UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola

AMOSTRADOR PARA COLETA DE MONOLITOS DE SOLOS DE VOLUMES VARIADOS

MARCIO VENZON

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola

AMOSTRADOR PARA COLETA DE MONOLITOS DE SOLOS DE VOLUMES VARIADOS

MARCIO VENZON

Tecnólogo em Eletromecânica

Orientador: Prof. Dr. TONNY JOSÉ ARAUJO DA SILVA

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Universidade Federal de Mato Grosso, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

V472a Venzon, Marcio.

Amostrador para coleta de monolitos de solos de volumes variados / Marcio Venzon. -- 2014 89 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Tonny José Araujo da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato
Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,
Rondonópolis, 2014.
Inclui bibliografia.

 Amostras Indeformadas. 2. Física do Solo. 3. Máquinas Agrícolas. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS

Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: AMOSTRADOR PARA COLETA DE MONOLITOS DE SOLOS DE **VOLUMES VARIADOS**

Autora: Marcio Venzon

Orientador: Prof. Dr. Tonny José Araujo da Silva

Aprovado em 11 de agosto de 2014

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Tonny José Araujo da Silva UFMT/CUR/ICAT/Eng.Agric. e Amb

Orientador

Prof. Dra. Edna Maria Bonfim da Silva UFMT/CUR/ICAT/Eng.Agric. e Amb

Membro da banca

Prof. Dr. Heinsten Frederich Leal dos Santos UFMT/CUR/ICAT/Eng.Mecânica Membro da banca

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me abençoar e abençoar toda minha família em todos os momentos.

A minha família, meus filhos, e minha esposa, que souberam compreender a importância da minha dedicação aos estudos, os quais estão sempre ao meu lado, com muito amor e carinho, sempre me apoiando e incentivando a continuar em busca de nossos objetivos.

Aos meus pais, e meus irmãos, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado em todos os momentos de minha vida.

Ao Professor Orientador, Dr. Tonny José Araujo da Silva, pela sua imensa dedicação, por estar sempre disposto a discutir, opinar e apontar caminhos, pelos valiosos ensinamentos transmitidos, pelas orientações acadêmicas e profissionais, pela imensa participação, apoio, e incentivo em todas as fases de realização desse projeto.

A Renato Tillmann Bassini, professor do Curso de Engenharia Mecânica/UFMT/Rondonópolis-MT, colega de Mestrado e amigo pessoal, agradeço pela dedicação, amizade, apoio e incentivo, os quais foram fundamentais para a realização desse projeto, participando incansavelmente nas fases de elaboração, construção e testes do equipamento.

À UFMT, pela oportunidade de desenvolvimento pessoal e profissional através do programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola.

A Fundação Agrisus, pelo apoio fornecido para desenvolvimento deste projeto.

A todos os professores do Mestrado em Engenharia Agrícola, que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desse trabalho e para minha formação;

Aos meus colegas de curso de mestrado e aos professores do curso de Engenharia Mecânica, que me incentivaram e sempre estiveram dispostos a me ajudar e incentivar.

AMOSTRADOR PARA COLETA DE MONOLITOS DE SOLOS DE VOLUMES VARIADOS

RESUMO – Atualmente a forma utilizada para realização de experimentos na área agrícola representa em sua grande maioria o sistema convencional de cultivo, onde o solo coletado é desagregado e posteriormente colocado em recipientes para condução em casas de vegetação. No entanto, esse procedimento dificulta os estudos com amostras nas condições naturais, por exemplo, solos utilizados em sistema de plantio direto, pois o revolvimento do solo para o acondicionamento nos vasos altera as suas características físicas. Visando facilitar a coleta de amostras indeformadas e aprimorar os estudos de solos em condição natural objetivou-se desenvolver um equipamento capaz de coletar monolitos de solo no formato cilíndrico com diâmetros entre 150 a 800 mm e no formato cônico de 170 a 500 mm. ambos com profundidade máxima de 270 mm. O equipamento é constituído por uma estrutura metálica fabricado em aço SAE 1020 e um sistema hidráulico composto por motores, reguladores de fluxo, atuadores, e comando hidráulico, sendo necessário a utilização de tratores agrícolas providos de sistemas hidráulicos. Seu princípio de funcionamento baseia-se no principio da usinagem, ou seja, o solo vai sendo desbastado mecanicamente pela ação da aresta de corte da ferramenta. Dessa forma, reduzindo a compactação pela fricção do solo na lateral do cilindro e o cisalhamento provocado pelos métodos tradicionais, mantendo a estrutura mais próxima das condições naturais dos solos. As variáveis analisadas foram: umidade do solo por ocasião da coleta, presença de raízes e cascalhos, resistência a penetração, qualidade dos monolitos, tempo de coleta, diâmetro e profundidade dos monolitos, capacidade de campo. O equipamento mostrou-se adequado para a coleta de monolitos indeformados para todos os solos avaliados, e para uma diversidade de aplicações, tais como, coleta de monolitos com a presença de raízes e cascalhos, para faixas de umidade do solo e diversos volumes de monolitos.

PALAVRAS-CHAVE: amostras indeformadas, física do solo, máquinas agrícolas.

SAMPLER FOR COLLECTING MONOLITHS SOILS OF THE DIFFERENT VOLUMES

ABSTRACT - The machine capable to collect soil monoliths in cylindrical shape was developed. The machine was build in metallic structure made of SAE 1020 steel and a hydraulic system, flow regulators, actuators and hydraulic control. This configuration was necessary on use of agricultural tractors, providing capable to collect monoliths with diameters from 150mm to 800mm and conical shape with 170-500mm, both cases with a maximum depth of 270mm. The concept of this machine is based on the machinig, where the soil is begin chopped mechanically by the action of the cutting edge of the tool, this action reduce the friction of the soil on the side of the cylinder and shear caused by traditional methods, preserving the natural conditions for a better analyzed soil structure. During the evaluation process of the machine, the variables considered for analysis were moisture content at the time of collection, the presence of roots and cuttings, penatration resistance, quality shape of monoliths, time colletion, diameter and depth of the monoliths. Some analysis of the machine proved the capacity of collect perfect shape monoliths for the soil tests and for a variety of applications, such as collecting monoliths with the presence of roots and cutting, soil moisture ranges and several volumes of monoliths.

KEYWORDS: undisturbed samples, soil physics, agricultural machinery.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Coleta manual de monolitosErro! Indicador não definido.
FIGURA 2. Diagrama de classes texturais para classificação granulométrica
do solo
FIGURA 3. Diferentes amostradores utilizados para coleta de amostras
indeformadas
FIGURA 4. Princípio de usinagem em torneamento vertical 29
FIGURA 5. Arestas de corte da ferramenta de corte
FIGURA 6. Espaço entre o solo e o monolito
FIGURA 7. Transportador helicoidal
FIGURA 8. Detalhes da operação de remoção do solo
FIGURA 9. Rasgos oblongos para alteração do diâmetro do monolito e
consequentemente do volume de solo coletado
FIGURA 10. Rasgos oblongos e furação para alteração do diâmetro do
monolito e consequentemente do volume de solo coletado
FIGURA 11. Detalhes dos principais movimentos realizados pelo
equipamento33
FIGURA 12. Comando hidráulico triplo
FIGURA 13. Reguladores de fluxo hidráulico (vista Frontal)
FIGURA 14. Conexões e mangueiras dos reguladores de fluxo 35
FIGURA 15. Ferramenta para retirada do monolito
FIGURA 16. Monolito envolvido com plástico bolha
FIGURA 17. Tubo de PVC utilizado como ferramenta para retirado do
monolito
FIGURA 18. Montagem final do monolito em forma de vaso para estudo em
casa de vegetação
FIGURA 19. Uso de poliuretano expandido como vaso para casa de
vegetação38
FIGURA 20. Trator Massey Ferguson 292
FIGURA 21. Corte e dobra do chassis
FIGURA 22. Confecção do canal de chaveta das engrenagens de
transmissão

FIGURA 23. Furação do chassis para fixação dos mancais e rolamentos 40
FIGURA 24. Engrenagens utilizadas na transmissão 41
FIGURA 25. Cabeçote móvel
FIGURA 26. Detalhes dos principais movimentos realizados pelo
equipamento. 1- Eixo rotativo; 2- Movimento de translação em torno do eixo
rotativo; 3- Movimento de avanço e recuo da ferramenta de corte,
proporcionado pelo atuador hidráulico linear; e 4- Movimento de rotação da
ferramenta de corte (broca)
FIGURA 27. Fixação do comando hidráulico triplo
FIGURA 28. União rotativa de quatro vias independente 44
FIGURA 29. Motor Hidráulico
FIGURA 30. Atuador hidráulico linear de dupla ação 45
FIGURA 31. Reguladores de fluxo hidráulico (vista Frontal)
FIGURA 32. Conexões das mangueiras aos reguladores de fluxo 46
FIGURA 33. A) Sistema de transmissão; B) Motor hidráulico com
acoplamento elástico; C) Cabeçote móvel, chassis com sistema de
Transmissão; D) Sistema de fixação de três pontos para utilização do
equipamento em tratores agrícolas; E) Sistema de levante hidráulico de três
pontos do trator utilizado para fixação do equipamento; F) Vista geral do
equipamento no primeiro teste47
FIGURA 34. Detalhes das partes do equipamento
FIGURA 35. Determinação da resistência à penetração no solo, ao lado de
cada monolito coletado50
FIGURA 36. Determinação da resistência à penetração no monolito, em
laboratório50
FIGURA 37. Monolitos imersos para saturação 51
FIGURA 38. Coleta de amostra no monolito para determinação da umidade
no momento da leitura de resistência a penetração 51
FIGURA 39. Coleta de amostra para determinação da capacidade de campo
imediatamente ao lado de cada monolito
FIGURA 40. Coleta de amostra para determinação da capacidade de campo
em cada monolito52

