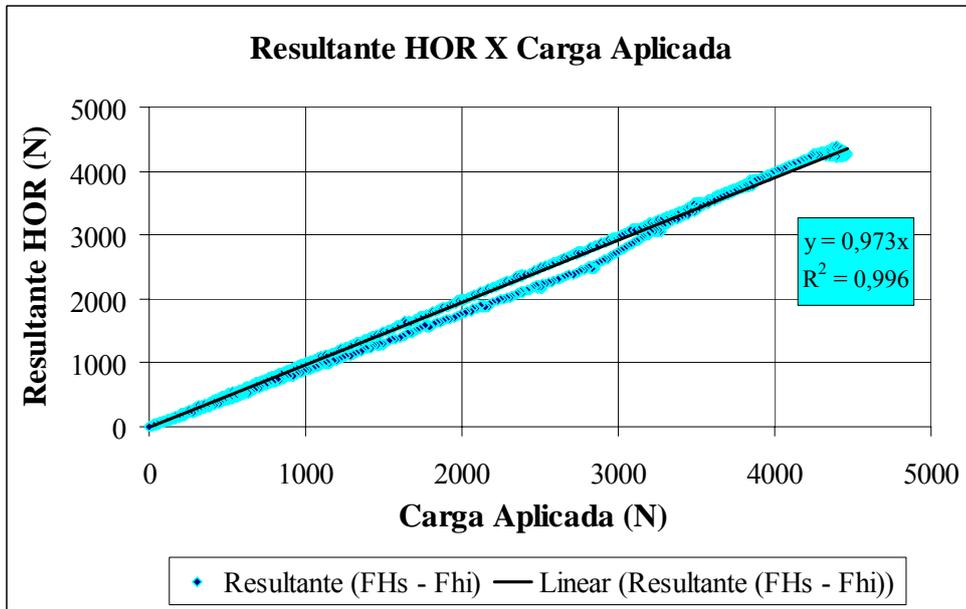
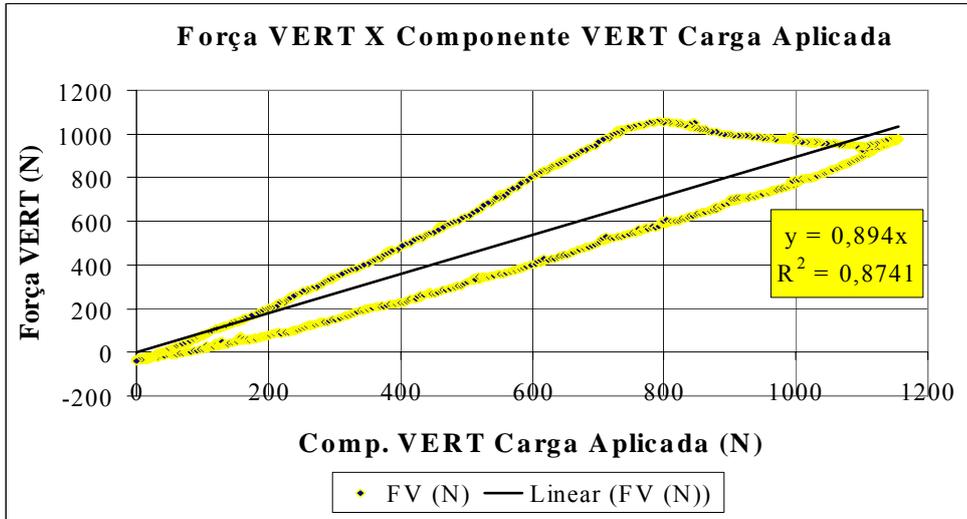


**APÊNDICE 52 – Gráfico referente aos dados do arquivo obtido no ensaio de calibração dos canais horizontais e vertical (dispositivo de medição na posição de operação no campo – inclinação 15°) – Ensaio 11.**

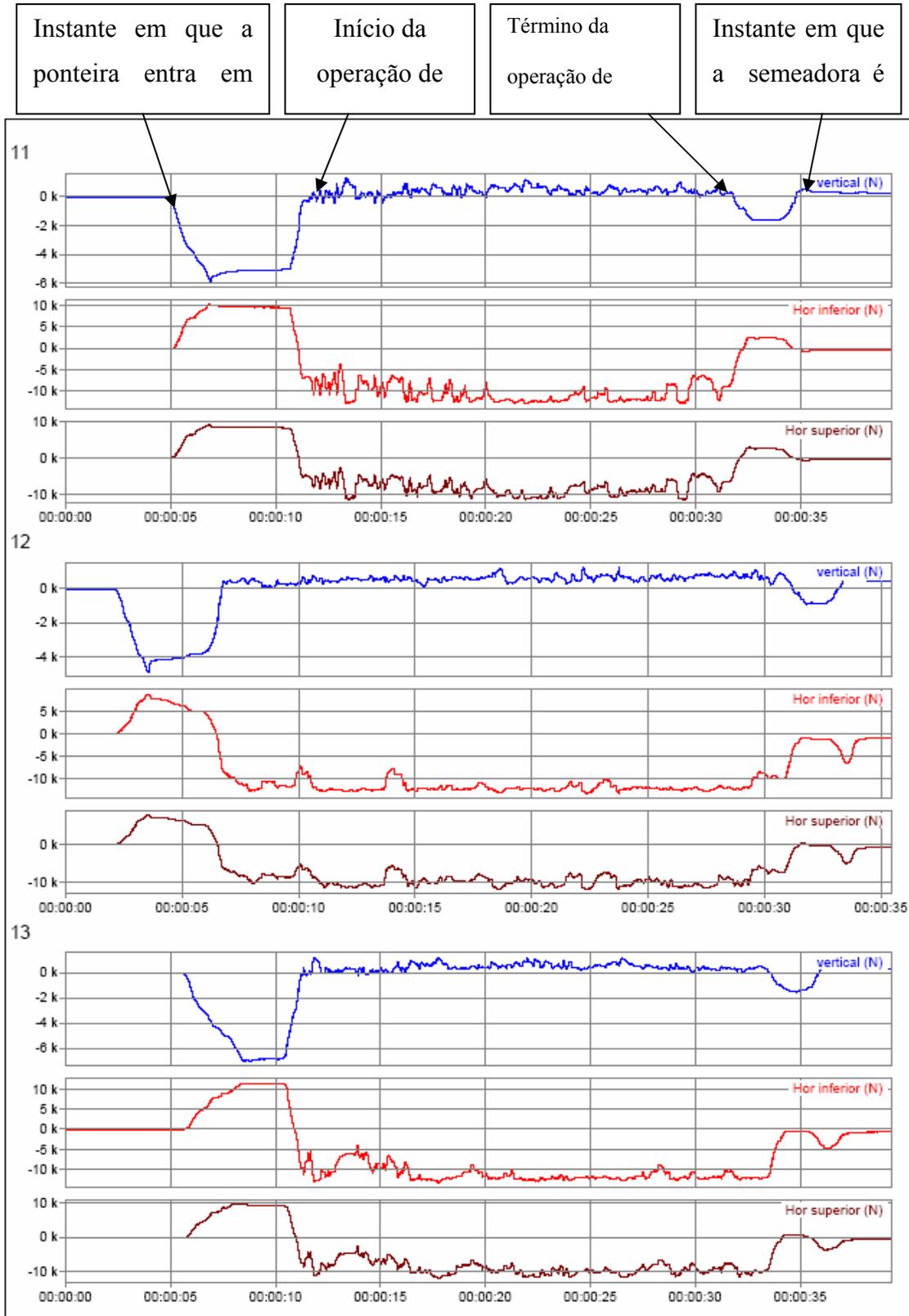
**Calibração Canais Horizontais e Vertical (Ensaio 11)**



