



TOMÁS DE AQUINO FERREIRA

**PROJETO E VALIDAÇÃO DE UMA CAIXA DE
SOLO PARA ENSAIOS DA INTERAÇÃO
DINÂMICA MÁQUINA SOLO**

**LAVRAS - MG
2010**

TOMÁS DE AQUINO FERREIRA

**PROJETO E VALIDAÇÃO DE UMA CAIXA DE SOLO PARA ENSAIOS
DA INTERAÇÃO DINÂMICA MÁQUINA SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Automação Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Jackson Antônio Barbosa

**LAVRAS - MG
2010**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Ferreira, Tomás de Aquino.

Projeto e validação de uma caixa de solo para ensaios da
interação dinâmica máquina solo / Tomás de Aquino Ferreira. –
Lavras : UFLA, 2010.

77 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Jackson Antônio Barbosa.

Bibliografia.

1. Dinâmica do solo. 2. Caixa de solo. 3. Carro dinamométrico.
4. Máquinas agrícolas. 5. Preparo do solo. I. Universidade Federal
de Lavras. II. Título.

CDD – 631.3

TOMÁS DE AQUINO FERREIRA

**PROJETO E VALIDAÇÃO DE UMA CAIXA DE SOLO PARA ENSAIOS
DA INTERAÇÃO DINÂMICA MÁQUINA SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Automação Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 06 de agosto de 2010.

Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato UFLA

Dr. Élberis Pereira Brotel UFLA

Dr. Jackson Antônio Barbosa
Orientador

**LAVRAS - MG
2010**

A minha esposa Abigail e às três maiores benções que já recebi, minhas filhas
Ana, Sílvia e Rute.

Aos meus pais José Emílio e Mercês e irmãos Marquinhos, Dedé, Emílio
(in memoriam).

Aos meus irmãos Naná, Baby, Guido, Maninha, Adelaide e Carlinhos.

E antes de tudo,
a Deus, pela Permissão,
ao Espírito Santo, pela Inspiração,
a Jesus, pelo Caminho,
a Maria, pela Proteção.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras – UFLA e ao Departamento de Engenharia pela oportunidade e realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo ao Ensino Pesquisa e Extensão de São Paulo – FAPESP, pelo financiamento da construção civil e mecânica do sistema em sua primeira fase, junto à Faculdade de Engenharia (FEM) e ao Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

Ao Prof. Dr. Dino Ferraseri (in memorian), como pessoa e como Superintendente do CT - UNICAMP, quando da orientação preliminar desse projeto, na sua primeira versão.

Ao Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini (FEM – UNICAMP), pela dignidade por não nos querer como orientado, pois disse não entender de Solos, Mecânica dos Solos, mas em Mecânica dos Sólidos, em compensação..., apenas o projeto mecânico do carro dinamométrico seria um campo suficiente para ótimos trabalhos. Teríamos aprendido muito com ele.

Ao Prof. Dr. Inácio M. Dal Fabbro, da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI – UNICAMP), por ter sempre acreditado nesse trabalho, pela amizade e incentivo.

Ao Prof. Dr. Jackson Antônio Barbosa que, como orientador, competência não lhe falta. Com objetividade e apoio incondicional conseguimos o resultado atual. E há muito por se fazer ainda...

Ao Prof. Dr. Fábio Moreira da Silva, Coordenador do Programa de Pós-Graduação do DEG/UFLA, pela atenção que nos dedicou.

Aos Professores Dr. Carlos Eduardo da Silva Volpato e Dr. Élberis Pereira Botrel, membros da Banca, pelo critério na avaliação deste trabalho e as valiosas sugestões.

Ao Prof. Tarley Ferreira de Souza Júnior pelo suporte insubstituível no projeto e construção civil da Caixa de Solos.

Aos colegas (e amigos) Professores do Setor de Máquinas e Mecanização do Departamento de Engenharia da UFLA, Fabinho, Jackson, Gilmar, Volpato, Nilson, Wellington e Donizette, como também ao Marciano, Giovanni, Pedro (D-8) e Neri.

Aos colegas de curso, em particular ao Roguinho (D-6) e Roger (Gaúcho).

A Kelly Cristina, pela dedicação e sugestões, na digitação e composição desse trabalho e a Greice da Costa Oliveira, secretária do Programa de Pós-Graduação do DEG/UFLA, pelo carinho e atenção.

Ao Sr. Antônio, Marquinhos e Tiãozinho, da Gerência de Equipamentos da UFLA.

Aos funcionários do CTMAG – DEG, Dão, Izidorinho, Tião, Jerry e Sr. Roberto.

Aos funcionários e amigos da Gráfica/UFLA Marinho, Clarezinho, Joãzinho, Bolinha e Natan.

Aos ex-estagiários Feliciano, Leonardo, Renato, Marcelo, Giselle, Padovani e aos atuais Rodrigo e Felipe.

“Na Ciência da Física o primeiro e essencial passo na direção de entender um assunto é achar os princípios de sua formação numérica e métodos práticos de alguma qualidade ligada ao mesmo.

Eu sempre digo que quando você pode medir o que está falando a respeito, você conhece algo sobre o assunto, mas se não pode medir, não consegue expressar em números, seu conhecimento é incompleto e insatisfatório, e você pouco avançou para estágio da Ciência onde o problema pode estar!”.

Lord Kelvin (William Thomson) 1883 – Royal Society of London

RESUMO

As caixas de solo se tornaram uma ferramenta importante nos centros de pesquisas para estudos da interação dinâmica máquina solo. O objetivo deste trabalho foi projetar, construir e avaliar o desempenho operacional de uma caixa de solo, composta por sistemas de potência e deslocamento; sistema de preparo de solo e sistema de medida, necessários à realização de pesquisas referentes a dinâmica da interação máquina solo. A construção da caixa de solo foi efetuada nas dependências do Departamento de Engenharia da UFLA em Lavras, MG. Para sua avaliação, foram realizados ensaios do desempenho operacional do carro dinamométrico, das ferramentas de preparo do solo e um sulcador em diferentes condições de velocidade de avanço. Mensurou-se velocidade, potência e parâmetros que caracterizassem as propriedades físicas e mecânicas do solo em estudo. Os resultados obtidos permitem concluir que o carro dinamométrico possibilita a simulação de operações de campo com equipamentos agrícolas de forma eficiente.

Palavras-chave: Caixa de solo. Carro dinamométrico. Dinâmica do solo. Máquinas agrícolas. Preparo do solo.

ABSTRACT

The soil bins became an important tool in research centers to study the dynamic interaction soil machine. The objective was to design, build and evaluate the operational performance of a soil bin, consisting of power and displacement systems; system of soil preparation and measurement system, needed to conduct research regarding the dynamics of soil machine interaction. The construction of the soil bin was conducted in the Department of Engineering Federal University (UFLA) in Lavras, MG. For its evaluation, tests were conducted operational performed the car dynamometer, the tools of tillage and plow into a different speed conditions in advance. Measured are speed, power and parameters that characterize the physical and mechanical property of soil under study. The results allowed the conclusion that the car dynamometer allows the simulation of field operations with agricultural equipment efficiently.

Keywords: Soil bin. Dynamometer car. Soil Dynamics. Agricultural Machine. Soil tillage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Caixa de solo desenvolvida por Kühne.....	17
Figura 2	Caixa de solo em ambiente protegido da Universidade de Munique, construída em 1927.....	17
Figura 3	Caixa de solo da Universidade da Malásia. Sequência de fotos mostrando, respectivamente, vista lateral do carro dinamométrico com rodado acoplado; pista de rolamento; sistema de fornecimento de potência e deslocamento, composto por motor elétrico e torquímetro acoplado à fonte de potência.....	25
Figura 4	Cortador de base montado no carro porta ferramentas sobre a caixa de solo.....	31
Figura 5	Retroescavadeira realizando operação de retorno do solo desestruturado à caixa de solo. Observa-se a estrutura em alvenaria para recebimento do solo, protegendo-o contra possível contaminação.....	34
Figura 6	Vista longitudinal da caixa de solo, mostrando pilares em alvenaria, tesouras em madeira e cobertura de fibro cimento.....	35
Figura 7	Vista transversal da caixa de solo.....	36
Figura 8	Fundo da caixa de solo. Construção em alvenaria, com drenagem de brita e areia, captação central e desague em área externa à caixa de solo.....	37
Figura 9	Chassi do carro dinamométrico, composto por perfis metálicos tipo “U”, em número de quatro elementos montados transversalmente, soldados a dois elementos montados longitudinalmente. Observa-se no extremo esquerdo do chassi o motor elétrico e variador eletromagnético já montados.....	38
Figura 10	Motor elétrico com variador eletromagnético acoplado ao chassi e montagem da caixa de marchas.....	40
Figura 11	Montagem final dos sistemas, com conferência do alinhamento do eixo de transmissão.....	40
Figura 12	Fonte de potência, constituída por motor elétrico; quadro de comando; comando e proteção; módulo de controle do variador eletromagnético, banco do operador; alavanca do freio, roda dentada e corrente e sistema de frenagem, vista anterior (da direita para esquerda).....	41

Figura 13	Motor elétrico, variador eletromagnético e sistema de transmissão, constituído por caixa de marchas, eixo de transmissão; roda dentada, corrente e sistema de frenagem, vista posterior (da esquerda para a direita).....	41
Figura 14	Grade niveladora sendo transportada em sistema de talha para acoplamento ao carro dinamométrico.....	43
Figura 15	Grade niveladora acoplada ao carro dinamométrico, vista lateral.....	43
Figura 16	Grade niveladora acoplada ao carro dinamométrico, vista anterior.....	44
Figura 17	Rolo compactador acoplado ao carro dinamométrico. Observa-se condição do solo compactado.....	44
Figura 18	Irrigação da caixa de solo, com vazão e velocidade controlada.....	45
Figura 19	Medição de rotação do eixo de transmissão com tacômetro.....	46
Figura 20	Medição de potência do motor elétrico com watímetro...	47
Figura 21	Medição da velocidade de deslocamento do carro dinamométrico, observa-se sulco aberto por ferramenta em ensaio com cronometragem digital.....	47
Figura 22	Ensaio de resistência à penetração, com o penetrômetro eletrônico.....	49
Figura 23	Grade niveladora em operação de preparo de solo.....	53
Figura 24	Solo preparado pela ação da grade niveladora.....	54
Figura 25	Sulcador em operação, vista lateral.....	56
Figura 26	Sulcador em operação, vista posterior.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Propriedades físicas do solo avaliado.....	51
Tabela 2	Desempenho operacional do carro dinamométrico em vazio.....	52
Tabela 3	Velocidade de avanço do carro dinamométrico ($m s^{-1}$).	52
Tabela 4	Propriedades físicas e mecânica do solo após a passada do rolo compactador.....	55
Tabela 5	Valores de velocidade e potência com sulcador acoplado ao carro dinamométrico.....	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Histórico.....	16
2.2	Vantagens do uso de caixas de solo.....	18
2.3	Projetos de caixas de solo.....	20
2.3.1	Pequenas caixas de solo.....	21
2.3.2	Médias caixas de solo.....	22
2.3.3	Grandes caixas de solo.....	23
2.3.4	Caixas de solo protegidas.....	25
2.4	Equipamentos usados em caixas de solo.....	26
2.4.1	Fonte de potência e deslocamento.....	27
2.4.2	Dispositivos para o preparo do solo.....	27
2.4.3	Equipamentos de medida.....	28
2.4.4	Equipamentos com propósitos especiais.....	30
2.5	Solos.....	32
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1	Localização.....	34
3.2	Projeto civil.....	34
3.3	Projeto mecânico.....	37
3.4	Fonte de potência e deslocamento.....	38
3.4.1	Especificações técnicas do carro dinamométrico.....	39
3.5	Equipamentos de preparo de solo.....	42
3.6	Equipamento de irrigação da caixa.....	45
3.7	Equipamentos de medida.....	46
3.8	Solo.....	48
3.9	Tratamentos.....	49

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1	Propriedades físicas e mecânicas do solo.....	51
4.2	Fonte de potência e deslocamento.....	51
4.3	Equipamentos de preparo do solo.....	53
4.4	Sulcador.....	55
5	CONCLUSÕES.....	58
	REFERÊNCIAS.....	59
	ANEXOS.....	65

1 INTRODUÇÃO

Usando o amplo conceito de dinâmica dos solos, que é o movimento do solo sobre a ação de forças gravimétricas ou mecânicas, pode-se dizer que a mesma apresenta uma ampla faixa de aplicação, atuando desde a produção agrícola e florestal, terraplanagem e área militar até a locomoção de veículos espaciais.

A mecânica dos solos está em constante progresso, e a história mostra que dois pesquisadores foram pioneiros em identificar a importância da dinâmica dos solos na área de projetos de máquinas e desempenho de ferramentas de preparo de solo, Goryachkin em 1890, na Rússia, e Nichols, em 1920 nos Estados Unidos.

Atualmente, o papel da dinâmica dos solos enfoca a solução de problemas relacionados ao avanço tecnológico de ferramentas ou órgãos (elementos) que se movem sob ou sobre o solo. A dinâmica dos solos evoluiu devido a necessidade de se expressar a interação máquina solo.

Devido ao grande número de variáveis envolvidas, as pesquisas de campo em máquinas agrícolas encontram grandes dificuldades quando se pretende relacionar a interação máquina solo e planta. Diversos pesquisadores, ao realizarem estudos referentes ao desempenho de implementos agrícolas, concluíram que a operacionalização de ensaios para interação dinâmica máquina solo em condições de campo é onerosa, difícil e demorada.