FIGURA 41. Gráfico da rotação do trator x rotação da ferramenta de corte.55
FIGURA 42. Monolitos com diâmetros de 400 mm (A) e 240 mm (B) 56
FIGURA 43. Monolito de formato cilíndrico com diâmetro de 150 mm (A) e
800 mm (B)
FIGURA 44. Monolito cônico com diâmetro superior de 170 mm 57
FIGURA 45. Monolito cônico com diâmetro superior de 500 mm 57
FIGURA 46. Diâmetro dos monolitos coletados nos diferentes tipos de solos.
As barras verticais representa o intervalo de confiança da média e a
sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de
probabilidade 60
FIGURA 47. Profundidade dos monolitos coletados nos diferentes tipos de
solos. As barras verticais representa o intervalo de confiança da média e a
sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de
probabilidade 60
FIGURA 48.Limpeza prévia do local de coleta
FIGURA 49. Uniformidade do diâmetro dos monolitos para o solo IV 61
FIGURA 50. Presença de raiz de culturas e de vegetações nativas de
pequeno porte
FIGURA 51. Presença aceitável de raiz de Braquiaria 62
FIGURA 52. Exemplo da presença de raízes, de árvores de grande porte. 63
FIGURA 53. Solo III, presença de cascalho e matéria orgânica 63
FIGURA 54. Solo III, vegetação existente no local da coleta 64
FIGURA 55. Monolito trabalhado com presença de cascalho 64
FIGURA 56. Entupimento da rosca transportadora com alta umidade 65
FIGURA 57. Redução do volume de solo transportado durante a coleta de
solo com alta umidade
FIGURA 58. Aparência visual do monolito e acumulo de solo na frente da
ferramenta de corte durante a coleta com umidade elevada 66
FIGURA 59. Aparência visual do monolito durante a coleta em solo com
baixa umidade
FIGURA 60. Volume de solo transportado durante a coleta em solo com
baixa umidade

FIGURA 61. Tempo de coleta dos monolitos coletados nos diferentes tipos
de solos. As barras verticais representa o intervalo de confiança da média e
a sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de
probabilidade
FIGURA 62. Ângulo máximo de trabalho do equipamento
FIGURA 63. Desenho ilustrativo da coleta de monolitos em solos com
declividade70
FIGURA 64. Vista frontal das arestas da ferramenta de corte (nova) 71
FIGURA 65. Vista frontal das arestas da ferramenta após a coleta de 100
monolitos
FIGURA 66. Desenho ilustrativo do desgaste na secção transversal das
arestas da ferramenta após a coleta de 100 monolitos
FIGURA 67. Retirada da ferramenta de corte
FIGURA 68. Desenho ilustrativo da remoção de material para cada ajuste
realizado na ferramenta de corte
FIGURA 69. Solo I - Coleta do monolito em solo classificado como Franco
Arenoso
FIGURA 70. Solo II - Coleta do monolito em solo classificado como Franco
Arenoso
FIGURA 71. Solo III - Coleta do monolito em solo classificado como Franco
Argilo Arenoso com presença de cascalho
FIGURA 72. Solo IV. Coleta do monolito em solo classificado como Areia. 77
FIGURA 73. Comparativo entre a umidade na CC no solo natural e monolito
para o Solo I. As barras verticais representa o intervalo de confiança da
média e a sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de
probabilidade
FIGURA 74. Comparativo entre a umidade na CC no solo natural e monolito
para o Solo II. As barras verticais representa o intervalo de confiança da
média e a sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de
probabilidade
FIGURA 75. Comparativo entre a umidade na CC no solo natural e monolito
para o Solo III. As barras verticais representa o intervalo de confiança da

nédia e a sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de
orobabilidade 80
FIGURA 76. Comparativo entre a umidade na CC no solo natural e monolito
oara o Solo IV. As barras verticais representa o intervalo de confiança da
média e a sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de
orobabilidade80

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Classificação das amostras de solo	18
TABELA 2. Oscilação na densidade dos solos	19
TABELA 3. Frações granulométricas do solo.	20
TABELA 4. Localização e classificação dos solos	27
TABELA 5. Diâmetro dos monolitos coletados.	58
TABELA 6. Profundidade dos monolitos coletados	59
TABELA 7. Tempo de coleta dos monolitos	68
TABELA 8. Resultado referente a umidade na capacidade de campo	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO16
2	REVISÃO DE LITERATURA18
2.1	Classes de amostras de solo18
2.2	Densidade do solo18
2.3	Textura do solo20
2.4	Resistência mecânica do solo à penetração21
2.5	Porosidade e estrutura do solo22
2.6	Amostradores de solo23
3	MATERIAL E MÉTODOS27
3.1	Etapas de construção do equipamento28
3.2	Princípio de funcionamento do equipamento28
3.3	Estrutura mecânica do equipamento39
3.4	Coleta dos monolitos48
3.5	Variáveis analisadas48
3.5.	1 Variáveis do solo48
3.5.	2 Variáveis mecânicas53
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES54
4.1	Resultados mecânicos54
4.1.	Determinação da rotação ótima de trabalho do equipamento54
4.1.	2 Avaliação de coleta dos monolitos em diferentes diâmetros56
4.1.	3 Coeficiente de variação do diâmetro e profundidade dos
mor	nolitos58
4.1.	4 Coleta de monolitos em solos com presença de raízes62
4.1.	5 Coleta de monolitos em solos com presença de cascalho63
4.1.	6 Coleta em diferentes umidades do solo64

4.1	.7	Coeficiente	de variaçã	o do	tempo	para	coleta de	e cada	monolito	67
4.1	.8	Coleta de	monolitos	de	solos	em	regiões	com	topograf	fia
irre	gular									69
4.1	.9	Desgaste o	las arestas	da fe	erramer	nta de	e corte (b	roca).		71
4.2	Re	sultados do	solo							75
4.2	.1	Avaliação	da coleta de	mor	nolitos	em di	ferentes	solos.		75
4.2	.2	Coeficiente	e de variaçã	o da	umida	de na	capacid	ade de	campo.	77
5	SUGES	STÕES PAR	A TRABAL	HOS	FUTU	ROS				81
6	CONCL	_USÃO								82
7	REFER	ÊNCIAS BI	BLIOGRÁF	ICAS	3					83

1 INTRODUÇÃO.

A experimentação agrícola em condições controladas são importantes e servem como base para futuras pesquisas em condições de campo. Atualmente, realizados para representar o sistema convencional de cultivo, onde o solo coletado é desagregado, passado em peneira com abertura variando entre 2 a 5 mm de abertura) e posteriormente colocado em recipientes (vasos). No entanto, o procedimento de amostragem dificulta os estudos com solos nas condições naturais, por pesquisas com solos utilizados em sistema de plantio direto.

O revolvimento do solo para o acondicionamento nos vasos altera as suas características físicas (estrutura, porosidade, densidade, agregação, entre outras) podendo modificar toda dinâmica da água e dos nutrientes ao longo do perfil (Hillel, 1982).

Esse revolvimento afeta a química do solo em relação à distribuição dos nutrientes, especialmente o cálcio e o fósforo, que se acumulam na superfície do solo em sistema de plantio direto, formando um gradiente de concentração (ANGHINONI, 2007; GATIBONI et al., 2007). Para essas avaliações conduzidas em solos sob plantio direto e em condições controladas, devem preservar-se ao máximo as propriedades físicas originais, destacando a importância de coletas de amostras com estrutura indeformada representativas dessas condições (BORTOLON et al, 2009).

Os fluxos de ar e água também são processos importantes do solo e são afetados pela organização do espaço poroso. O arranjo do espaço poroso do solo pode ser avaliado a partir de medidas de permeabilidade do solo à água (infiltração, condutividade hidráulica) e gases (condutividade ao ar, difusão de gases), porosidade, densidade, retenção de água e resistência mecânica. Normalmente, todas essas avaliações são feitas em amostras, na maioria das vezes coletadas em cilindro metálicos, assumindo-se que os procedimentos de coleta não alteram a estrutura do solo da amostra (GELAIN et al, 2010).

Outro ponto importante a ser considerado na determinação de características químicas e de algumas propriedades físicas como teor de água, granulometria, massa específica de partículas, entre outras, é possível utilizar amostras deformadas. Todavia, quando o interesse são as propriedades cujo valor é altamente influenciado pela estrutura do solo como a condutividade hidráulica, os parâmetros de transporte de solutos, porosidade total, micro e a macro porosidade é recomendável manter as condições do solo inalteradas, principalmente a sua estrutura.

Dessa forma, objetivou-se pelo presente estudo desenvolver e avaliar um equipamento que possibilite a coleta de monolitos (amostras de solo indeformadas, com o mínimo de alteração na sua estrutura), preservando ao máximo o seu estado natural e possibilitando estudos conduzidos sob condições controladas ou a campo, como por exemplo, solos utilizados em lisimetros para estudos de evapotranspiração ou lixiviação de nutrientes, e realizar a validação destes monolitos comparando os atributos físicos dos solos coletados em relação ao solo natural.