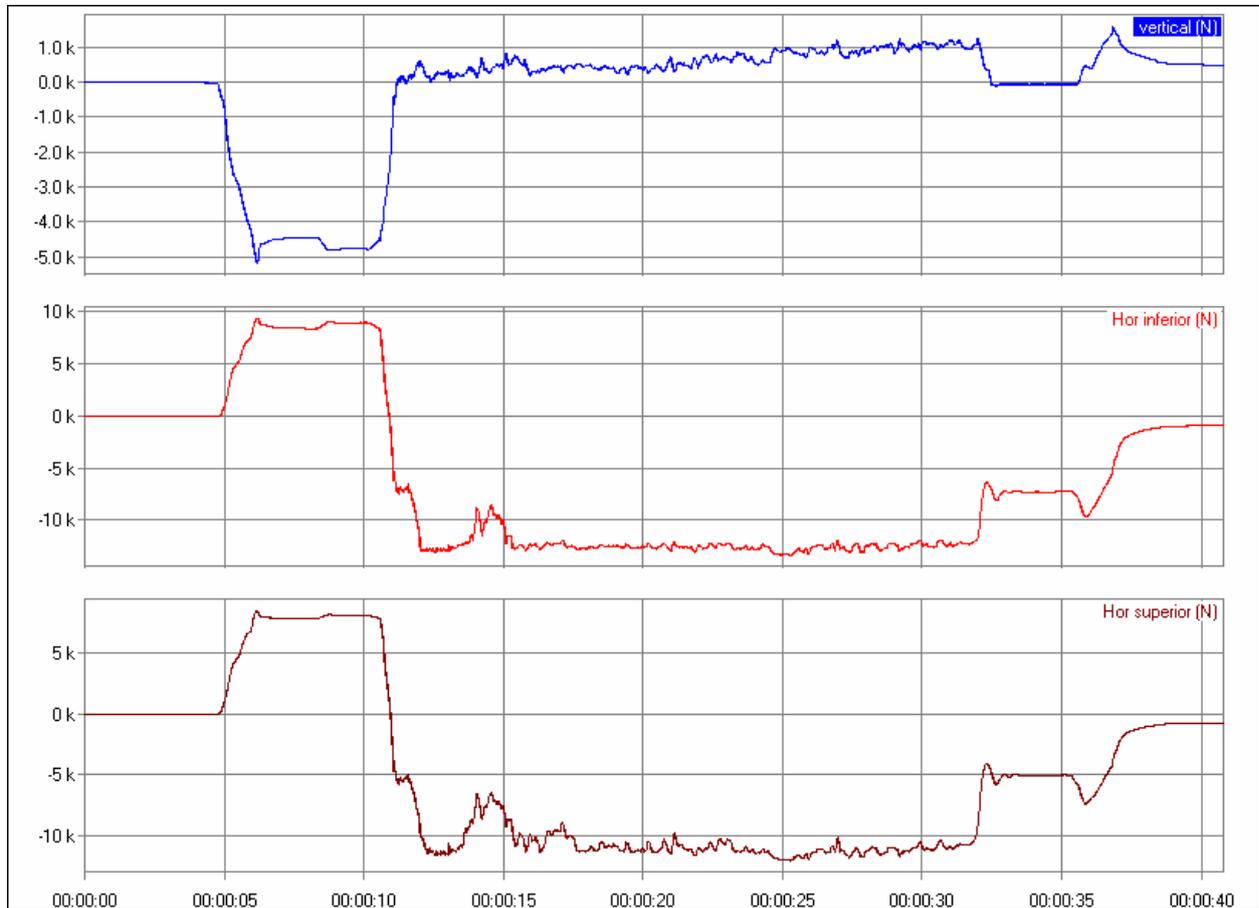
APÊNDICE 53 – Gráficos das resultantes das forças horizontais e vertical – Ensaio 11.



**APÊNDICE 54 – Registro da medição das forças atuantes nas células de carga do dispositivo de medição de esforços, em três repetições realizadas durante uma etapa de ensaio.**



**APÊNDICE 55 – Registros da medição dos ensaios de tração, em três repetições, com a ponteira sulcadora em seu estado original – Registro Gráfico 01**

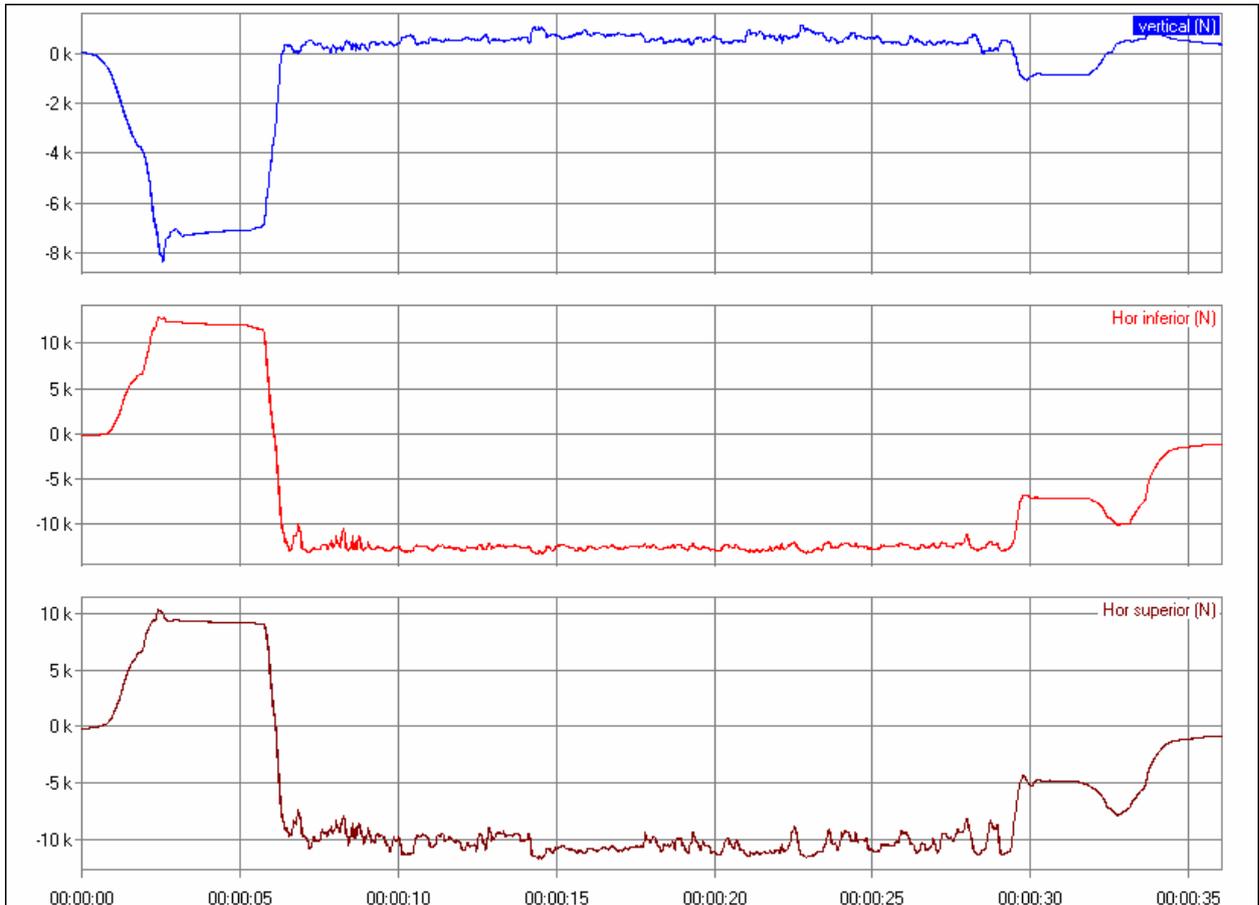


**Registro gráfico 01**

**APÊNDICE 56 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 01 – Ponteira original.**

Arquivo 01			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
15 a 30		12565,8	10930,8
Total = 15s	643,5	RH = 1635,1	

**APÊNDICE 57 – Registros da medição dos ensaios de tração, em três repetições, com a ponteira sulcadora em seu estado original – Registro Gráfico 02**