Dessa forma, os canais de solo ou caixas de solo surgiram como uma ferramenta para facilitar o estudo da interação máquina solo, sendo fundamental, durante os ensaios, manter constantes as condições de teste quanto ao solo e operação dos implementos. Entretanto, todos os usuários de caixas de solo em pesquisas referentes a dinâmica máquina solo afirmam que não é tarefa fácil correlacionar os resultados obtidos em caixas de solo com aqueles obtidos em

ensaios de campo. Ressalta-se que a versatilidade do uso de caixas de solo decorre das facilidades de controle das diversas variáveis envolvidas na mobilização de solos.

Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho foi projetar, construir e avaliar o desempenho operacional de uma caixa de solo, composta por sistemas de potência e deslocamento; sistema de preparo de solo e sistema de medida, necessários à realização de pesquisas referentes a dinâmica da interação máquina solo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico

A chave do sucesso em pesquisas referentes a dinâmica dos solos agrícolas consiste em identificar as leis básicas e os princípios de comportamento dos diferentes solos e suas condições para, posteriormente, descrever as reações mecânicas desses solos às forças aplicadas, e aplicar esses conhecimentos a uma efetiva implementação do sistema máquina solo.

Em 1920, Mark Nichols, um pioneiro da dinâmica dos solos, desenvolveu e usou caixas de solo para estudos básicos do sistema máquina solo (GILL, 1985; GILL; CLARK, 1985; NATIONAL SOIL DYNAMICS LABORATORY, 1990; SCHAFER, 1993). Foram as experiências de Nichols com pequenas caixas de solo que levaram à construção de grandes caixas de solo no *National Soil Dynamics Laboratory*, localizado em Alburn, USA. Nesse mesmo período, outras caixas de solo foram construídas ao redor do mundo.

A história das caixas de solo não é bem definida, mas seu desenvolvimento está relacionado ao desenvolvimento da dinâmica dos solos. Em 1914, em uma publicação alemã, George Kühne descreve um aparato para ensaio de protótipos de arados. Os protótipos se deslocavam em uma pequena caixa de solo com dimensões de 1,0x0,4x0,07m (Figura 1). O aparato desenvolvido por Kühne possibilitava determinar a força cisalhante do solo.

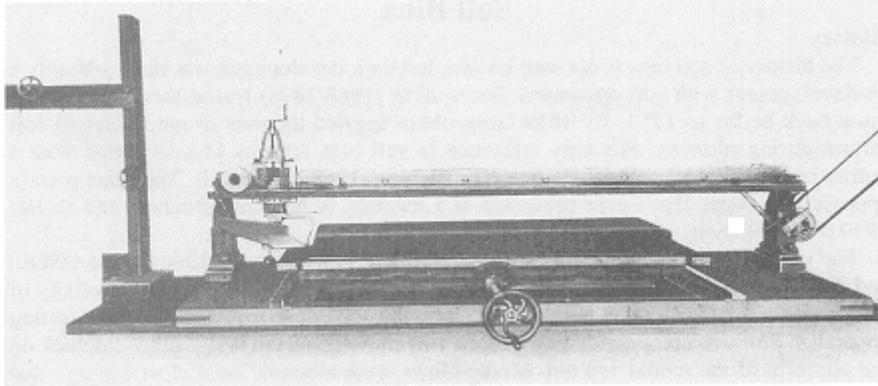


Figura 1 Caixa de solo desenvolvida por Kühne em 1914
Fonte: Upadhyaya et al. (1994)

Em 1927, Kühne construiu uma caixa de solo em ambiente protegido no Departamento de Maquinaria Agrícola da Universidade de Munique (SOEHNE, 1985) (Figura 2).

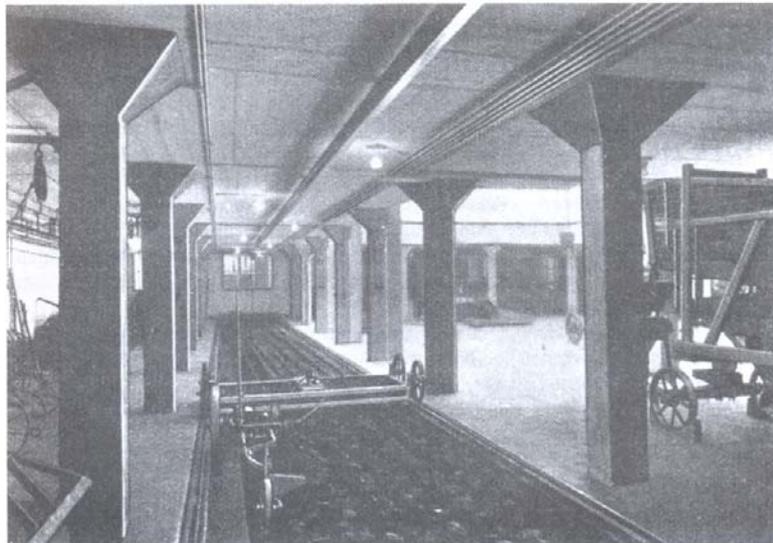


Figura 2 Caixa de solo em ambiente protegido da Universidade de Munique,
construída em 1927
Fonte: Upadhyaya et al. (1994)

Uma revisão bibliográfica em periódicos de Engenharia Agrícola internacionais durante o período compreendido entre 1989 e 1992 mostrou que caixas de solo apresentam diferentes nomenclaturas, em função do país de origem, sendo mais frequentes os termos caixa de solo, tanque de solo e canal de solo. Essa pesquisa identificou um total de 124 diferentes citações, sendo a mais comum o termo caixa de solo (116 citações) (UPADHYAYA et al., 1994).

Wismer (1984) encontrou 36 tipos diferentes de caixas de solo em 12 países, num total de 90. Todavia, há mais de 150 caixas de solo no mundo (ONWUALU; WATTS, 1996; WOOD; WELLS, 1983).

Shmulevich e Wells (1996) citam que diversas caixas de solo com propósito de ensaios de pneus foram projetadas por agências do governo dos Estados Unidos. Alguns exemplos são as do Laboratório Nacional de Dinâmica dos Solos, em Auburn; Universidade de Cranfield, em Silsoe; Universidade da Califórnia, em Davis, Universidade de Hohenheim, na Alemanha e na Universidade de Wageningen na Holanda.

As publicações citadas anteriormente mostraram que caixas de solo constituem uma importante ferramenta no estudo da interação máquina solo. Entre alguns centros de excelência, que desenvolvem pesquisas relacionadas a dinâmica dos solos agrícolas fazendo uso de caixas de solo, pode-se citar o Centro de Pesquisas em Armamento Móvel, a Estação Experimental de Waterways, a Deere e Companhia, o Centro Tecnológico Deere, a Universidade do Estado de Iowa e o Laboratório Nacional de Dinâmica dos Solos, todos localizados nos Estados Unidos (GILL, 1990).

2.2 Vantagens do uso de caixas de solo

Dentre as diversas vantagens do uso de caixas de solo no estudo da dinâmica dos solos agrícolas podem-se citar:

- a) podem se adequar a disponibilidade de espaços, recursos financeiros e humanos, variando em tamanho, desde pequenas caixas de solo de bancada a grandes caixas de solo;
- b) um único solo, de determinada região, pode ser preparado com diferentes propriedades físicas e mecânicas;
- c) diferentes parâmetros do solo podem ser estudados quando caixas de solo são utilizadas;
- d) o solo, isento de pedras ou materiais indesejáveis, proporciona um meio preciso para estudos em comparação a testes de campo;
- e) se em ambiente protegido proporcionam uma oportunidade para trabalhar sem preocupações com adversidades climáticas;
- f) se em ambiente protegido previnem contaminação dos solos;
- g) se compostas por sistemas de trilhos para deslocamento de ferramentas proporciona medidas precisas da interação ferramenta solo ou rodado solo;
- h) modelos físicos usados em associação com caixas de solo podem aumentar o número de variáveis que podem ser estudadas;
- i) técnicas de modelagem permitem usar dados confiáveis de pequenos, mas econômicos, modelos de ferramentas para prever o desempenho de grandes, mas onerosos protótipos; e
- j) possibilitam oportunidades para o uso dos mais sofisticados controles e sistemas de aquisição de dados.

Há também outros fatores que devem ser avaliados quando consideramos a possibilidade de construção de caixas de solo, sendo:

- a) os recursos financeiros necessários à construção de caixas de solo devem ser associados aos recursos necessários para capacitação profissional, equipamentos e custos operacionais;

- b) se construídas com propósitos específicos não podem ser usadas para outros tipos de estudo;
- c) são praticamente limitadas a testes usando solos remodelados; e
- d) uma alternativa para o desenvolvimento de caixas de solo consiste na cooperação entre centros de pesquisas de diferentes organizações.

2.3 Projetos de caixas de solo

Sem especificamente definir o que consiste pequenas ou grandes caixas de solo, se pode caracterizar as condições que podem indicar suas diferenças. Pequenas caixas de solo tendem a ser limitadas, normalmente aptas a estudos de protótipos. Têm geralmente suas funções organizadas em uma simples unidade, sendo normalmente automatizadas.

As grandes caixas de solo podem ser montadas em módulos, não sendo facilmente automatizadas. Grandes caixas de solo normalmente ocupam edificações complexas, aptas ao deslocamento de máquinas com dimensões reais. Grandes caixas de solo tendem a usar veículos de tração, normalmente acionados por operadores humanos.

As caixas de solo podem ser estacionárias ou móveis. Geralmente são providas de dinamômetros para fixação de ferramentas ou máquinas.

A maioria das caixas de solo são pequenas, montadas em universidades ou indústrias. As mais sofisticadas caixas de solo dos Estados Unidos são montadas em indústrias, como a John Deere ou Caterpillar, que usam as caixas de solo para desenvolver seus produtos.

Grandes caixas de solo são geralmente financiadas por órgãos de fomento governamentais. Apresentam comprimento de 50 a 70m e em torno de 5m de largura. Afortunadamente, a maioria das organizações que possui caixas de solo aceita pesquisadores visitantes por período determinado.

Caixas de solo raramente apresentam defeitos. Seus diversos componentes estruturais são projetados para serem facilmente substituídos.

Os seguintes pontos devem ser considerados durante o planejamento de uma nova caixa de solo:

- a) o propósito da pesquisa;
- b) o tipo e volume de ensaios;
- c) a qualificação profissional da equipe;
- d) o espaço disponível para construção;
- e) o tamanho das máquinas a serem ensaiadas; e
- f) a velocidade operacional, potência e força necessárias ao funcionamento do carro dinamométrico.

2.3.1 Pequenas caixas de solo

Pequenas caixas de solo, variando de 4 a 16m de comprimento, são projetadas para estudos de modelos ou pequenos componentes de ferramentas (DURANT; PERUMPRAL; DESAI, 1981; MARTIN; BUCK, 1987; WISMER; FORTH, 1969). Frequentemente apresentam paredes de vidro ou outras características especiais para estudos específicos do solo.

Wilkins, Conley e Adrian (1979) projetaram uma caixa de solo para avaliar elementos cultivadores. As ferramentas foram usadas em uma caixa de solo com 1,2m de comprimento.

O Laboratório Nacional de Dinâmica dos Solos (USA) construiu e operou uma pequena caixa de solo rotativa, com diâmetros interno e externo de 5,12 e 5,76m, respectivamente. Uma característica particular desta caixa de solo refere-se ao fato de a mesma apresentar rotação, enquanto a ferramenta em estudo permanece estática.

Nedorezov e Mossienko (1986) construíram uma caixa de solo pressurizada para estudo de emergência de sementes de flores no Instituto de Kiev, Ucrânia.

Nem todas as caixas de solo requerem a mesma soma de capital investido. Caixas de solo de baixo custo, construídas com material facilmente disponível, frequentemente proporcionam informações importantes no estudo da interação ferramenta solo.

Godwin, Spoor e Kilgour (1980) construíram uma caixa de solo com 13m de comprimento e 0,5m de profundidade, com largura variável entre 0,8 e 2m. A caixa de solo foi construída sobre uma sólida estrutura de concreto. A preparação manual do solo, auxiliada por rolos compactadores, proporciona uma superfície regular. Equipamentos de medida de força, torque e deslocamento possibilitam a realização de pesquisas com sucesso.

Paredes transparentes de vidros temperados ou de plástico, quando instaladas em caixas de solo, permitem a observação do movimento do solo causado pela ação das ferramentas ensaiadas. Nichols, em 1929, inovou ao utilizar paredes de vidro em caixas de solo para estudos da dinâmica dos solos. Diversas outras pesquisas citam o uso dessa técnica em caixas de solo, incluindo ferramentas rotativas (FELLER et al., 1971), deformação do solo durante o corte (GILL, 1969), impacto das ferramentas em torrões de solo (STUDMAN; FIELD, 1975) e a injeção de fluidos no solo (ARAYA; KAWANISHI, 1984).

A principal limitação das caixas de solo consiste na distorção da tensão e da deformação devido a proximidade das paredes e fundo.

2.3.2 Médias caixas de solo

Caixas de solo com dimensões longitudinais entre 16 e 30m são uma classe especial, que têm sido usadas com sucesso em pesquisas de dinâmica dos

solos em baixas velocidades (CHANCELLOR; SCHIMIDT, 1962; GILL, 1968, 1969; NICHOLS, 1925). São normalmente fixas, mas algumas apresentam mobilidade.