O equipamento desenvolvido é um protótipo com principio de funcionamento baseado na "usinagem", sendo construído com estrutura em aço carbono e todos os movimentos necessários para sua operação são gerados pela energia hidráulica fornecida por tratores agrícolas. Sua forma construtiva possibilita a coleta de monólitos com forma cilíndrica e cônica, tendo em sua estrutura mecanismos que após ajustes mecânicos realizados pelo operador é possível obter-se monólitos de diversos diâmetros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Classes de amostras de solo

Quando caracterizamos um solo é, necessário à retirada de amostras, as quais devem ser as mais representativas possíveis do material original ou da área a ser caracterizada. Porém, ao efetuar o processo de amostragem do solo pode haver deformação, a não ser que precauções sejam tomadas. Desta forma, as amostras podem apresentar-se com diferentes graus de alterações, o que possibilita sua divisão em cinco classes (TEIXEIRA, 1998). As amostras referente a classe 01 são consideradas de estrutura indeformadas, ou com o mínimo de alteração em sua estrutura, conforme demonstrado na Tabela 1.

TABELA 1. Classificação das amostras de solo

Descrição	Classes
Sem distorção e alteração do volume, preservando as características de resistência;	01
Com teor de água e compacidade inalteradas, mas com características de resistência alteradas;	02
Com o teor de água e a composição granulométrica inalteradas, mas sem a massa específica do solo original;	03
Com a composição granulométrica inalterada, mas com o teor de água e a massa específica do solo alterado;	04
Com alterações até na composição granulométrica (devido a mistura de horizontes).	05

Adaptado de TEIXEIRA, 1998.

2.2 Densidade do solo

A densidade do solo é uma propriedade variável e depende da estrutura e compactação do solo, sendo esta bastante afetada pelo manejo do homem (ANDRADE et al, 1998).

Segundo RABELO (2000) a densidade do solo pode ser definida como a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca (105

^oC por 24 horas) e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e poros. A densidade do solo, geralmente, aumenta com a profundidade do perfil, pois as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes provocam o fenômeno de adensamento, reduzindo a porosidade. A movimentação de material fino nos horizontes superiores para inferiores, por eluviação, também concorre para reduzir os espaços porosos e aumentar a densidade dessas camadas.

A densidade do solo depende da natureza, das dimensões e da forma como se acham dispostas as partículas do solo, e possuem variações (Tabela 2). De maneira geral, pode-se afirmar que, quanto mais elevada for à densidade do solo, maior será a sua compactação, menor será a sua estruturação, menor a sua porosidade total e, consequentemente, maiores serão as restrições para o crescimento e desenvolvimento das plantas (RABELO, 2000).

TABELA 2. Variação na densidade dos solos.

Descrição do solo	Densidade (g cm ⁻³)
Solos minerais	1,1 a 1,6
Solos orgânicos	0,6 a 0,8
Solos argilosos	1,0 a 1,25
Solos arenosos	1,25 a 1,40
Solos orgânicos	0,75 a 1,0
Solos turfosos	0,2 a 0,4

Fonte: RABELO, 2000

A densidade do solo aumenta quando os constituintes do solo ficam mais próximos uns dos outros e/ou as partículas menores ocupam os espaços vazios entre as maiores (DIAS JUNIOR & PIERCE, 1996; SWEIGARD & BLUESTEIN, 2000).

2.3 Textura do solo

O solo é constituído por partículas minerais de diversos tamanhos que se distribuem de forma contínua, variando desde dimensões coloidais como as argilas extremamente finas, passando pelas areias até os cascalhos e calhaus. Entretanto, para fins de determinação quantitativa as partículas são agrupadas em intervalos dimensionais conhecidos como frações granulométricas. A ciência do solo no Brasil segue a classificação de Atterberg para classificação granulométrica. Ela distingue argila, silte, areia, cascalho, calhau e matacão, e cujos intervalos dimensionais são apresentados na Tabela 3 (OLIVEIRA et al, 1992).

TABELA 3. Frações granulométricas do solo.

Frações granulométricas	Intervalo dimensional
Argila	<0,002 mm
Silte	0,002 – 0,05 mm
Areia	0,05 – 2,0 mm
Cascalho	2,0 mm – 2,0 cm
Calhau	2.0 - 20.0 cm
Matação	> 20 cm

Fonte: OLIVEIRA et al, 1992

O número possível de arranjos resultantes entre a combinação das proporções e das classes de partículas é extremamente elevado, e isso impulsionou o desenvolvimento de um sistema de classificação gráfico e funcional para definição das classes de textura dos solos. O sistema consta da sobreposição de três triângulos isósceles que representam a quantidade de argila, silte e areia do solo (OLIVEIRA et al, 1992). No Brasil é empregado o agrupamento de classes propostos pelo serviço de conservação do solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (LEMOS & SANTOS, 1984) conforme mostra a Figura 2.

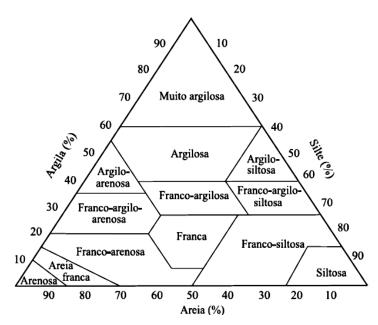


FIGURA 1. Diagrama de classes texturais para classificação granulométrica do solo. FONTE: LEMOS & SANTOS (1984).

Para a agricultura a classe textural do solo é de grande importância e pode influenciar a maioria dos atributos e propriedades físicas e químicas, pois de acordo com as frações de areia, argila e silte o solo se comporta de maneira distinta. A textura constitui uma característica física que em associação aos teores de matéria orgânica e a composição mineralógica das argilas determina em grande medida o comportamento do solo (OLIVEIRA et al, 1992).

2.4 Resistência mecânica do solo à penetração

Alguns atributos físicos são utilizados para caracterizar a compactação do solo, entre estes, a infiltração de água, a porosidade, a densidade do solo e a resistência mecânica do solo à penetração. A penetrometria consiste num método apropriado para avaliar a resistência mecânica à penetração, devido à facilidade, rapidez e à possibilidade de efetuar grande número de repetições na obtenção de dados, embora

possam ocorrer dificuldades na interpretação dos resultados obtidos devido à dependência desses em relação ao conteúdo de água, matéria orgânica e a textura do solo (TAVARES FILHO et al, 1999; BENGHOUGH & MULLINS, 1990).

Entre as características do solo que influenciam a resistência mecânica à penetração estão a textura, porosidade, estrutura, umidade e densidade. ROSOLEM et al, (1999), observaram maior resistência à penetração em solos argilosos. A umidade do solo é inversamente relacionada à resistência à penetração, sendo esta muito baixa quando a umidade do solo encontra-se próximo à saturação (TORMENA et al, 1999).

Os penetrômetros são aparelhos destinados a determinar à resistência mecânica do solo a penetração. Estes dividem em dois grupos: os convencionais para uso agrícola e de impacto. Na ocasião de coleta de dados é preciso levar em consideração a umidade do solo, pois esta influência na resistência da penetração.

Segundo o USDA (1993), a resistência do solo à penetração pode ser classificada em três classes: baixa <0,1 MPa; Intermediária 0,1 – 2 MPa e alta > 2 Mpa, sendo considera o limite de 2 MPa como forte restrição ao crescimento radicular para muitas culturas anuais.

A resistência mecânica à penetração possui boa correlação com o crescimento radicular. As limitações que o crescimento radicular apresenta variam com o tipo de penetrômetro utilizado, tipo de solo e também com a espécie da planta (GERARD et al, 1972).

2.5 Porosidade e estrutura do solo

A porosidade é um dos atributos físicos muito importante a ser considerado na avaliação da qualidade estrutural do solo. A compactação, ao reduzir o volume de macroporos, diminui a aeração do solo, podendo afetar o desenvolvimento e a produtividade das plantas (HILLEL, 1998).

Além de fatores intrínsecos ao solo, como mineralogia e textura, o manejo dado ao solo pode influenciar na quantidade e distribuição do

tamanho de poros (STRECK et al, 2004). O volume de macroporos é um bom indicador das condições físicas do solo, uma vez que são importantes para o crescimento de raízes (WANG et al, 1986) e para o movimento de ar e solutos (BEVEN & GERMANN, 1982). Thomasson (1978) afirma que a infiltração de água e as trocas gasosas entre atmosfera e rizosfera são reflexo do volume de macroporos.

Solos com alta densidade, baixa macroporosidade e com baixa capacidade de infiltração têm baixa difusão de oxigênio podendo fazer sua concentração cair para valores muito baixos, criando um meio extremamente redutor devido ao aumento da população anaeróbica no solo (LARCHER, 2000).

2.6 Amostradores de solo

Para obtenção de amostras com estrutura indeformada, um dos métodos mais simples para retirada das amostras são os amostradores tipo caixa metálica para obtenção de blocos de solo, também conhecida como método do bloco parafinado (TEIXEIRA, 1998).

Os amostradores mais utilizados são os tubulares, isso porque, de acordo com CETESB (1999), são instrumentos versáteis na amostragem de solo, podendo ser utilizados em amostragens realizadas tanto junto à superfície quanto em profundidades maiores. Possibilitam a retirada de amostras relativamente inalterada, mantendo suas características físicas e químicas originais. Podem ser manuais ou mecanizados, utilizando-se de percussão (elétrico, combustível ou manual) ou pressão (hidráulico) para se realizar a amostragem. De acordo com SILVA (2009), dentre os amostradores tubulares destacam-se: amostrador de Uhland; amostrador tipo Shelby; amostrador tipo DER e; amostrador tipo S.P.T. (amostrador Standart Penetration Test).