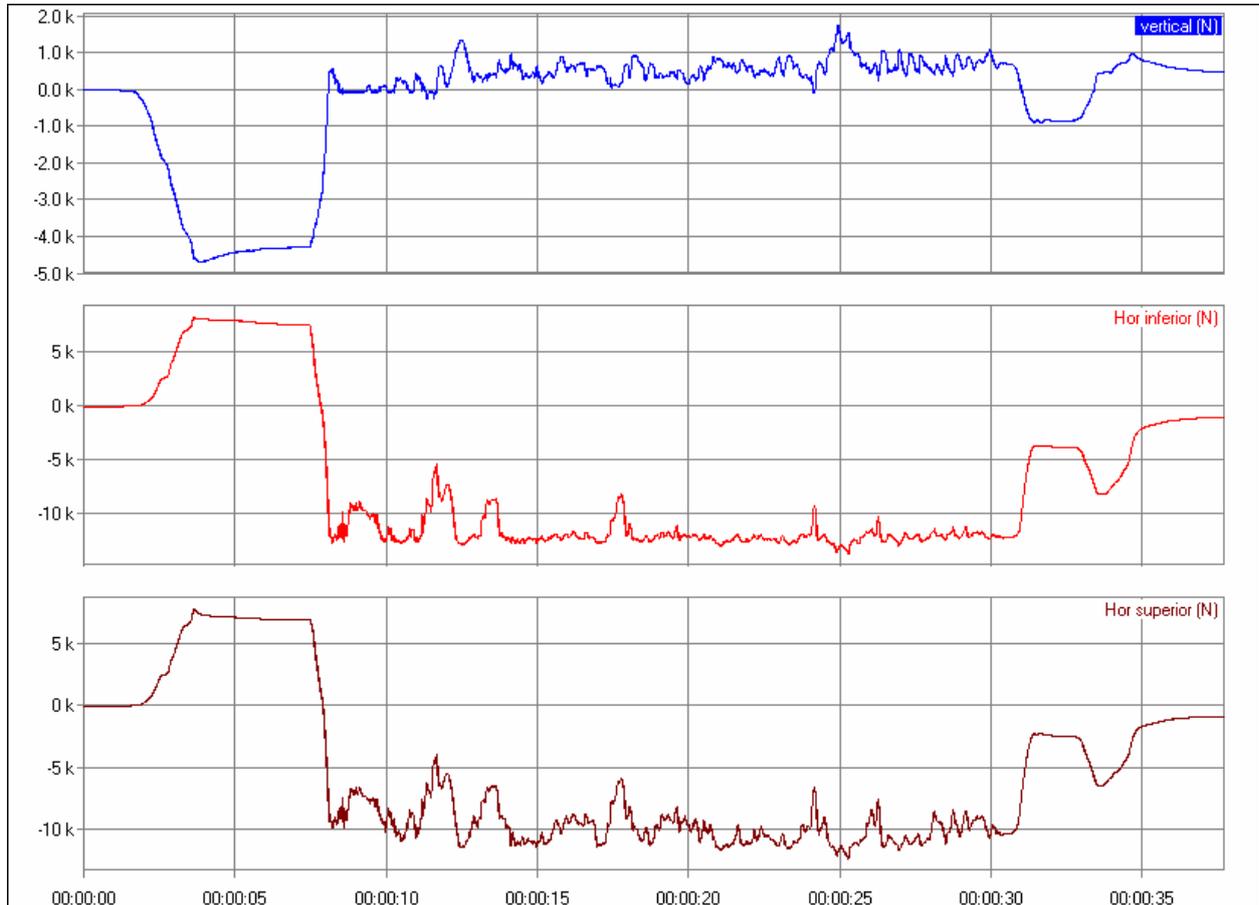


**Registro gráfico 02**

**APÊNDICE 58– Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 02 – Ponteira original**

Arquivo 02			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
10 a 25		12575,6	10574,7
Total = 15s	633,7	RH = 2000,9	

**APÊNDICE 59 – Registros da medição dos ensaios de tração, em três repetições, com a ponteira sulcadora em seu estado original – Registro Gráfico 03**

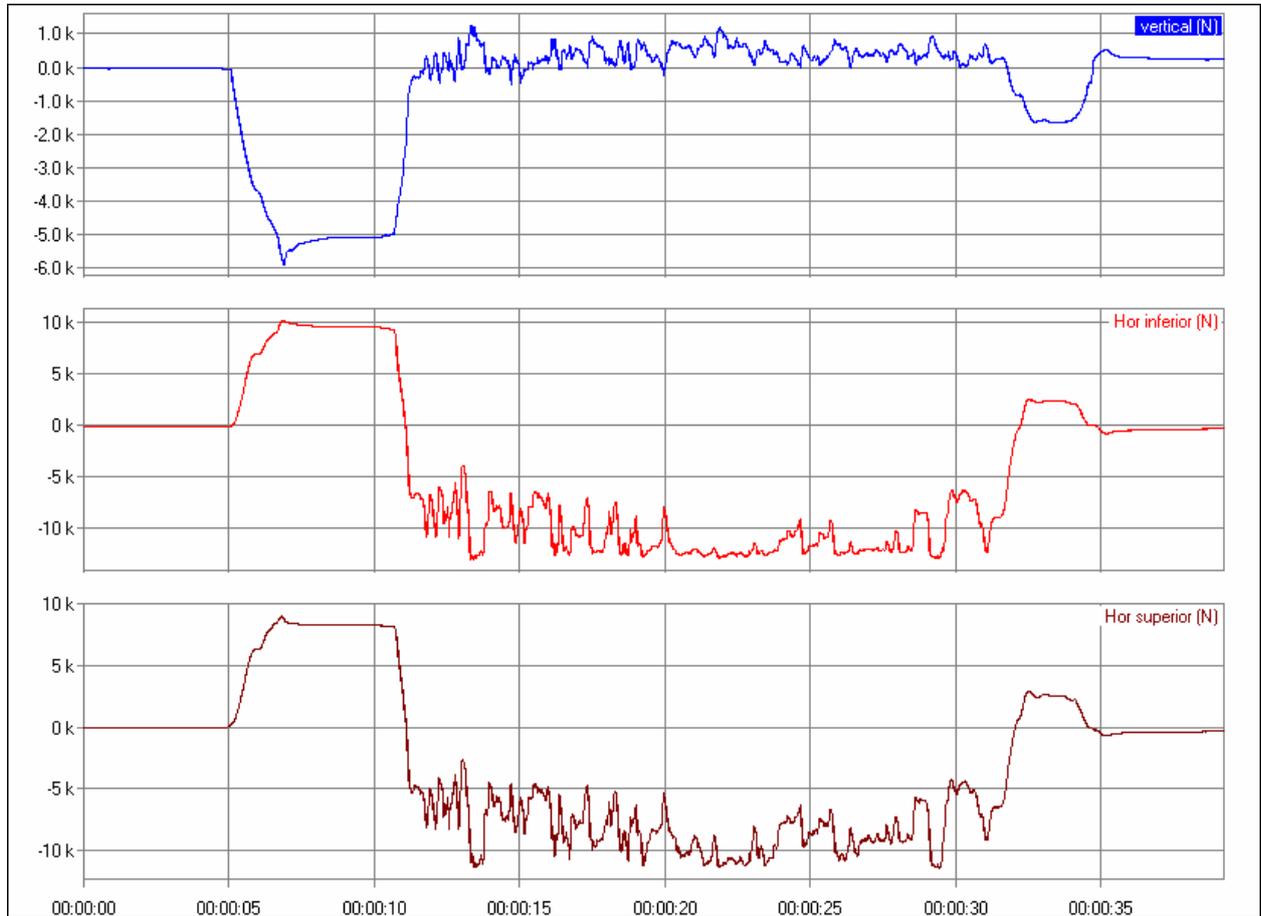


**Registro gráfico 03**

**APÊNDICE 60 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 03 – Ponteira original.**

Arquivo 03			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
15 a 30		12250,2	10155,3
Total = 15s	607,9	RH = 2094,9	

**APÊNDICE 61 – Registros da medição dos ensaios de tração com a ponteira sulcadora apresentando 6% de desgaste, em massa – Registro Gráfico 04**

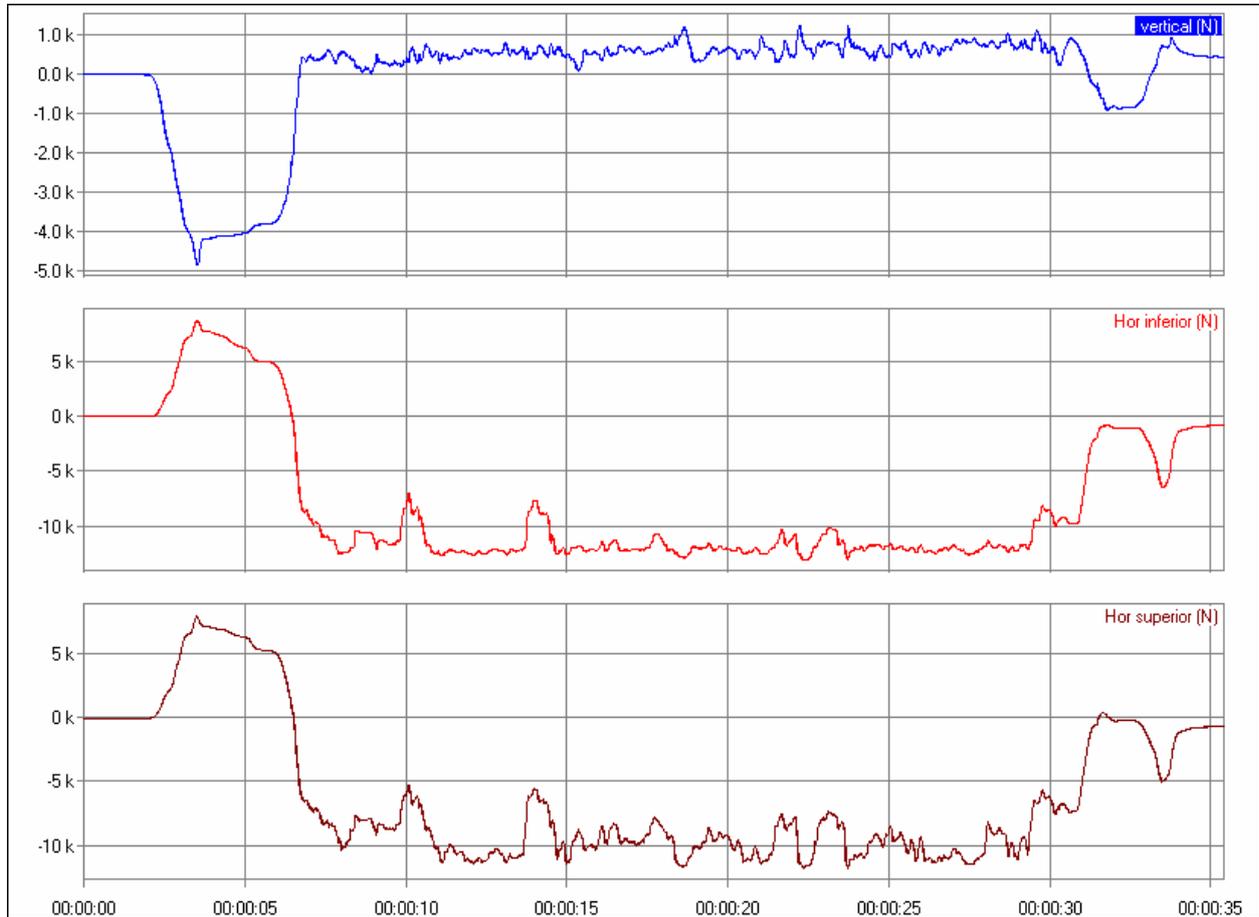


**Registro gráfico 04**

**APÊNDICE 62 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 04 – Ponteira com 6% de desgaste.**

Arquivo 04			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
15 a 30		11171,3	8731,4
Total = 15s	418,5	RH = 2439,9	