Devido ao seu tamanho, elas apresentam vantagens únicas. Por exemplo, pesquisas podem ser desenvolvidas em pequenos espaços em laboratórios devido ao pequeno volume de solo necessário. Vários formatos de caixas de solo podem ser usados, incluindo os com laterais transparentes. O solo pode ser preparado por meio manual ou com auxílio de um aparato compactador e o protótipo de ferramenta apresenta pequena força de tração.

2.3.3 Grandes caixas de solo

Grandes caixas de solo apresentam construção onerosa, grandes custos operacionais e de manutenção. Requerem grandes investimentos e devem ser projetadas com flexibilidade para os mais diversos tipos de ensaios. Tendem a ter dimensões que permitem a operação de implementos integrais. Os solos são geralmente homogêneos, sem horizontes naturais ou inclusões.

Algumas das importantes características das grandes caixas de solo são:

- a) são grandes o suficiente para estudar máquinas e ferramentas em tamanho real;
- b) proporcionam espaço suficiente para repetição dos testes ou avaliação de variáveis adicionais, além de profundidade suficiente para estudo do perfil compactado do solo;
- c) apresentam comprimento longitudinal suficiente para permitir análise da velocidade com relação ao solo;
- d) o preparo do solo pode ser feito mecanicamente; e

- e) possibilitam avaliar ao mesmo tempo o efeito da maquinaria no preparo, tração, escavação e movimento do solo, além da compactação.

As caixas de solo em ambiente fechado do Laboratório Nacional de Dinâmica dos Solos (USA) são tipicamente de grandes dimensões. Medem em torno de 75m de comprimento e 6 metros de largura, com profundidades variando entre 0,6 a 1,5m, sendo suficiente para estudos da compactação induzida pelo tráfego nas camadas do solo. Apresentam sistema de drenagem longitudinal, proporcionando uniformidade ou variação da umidade ao longo da caixa de solo.

As paredes são projetadas para suportar o peso de carros dinamométricos.

Um carro dinamométrico em escala reduzida foi montado em uma caixa de solo por Mcrae, Powell e Wismer (1965). Protótipos de ferramentas de preparo de solo foram ensaiadas e sua geometria avaliada.

O Instituto Tecnológico da Austrália construiu uma caixa de solo com formato oval, com comprimento de 257m. Seu propósito inicial teve como foco o desempenho de ferramentas de movimentação do solo, como arados, cultivadores e subsoladores, para uso na agricultura australiana (FIELK; PENDRY, 1986).

A caixa de solo da Universidade da Malásia foi projetada e desenvolvida para pesquisas referentes a mecânica da tração em solos tropicais (YAHYA et al., 2007). Esta caixa de solo consiste de um carro dinamométrico com mobilidade nos dois sentidos. A caixa de solo é utilizada para estudos de resistência ao rolamento de pneus, dirigibilidade e eficiência trativa (Figura 3).

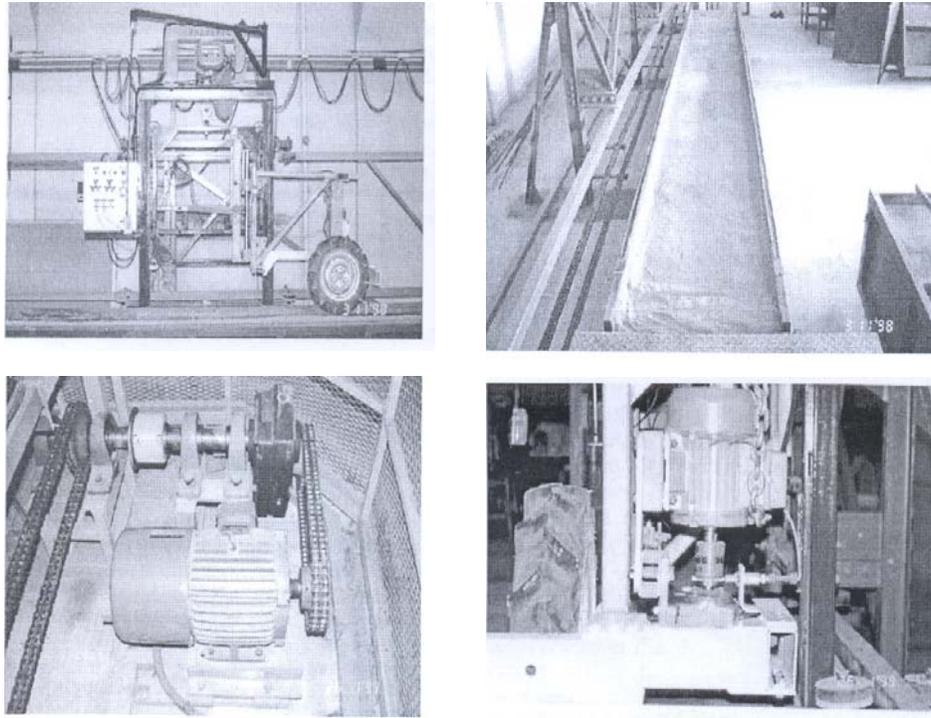


Figura 3 Caixa de solo da Univeridade da Malásia. Sequência de fotos mostrando, respectivamente, vista lateral do carro dinamométrico com rodado acoplado; pista de rolamento; sistema de fornecimento de potência e deslocamento, composto por motor elétrico e torquímetro acoplado a fonte de potência

Fonte: Yahya et al. (2007)

2.3.4 Caixas de solo protegidas

A proteção de uma caixa de solo deve ser considerada durante a fase de projeto. A possibilidade de trabalhar em dias chuvosos é um dos fatores técnicos que influenciam nessa escolha.

Obviamente que caixas de solo protegidas necessitam de uma configuração especial. O uso de motores de combustão interna em ambientes fechados requer equipamentos de controle de poluentes. Sistemas de ventilação,

janelas e portas adequadamente projetados tornam-se importantes. Todavia, fluxo de ar excessivo pode causar alteração na umidade da superfície do solo.

Telhados requerem insolação para prevenir condensação de umidade. Telhados transparentes e iluminação artificial são necessários para proporcionar visibilidade durante os ensaios.

2.4 Equipamentos usados em caixas de solo

A estrutura e forma dos equipamentos utilizados em uma caixa de solo dependem do tamanho e grau de sofisticação da caixa de solo. Estudos em pequenas caixas de solo, que requerem volumes pequenos de solo e técnicas de mensuração mais delicadas, podem ser conduzidos manualmente.

Estudos envolvendo grandes volumes de solo devem ser conduzidos em caixas de solo que possibilitem operações mecanizadas. Pequenas caixas de solo que integram todos os equipamentos em uma simples unidade podem ser automatizadas, proporcionando um alto grau de uniformidade e economia de trabalho e tempo.

O preparo do solo e a medição das variáveis de interesse são as operações que mais consomem tempo durante os estudos da interação máquina solo em caixas de solo. Dentro do possível, essas operações devem ser mecanizadas e automatizadas. O sistema de suporte necessário às caixas de solo incluem:

- a) fonte de potência e deslocamento;
- b) dispositivos para preparo do solo;
- c) equipamentos de medida; e
- d) equipamentos de manutenção.

2.4.1 Fonte de potência e deslocamento

A faixa de velocidade e potência requerida para os testes determina sua aplicabilidade. Os sistemas de potência e deslocamento podem ser montados em carros dinamométricos individuais, compostos por vários carros ou montados em uma posição estacionária, remota ao carro dinamométrico.

Carros dinamométricos que oferecem alta velocidade e potência foram desenvolvidos por Mcrae, Powell e Wismer (1965) nos Estados Unidos; por Feller et al. (1971) em Israel e por Stafford (1979) na Grã Bretanha.

Carros dinamométricos móveis são projetados com baixa massa para reduzir aceleração e desaceleração das forças. A escolha de uma fonte de potência e sistema de deslocamento determina a distância requerida para acelerar ou desacelerar as ferramentas em estudo (WISMER; FORTH, 1969).

Fontes de potência e sistemas de deslocamento não necessitam de projetos complexos. Sistemas que utilizam pêndulos têm sido utilizados nos estudos de cisalhamento dos solos (ELLEN, 1984). Turnage (1970) utilizou um sistema pneumático para estudos de penetração no solo.

Sistemas de deslocamento podem ser acionados por meio pneumático, hidráulico, elétrico ou por motores de combustão interna.

2.4.2 Dispositivos para preparo do solo

Equipamentos para preparo do solo incluem dispositivos necessários à uniformização do solo, sendo hastes subsoladoras, enxadas rotativas e compactadores. A drenagem do solo pode ser realizada por sistemas de drenagem montados na estrutura da caixa, pela movimentação do solo na caixa ou por sua completa remoção e retorno em momento oportuno quando exposto a condições de secagem ao ar livre.

Wismer e Forth (1969) descrevem dispositivos de preparo do solo para pequenas caixas de solo. Uma revisão geral dos equipamentos de preparo do solo em caixas é apresentado por Wismer (1984).

2.4.3 Equipamentos de aquisição de dados

Equipamentos de medida são constituídos por transdutores e dispositivos que possibilitam mensurar força, velocidade e posição. Simultaneamente, eles podem proporcionar controle de posição transversal, deslocamento e velocidade angular. Montagens padronizadas permitem rapidez e facilidade quando do uso de mais de uma caixa de solo.

Sistemas de aquisição de dados e controles computadorizados, associados a mostradores, são necessários para processar os dados adquiridos durante a condução dos experimentos. Em adição, os controladores computadorizados possibilitam o controle das unidades de potência e deslocamento.

Equipamentos de medida disponíveis comercialmente devem ser usados quando possível. Em certas situações, equipamentos de medida podem ser desenvolvidos para propósitos específicos, de importância na interação máquina solo. O propósito principal de pesquisas em dinâmica dos solos é entender a interação máquina solo e a partir daí otimizar o projeto de sistemas que permitam a manipulação do solo a partir de uma condição específica.

Dispositivos de tração e transporte são projetados para desenvolver forças de tração no solo. Enquanto a função primária dos dispositivos de tração é assegurar tração, a ação da deformação do solo deve ser considerada.

Amostras de solo convencionais para análise gravimétrica da umidade do solo e densidade são destrutivas (algumas vezes). Pesquisas com amostras não destrutivas de tensão, deslocamento, cisalhamento, resistência à penetração,

fricção interna e externa do solo, fricção solo metal e outras propriedades dinâmicas devem ser consideradas em caixas de solo (HADAS; SHMILEVICH, 1990; MORGAN; WOOD; HOLMES, 1991; RAPER; ASMUSSEN; POWERL, 1990; TOLLNER, 1970; WANG et al., 1991).

Uma variedade de dispositivos de medida podem ser montados em carros dinamométricos. O tipo e número depende da natureza da medida requerida para o problema proposto. Dinamômetros são projetados para simultaneamente isolar e adquirir dados específicos de força, deformação e tensão.

As quantidades frequentemente medidas incluem:

- a) força tridimensional;
- b) torque nas rodas;
- c) deslocamento ou posição de dispositivos no solo;
- d) distribuição de tensões no solo ou em elementos de máquinas; e
- e) parâmetros de desempenho como força na barra de tração.

Todo equipamento de medida deve ter a sensibilidade, acurácia, capacidade e características eletrônicas necessárias para aquisição, análise e avaliação dos dados.

As forças atuantes em um dispositivo de testes são um importante componente da mecânica máquina solo. Mudanças na geometria dos dispositivos afeta toda a operação. O mais óbvio exemplo é a deflexão mútua de pneus e solo quando pneus flexíveis operam em solo deformável. Transdutores de deformação inseridos internamente em pneus podem medir a mudança na geometria na interface pneu solo (BURT; WOOD; BAILEY, 1987; YU; XU, 1990).

Yahua et al. (2007) desenvolveram testes de trafegabilidade e de dirigibilidade em pneus agrícolas para avaliar o desempenho de uma caixa de solo construída na Universidade da Malásia. Transdutores foram posicionados em várias posições do pneu e do solo para medir forças verticais e horizontais, deformação do pneu e velocidade. A caixa de solo foi projetada para ensaios de pneus agrícolas, enfocando resistência ao rolamento, coeficiente de tração e eficiência trativa em diferentes condições do solo. A caixa de solo pode ser usada para testar o efeito de outros parâmetros, tais como carga dinâmica, lastro, velocidade e pressão de inflação dos pneus.

2.4.4 Equipamentos com propósitos especiais

Equipamentos com propósitos especiais são necessários para conduzir operações não diretamente associadas ao programa de pesquisa. Mcrae, Powell e Wismer (1965), Stafford (1979) e Wilkins et al. (1979) desenvolveram sistemas híbridos para caixas de solo que possibilitavam o acoplamento de uma grande gama de ferramentas.

O Laboratório Nacional de Dinâmica dos Solos (USA) usa um carro transportador para mover carros dinamométricos de uma caixa de solo à outra.

Outros equipamentos que podem ser necessários incluem geradores elétricos portáteis, compressores de ar, esteiras, cabos de energia e de comunicação.

Shrivastava e Datta (2001) utilizaram uma caixa de solo pertencente a Faculdade de Engenharia Agrícola, em Kharagpur, Índia, para avaliar o desempenho de três implementos de tração animal comumente usados pela comunidade agrícola indiana. Adaptações foram feitas no carro dinamométrico para acoplamento dos implementos.

Volpato, Braunbeck e Oliveira (2002) desenvolveram um protótipo de cortador de base para o seguimento pantográfico em colhedoras de cana de açúcar. O desempenho de flutuação do protótipo foi avaliado em uma caixa de solo pertencente a Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. O protótipo foi montado em um carro porta ferramentas e submetido a ensaios (Figura 4).