No uso de amostradores tubulares de paredes finas, para obtenção de amostras indeformadas, as causas mais comuns de perturbação das amostras, de acordo com LA ROCHELLE el al, (1981) são:

- Alteração no solo a ser amostrado antes do início da amostragem, em razão de problemas de mal preparo da área;
- Distorção mecânica (principalmente compactação) das amostras durante a cravação do amostrador;
- Distorção mecânica, combinada com efeitos de sucção, durante a retirada do amostrador; e
- Eliminação do estado de tensão em que as amostras se encontravam no solo.

Os diâmetros dessa classe de amostradores podem variar de 57 mm a 200 mm. Os amostradores de diâmetros maiores são reservados para casos especiais, sendo 75 mm tido como o mínimo aceitável para testes de rotina (SILVA, 2009)

Com o objetivo de facilitar a retenção da amostra no interior do amostrador, após a amostragem, e diminuir o atrito entre esta e as paredes internas do mesmo, é recomendado uma folga de, no máximo, 1,5 % do diâmetro interno em relação ao diâmetro do corte (TEIXEIRA, 1998).

Quanto ao material, os anéis amostradores devem ser fabricados em aço inoxidável ou latão, a fim de minimizar a oxidação do material do amostrador, impedir a adesão do solo às paredes do amostrador e facilitar a remoção da amostra, sem causar distúrbios (TEIXEIRA, 1998).

ROGERS & CARTES (1987) recomendam um velocidade uniforme de cravação de 0,15 a 0,30 m s⁻¹, no uso de amostradores cilíndrico de pequeno diâmetro (0,076 m), com o objetivo de obtenção de amostras para estudos de condutividade hidráulica.

Segundo CETESB (1999) os trados mecânicos e manuais são equipamentos frequentemente utilizados na coleta de amostras de solo (USEPA, 1991, e Byrnes, 1994). Vários tipos de trados podem ser utilizados nesta operação, que variam principalmente com o tipo de solo a ser amostrado. De uma forma geral, podemos identificar os seguintes tipos de trados manuais normalmente utilizados na coleta de amostras indeformadas:

 Trado de caneco standard – utilizável em quase todos os tipos de solo, com exceção de solos secos muito soltos ou granulares.

- Trado de caneco para solos argilosos possui uma ponteira e caçamba desenvolvidas para facilitar a penetração e retirada da amostras de solo muito coesos e úmidos; consequentemente, não é apropriado para amostragem de materiais pouco coesos.
- Trado de caneco para solos arenosos possui uma ponteira desenvolvida para reter materiais poucos coesos (secos, soltos ou granulares), como areia e cascalho, tendo seu uso muito dificultado em materiais muito argilosos ou coesos.
- Trado de rosca possibilita a amostragem em solos coesos, variando de macios a muito duros, n\u00e3o retendo materiais secos, soltos ou granulares.
- Trado holandês desenvolvido especificamente para solos de várzeas com presença considerável de materiais fibrosos e raízes.
- Trado plano utilizado normalmente em conjunto com o trado de caneco e amostradores tubulares, com a finalidade de limpar e nivelar o fundo de furos já realizados.
- Trado de caneco com Liner semelhante ao trado de caneco standard, diferenciando-se deste por possuir em seu interior invólucros de amostragem reutilizáveis ou não (LINER), que reduzem a contaminação por desmoronamento das paredes laterais e minimizam o contato do solo com o ar. Pode não reter materiais secos, soltos ou granulares.

Os trados mais utilizados, segundo SOUZA et al (2014) para coleta de amostras indeformadas de solo são: Trado tipo rosca com impacto (Figura 3B); trado tipo rosca sem impacto (Figura 3D); tipo castelo (Figura 3C); tipo encaixe (Figura 3E) e o trado tipo Ulhand (Figura 3F), e no ao final do estudo concluíram que mesmo sendo trados para coleta de amostras indeformadas, todos os amostradores interferiram significativamente nas amostras coletadas.



FIGURA 2. Amostradores utilizados para coleta de amostras indeformadas. FONTE: SOUZA et al. (2014)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do protótipo e as avaliações foram realizados na Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Rondonópolis, no Instituto de Ciências Agrárias e Tecnologias, utilizando os laboratórios do curso de Engenharia Mecânica para realizar a construção, ensaios e testes mecânicos no equipamento, e os laboratórios de solo do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental para realizar as análises físicas das amostras de solo.

Os testes de desempenho do equipamento bem como as coletas dos monolitos foram realizados nas áreas experimentais do Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental e em duas propriedades rurais da região de Rondonópolis MT, município localizado a 227 metros de altitude com vegetação típica de cerrado, com clima tropical úmido e com precipitação média de 1500 mm anuais, onde podemos encontrar três granulometrias de solo, sendo; 1) Franco arenoso, 2) Franco Argilo Arenoso e 3) Areia, conforme classificação realizada em laboratório por meio da analise granulométrica do solo, conforme ilustrados na Tabela 4.

TABELA 4. Localização e classificação dos solos

SOLO	Município	Localização	Classificação Granulométrica (g kg ⁻¹)			
0020	ao.p.o	ayaa	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	Dondonémolio MT	16°27'44.71"S	0.45.4	645,4 234,0	34,0 120,6	Franco Arenoso
Solo I	Rondonópolis MT	54°34'49.15"O	645,4			
Cala II	Dandanénalia MT	16º33'44.63"S	004.0	000.4	75.0	Гионов A исинов
Solo II	Rondonópolis MT	54º37'19.67"O	691,6 233,1	33,1 75,3	Franco Arenoso	
Solo III	Rondonópolis MT	16º33'37.62"S	E61 6	104.0	243.5	Erongo Argilo Arongo
3010 111	Kondonopolis IVII	54º37'10.35"O	361,6	561,6 194,9	94,9 243,5	Franco Argilo Arenoso
Solo IV	Rondonópolis MT	16º33'10.84"S	889,2	66,1	44,7	Areia
		54º38'20.25"O				Arela

Os dados obtidos durante os testes do equipamento foram submetidos a coeficiente de variação (CV) conforme classificação realizada por PIMENTEL-GOMES (2009) sendo classificado como baixo, quando inferior a 10%; médio, entre 10 e 20%; alto, quando entre 20 e 30%; e muito alto, quando são superiores a 30%. A classificação do CV é inversamente

proporcional à classificação da precisão do experimento, ou seja, quanto maior o CV menor a precisão.

Outro critério estatístico que também foi empregado é a comparação de médias, utilizando o intervalo de confiança da média a 95% (α=0,05) (PAYTON et al, 2000). Nessa técnica, dois ou mais tratamentos são considerados significativamente diferentes quando não há sobreposição entre os limites superior e inferior.

3.1 Etapas de construção do equipamento

Em setembro de 2013 iniciou-se a construção mecânica do protótipo, confeccionando todas as peças individualmente, e montando posteriormente os subconjuntos, sendo finalizada a construção do protótipo no início de dezembro de 2013. Após a etapa de construção foram realizados os primeiros testes em campo, com o objetivo de realizar possíveis ajustes mecânicos no equipamento. Somente após a realização de todas as modificações e melhorias mecânicas no protótipo foram iniciadas as coletas dos monolitos em campo com a finalidade de avaliar a eficiência da ferramenta desenvolvida e a qualidade dos monolitos coletados. Esses testes foram realizados de janeiro a abril de 2014.

Por se tratar do desenvolvimento de um protótipo e por não conhecer as forças necessárias para o desenvolvimento das operações, optou-se por desenvolver um equipamento superdimensionado, ou seja, o equipamento foi construído com materiais, tais como eixos e chapas com diâmetros e espessuras superiores as que provavelmente serão necessárias, para que posteriormente após os testes e a determinações dos esforços solicitados pelas operações seja possível realizar os dimensionamentos, construindo assim um equipamento funcional e com dimensões econômicas.

3.2 Princípio de funcionamento do equipamento

Desenvolveu-se o equipamento para que durante a coleta da amostra o solo seja "usinado" (Figura 4), ou seja, o solo foi desbastado

mecanicamente pela ação da aresta de corte da ferramenta, na forma cilíndrica, desta forma reduzindo a compactação pela fricção do solo na lateral do amostrador e o cisalhamento provocado pelos cilindros amostradores utilizados nos métodos tradicionais, mantendo a estrutura natural dos solos coletados.

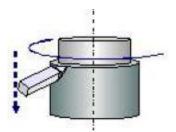


FIGURA 3. Princípio de usinagem em torneamento vertical.

FONTE: VENZON, 2013

Realizando um comparativo ao termo "usinagem", o "Toalet" refere-se na física do solo, ao processo de preparo de amostra por meio da retirada do excesso de solo para determinar a densidade do solo ou outros parâmetros físicos. Na coleta de solos com uso de anéis volumétricos, recomenda-se manter um excesso de solo para que no laboratório o mesmo seja ajustado para o volume do cilindro de coleta. Durante esta operação de ajuste do volume, realiza-se de certa forma realizando uma "usinagem" do solo, onde o procedimento manual com a espátula realiza o desbaste do solo em excesso.

Nesse contexto, podemos dizer que a espátula (faca, serra, estilete) utilizada para ajuste do volume do solo em anéis volumétricos também pode ser chamada de uma ferramenta de corte, que desenvolve uma operação mecânica de desbaste fornecida pela e força humana, geralmente realizada em torno do anel volumétrico. Em uma analogia com o equipamento desenvolvido, a ferramenta de corte (broca) realiza uma operação semelhante ao "Toalet" do solo, porém seus movimentos são desenvolvidos por meio da energia hidráulica fornecida pelo sistema, é não mais pela força humana.

A ferramenta de corte desenvolvida e utilizada para a coleta dos monolitos possui quatro arestas de corte defasadas entre si de 90°, e com ângulo de saída de aproximadamente 30° (Figura 5).