**APÊNDICE 63 – Registros da medição dos ensaios de tração com a ponteira sulcadora apresentando 6% de desgaste, em massa – Registro Gráfico 05**

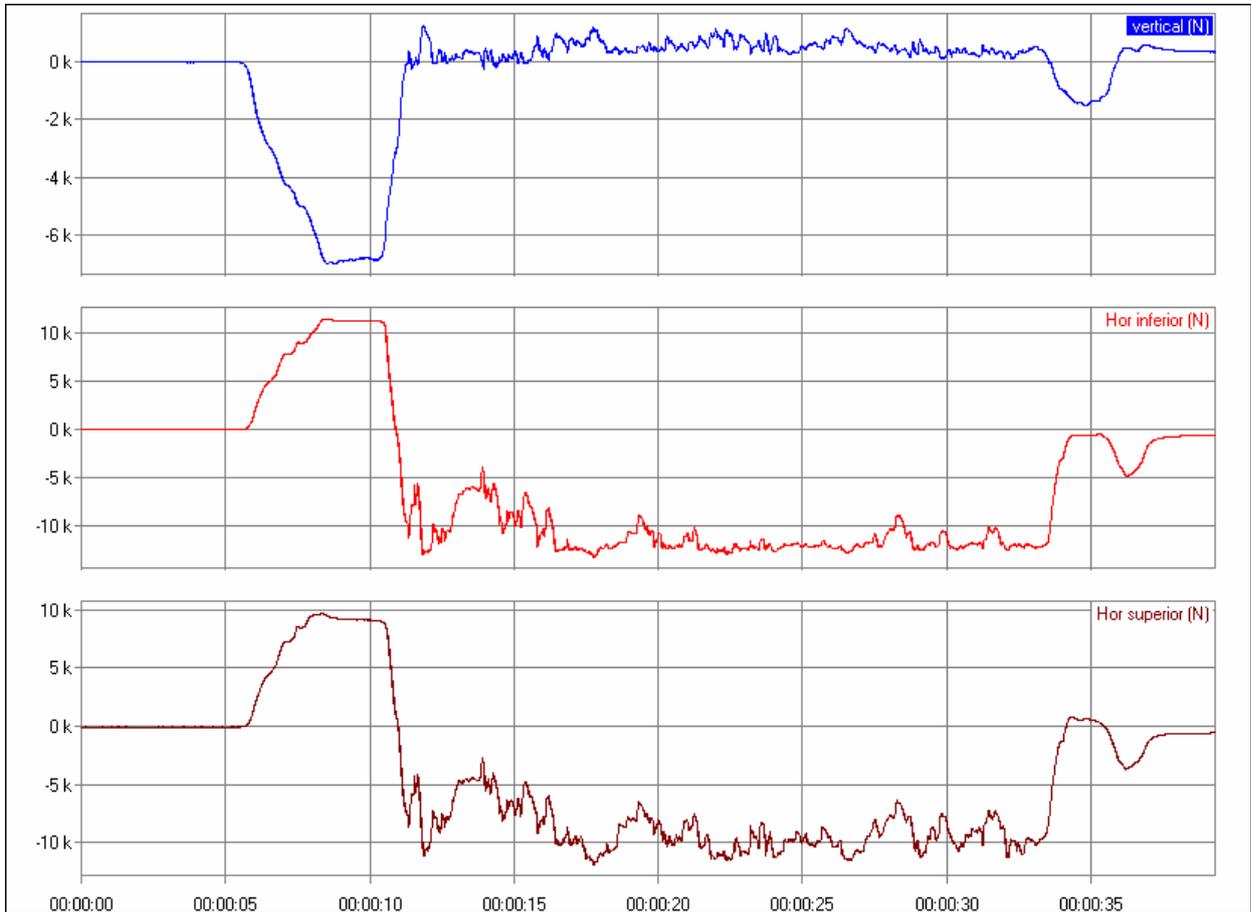


**Registro gráfico 05**

**APÊNDICE 64 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 05 – Ponteira com 6% de desgaste.**

Arquivo 05			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
15 a 30		11904,0	9743,4
Total = 15s	637,2	RH = 2160,6	

**APÊNDICE 65 – Registros da medição dos ensaios de tração com a ponteira sulcadora apresentando 6% de desgaste, em massa – Registro Gráfico 06**

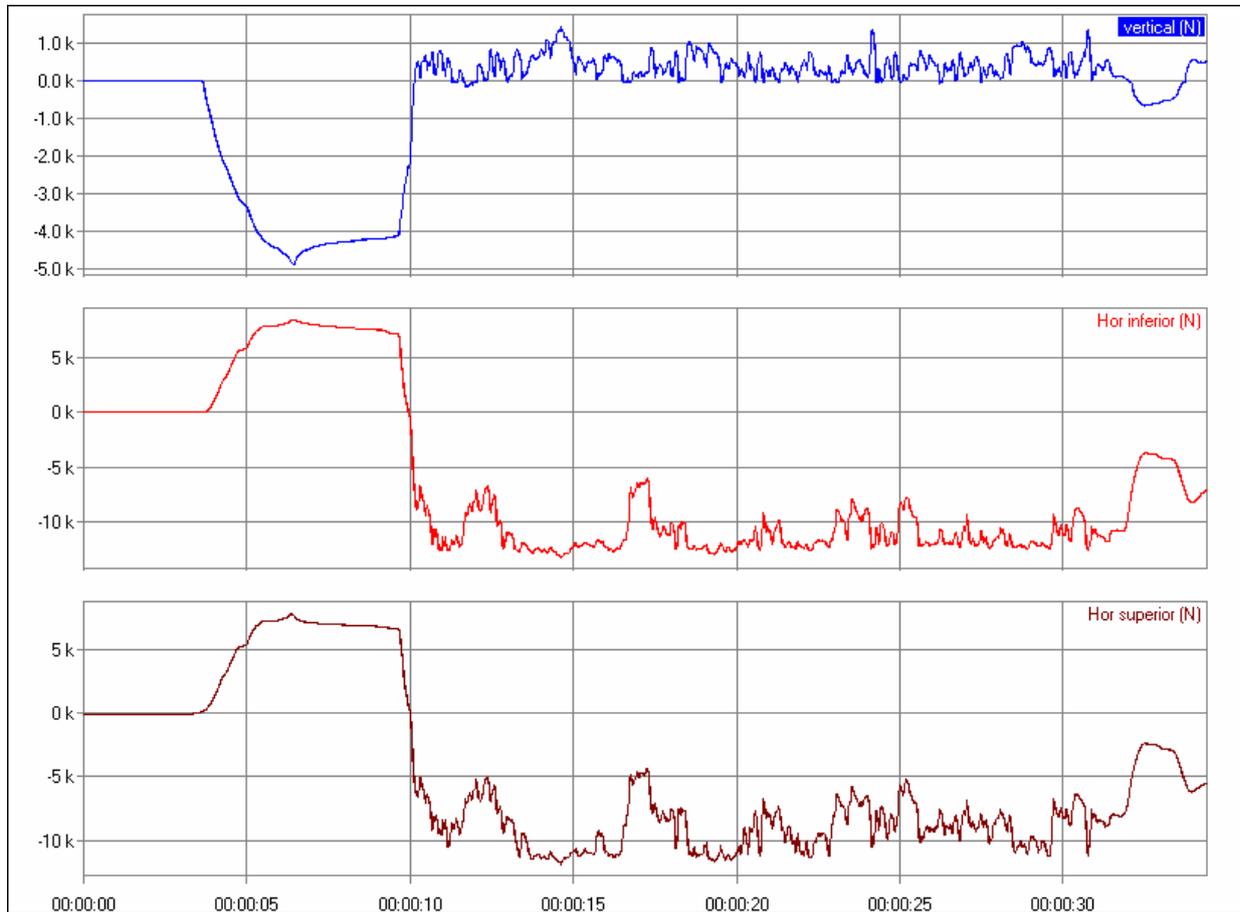


**Registro gráfico 06**

**APÊNDICE 66 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 06 – Ponteira com 6% de desgaste.**

Arquivo 06			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
15 a 30		11643,5	9396,3
Total = 15s	549,3	RH = 2247,2	