Figura 4 Cortador de base montado no carro porta ferramentas sobre a caixa de solo

Fonte: Volpato, Braunbeck e Oliveira (2002)

Silva et al. (2005) estudaram a influência de três modelos de rodas compactadoras submetidas a diferentes níveis de carga vertical, sobre parâmetros físicos do solo, em uma pista de ensaios projetada para essa finalidade. A pista é constituída de sete canais de solo nivelados, delimitados por trilhos, sobre os quais desliza um trole acionado por motor elétrico. O trole

possui um suporte de fixação que permite o acoplamento das rodas compactadoras, com duas plataformas para cargas estáticas, uma delas com o centro no plano vertical contendo o eixo da roda, que recebe a carga efetiva da roda sobre o solo; a outra plataforma, localizada na extremidade oposta, recebe as cargas para neutralizar o peso próprio da roda. Dessa forma, o suporte de fixação não oferece restrições ao deslocamento vertical da roda, mas impõe restrição ao movimento de rotação horizontal, fazendo com que a roda possa deslocar-se em linha reta, acompanhando possíveis irregularidades no terreno.

2.5 Solos

A seleção adequada do solo para uso é importante para proporcionar um meio uniforme de testes. O volume de solo em uma grande caixa de solo possibilita variação em propriedades físicas do solo. Uma caixa de solo usada para aplicações gerais pode ter um mínimo de três solos: arenoso, argiloso e intermediário. É possível criar solos artificiais pela mistura de solos naturais (BATCHELDER et al., 1970; MOEHNIG; HOAG, 1979).

O processo de seleção do solo pode enfatizar parâmetros específicos do solo que influenciam na interação ferramenta solo, ou parâmetros de interesse particular. Esses parâmetros incluem relação tensão deformação, resistência ao cisalhamento, fricção solo metal, abrasão, adesão do solo, coesão do solo, resistência a compressão e plasticidade. Nem todos os tipos de solo podem ser encontrados onde as caixas de solo estão localizadas.

Certas propriedades estáticas do solo são importantes para descrever as condições do solo que são criadas por sua manipulação: densidade e porosidade. A adequação do solo é definida como o processo usado para preparar o solo para proporcionar as condições de teste desejadas. A adequação do solo deve

proporcionar uniformidade nos parâmetros umidade, densidade e resistência mecânica ao longo de toda caixa de solo.

A adequação do solo em grandes caixas de solo tem sido mecanizada de diferentes formas. A caixa de solo da Deere inclui equipamentos rotativos, rolos compactadores, lâminas vibratórias e aspersores de água. Batchelder et al. (1970) desenvolveram uma caixa de solo que opera em um ciclo contínuo de preparo, onde as ferramentas são acopladas a sensores de força.

Não há um processo padrão para adequação do solo. Todavia, pode-se considerar um procedimento geral que pode ser seguido, dependendo das circunstâncias. A sequência de adequação do solo usualmente inicia com o nivelamento da superfície com uma lâmina. Solos úmidos podem apresentar necessidade de drenagem, utilizando-se ferramentas rotativas. Solos secos podem ser umedecidos com sistemas aspersores de água. Uma vez feito o ajuste da umidade, ferramentas rotativas uniformizam o solo até a profundidade desejada. As operações posteriores incluem nivelamento da superfície e compactação.

Tajima, Tamaki e Kobayashi (1992) desenvolveram uma caixa de solo tubular que emprega tombamento do solo como sequência nas operações de adequação. O solo é girado ao longo de seu eixo longitudinal.

A manipulação do solo é a aplicação de forças mecânicas para criar uma condição desejada do solo. A função principal das ferramentas de preparo de solo é a manipulação do solo. O efeito do material, forma, movimento e velocidade no desempenho de uma ferramenta pode ser facilmente estudado em caixas de solo. As ações de manipulação do solo quando visualizadas em termos simples, como cortar, deslocar, inverter, desagregar ou misturar definem as características que conceitualmente necessitamos para medir o desempenho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

A caixa de solo foi construída nas dependências do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (DEG-UFLA), Lavras, MG, localizada na região Sul do Estado de Minas Gerais, a 917m de altitude, 21°13'50" latitude sul e 45°57'52" longitude oeste.

3.2 Projeto civil

É caracterizada como uma caixa de solo abaixo do nível do solo, cuja escavação, retirada do solo e posterior retorno, foi realizada com auxílio de retroescavadeira (Figura 5).



Figura 5 Retroescavadeira realizando operação de retorno do solo desestruturado à caixa de solo. Observa-se a estrutura em alvenaria para recebimento do solo, protegendo-o contra possível contaminação

A caixa de solo do Departamento de Engenharia da UFLA é uma construção de alvenaria, medindo 21m de comprimento, 1,80m de largura útil e profundidade útil para ensaios de 1,0m. Em toda sua extensão é protegida por cobertura de telhas de fibro cimento pré-fabricadas, que se apoiam em estruturas de madeira com pé direito de 2,70m e cumeeira de 4,0m (Figuras 6 e 7).



Figura 6 Vista longitudinal da caixa de solo, mostrando pilares em alvenaria, tesouras em madeira e cobertura de fibro cimento



Figura 7 Vista transversal da caixa de solo

Seu sistema de drenagem interna é composto por dreno de brita e areia, localizado longitudinalmente à caixa de solo (Figura 8). Para maximizar a eficiência do sistema de drenagem, a caixa de solo apresenta declividade no fundo de 5% longitudinalmente e 5% transversalmente.

Mais detalhes construtivos se encontram nos ANEXOS A, B, C, D e E.

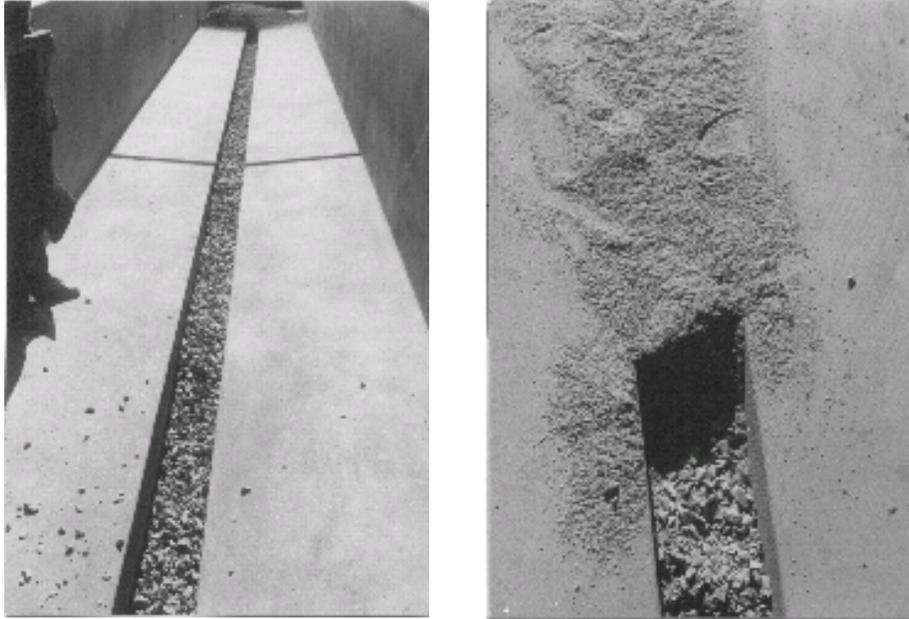


Figura 8 Fundo da caixa de solo. Construção em alvenaria, com drenagem de brita e areia, captação central e desague em área externa à caixa de solo

3.3 Projeto mecânico

O chassi responsável por suportar a fonte de potência, o sistema de deslocamento, frenagem, transmissão e acoplamento de equipamentos foi construído em estrutura de perfis de aço em “U” de 15,24 cm (6”), de solda de comando, proteção e controle, projetado para suportar o peso dinâmico dos demais elementos estruturais (Figura 9).

Desenhos técnicos do projeto mecânico, com detalhamento e em quatro vistas se encontram nos ANEXOS F, G, H e I, e o projeto elétrico no ANEXO J.

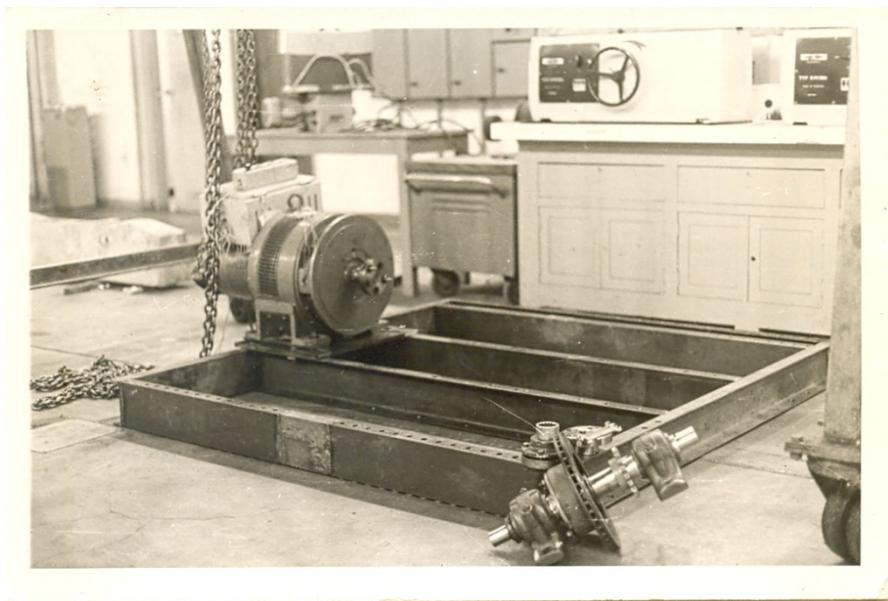


Figura 9 Chassi do carro dinamométrico, composto por perfis metálicos tipo “U”, em número de quatro elementos montados transversalmente, soldados a dois elementos montados longitudinalmente. Observa-se no extremo esquerdo do chassi o motor elétrico e variador eletromagnético já montados

3.4 Fonte de potência e deslocamento

A fonte de potência do carro dinamométrico é constituída por um motor elétrico trifásico, variador eletromagnético acoplado a uma caixa de marchas com cinco marchas à frente e uma à ré. A caixa de marchas está conectada por eixo a um sistema de transmissão final por engrenagens e corrente, responsáveis pelo fornecimento de potência às rodas do carro dinamométrico.

3.4.1 Especificações técnicas do carro dinamométrico

O sistema foi projetado para oferecer tração nas quatro rodas (Figuras 10 a 13). As rodas do carro dinamométrico são metálicas, com diâmetro de 19,1 cm e se deslocam sobre um sistema de trilhos metálicos, perfil TR - 12 (12kg/m).[kg m⁻¹].

1) Motor elétrico de acionamento (Sistema de Potência)

Fabricação: ARNO

Tipo: assíncrono

Potência: 11,04 kw (15 CV)

Modelo: E 132 MPFF e nº de fabricação: LF VURLL

Tensão: 220/380/440/760 V

Rotação nominal: 1730 rpm

Isolamento F, classe A

2) Variador eletromagnético

Fabricação: Metalúrgica PEMAVA Ltda., SP

Tipo: MR 15B

Potência: 11,04 kw (15 CV) e nº de série: 190979

3) Módulo de controle do variador eletromagnético

Fabricação: Metalúrgica PEMAVA Ltda – Mauá – SP

Modelo: TA 15

Placa eletrônica: modelo TA – 2000c

Tensão de alimentação: 220/440 V

Potência: 160 W e nº de fabricação: 8302

Alimentação: 80 V, corrente contínua

4) Caixa de marchas

Fabricação: Mercedes Benz do Brasil S.A.,

Modelo: G 2/24 – 5/7.31

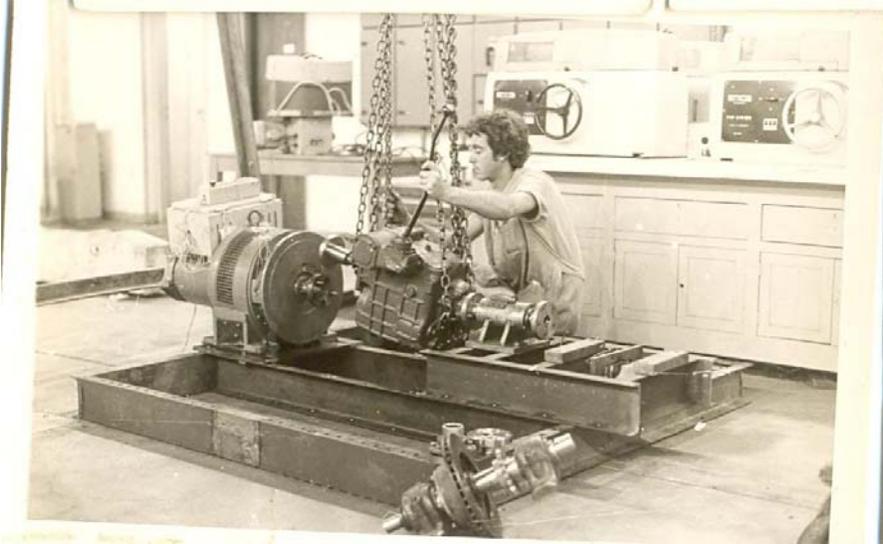


Figura 10 Motor elétrico com variador eletromagnético acoplado ao chassi e montagem da caixa de marchas