FIGURA 4. Arestas de corte da ferramenta de corte FONTE: VENZON (2014)

Essa ferramenta de corte possui um diâmetro de 0,11 m propiciando a abertura de uma fenda entre o solo e o monolito durante a coleta, facilitando posteriormente a sua retirada (Figura 6).

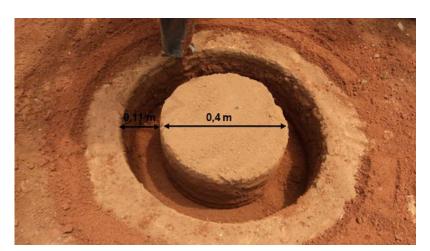


FIGURA 5. Espaço entre o solo e o monolito realizado pela ferramenta de corte.

FONTE: VENZON (2014)

O solo removido pela ação mecânica das arestas de corte da ferramenta é retirado através de um transportador helicoidal (Figura 7), com passe de 30 mm, sendo direcionado posteriormente para a calha de saída, o

qual é descartado ao longo de toda a circunferência externa de cada monolito coletado, (Figura 8).



FIGURA 6. Transportador helicoidal.

FONTE: VENZON (2014)

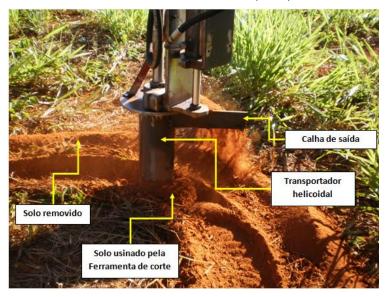


FIGURA 7. Detalhes da operação de remoção do solo.

FONTE: VENZON (2014)

O equipamento possibilita a coleta de monolitos com diversos diâmetros sendo possível o ajuste de 150 mm a 800 mm no formato cilindrico, e de 170 mm a 500 mm no formato cônico com inclinação de sete graus. Esse ajuste é realizado através de uma chapa perfurada conjugado com rasgos oblongos o que possibilita o ajuste dos diâmetros acima citados e do ângulo de incidência da ferramenta de corte no solo. O ajuste para coleta de monolitos de maior ou menor volume é realizado por meio de rasgos oblongos e da chapa perfurada (Figuras 9 e 10).



FIGURA 8. Rasgos oblongos para alteração do diâmetro do monolito e consequentemente do volume de solo coletado. FONTE: VENZON (2014)



FIGURA 9. Rasgos oblongos e furação para alteração do diâmetro do monolito e consequentemente do volume de solo coletado. FONTE: VENZON (2014)

Toda a transmissão dos movimentos, tais como rotação da ferramenta de corte, movimento de translação e profundidade de amostragem, ilustrados na Figura 11, é realizada através da energia fornecida por um trator agrícola, equipado com unidade de bombeamento hidráulico.



FIGURA 10. Detalhes dos principais movimentos realizados pelo equipamento.

FONTE: VENZON (2014)

Os movimentos de rotação da broca e de translação em torno do eixo rotativo são realizados com o uso de motores hidráulicos, os quais transformam a energia hidráulica fornecida pela bomba hidráulica do trator em energia mecânica de rotação (torque no eixo)

A profundidade de corte, ou seja, a altura do monolito coletado é obtida com o uso de um atuador hidráulico linear de dupla ação, com curso de 350 mm, o que possibilita a coleta de monolitos com altura máxima de 250 mm. Esse controle de profundidade é realizado manualmente pelo operador, por meio do comando hidráulico.

Toda a operação do equipamento é realizada por meio de alavancas manuais, a qual é composta por um comando hidráulico triplo e reguladores de fluxo. O comando hidráulico utilizado possui três alavancas (Figura 12), sendo duas com três possição fixas com centro aberto, utilizado para acionamento dos motores hidráulicos, possibilitando com isso acionar o motor no sentido horário e anti-horário ou mantê-lo desligado com a alavanca na posição central. A terceira alavanca também possui três posições porém é mantida no centro por ação mecânica de molas, sendo utilizada para avanço ou recuo do atuador hidráulico.

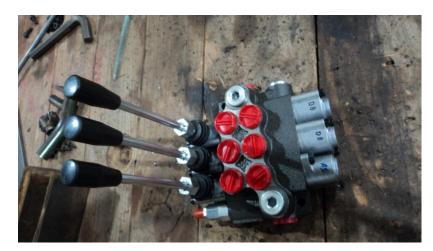


FIGURA 11. Comando hidráulico triplo. FONTE: VENZON (2014)

Os reguladores de fluxo utilizados (Figura 13) são reguladores bidirecionais, pois, sua forma construtiva permite regular a vazão do fluído em ambos os sentidos. Os mesmos possuem manopla de fácil operação e um controle preciso do fluxo realizado por um parafuso de ajuste com multi-voltas. Dois reguladores são destinados ao controle de velocidade dos motores hidráulicos, possibilitando variar as rotações de trabalho conforme as necessidades de operação ou conforme as características físicas de cada solo coletado. O terceiro regulador tem a finalidade de controlar a velocidade máxima de avanço do atuador linear (em profundidade), controlando desta forma a velocidade de avanço e recuo da ferramenta de corte (broca) no sentido vertical.



FIGURA 12. Reguladores de fluxo hidráulico (vista Frontal).

FONTE: VENZON (2014)

Na Figura 14 verifica-se que os reguladores estão ligados em série ao sistema hidráulico, recebendo na sua conexão de entrada o fluxo de óleo oriundo do comando hidráulico, e sua conexão de saída é conectada diretamente no elemento realizador de trabalho, neste caso, os motores e o atuador.



FIGURA 13. Conexões e mangueiras dos reguladores de fluxo.

FONTE: VENZON (2014)

Após o processo de "usinagem" o monolito é retirado do solo com o auxilio de uma chapa com espessura de 1,2 mm calandrada no formato cilíndrico com abertura lateral (Figura 15), e de uma cinta com catraca para realizar um leve "aperto" da chapa ao monolito. Em outros ensaios utilizouse seções de tubos de PVC abertos longitudinalmente, para revestir o monolito, antes da extração do local de coleta.



FIGURA 14. Ferramenta para retirada do monolito.

FONTE: VENZON (2014)

Após o monolito ser removido do solo, deve-se envolver o mesmo com plástico bolha para facilitar o transporte evitando-se a desestruturação por meio do contato excessivo até o laboratório, conforme Figura 16.



FIGURA 15. Monolito envolvido com plástico bolha.

FONTE: VENZON (2014)

Outra possibilidade de acondicionamento do monolito foi por meio da utilização de vasos construídos com tubos de PVC (Figura 17), com a mesma abertura lateral utilizada na ferramenta metálica, com a vantagem da não utilização de acondicionamento com plástico bolha, reduzindo assim o contato e manuseio dos monolitos, uma vez que cada monolito era colocado em seu próprio vaso. A desvantagem seria o custo mais elevado dos tubos de PVC (vaso), porém, isso pode ser compensado pela facilidade de remoção dos monolitos e a possibilidade dessa forma de acondicionamento ser definido como o próprio vaso para os ensaios e testes em casa de vegetação ou laboratórios. Com isso, é possível retirar do campo os recipientes prontos para uso (Figura 18).



FIGURA 16. Tubo de PVC utilizado como ferramenta para retirado do monolito. FONTE: VENZON (2014)



FIGURA 17. Montagem final do monolito em forma de vaso para estudo em casa de vegetação. FONTE: VENZON (2014)

A utilização desses vasos com tubos de PVC pode facilitar a formação de caminhos preferenciais laterais, favorecendo o fluxo de água e nutrientes com posterior crescimento do sistema radicular. Outra alternativa para o acondicionamento de monolitos visando a redução dos caminhos preferenciais de fluxos de água é a utilização de Poliuretano Expandido,

sendo injetado entre o Tubo de PVC (Vaso) e o monolito. Após o tempo de expansão e secagem do Poliuretano o tubo de PVC é removido, obtendo-se um vaso de poliuretano modelado e aderido ao monolito (Figura 19).



FIGURA 18. Uso de poliuretano expandido como vaso para casa de vegetação.

FONTE: VENZON (2014)

O equipamento proposto foi construído para ser acoplado em tratores agrícolas que dispõem de sistemas hidráulicos para acoplamento de sistemas externos. O trator utilizado nos testes e experimentos foi o modelo 292 da Marca Massey Ferguson (Figura 20).



FIGURA 19. Trator Massey Ferguson 292. FONTE: VENZON (2014)

3.3 Estrutura mecânica do equipamento

Desenvolveu-se o equipamento para coletar monolitos de diversos volumes e no formato cilíndrico e cônico conforme forma construtiva do vaso selecionado.

A construção do equipamento teve inicio em setembro de 2013, com a construção de subconjuntos, tais como, usinagem de eixo, corte e dobra do chassis, usinagem de canal de chaveta nas engrenagens de transmissão, entre outros conforme demonstrado a seguir.

A estrutura principal, chassis (Figura 21), foi confeccionado com chapa de aço SAE 1020 com espessura de 3/16". O perfil da seção transversal selecionado para confecção do chassis, foi o formato conhecido como "U" enrijecido, sendo fabricado com o uso de dobradeira hidráulica. Esse forma construtiva aumenta a rigidez do conjunto, facilita e permite a fixação da tampa lateral possibilitando o enclausuramento do sistema de transmissão, e também o acesso relativamente rápido para eventuais manutenções e regulagens do referido sistema.