**APÊNDICE 67 – Registros da medição dos ensaios de tração com a ponteira sulcadora apresentando 15% de desgaste, em massa – Registro Gráfico 07.**

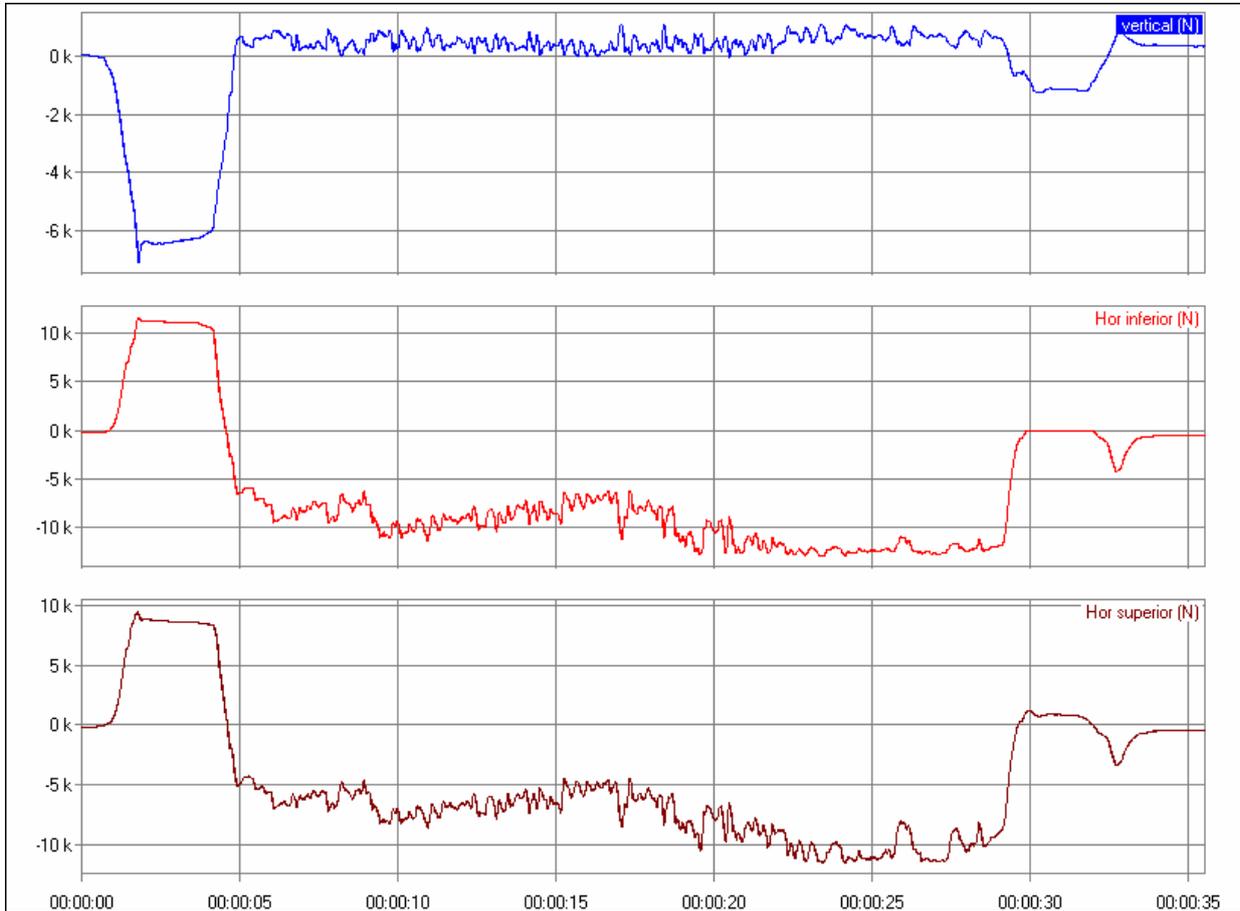


**Registro gráfico 07**

**APÊNDICE 68 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 07 – Ponteira com 15% de desgaste.**

Arquivo 07			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
15 a 30		11293,2	9067,3
Total = 15s	362,4	RH = 2225,8	

**APÊNDICE 69 – Registros da medição dos ensaios de tração com a ponteira sulcadora apresentando 15% de desgaste, em massa – Registro Gráfico 08**

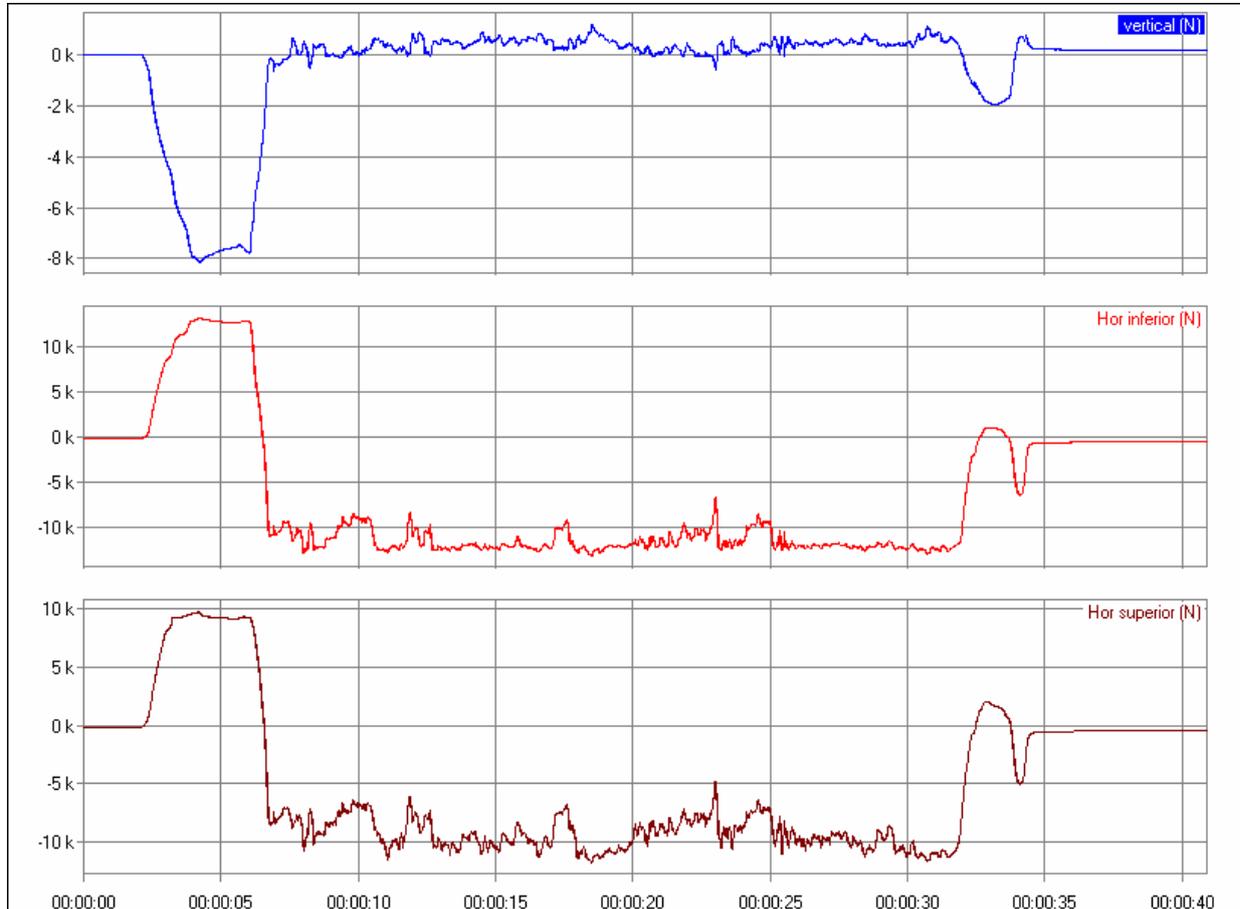


**Registro gráfico 08**

**APÊNDICE 70 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 08 – Ponteira com 15% de desgaste.**

Arquivo 08			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
10 a 25		9926,0	7662,4
Total = 15s	442,2	RH = 2263,7	

**APÊNDICE 71 – Registros da medição dos ensaios de tração com a ponteira sulcadora apresentando 15% de desgaste, em massa – Registro Gráfico 09**