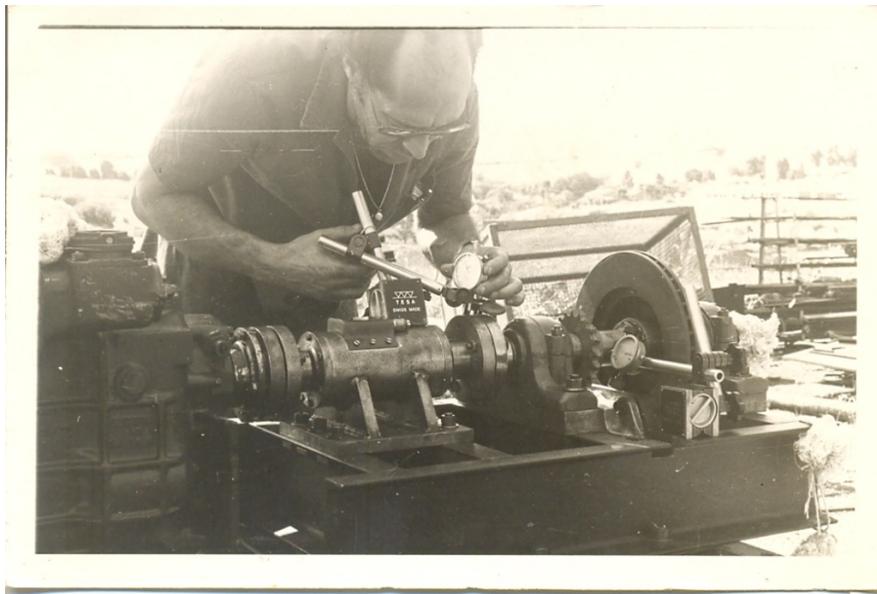


Figura 11 Montagem final dos sistemas, com conferência do alinhamento dos componentes do eixo de transmissão



Figura 12 Fonte de potência, constituída por motor elétrico; quadro de comando; comando e proteção; módulo de controle do variador eletromagnético; banco do operador; alavanca do freio; roda dentada e corrente; e sistema de frenagem, vista anterior (da direita para esquerda)



Figura 13 Motor elétrico, variador eletromagnético e sistema de transmissão, constituído por caixa de marchas, eixo de transmissão; roda dentada, corrente e sistema de frenagem, vista posterior (da esquerda para a direita)

3.5 Equipamentos de preparo do solo

O preparo do solo para as condições desejadas de ensaio foi realizado com uso de lâmina niveladora, de uma grade niveladora de fabricação BIA – Baldan Implementos Agrícolas S.A., modelo HI – Lambarí, de 16 discos de 1'' e um rolo compactador. O carro dinamométrico foi constituído de duas barras porta ferramentas, uma anterior e uma posterior, onde foram acoplados os equipamentos de preparo e ensaio.

A grade niveladora, do tipo (tandem), com apenas 8 discos lisos montados, possibilitando o preparo, uniformização e nivelamento do solo até uma profundidade de 0,15m, sendo sua regulagem de profundidade de trabalho, foi feita pela abertura das sessões ou na colocação de lastros (contrapesos) (Figuras 14 a 16).

O rolo compactador, constituído por um cilindro de aço, com 0,28m de diâmetro e 1,76m de comprimento, teve seu interior preenchido com concreto, perfazendo um peso total de 2,45kN, como lastragem. O rolo compactador possibilita a realização de uma operação de acabamento àquela realizada pela grade na operação de nivelamento, e possibilitou a imposição de compactação em diversos níveis, de acordo com sua posição de acoplamento e lastragem (Figura 17).



Figura 14 Grade niveladora sendo transportada em sistema de talha para acoplamento ao carro dinamométrico



Figura 15 Grade niveladora acoplada ao carro dinamométrico, vista lateral



Figura 16 Grade niveladora acoplada ao carro dinâmico, vista anterior



Figura 17 Rolo compactador acoplado ao carro dinâmico. Observa-se a condição do solo compactado

3.6 Equipamento de irrigação da caixa de solo

A irrigação do solo contido na caixa de solo é feito por um cano de aço galvanizado, com diâmetro de $\frac{3}{4}$ ", fixado aos suportes laterais do carro dinamométrico. Possui furos de 1mm de diâmetro, espaçados de 2.5mm, totalizando 68 furos, para uma boa distribuição da água, no sentido transversal (Figura 18).

A água provém da caixa d'água do prédio adjacente, com capacidade de 5m^3 (5000 l), e de uma altura de 7,5m. A taxa de aplicação da água é controlada por um registro de esfera, e pela velocidade de deslocamento do carro dinamométrico.

A medição da vazão é feita por um medidor de fabricação Schlumberger, modelo 3, nº A/059817, com fundo de escala de $0,001\text{m}^3$.



Figura 18 Irrigação da caixa de solo, com vazão e velocidade controlada

3.7 Instrumentação e aquisição dos dados

O carro dinamométrico foi projetado para multipropósitos em termos de ensaios da interação dinâmica máquina, ou seja, torna-se possível o acoplamento de uma diversidade de ferramentas de preparo de solo, plantio e cultivo, além do acoplamento de pneumáticos para ensaios de desempenho.

No que se refere a instrumentação eletrônica, o carro dinamométrico possibilita o acoplamento de torquímetros, células de carga, sensores de posição e velocidade, além de equipamentos para coleta de amostras de solo.

Para avaliação do carro dinamométrico foram coletadas variáveis que caracterizassem o desempenho operacional do mesmo, sendo:

- a) rotação, medida com tacômetro digital, fabricação Start meter Instruments Co. Ltda., modelo TC 811 D;
- b) potência, medida com watímetro digital, fabricação Minipa (Brymen), modelo ET – 4090;
- c) velocidade, medida com cronômetro digital.



Figura 19 Medição de rotação do eixo de transmissão com tacômetro



Figura 20 Medição de potência do motor elétrico com watímetro



Figura 21 Medição da velocidade de deslocamento do carro dinamométrico. Observa-se o sulco aberto por ferramenta em ensaio com cronometragem digital

3.8 Solo

O solo utilizado na caixa foi oriundo do local de sua instalação, retirado por retroescavadeira, totalmente desestruturado, isento de material inerte e de cobertura vegetal, caracterizado, de acordo com o Departamento de Ciência de Solos da UFLA, como Latossolo Vermelho Distroférrico, textura muito argilosa.

Para sua caracterização física, foram coletadas amostras com estrutura indeformada e deformada. As amostras com estrutura indeformada foram submetidas às seguintes determinações: densidade do solo, determinada pelo método do anel volumétrico (BLAKE, 1965a); microporosidade, determinada pela unidade de sucção, segundo Grohmann (1960); porosidade total, calculada segundo proposição de Vomocil (1965) e macroporosidade. As amostras com estrutura deformada foram submetidas às seguintes determinações: densidade de partículas, pelo picnômetro e água destilada desaerada a vácuo, conforme Blake (1965b), e análise granulométrica, pelo método de Bouyoucos modificado (CARVALHO, 1985).

Para sua caracterização mecânica, foram realizados ensaios de resistência à penetração, até a profundidade de 0,40m, tomados a cada metro de comprimento da caixa de solo, com três repetições, perfazendo um total de 60 pontos amostrais. Foi utilizado um penetrômetro eletrônico fabricado pela Falker (Figura 22).



Figura 22 Ensaio de resistência à penetração, com o penetrômetro eletrônico

3.9 Tratamentos

Para análise do desempenho operacional do carro dinamométrico, procedeu-se à mensuração da potência demandada para seu acionamento, nas 5 possibilidades de marcha à frente e à ré e em 4 possíveis rotações. Tal medida foi realizada com o carro em deslocamento, nas diferentes marchas, em vazio, ou seja, sem equipamentos acoplados ao mesmo e depois acoplado com um sulcador normalmente utilizado na cultura do milho em uma profundidade de 20cm. Também foram mensuradas a rotação de entrada e saída da caixa de transmissão e a velocidade de avanço. Para cada tratamento proposto foram realizadas 5 repetições.

Para análise da capacidade de compactação promovida pelo rolo compactador foram utilizados os dados de Tavares (1995), o qual promoveu

experimento para caracterizar a capacidade de compactação do rolo após dez passadas, nas seguintes condições:

- a) solo compactado com carga dinâmica do rolo compactador de 2,45 kN;
- b) solo compactado com carga dinâmica de 3,63 kN.

Após a passagem do rolo compactador foram realizados 14 ensaios de resistência à penetração até a profundidade de 200 milímetros e 8 ensaios de densidade do solo. Adotou-se como testemunha o solo gradeado e nivelado (sem passadas do rolo compactador).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas e mecânicas do solo

As propriedades físicas do solo avaliado apresentaram os valores mostrados na Tabela 1. Baseado na granulometria, o solo foi caracterizado como de textura muito argilosa. Resultados próximos ao encontrado na atualidade foram observados por Tavares (1995).

Tabela 1 Propriedades físicas do solo avaliado

Parâmetro	Unidade	Valor
Densidade do solo	g cm ⁻³	0,97
Densidade de partículas		2,85
Volume total de poros	%	65,48
Macroporosidade		31,35
Microporosidade		34,23
Argila	g kg ⁻¹	725
Silte		136
Areia		139

4.2 Fonte de potência e deslocamento

A Tabela 2 apresenta os valores de relação de redução (relação entre a rotação de entrada e a de saída na caixa de transmissão) e a potência do carro dinamométrico, quando deslocando-se em vazio, ou seja, sem implementos acoplados à barra porta ferramentas. Observa-se que os valores de relação de redução diferem entre si em todas as marchas utilizadas, excetuando-se a comparação entre a ré e a primeira marcha. Independentemente da marcha

utilizada, a potência de acionamento do carro dinamométrico apresentou valor médio de 3,253 kW.

Tabela 2 Desempenho operacional do carro dinamométrico em vazio

Marcha	Relação de redução	Potência (kW)
Ré	8,254 a	3,222 a
Primeira	8,955 a	3,236 a
Segunda	4,756 b	3,182 a
Terceira	2,738 c	3,462 a
Quarta	1,802 d	3,096 a
Quinta	1,000 e	3,324 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Tabela 3 apresenta os valores de velocidade de avanço do carro dinamométrico em função da rotação do eixo motriz. Observa-se que em função da marcha selecionada e da rotação imposta ao eixo motriz, podem-se conseguir velocidades que variam de 0,13 a 4,87 m s⁻¹. A maioria das operações agrícolas ocorre em velocidades próximas a 1,38 m s⁻¹. Os valores em negrito representam as marchas e rotações que alcançam valores próximos àquele considerado adequado.

Tabela 3 Velocidades de avanço do carro dinamométrico (m s⁻¹)

Marcha	Rotação do eixo de transmissão (rpm)			
	250	500	750	1000
Ré	0,14	0,29	0,44	0,59
Primeira	0,13	0,26	0,40	0,54
Segunda	0,24	0,50	0,76	1,02
Terceira	0,42	0,87	1,33	1,78
Quarta	0,64	1,33	2,01	2,70
Quinta	1,15	2,39	3,63	4,87

4.3 Equipamentos de preparo do solo

A avaliação do desempenho operacional da operação de gradagem se deu a partir da análise visual do desempenho da mesma, observando capacidade de penetração e movimentação de solo. Após diversas passadas da grade, pode-se constatar que a mesma oferece inversão e incorporação do solo de forma adequada, atendendo as exigências da operação. As Figuras 23 e 24 apresentam a grade niveladora em condição operacional e o solo mobilizado pela mesma, respectivamente.



Figura 23 Grade niveladora em operação de preparo de solo



Figura 24 Solo preparado pela ação da grade niveladora

Os resultados do desempenho operacional do rolo compactador são apresentados na Tabela 4. Observa-se que o índice de cone e a densidade do solo apresentaram a mesma tendência de comportamento. Os valores após a passada do rolo compactador diferiram da condição antes da passada, mostrando o efeito compactante do mesmo. Ao se analisar o efeito da carga dinâmica, observa-se que não houve diferença significativa entre os valores.

Tabela 4 Propriedades físicas e mecânicas do solo após a passada do rolo compactador

Parâmetro	Nível de compactação imposto ao solo		
	Sem compactação	Carga dinâmica de 2,45 kN	Carga dinâmica de 3,63 kN
Índice de cone (kPa) ⁽¹⁾	657,27 b	1589,22 a	1814,85 a
Densidade do solo (g cm ⁻³) ⁽²⁾	1,27 b	1,30 a	1,31 a

⁽¹⁾ Médias de índice de cone obtidas a partir de 42 pontos amostrais.

⁽²⁾ Médias de densidade do solo obtidas a partir de 24 pontos amostrais.

⁽³⁾ Na mesma linha, médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A umidade do solo estava em 28,8%.

4.4 Sulcador

A Tabela 5 apresenta os valores de velocidade e potência desenvolvidos pelo carro dinamométrico quando tracionando um sulcador agrícola. Observa-se que tanto a velocidade quanto a potência apresentaram a mesma tendência, ou seja, maior valor para a quinta marcha, seguido pela quarta e terceira, que não diferiram estatisticamente entre si, mas diferiram da quinta, e o menor valor para as marchas primeira e segunda, que não diferiram estatisticamente entre si. Os valores de potência demandada para acionamento do sulcador corroboram com os apresentados por Balastreire (1987). As Figuras 25 e 26 apresentam o sulcador em condição operacional, podendo-se visualizar o sulco aberto.