FIGURA 20. Corte e dobra do chassis. FONTE: VENZON (2014)

Os canais de chaveta realizados nas duas engrenagens de trasmissão, Figura 22, foram confeccionados utilizando uma plaina limadora e ferramentas de corte fabricadas em aço rapido com 10% de cobalto. A finalidade desses canais é garantir a união dos eixos as engrenagens para transmitir o torque do motor hidráulico aos conjuntos de forma sincronizada,

sem perdas por escorregamento. As chavetas utilizadas foram construidas em aço SAE 1045 com secção retangular de 8 x 10 mm.



FIGURA 21. Confecção do canal de chaveta das engrenagens de transmissão. FONTE: VENZON (2014)

A furação do chassis, Figura 23, destinado para fixação dos mancais de rolamento e eixos de transmissão foram realizados com o auxílio de uma fresadora ferramenteira com mesa de coordenadas, e a ferramenta de corte utilizada para abertura das furações com diâmetro de 30 mm e 60 mm, para os respectivos mancais, foi do tipo bailarina conjugada com bits de aço rapido com 10% de cobalto. As demais furações foram realizadas com brocas helicoidais de aço rapido, com os diâmetros necessários.



FIGURA 22. Furação do chassis para fixação dos mancais e rolamentos.

FONTE: VENZON (2014)

A trasmissão de movimento e torque provido do motor hidráulico principal realizou-se com engrenagens de 15 e 24 dentes respectivamente, Figura 24, fabricadas em aço de baixo teor carbono, e interligadas por

corrente normalizada ASA 40. As engrenagens de 15 e 24 dentes serão citadas no projeto como engrenagens motriz e motora, respectivamente. A utilização deste sistema de transmissão possibilita sincronismo e precisão uma vez que não se verifica perdas por escorregamento como é o caso do sistema de trasmissão por polias e correias, este conjunto de engrenagens nos fornece uma relação de transmissão de 1:0,6.



FIGURA 23. Engrenagens utilizadas na transmissão.

FONTE: VENZON (2014)

Após a construção dos subconjuntos iniciou-se a montagem para formação dos conjuntos principais, como por exemplo, o cabeçote móvel, Figura 25.



FIGURA 24. Cabeçote móvel. FONTE: VENZON (2014)

O cabeçote movel é o conjunto responsável pela "usinagem" do solo, realizando três movimentos, sendo: 1) Movimento de rotação da ferramenta de corte (broca); 2) Movimento de translação, e; 3) Avanço e recuo da

ferramenta de corte (broca) para determinação da profundidade de corte. Esses três movimentos estão ilustrados na Figura 26.

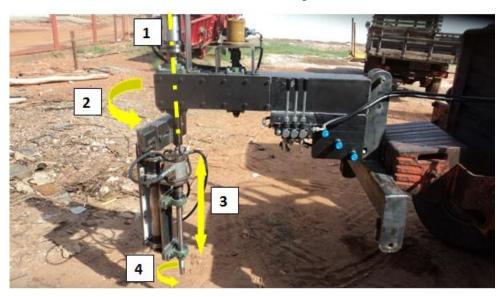


FIGURA 25. Detalhes dos principais movimentos realizados pelo equipamento. 1- Eixo rotativo; 2- Movimento de translação em torno do eixo rotativo; 3- Movimento de avanço e recuo da ferramenta de corte, proporcionado pelo atuador hidráulico linear; e 4- Movimento de rotação da ferramenta de corte (broca).FONTE: VENZON (2014)

O comando hidráulico possue conexões de entradas e saída de 3/8' e válvula limitadora de pressão na entrada para garantir que o sistema trabalhe com uma pressão máxima, que no caso limitou-se a 180 PSI para garantir a integridade física do conjunto hidráulico. Essa regulagem é obtida com o uso de manômetros e bancadas de testes para equipamentos hidráulicos, realizado por uma empresa tercerizada.

Realizou-se a fixação do comando ao chassis do equipamento, Figura 27, com parafusos M10x50 e porca autotravante, sobre uma chapa de aço carbono SAE 1020 com espessura de 1/4".



FIGURA 26. Fixação do comando hidráulico triplo.

A união rotativa hidráulica, Figura 28, possui quatro vias independentes com conexões de entrada e saída de 3/8" BSP. Construída com corpo em alumínio, rotor em aço inox e rolamentos com lubrificação permanente, possui sistema de fixação por flange e sua forma construtiva permite trabalhar em sistemas hidráulicos com temperatura de até 121°C, pressão de 280 bar e rotação máxima de 580 RPM.

O uso de união rotativa teve como finalidade realizar a trasmissão do fluído hidráulico da parte fixa do equipamento, ou seja do comando fixado no chassis, para a parte rotativa do equipamento, ou seja, o cabeçote móvel. Neste caso utilizou-se uma união de quatro vias, sendo duas vias para o motor hidráulico responsável pela rotação da broca e duas vias para o atuador linear, responsável pelos movimentos de avanço e recuo da ferramenta de corte.

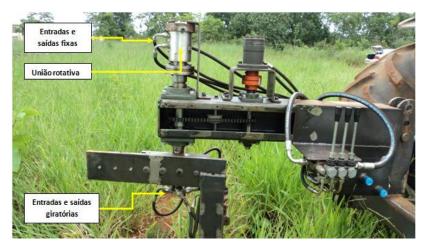


FIGURA 27. União rotativa de quatro vias independente.

Para a transmissão dos movimentos foram utilizados motores hidráulicos (Figura 29), com sistema de fixação por flange, eixo chavetado com diâmetro de 25,4 mm, conexão de entrada e saída de 7/8 BSP, rotação máxima de 750 RPM e torque máximo de 45 Nm.



FIGURA 28. Motor Hidráulico. FONTE: VENZON (2014)

O atuador utilizado no equipamento foi do tipo linear de dupla ação (Figura 30), construído com dimensões exclusivas para o projeto, com corpo em aço carbono com diâmetro externo de 50 mm e haste em aço carbono SAE 1080 com tratamento superficial em cromo níquel com diâmetro de 20 mm e curso de 350 mm e conexões de entrada e saída de 1/4" BSP. A fixação é realizada por quatro parafusos M10x1,5 posicionados na parte traseira do atuador.



FIGURA 29. Atuador hidráulico linear de dupla ação.

Foram fixados os reguladores de fluxo (Figura 31) em uma chapa de aço carbono SAE 1020, com espessura de 1/4" soldada no chassis com eletrodo revestido.



FIGURA 30. Reguladores de fluxo hidráulico (vista Frontal).

FONTE: VENZON (2014)

As conexões de entrada e saída dos reguladores, Figura 32, são de 1/4" BSP, e as mangueiras utilizadas para a transmissão do fluido possuem diâmetro de 1/2" com limite de resistência de 250 PSI.

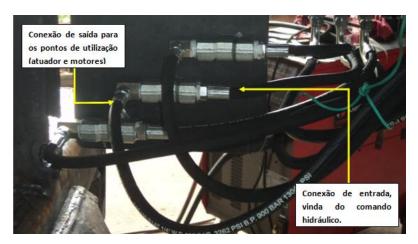


FIGURA 31. Conexões das mangueiras aos reguladores de fluxo.

Durante o mês de outubro de 2013, foram realizadas a montagem e construção das peças necessárias para os primeiros testes com o equipamento. As etapas e detalhes construtivos estão demonstrados nas Figuras 33 a 34.

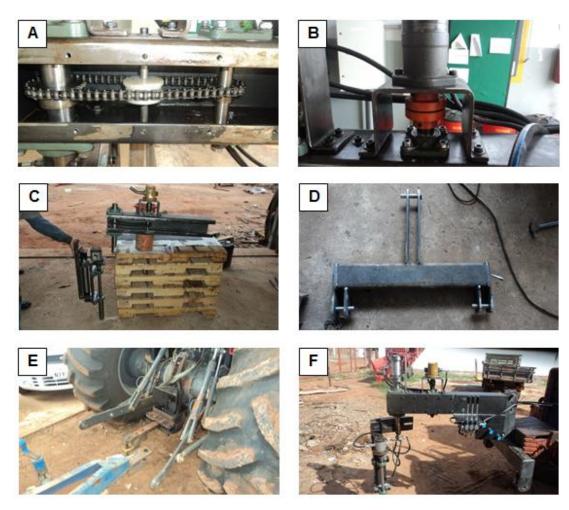


FIGURA 32. A) Sistema de transmissão; B) Motor hidráulico com acoplamento elástico; C) Cabeçote móvel, chassis com sistema de Transmissão; D) Sistema de fixação de três pontos para utilização do equipamento em tratores agrícolas; E) Sistema de levante hidráulico de três pontos do trator utilizado para fixação do equipamento; F) Vista geral do equipamento no primeiro teste. FONTE: VENZON (2014)

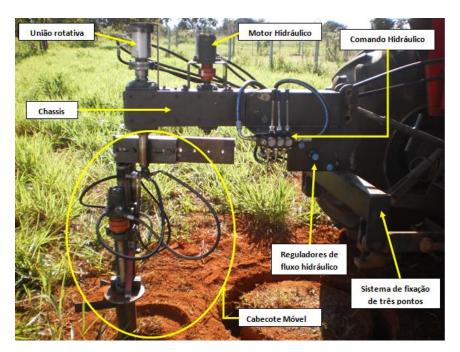


FIGURA 33. Detalhes das partes do equipamento.

3.4 Coleta dos monolitos

Foram coletados seis monolitos para cada tipo de solo, na região de Rondonópolis-MT, onde as amostras foram coletadas em triplicata, sendo selecionados os pontos de coleta dentro de um raio de dez metros visando manter a uniformidade do solo e consequentemente das amostras.

As amostras foram coletadas na camada superficial (0- 0,25 m), e com diâmetro médio de 0,24 m.