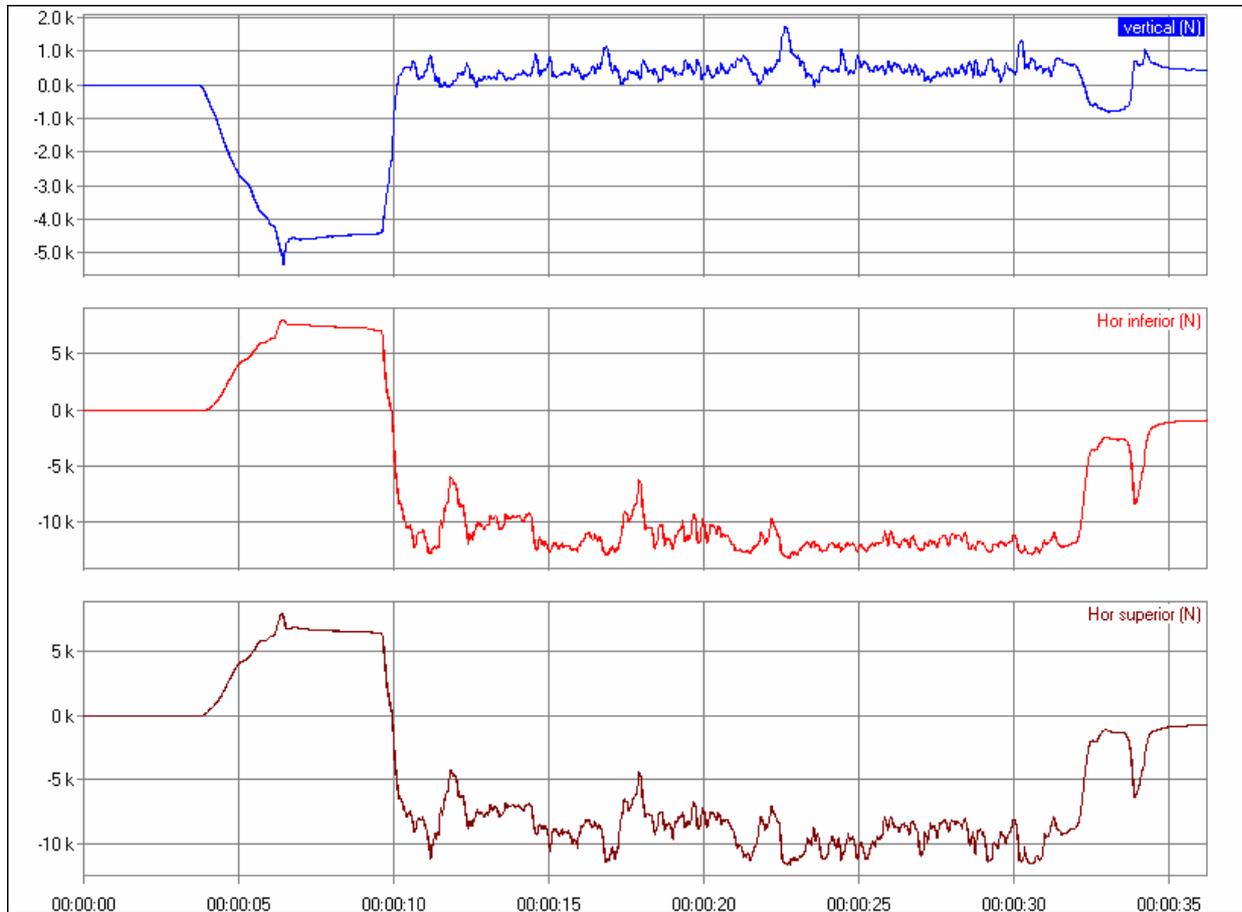


**Registro gráfico 09**

**APÊNDICE 72 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 09 – Ponteira com 15% de desgaste.**

Arquivo 09			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
15 a 30		11728,0	9406,9
Total = 15s	388,9	RH = 2321,2	

**APÊNDICE 73 – Registros da medição dos ensaios de tração com a ponteira sulcadora apresentando 31% de desgaste, em massa - Registro Gráfico 10.**

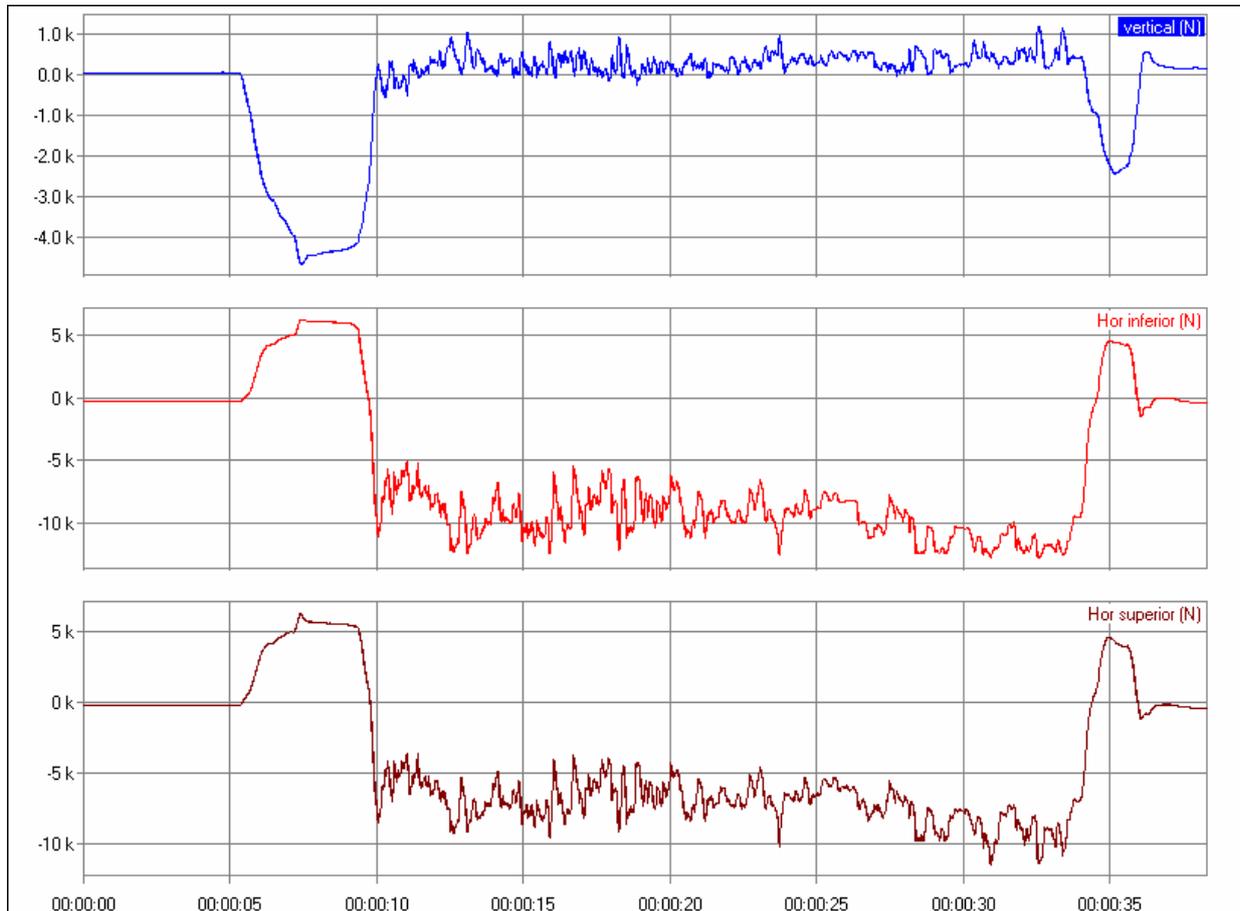


**Registro gráfico 10**

**APÊNDICE 74 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 10 – Ponteira com 31% de desgaste.**

Arquivo 10			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
15 a 30		11634,7	9193,0
Total = 15s	471,5	RH = 2441,8	

**APÊNDICE 75 – Registros da medição dos ensaios de tração com a ponteira sulcadora apresentando 31% de desgaste, em massa - Registro Gráfico 11.**