Tabela 5 Valores de velocidade e potência com sulcador acoplado ao carro dinamométrico

Marcha	Velocidade (m s⁻¹)	Potência (kW)
Primeira	0,13 d	3,572 c
Segunda	0,24 c	3,842 c
Terceira	0,40 b	4,234 b
Quarta	0,61 b	4,749 b
Quinta	1,10 a	5,952 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Figura 25 Sulcador em operação, vista lateral



Figura 26 Sulcador em operação, vista posterior

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que a caixa de solo do Departamento de Engenharia da UFLA atende as exigências para estudos da interação dinâmica máquina solo.

O carro dinamométrico apresenta sistema de variação de velocidade que possibilita cobrir uma faixa ampla de velocidades operacionais de máquinas agrícolas. O chassi do carro dinamométrico possibilita o acoplamento de diferentes equipamentos agrícolas.

REFERÊNCIAS

ARAYA, K.; KAWANISHI, K. Soil failure by introducing air under pressure. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 27, n. 5, p. 1292-1297, Sept. 1984.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 307 p.

BATCHELDER, D. G. et al. **A continuous linear soil bin**. Saint Joseph: ASAE, 1970. 8 p.

BLAKE, G. R. Bulk density. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965a. p. 374-390.

_____. Particle density. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965b. p. 371-373.

BURT, E. C.; WOOD, R. K.; BAILEY, A. C. A three dimensional system for measuring tire deformation and contact stress. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 30, n. 2, p. 324-327, Apr. 1987.

CARVALHO, M. A. de. **Eficiência de dispersantes na análise textural de materiais de solos com horizontes B latossólico e B textural**. 1985. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1985.

CHANCELLOR, W. J.; SCHMIDT, R. H. A study of soil defomation beneath surface loads. **Transaction of the ASAE**, Saint Joseph, v. 4, n. 3, p. 224-225, 1962.

DURANT, D. M.; PERUMPRAL, J. V.; DESAI, C. S. Soil bin test facility for soil tillage tool interaction studies. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 289-298, June 1981.

ELLEN, H. Tillage effects and specific energy requirements of rotary tillage. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 4, n. 1, p. 471-484, 1984.

FELLER, R. et al. **Effect of knife angles and velocities on cutting roots and rhizomes in the soil**. Israel: Volcani Institute of Agricultural Research and the Agricultural Engineering Institute, 1971. 15 p.

FIELK, J. M.; PENDRY, S. D. SAIT tillage test track. In: CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 1., 1986, Adelaide. **Proceedings...** Adelaide: The Institute of Engineers, 1986. p. 181-197.

GILL, W. R. A history of soil dynamics and the National Tillage Machinery Laboratory. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL DYNAMICS, 1., 1985, Auburn. **Proceedings...** Auburn: USDA, 1985. p. 162-178.

_____. **A history of the USDA national tillage machinery laboratory 1935-1985**. Saint Joseph: ASAE, 1990. 20 p.

_____. Influence of compaction hardening of soil on penetration resistance. **Transaction of the ASAE**, Saint Joseph, v. 11, n. 6, p. 741-745, 1968.

_____. Soil deformation by simple tills. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 12, p. 234-239, 1969.

GILL, W. R.; CLARK, R. C. History of the national tillage machinery laboratory. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL DYNAMICS, 1., 1985, Auburn. **Proceedings...** Auburn: USDA, 1985. p. 37-56.

GODWIN, R. J.; SPOOR, G.; KILGOUR, J. The design and operation of a simple low cost soil bin. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 1, n. 1, p. 99-104, June 1980.

GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros de três tipos de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 19, n. 21, p. 319-328, abr. 1960.

HADAS, A.; SHMULEVICH, I. Spectral analysis of cone penetrometer data for detecting spatial arrangement of soil clods. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 18, n. 1, p. 47-62, Jan. 1990.

MARTIN, E. R.; BUCK, N. L. **A computer controlled soil bin for soil dynamics research**. Saint Joseph: ASAE, 1987. 12 p.

MCRAE, J. L.; POWELL, C. D.; WISMER, R. D. **Test facilities and techniques**. Vicksburg: U. S. Waterways Experiment Station, 1965. 28 p. (Technical Report, 3-666).

MOEHNIG, B. W.; HOAG, D. L. **Dynamic parameters of artificial soils**. Saint Joseph: ASAE, 1979. 9 p.

MORGAN, M. T.; WOOD, R. K.; HOLMES, R. G. **Dielectric moisture measurement of soil cores**. Saint Joseph: ASAE, 1991. 12 p.

NATIONAL SOIL DYNAMICS LABORATORY. **International historic mechanical engineering landmark**. Auburn: ASAE, 1990. 14 p.

NEDOREZOV, I. A.; MOISEENKO, V. G. **Study of underwater working of soil: construction and highway machines**. Auburn: ASAE, 1986. 8 p.

NICHOLS, M. L. The sliding of metal over soil. **Agricultural Engineering**, Saint Joseph, v. 6, n. 4, p. 80-84, 1925.

RAPER, R. L.; ASMUSSEN, L. E.; POWELL, J. B. Sensing hard pan depth with ground penetrating radar. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 33, n. 1, p. 41-46, 1990.

SCHAFER, E. D. **Saving the good earth**: mark lovell nichols, soil dynamics, the pioneering of agricultural engineering. Auburn: ASAE, 1993. 11 p.

SHMULEVICH, D.; WELLS, L. G. A new field single wheel tester. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 33, n. 3, p. 133-141, 1996.

SHRIVASTAVA, A. K.; DATTA, R. K. Performance evaluation of an animal drawn puddling implements under controlled soil bin conditions. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 38, n. 2, p. 121-131, May 2001.

SILVA, R. P. et al. Ação de rodas compactadoras de semeadoras submetidas a cargas verticais na deformação do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 839-847, jul./ago. 2005.

SOEHNE, W. H. Soil dynamics research at the national tillage machinery laboratory. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL DYNAMICS, 1., 1985, Auburn. **Proceedings...** Auburn: ASAE, 1985. p. 98-128.

STAFFORD, J. V. A versatile high speed soil tank for studying soil and implement interactions. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 24, n. 1, p. 57-66, 1979.

STUDMAN, C. J.; FIELD, J. E. Motion of a stone embedded in a non cohesive soil disturbed by a moving tire. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 12, p. 131-147, 1975.

TAJIMA, K.; TAMAKI, K.; KOBAYASHI, T. Measurement of properties of granular material by a tine sensor. **Journal of the Japanese Society of Agriculture Machinery**, Tokyo, v. 56, n. 6, p. 13-29, 1992.

TAVARES, G. **Avaliação da caixa de solo do DEG-UFLA como local para análise da interação ferramenta solo**. 1995. 36 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

TOLLNER, E. W. **Measurement of density and water content in soil with x ray linescan and x ray computed tomography**. Saint Joseph: ASAE, 1970. 9 p.

TURNAGE, G. E. **Resistance of fine grained soils to high speed penetration**. Vicksburg: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1970. 15 p. (Technical Report, 3-652).

UPADHYAYA, S. K. et al. **Advances in soil dynamics**. Saint Joseph: ASAE, 1994. v. 1, 313 p.

VOLPATO, C. A. S.; BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, A. A. Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de cortador de base para colhedoras de cana de açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 345-348, abr. 2002.

VOMOCIL, J. A. Porosity. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

WANG, R. et al. **Ultrasonic method to evaluate soil moisture and compaction**. Saint Joseph: ASAE, 1991. 13 p.

WILKINS, D. E.; CONLEY, W. J.; ADRIAN, P. A. **Soil bin for studying planting equipment and systems**. Berkeley: Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1979. 18 p.

WISMER, R. D. Soil bin facilities: characteristics and utilization. In: **INTERNATIONAL SOCIETY FOR TERRAIN VEHICLE SYSTEMS**, 3., 1984, Cambridge. **Proceedings...** Cambridge: ISTVS, 1984. p. 1201-1216.

WISMER, R. D.; FORTH, M. W. Soil dynamics research and Deere e Company. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR TERRAIN VEHICLE SYSTEMS, 3., 1969, Tagungsort. **Proceedings...** Tagungsort: ISTVS, 1969. p. 107-138.

WOOD, R. K.; WELLS, L. G. **A soil bin to study compaction**. Saint Joseph: ASAE, 1983. 11 p.

YAHYA, A. et al. UPM indoor tyre traction testing facility. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 44, n. 3, p. 293-301, June 2007.

YU, Q.; XU, G. A new method for measuring shape and size of tire soil contact zone. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ISTVS, 1., 1990, Kobe. **Proceedings...** Kobe: ISTVS, 1990. p. 171-175.

ANEXOS

ANEXO A	Memorial descrito da Caixa de Solo.....	66
ANEXO B	Projeto civil da Caixa de Solo.....	69
ANEXO C	Corte transversal na Caixa de Solo, na região da plataforma – 01.....	70
ANEXO D	Corte transversal na Caixa de Solo – 02.....	71
ANEXO E	Corte transversal na Caixa de Solo – 03.....	72
ANEXO F	Carro dinamométrico – vista superior (tôpo).....	73
ANEXO G	Carro dinamométrico – vista lateral à direita (lado do freio), destacando a corrente, rodas dentadas e rodas.....	74
ANEXO H	Carro dinamométrico – vista transversal.....	75
ANEXO I	Carro dinamométrico – vista isométrica.....	76
ANEXO J	Esquema elétrico do carro dinamométrico com os sistemas de acionamento, proteção, módulo de comando e controle da rotação do variador eletromagnético.....	77

ANEXOS

ANEXO A – MEMORIAL DESCRITIVO DA CAIXA DE SOLO

Tarley Ferreira de Souza Junior
Engenheiro Civil

MEMORIAL DESCRITIVO

Obra: **Caixa de Solos**

Local: Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras – UFLA

Data: Julho de 2010.

01- REFERÊNCIAS:

- Desenho 01 - Anexo

02- PRELIMINARES:

A “Caixa de Solos” foi construída na parte posterior (fundos) do prédio Prof. José Octávio de Souza, no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, seguindo detalhes construtivos indicados no Desenho 01 (anexo). A área da obra, entre eixos dos pilares da cobertura é de 145,50 m² (4,85 m x 30,00 m).

Como mostra o Desenho 01 a caixa de solos possui uma extensão total útil de 26,60 m, largura útil de 1,80 m, com profundidade variando de 1,00 m no centro da caixa para 1,30 m nas extremidades. Em ambas as extremidades há uma plataforma mais rasa (0,45 m) para propiciar as condições de trabalhabilidade nas montagens e ajustes de acessórios e ferramentas.

03- LOCAÇÃO:

A obra foi locada obedecendo a compatibilidade entre os alinhamentos, afastamentos, níveis e recuos do prédio existente. Cuidados especiais foram tomados para que esquadros, prumos e níveis fossem obedecidos.

04- ESCAVAÇÃO:

A escavação da obra foi executada mecanicamente com posterior acerto manual dos taludes do terreno.

05- COMPACTAÇÃO:

Após a escavação da vala o solo foi energicamente compactado. Neste processo foi colocada uma camada de brita (espessura de 5 cm) espalhada pelo solo levemente umedecido para receber nova compactação e melhorar as condições de resistência do solo.

06- FUNDAÇÕES:

Sobre o solo compactado foram executados alicerces diretos contínuos, largura de 40 cm e profundidade de 30 cm, concreto ciclópico no traço 1:10 – cimento/cascalho – com 30% de pedra de mão, respaldados com cintas de concreto armado (20x20) para base das muretas longitudinais e transversais de

Eng. Civil Tarley Ferreira de Souza Junior
Rua Jorge Duarte, 394 – Jardim América – CEP 37.200-000 – Lavras – MG.
Fone/Fax: (35) 3821-3926 / 3821-3058 – E-mail: tarleyjr@yahoo.com.br

Tarley Ferreira de Souza Junior
Engenheiro Civil

contenção do solo. As cintas forma armadas com 4 ferros de 10,0 mm (3/8") e estribos de 5,0mm cada 20 cm. Sobre o solo já compactado foi feita uma camada de 7 cm de concreto pobre. Sobre essa camada foi executada a laje de fundo, com 10 cm de espessura armada com malha de ferros 6,3 mm (1/4") cada 15 cm. Na construção foi prevista a construção do dreno central, longitudinal à caixa.

07- MURETAS DE CONTENÇÃO DO SOLO:

Sobre as cintas de concreto no respaldo dos alicerces foram construídos pilares (20x20) armados com 4 ferros de 10,0mm (3/8") para travamento da alvenaria e para apoio da cinta de respaldo, espaçados a cada 2,50m. A alvenaria foi executada com blocos de concretos (20x20x40cm) preenchidos com concreto ciclópico.

No respaldo das muretas, para travamento e fixação dos chumbadores para fixação dos trilhos foi construída mais uma cinta de concreto armado com as mesmas especificações das cintas dos alicerces.

08- TRILHOS: (TR-12)

Sobre a cinta de respaldo das muretas de contenção através de chumbadores metálicos (diâmetro de 1/2") foram fixadas chapas metálicas (180 x 100mm) espaçadas a cada metro para fixação dos trilhos TR-12 (12 kg/m).

09- COBERTURA:

A cobertura da caixa de solos foi feita com telhas de fibra-cimento apoiadas em engradamento de madeira. As tesouras do telhado apóiam em pilares (15x15) pre-fabricados de concreto. A altura livre desses pilares é de 2,70m.

10- ABRIGO PARA O COMPRESSOR:

Na extremidade da caixa de solos foi construído um abrigo para proteção do compressor. Construído com alvenaria de blocos de concreto e laje de cobertura, portão metálico em grade.