3.5 Variáveis analisadas

3.5.1 Variáveis do solo

Foram realizados os testes nos quatro solos estudados na região de Rondonópolis MT, com diferentes características, com o objetivo de determinar a eficiência do equipamento na coleta de monólitos para solos com diferentes classes textural.

Assim testou-se a eficiência do equipamento em diferentes solos, com diferentes características. Durante o processo de coleta dos monolitos,

separou-se uma amostra do solo visando a determinação da classe textural do solo em laboratório.

Para cada solo estudado, foram coletados seis monolitos em uma mesma região, sendo realizada a determinação textural para todas as seis amostras coletadas. Essas determinações foram realizadas através da análise granulométrica, quantificando o percentual de areia, silte e argila.

Determinou-se a densidade do solo para todas as amostras coletadas realizando levantamentos estatísticos a fim de verificar diferenças entre essas propriedades, comprovando ou não a eficácia do equipamento para cada tipo de solo.

A umidade de solo foi outro parâmetro considerado durante os testes e as análises, uma vez que solos com elevada umidade tendem a coleta aumentar sua aderência nas paredes dos cilindros metálicos utilizados para coleta da amostra. A avaliação dessa variável serviu para verificar se a coleta em condições de umidade elevada, iria aumentar a fricção do solo nas paredes do cilindro, e com isso, aumentará a compactação do solo.

A umidade foi determinada à base de peso "U" onde no laboratório determinou-se a massa úmida (mu) e, em seguida, o material foi seco em estufa a 105 °C, até peso constante. O material então foi novamente pesado, obtendo-se a massa seca (ms). A percentagem de umidade na base de peso foi obtida pela expressão:

$$U = 100 x (mu - ms)/ms$$

Para comprovar a eficiência do equipamento desenvolvido, que deve realizar coletas de monolitos indeformados, realizou-se também medidas de resistência a penetração com penetrometro marca Falker, modelo SOLOTrack, em dois momentos: 1º) Em campo, onde mediu-se a resistência mecânica a penetração no solo ao lado, para cada monolito coletado, (Figura 35). 2º) No monolito, onde mediu-se a resistência mecânica a penetração em laboratório para cada monolito, (Figura 36).



FIGURA 34. Determinação da resistência à penetração no solo, ao lado de cada monolito coletado. FONTE: VENZON (2014)



FIGURA 35. Determinação da resistência à penetração no monolito, em laboratório.

FONTE: VENZON (2014)

Para cada medida de resistência a penetração em campo, coletou-se uma amostra de solo a 0,10 m de profundidade para determinação da umidade no momento da leitura. A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico.

Já para o monolito, houve a necessidade de realizar as medições da resistência a penetração na umidade próxima a capacidade de campo, evitando assim que os monolitos sofressem deformações. Para saturação dos monolitos, manteve-se os mesmos imersos em água por três dias, (Figura 37).



FIGURA 36. Monolitos imersos em água para saturação.

Finalizado o tempo de imersão, esvaziou-se o reservatório, mantendo os monolitos drenando o excesso de água até ser observado a finalização da drenagem da água gravitacional.

Nesse momento realizou-se a medida da resistência a penetração (Figura 36) e em seguida coletou-se uma amostra de solo do monolito, conforme Figura 38, a 0,10 m de profundidade para determinação da umidade correspondente ao momento da leitura de resistência mecânica do solo a penetração no monolito.



FIGURA 37. Coleta de amostra no monolito para determinação da umidade no momento da leitura de resistência a penetração. FONTE: VENZON (2014)

Outro teste realizado visando a comprovação do equipamento na coleta de monolitos indeformados, foi a determinação da capacidade de campo do solo natural e dos monolitos. Para esse ensaio utilizou-se de anéis

volumétricos de 50 cm³, onde coletou-se amostras em dois momentos: 1º) em campo, onde coletou-se uma amostra do solo natural, a 10 cm de profundidade e imediatamente ao lado de cada monolito, conforme Figura 39, levando-as para o laboratório para determinação da capacidade de campo, e 2º) no monolito, onde coletou-se uma amostra também a 10 cm de profundidade conforme Figura 40.



FIGURA 38. Coleta de amostra para determinação da capacidade de campo imediatamente ao lado de cada monolito. FONTE: VENZON (2014)



FIGURA 39. Coleta de amostra para determinação da capacidade de campo em cada monolito. FONTE: VENZON (2014)

Determinou-se a capacidade de campo do solo e do monolito em laboratório, realizando algumas rotinas com posterior utilização do Extrator de Richards. Após a retirada das amostras do extrator, levou-se as mesmas em estufa a 105°C por 72 horas para determinação da umidade na capacidade de campo, utilizando-se o método gravimétrico.

3.5.2 Variáveis mecânicas do amostrador

Após a certificação da eficácia verificada nos testes preliminares do equipamento, foram realizados testes com diferentes solos, com o objetivo de identificar a resistência mecânica, principalmente com relação ao desgaste por abrasão e atrito da aresta de corte da ferramenta junto ao solo, uma vez que o principio de funcionamento deste equipamento é de desbaste do solo, sendo necessário materiais com boa capacidade de corte e que sejam fáceis de ser trabalhados mecanicamente. Esses materiais selecionados devem atender a alguns requisitos: eficiência e longevidade do equipamento, custos de fabricação e manutenção, qualidade das amostras, leveza e operacionalidade.

Para determinar se o equipamento atende esses requisitos realizaram-se testes com a coleta de monolitos na presença de raízes de diversas vegetações e com a presença de cascalhos de diâmetros variados, tendo como objetivo de determinar as limitações no uso do equipamento em operações de coleta de amostras sobre condições extremas, verificando assim o desgaste das arestas de corte, as limitações mecânicas e fluxo de materiais sobre a rosca transportadora.

Para reduzir as limitações durante a coleta construiu-se o equipamento com opção de ajuste no ângulo de inclinação para possibilitar o nivelamento durante a coleta dos monolitos e para possibilitar a coleta de em solos com declive, sendo determinado o ângulo máximo de trabalho do equipamento.

Por ser um equipamento hidráulico e com seu principio de funcionamento baseado na usinagem cilíndrica, é necessário a determinação das rotações ideias de trabalho da ferramenta de corte e do sistema de translação, levando em consideração, a rotação de trabalho no motor do trator e nos motores hidráulicos acoplado ao equipamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados mecânicos

4.1.1 Determinação da rotação ótima de trabalho do equipamento

Por ser um equipamento acionado por forças hidráulicas, ou seja, a transmissão dos movimentos é realizada convertendo a força hidráulica em força mecânica de rotação (torque) no eixo dos motores. Sendo a força hidráulica transmitida através de uma bomba de engrenagens existente no trator agrícola, e o volume de óleo (vazão) dependente diretamente da rotação da mesma, assim, a vazão é diretamente proporcional a rotação de trabalho, foi necessário determinar qual á rotação ideal de trabalho do equipamento desenvolvido.

A rotação de trabalho utilizada como parâmetro, foi a do eixo de acionamento da ferramenta de corte, devido esse mecanismo desenvolver a maior rotação verificada nos conjuntos do equipamento. Para essa determinação, utilizou-se um tacômetro ótico (sem contato) modelo MDT-2238A da marca Minipa, realizado as medições diretamente no eixo de saída do motor hidráulico.

Iniciou-se as medições da rotação da ferramenta de corte com a rotação de 700 RPM do motor diesel do trator, obtendo-se uma rotação de 140 RPM no eixo da ferramenta de corte. Utilizou-se incrementos da rotação do motor no trator de 100 em 100 RPM, realizando para cada rotação do trator a medição da rotação resultante no eixo da ferramenta de corte, conforme demonstrado na Figura 41.

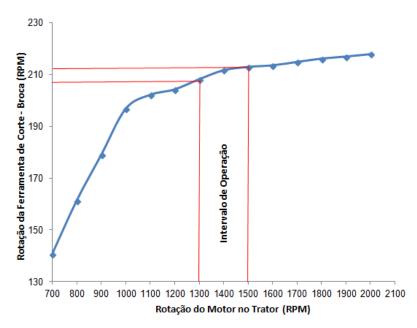


FIGURA 40. Gráfico da rotação do trator x rotação da ferramenta de corte. CV= Coeficiente de variação. FONTE: VENZON (2014)

Para rotações entre 700 a 1300 RPM no motor do trator, houve maiores variações na rotação da ferramenta de corte, indicando um coeficiente de variação de 13,75%. Para rotações acima de 1300 RPM essa variação foi menor, com coeficiente de variação de 1,2%.

Segundo PIMENTEL-GOMES (2009) o coeficiente de variação para rotações entre 700 a 1300 RPM é 13,75% classificado como médio e para rotações acima de 1300 RPM o coeficiente de variação (1,2%) é classificado como baixo.

Durante os testes em campo para coleta dos monolitos, observou-se que o equipamento apresentou melhor desempenho quando atinge a máxima rotação da ferramenta de corte, de 210 RPM, concluindo com isso que a faixa ideal de trabalho é entre 1300 a 1500 RPM de rotação no motor do trator.

BRAUNBECK (1986) desenvolveu um equipamento para coleta de amostras indeformadas, constituído por uma rosca-sem-fim e um motor de arranque automotivo com uma rotação de trabalho de 250 RPM, similar a rotação de utilizada na ferramenta de corte do equipamento desenvolvido de 210 RPM.