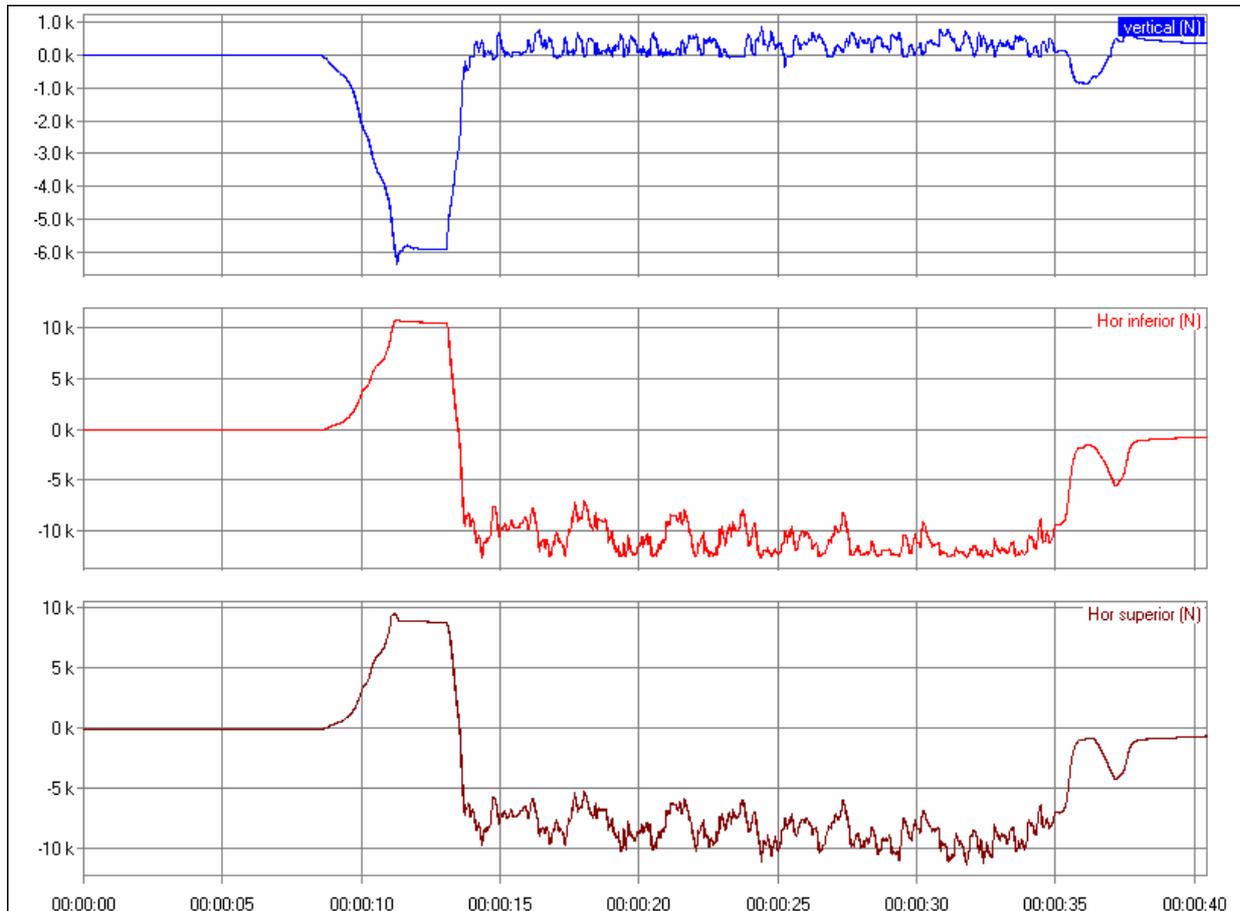


**Registro gráfico 11**

**APÊNDICE 76 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 11 - Ponteira com 31% de desgaste.**

Arquivo 11			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
15 a 30		9371,5	6948,6
Total = 15s	274,5	RH = 2422,9	

**APÊNDICE 77 – Registros da medição dos ensaios de tração com a ponteira sulcadora apresentando 31% de desgaste, em massa - Registro Gráfico 12.**

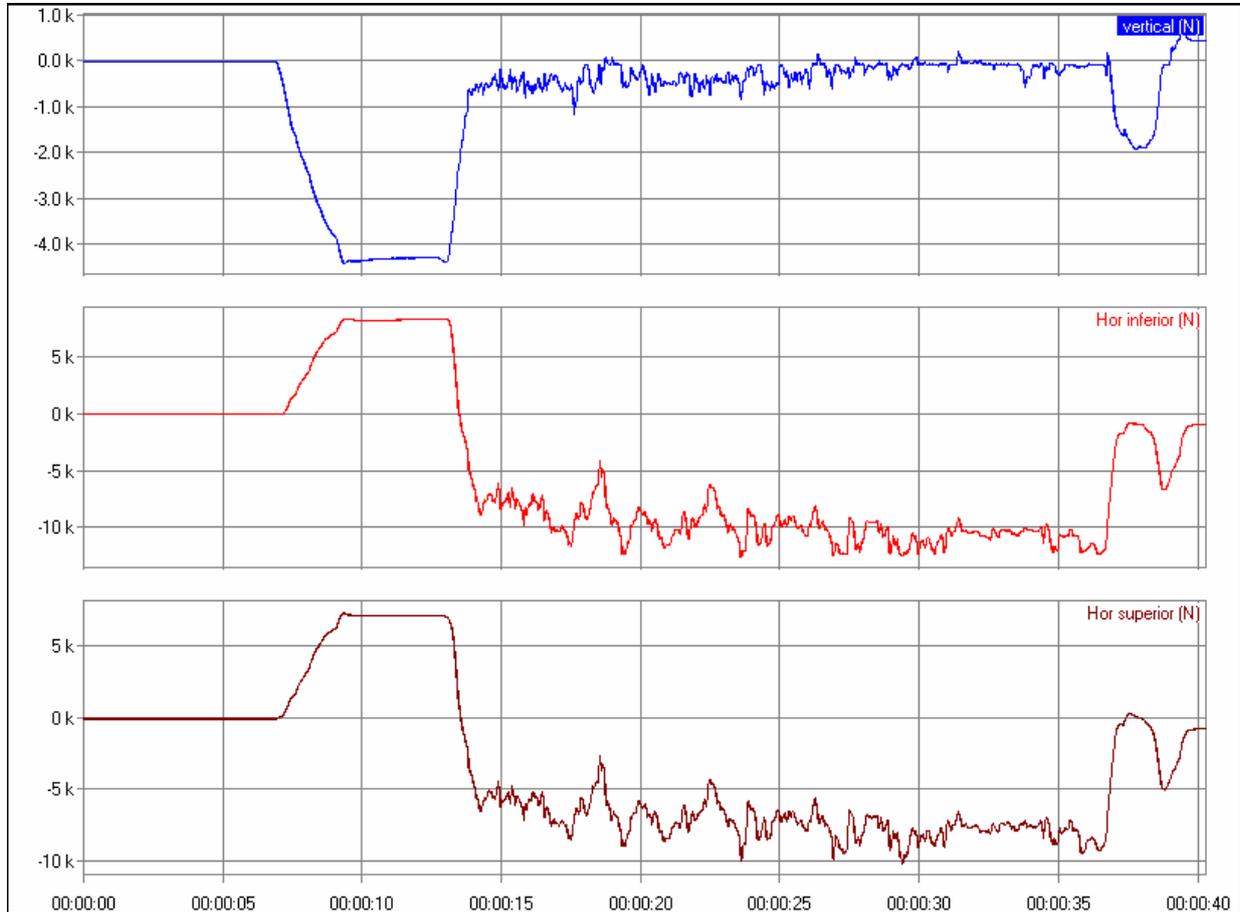


**Registro gráfico 12**

**APÊNDICE 78 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 12 - Ponteira com 31% de desgaste.**

Arquivo 12			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
15 a 30		10790,3	8217,2
Total = 15s	239,6	RH = 2573,1	

**APÊNDICE 79 – Registros da medição dos ensaios de tração com a ponteira sulcadora apresentando 46% de desgaste, em massa – Registro Gráfico 13.**