11- REVESTIMENTO:

As muretas de contenção, a laje de fundo e as paredes do abrigo do compressor foram revestidas com aplicação de chapisco e uma demão de argamassa (reboco) com aplicação de aditivo impermeabilizante.

12- DRENO:

Como indicado no Desenho 01, o dreno central com os caimentos indicados, foi preenchido com camadas de britas cobertas com camada de areia.

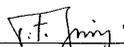
Tarley Ferreira de Souza Junior
Engenheiro Civil

13- PASSEIOS:

Em todo o perímetro da caixa de solos foram construídos passeios para facilitar a locomoção de pessoas e equipamentos.

14- PINTURA:

As muretas de contenção de solos, os pilares de concreto de apoio da cobertura e as paredes do abrigo do compressor foram pintados com tinta látex na cor branca.

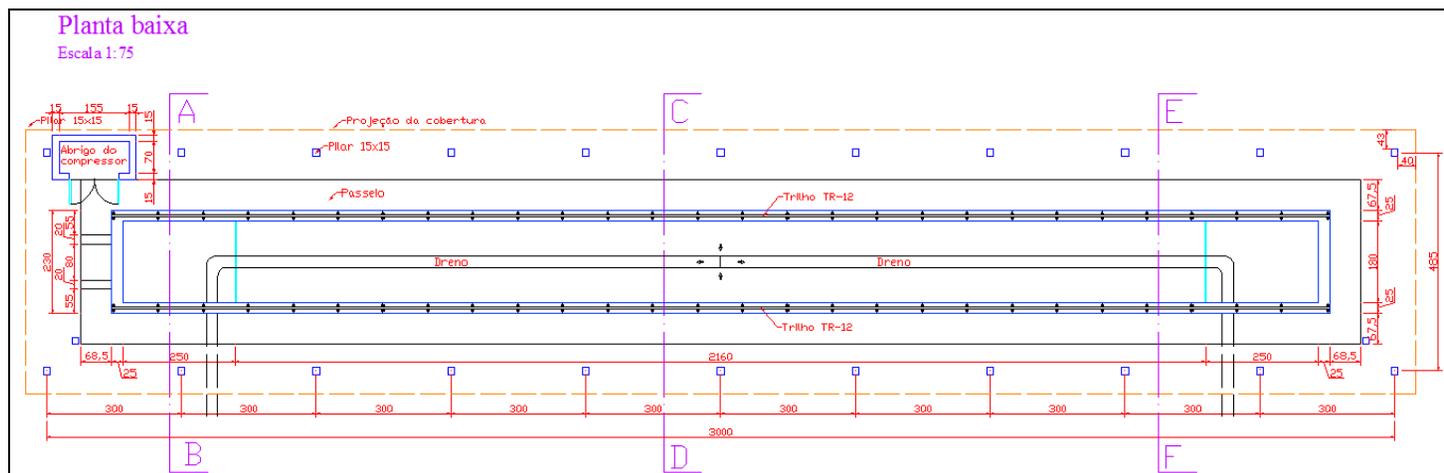


Tarley Ferreira de Souza Junior
Engenheiro Civil – CREA 0002/D RJ – Visto 2731 MG

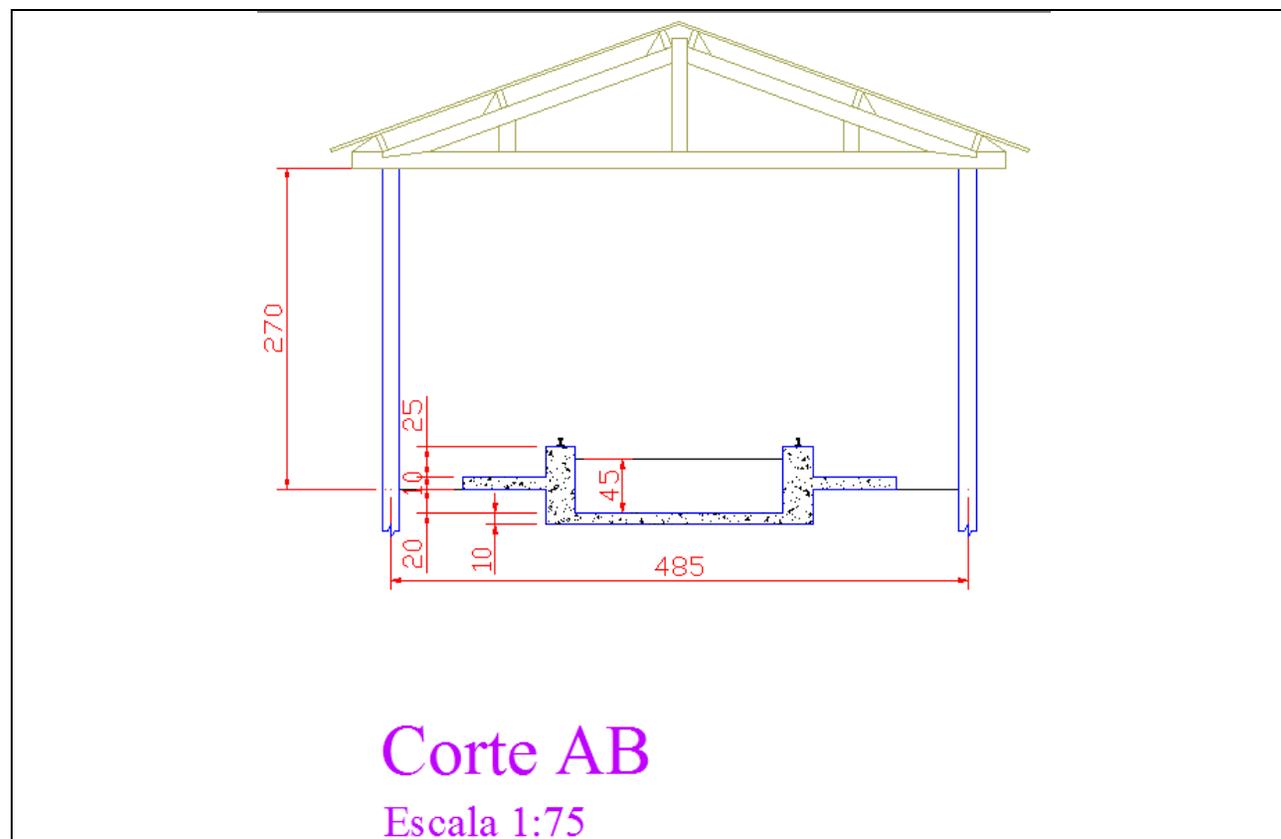
Eng. Civil Tarley Ferreira de Souza Junior
Rua Jorge Duarte, 394 – Jardim América – CEP 37.200-000 – Lavras – MG.
Fone/Fax: (35) 3821-3926 / 3821-3058 – E-mail: tarlevjr@yahoo.com.br

ANEXO B - Projeto civil da Caixa de Solo

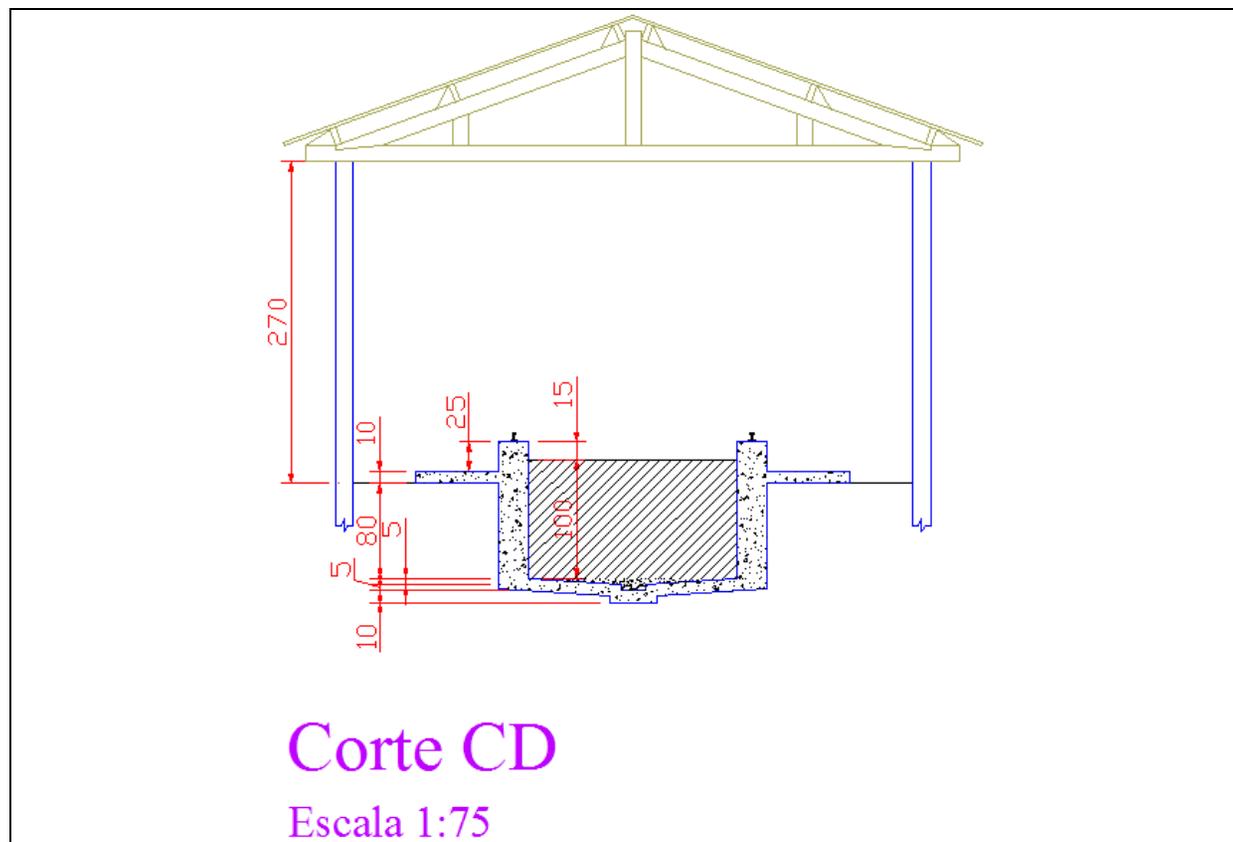
Planta baixa
Escala 1:75



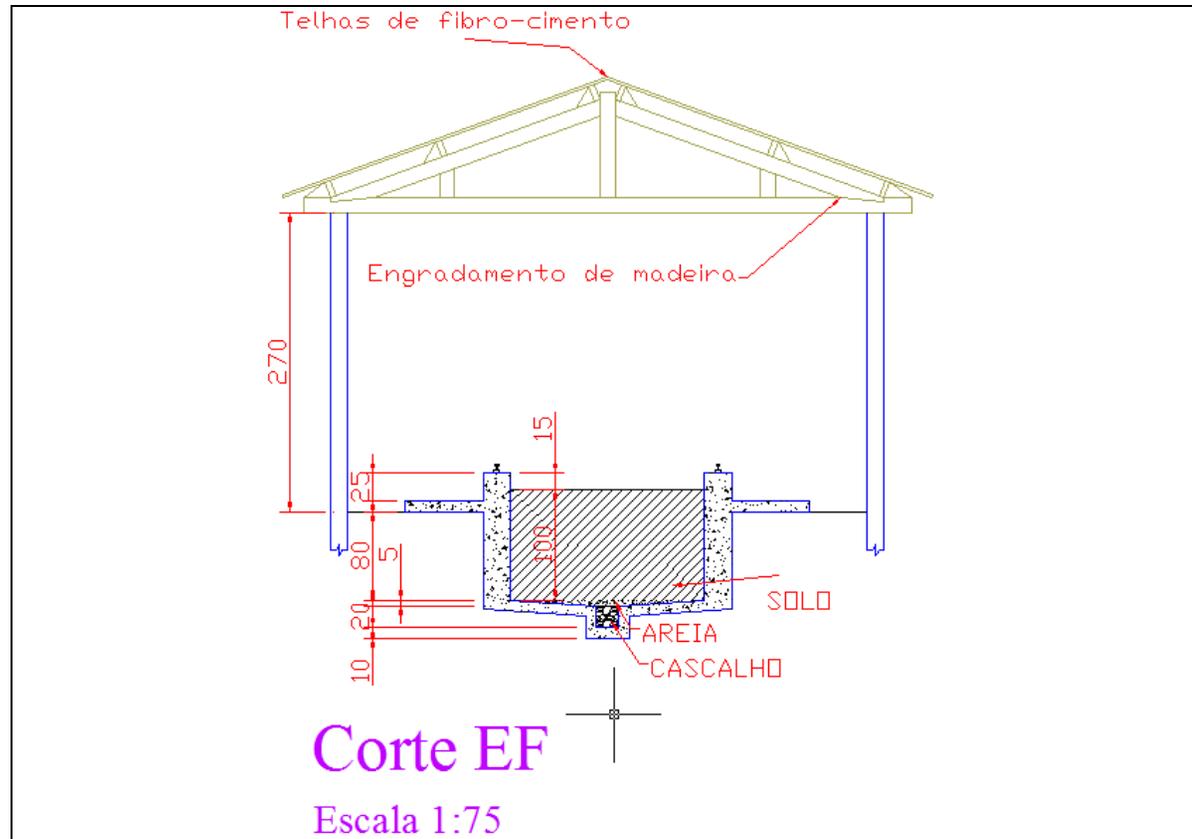
ANEXO C – Corte transversal na Caixa de Solo - 01