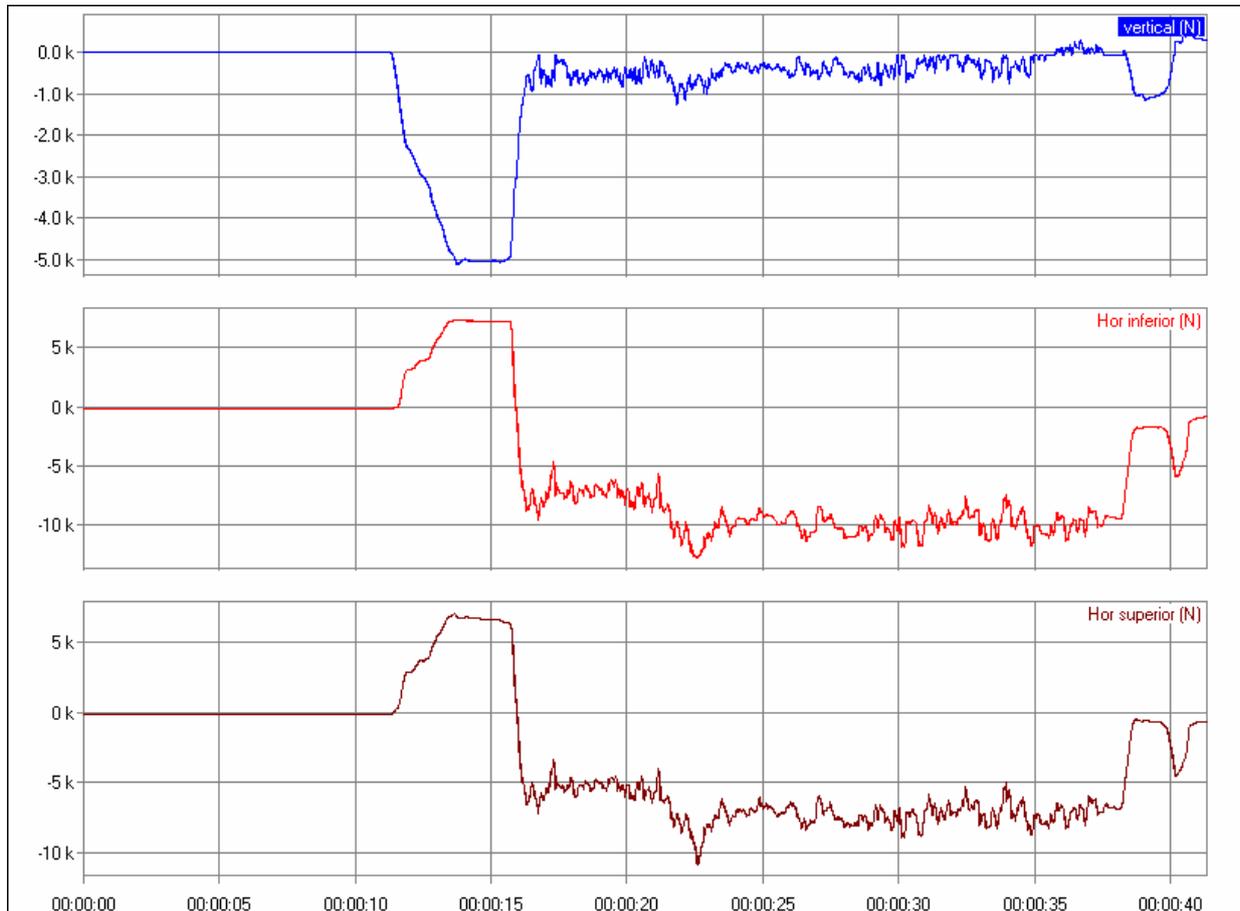


**Registro gráfico 13**

**APÊNDICE 80 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 13 - Ponteira com 46 % de desgaste.**

Arquivo 13			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
20 a 35	236,1	10364,6	7549,0
Total = 15s		RH = 2815,6	

**APÊNDICE 81 – Registros da medição dos ensaios de tração com a ponteira sulcadora apresentando 46% de desgaste, em massa – Registro Gráfico 14.**

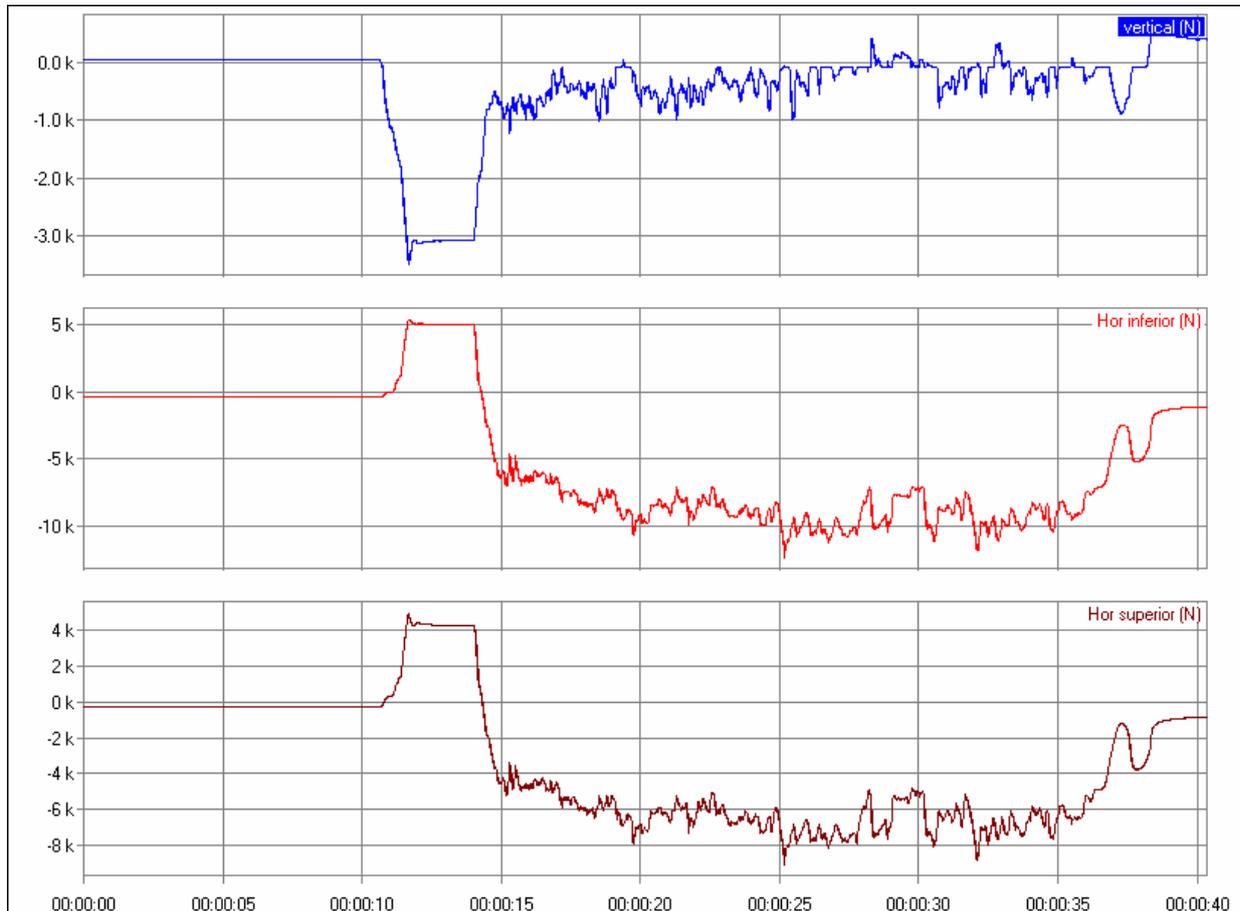


**Registro gráfico 14**

**APÊNDICE 82 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 14 - Ponteira com 46% de desgaste.**

Arquivo 14			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
20 a 35	434,9	9823,3	7196,2
Total = 15s			RH = 2627,1

**APÊNDICE 83 – Registros da medição dos ensaios de tração com a ponteira sulcadora apresentando 46% de desgaste, em massa – Registro Gráfico 15.**



**Registro gráfico 15**

**APÊNDICE 84 – Resultado médio das respostas das células de carga, obtidos a partir dos dados armazenados no arquivo 15 - Ponteira com 46% de desgaste.**

Arquivo 15			
Tempo (s)	FV (N)	FHs (N)	Fhi (N)
20 a 35	257,3	9236,5	6664,5
Total = 15s		RH = 2572,0	

**APÊNDICE 85 – Análise de variância da força horizontal atuante na ponteira sulcadora.**

<b>Anova : fator único 0,05</b>				
<b>FH<sub>P</sub></b>				
<b>Tratamentos (desgaste percentual)</b>				
<b>0%</b>	<b>6%</b>	<b>15%</b>	<b>31%</b>	<b>46%</b>
1412,8	2248,4	2056,2	2236,6	2658,6
1768,7	1922,1	2072,1	2269,3	2425,0
1866,2	2028,4	2141,4	2423,4	2417,8

<b>Grupo</b>	<b>Contagem</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Variância</b>		
0	3	5047,7	1682,6	56957,10		
0,06	3	6198,9	2066,3	27695,23		
0,15	3	6269,7	2089,9	2052,39		
0,31	3	6929,3	2309,8	9951,723		
0,46	3	7501,4	2500,5	18767,57		
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Tratamentos	1126271	4	281567,8	12,1971	0,000733	3,47805
Dentro dos grupos	230848	10	23084,8			
Total	1357119	14				

Não é possível afirmar que as médias dos tratamentos são iguais ao nível de significância de 5%.

**APÊNDICE 86 – Análise de variância da força vertical atuante na ponteira sulcadora.**

<b>Anova: fator único 0,05</b>				
<b>FV<sub>P</sub></b>				
<b>Tratamentos (desgaste percentual)</b>				
<b>0%</b>	<b>6%</b>	<b>15%</b>	<b>31%</b>	<b>46%</b>
1044,8	1035,7	926,1	1087,4	956,8
1130,0	1174,7	1013,0	892,2	1100,0
1129,4	1112,2	976,4	897,4	914,2

<b>Grupo</b>	<b>Contagem</b>	<b>Soma</b>	<b>Média</b>	<b>Variância</b>
0	3	3304,2	1101,4	2402,76
0,06	3	3322,6	1107,5	4846,583
0,15	3	2915,5	971,8	1903,543
0,31	3	2877	959,0	12371,68
0,46	3	2971	990,3	9473,773

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Tratamentos	63083,94	4	15770,99	2,543844	0,105353	3,47805
Dentro dos grupos	61996,68	10	6199,668			
Total	125080,6	14				

Pode-se afirmar que as médias são iguais ao nível de significância de 5%.