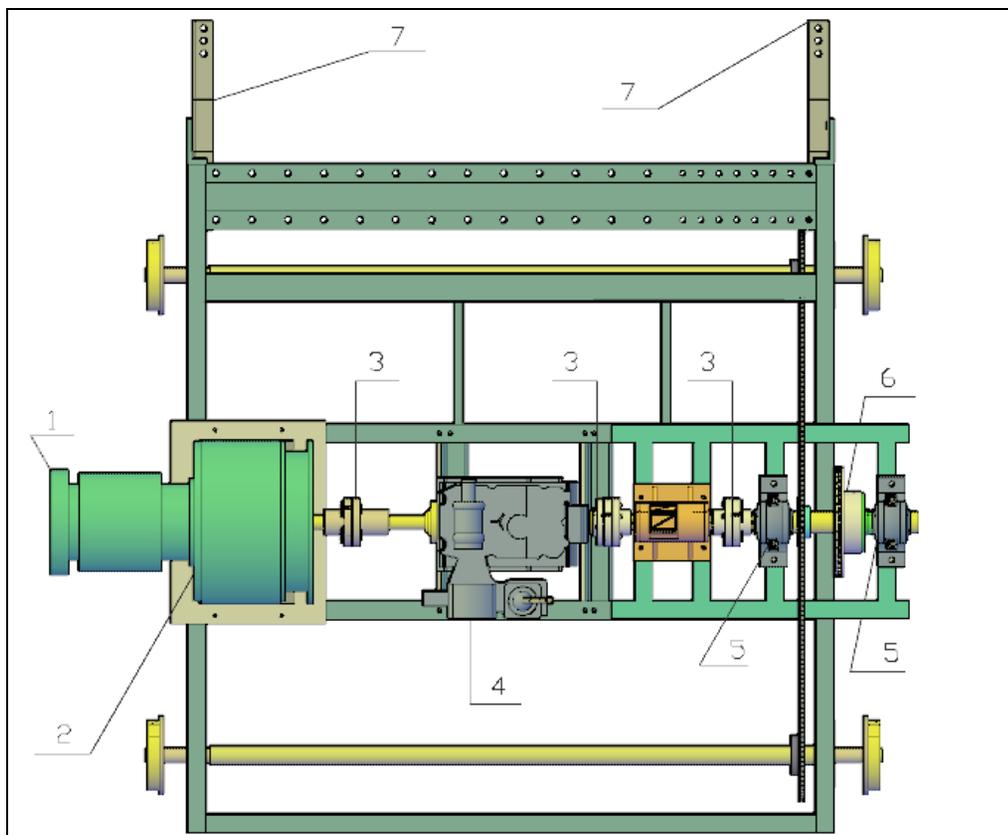
ANEXO D – Corte transversal na Caixa de Solo - 02



ANEXO E – Corte transversal na Caixa de Solo - 03

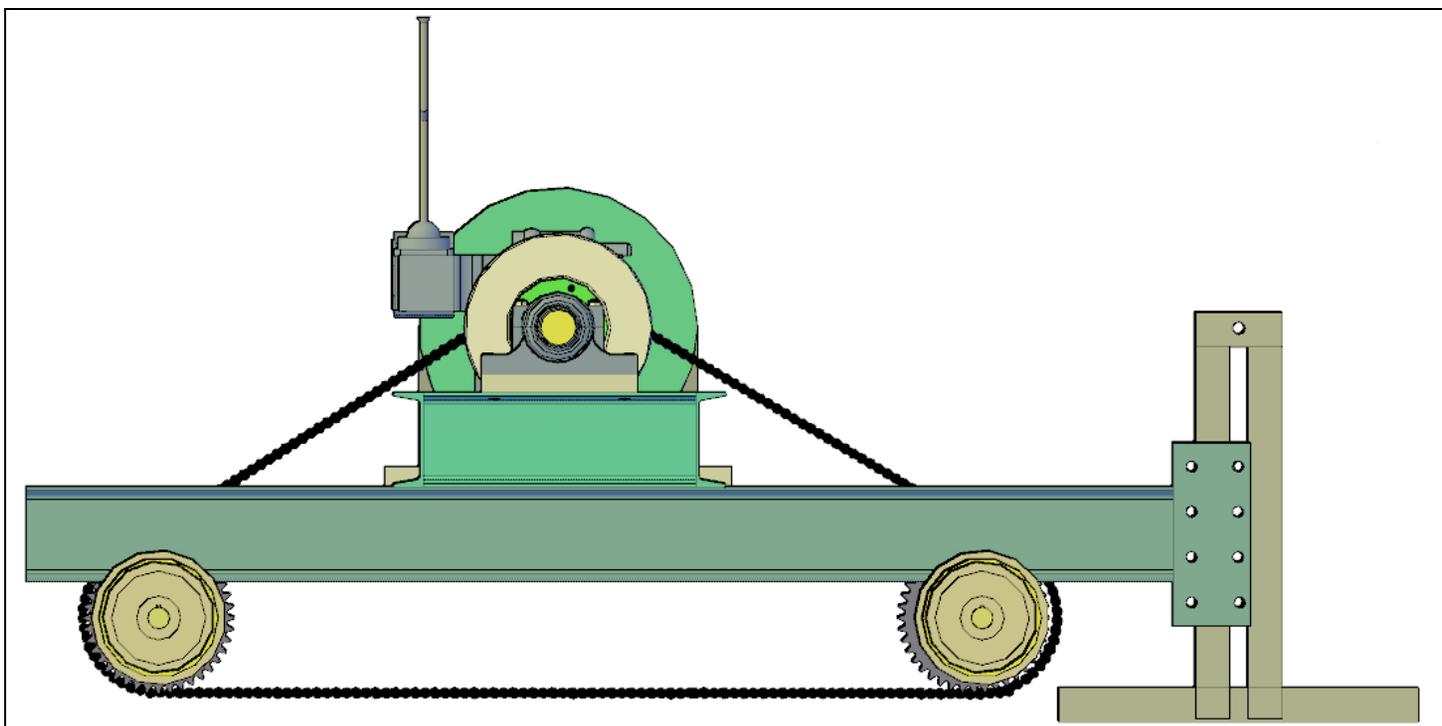


ANEXO F – Carro dinamométrico – vista superior

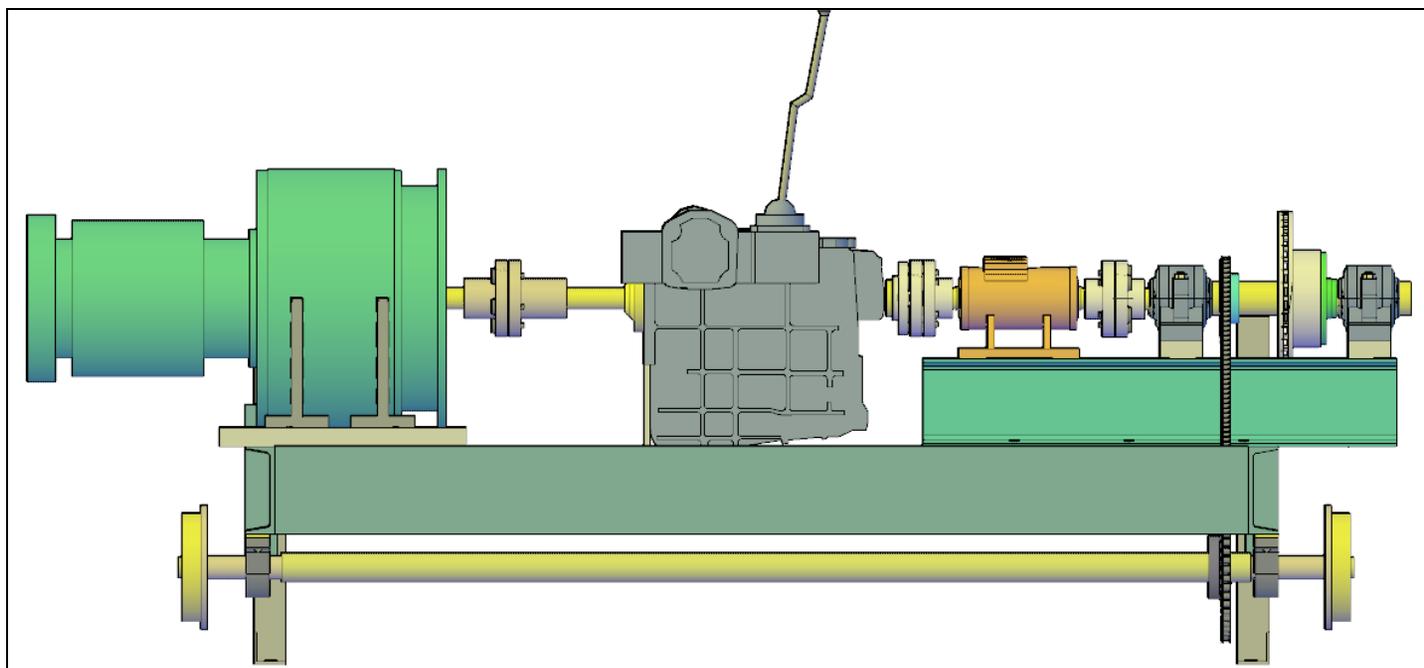


- 1 – Motor Elétrico
- 2 – Variador eletromagnético
- 3 – Acoplamentos elásticos
- 4 – Caixa de marchas
- 5 – Mancais
- 6 – Sistema de frenagem
- 7 – Barras laterais

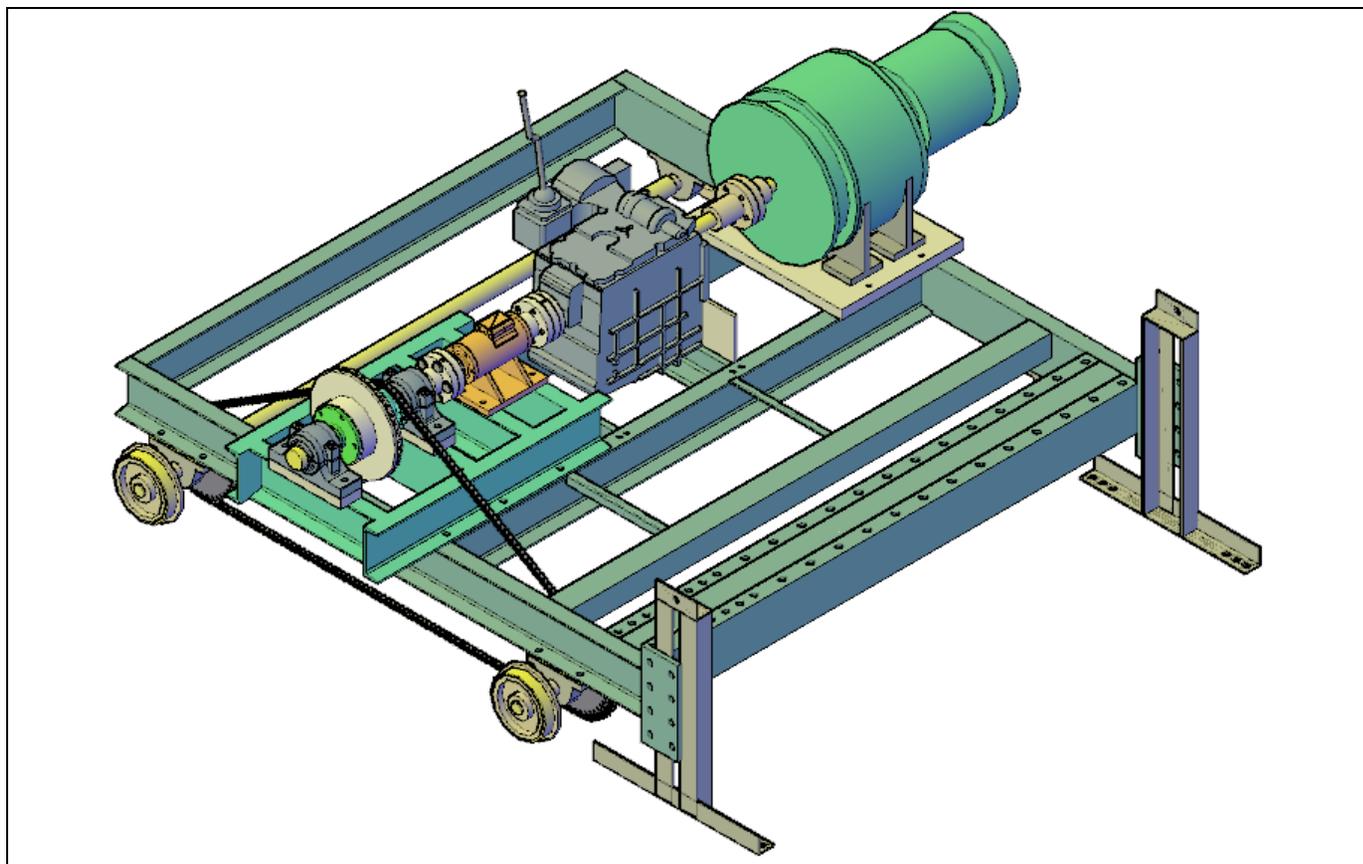
ANEXO G – Carro dinamométrico – vista lateral à direita (lado do freio), destacando a corrente, rodas dentadas e rodas



ANEXO H – Carro dinamométrico – vista transversal



ANEXO I – Carro dinamométrico – vista isométrica



ANEXO J Esquema elétrico do carro dinamométrico com os sistemas de acionamento, proteção, módulo de comando da rotação do variador eletromagnético