4.1.2 Avaliação de coleta dos monolitos em diferentes diâmetros.

O equipamento desenvolvido possibilitou coletar monolitos com diâmetros variando de 0,15 m a 0,80 m no formato cilíndrico. A Figura 42 ilustra monolitos de diferentes diâmetros no formato cilíndrico e a Figura 43 o diâmetro mínimo e máximo, também para o mesmo formato.



FIGURA 41. Monolitos com diâmetros de 0,4 m (A) e 0,24 m (B). FONTE: VENZON (2014)



FIGURA 42. Monolito de formato cilíndrico com diâmetro de 0,15 m (A) e 0,80 m (B). FONTE: VENZON (2014)

O equipamento também possibilitou a coleta de monolitos no formato cônico com diâmetros entre 0,17 m e 0,50 m e com conicidade semelhante a dos vasos plásticos normalmente utilizados para o cultivo de plantas e/ou a realização de experimentos em casa de vegetação, os quais possuem uma conicidade (ângulo) de aproximadamente sete graus. Na Figura 44 apresenta um monolito cônico com o menor diâmetro possível de

se obter com o equipamentos $(0,17\ \mathrm{m})$, e na Figura 45 o maior diâmetro $(0,50\ \mathrm{m})$.



FIGURA 43. Monolito cônico com diâmetro superior de 0,17 m. FONTE: VENZON (2014)

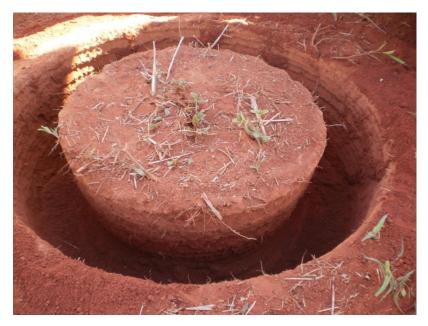


FIGURA 44. Monolito cônico com diâmetro superior de 0,50 m. FONTE: VENZON (2014)

4.1.3 Coeficiente de variação do diâmetro e profundidade dos monolitos.

Durante a realização da coleta dos 24 monolitos, manteve-se a mesma regulagem, com o objetivo de verificar a consistência e repetibilidade do equipamento. O diâmetro dos monolitos coletados variou entre 230 a 245 mm, considerando todas as repetições e tipos de solo coletados. Essa variação de coleta proporcionou um coeficiente de variação de 1,30%. Para a profundidade obteve-se uma variação de 0,228 a 0,270 m com coeficiente de variação de 3,46%. Na Tabela 5, encontra-se os diâmetros para cada monolito coletado em cada tipo de solo e na Tabela 6 as profundidades.

TABELA 5. Diâmetro dos monolitos coletados.

Solo	Repetição	Classificação do Solo	Diâmetro (m)	CV (%)
Solo I	1	Franco Arenoso	0,235	1,33
	II		0,245	
	III		0,240	
	IV		0,240	
	V		0,241	
	VI		0,240	
	I	Franco Arenoso	0,240	0,90
	II		0,240	
Solo II	Ш		0,240	
3010 11	IV		0,239	
	V		0,240	
	VI		0,245	
	1	Franco Argilo Arenoso	0,235	1,62
	II		0,240	
Solo III	Ш		0,230	
3010 111	IV		0,238	
	V		0,235	
	VI		0,240	
Solo IV	1	Areia	0,240	0,41
	II		0,240	
	III		0,240	
	IV		0,238	
	V		0,241	
	VI		0,240	

CV= Coeficiente de variação

TABELA 6. Profundidade dos monolitos coletados

Solo	Repetição	Classificação do Solo	Profundidade (m)	CV (%)
Solo I	I		0,250	3,12
	II		0,240	
	III	Franco Arenoso	0,245	
	IV	Tranco Archoso	0,240	
	V		0,228	
	VI		0,245	
	I		0,240	3,87
	II		0,270	
Solo II	Ш	Franco Arenoso	0,250	
3010 11	IV	Tranco Arenoso	0,250	
	V		0,252	
	VI		0,254	
Solo III	I	Franco Argilo Arenoso	0,260	3,75
	II		0,260	
	III		0,240	
	IV		0,245	
	V		0,245	
	VI		0,240	
	I		0,250	1,60
	II	Areia	0,250	
Solo IV	III		0,245	
	IV		0,240	
	V		0,246	
	VI		0,243	

CV= Coeficiente de variação

Pode-se observar também que não houve diferença estatística significativa a 5% de probabilidade pelo método do intervalo de confiança entre os diâmetros e a profundidade dos monolitos coletados independente do tipo de solo, (Figura 46 e 47), comprovando com isso a eficiência do equipamento no que se refere a uniformidade das amostras coletas.

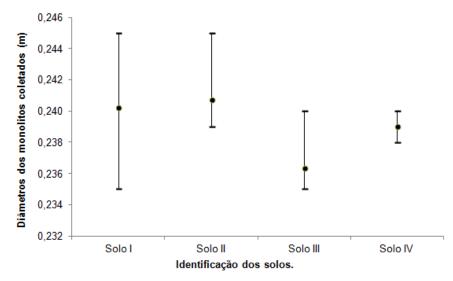


FIGURA 45. Diâmetro dos monolitos coletados nos diferentes tipos de solos. As barras verticais representa o intervalo de confiança da média e a sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de probabilidade. FONTE: VENZON (2014)

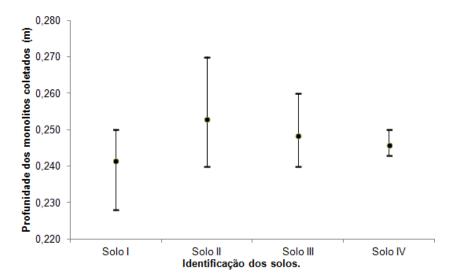


FIGURA 46. Profundidade dos monolitos coletados nos diferentes tipos de solos. As barras verticais representa o intervalo de confiança da média e a sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de probabilidade. FONTE: VENZON (2014)

Em relação à profundidade de coleta, ou seja, a altura final do monolito, o equipamento proposto foi desenvolvido para coletar monolitos com no máximo 0,27 m de altura. Esse parâmetro depende da declividade do terreno, da presença de raízes e do operador do equipamento.

Para ambas as variações do diâmetro e profundidade dos monolitos o coeficiente de variação e classificado como baixo (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Durante os testes, observou-se a necessidade de realizar uma limpeza prévia do local de coleta. Essa limpeza foi necessária para manter uma melhor uniformidade nas profundidades de coleta. Na Figura 48, apresenta-se um exemplo da limpeza superficial que o operador deve realizar antes de iniciar a coleta do monolito.



FIGURA 47.Limpeza prévia do local de coleta.

FONTE: VENZON (2014)

Outro fator importante a ser considerado é a uniformidade no diâmetro dos monolitos, o qual realiza as coletas mantendo uma ótima circunferência (Figura 59).



FIGURA 48. Uniformidade do diâmetro dos monolitos para o solo IV. FONTE: VENZON (2014)

4.1.4 Coleta de monolitos em solos com presença de raízes

Durante a realização dos testes, coletou-se monolitos em solos com presença de raízes, em que o equipamento desenvolvido atendeu de forma satisfatória. As Figuras 50 e 51 ilustram monolitos coletados com presença de raízes de vegetações nativas do cerrado, e que não limitou o funcionamento do equipamento.



FIGURA 49. Presença de raiz de culturas e de vegetações nativas do cerrado e de pequeno porte. FONTE: VENZON (2014)



FIGURA 50. Presença aceitável de raiz de Braquiaria Decumbens.

FONTE: VENZON (2014)

Observou-se que as raízes das culturas existentes no solo, de pequenas vegetações com diâmetro de até 0,005 m não foram fatores limitantes para a coleta dos monolitos, mas que na presença de raízes com diâmetro superior a 0,005 m, como as de árvores por exemplo, dificultam a coleta dos mesmos (Figura 52).



FIGURA 51. Exemplo da presença de raízes com diâmetro superior a 0,005m limitando o funcionamento do equipamento. FONTE: VENZON (2014)

4.1.5 Coleta de monolitos em solos com presença de cascalho

Os testes foram realizados nos quatro solos com diferentes características, sendo no solo III, Franco Argilo Arenoso, verificou-se uma grande quantidade de cascalho, matéria orgânica e vegetação (Figuras 53 e 54).



FIGURA 52. Solo III, presença de cascalho e matéria orgânica. FONTE: VENZON (2014)



FIGURA 53. Solo III, vegetação existente no local da coleta. FONTE: VENZON (2014)

No momento da coleta a umidade do solo III era de 13,05%, onde coletou-se monolitos, em seis repetições. A Figura 55 trás um exemplo representativo das coletas realizadas nessas condições



FIGURA 54. Monolito trabalhado com presença de cascalho.

FONTE: VENZON (2014)

4.1.6 Coleta em diferentes umidades do solo

Visando determinar os limites de umidade operacionais do equipamento, realizou-se testes com diferentes umidades apenas para o solo I, Franco Arenoso, onde os monolitos foram coletados todos na mesma área, porém com umidades diferentes, variando entre 13,44% a 20,76%.

Observou-se que umidade do solo interfere no funcionamento do equipamento, indicando que quanto menor a umidade do solo melhor é o desempenho do conjunto em relação ao fluxo de solo transportado pelo transportador helicoidal acoplado a ferramenta de corte.

Para esse em estudo (Solo I), coletou-se monolitos a 13,44%, 18,23 % e 20,76% de umidade no solo, sendo possível determinar que a realização de coletas com umidade superior a 18,23%, limita o funcionamento do equipamento devido ao entupimento na rosca transportadora, afetando assim a qualidade do monolito conforme Figuras 56, 57 e 58. Para as demais classes de solos é necessário determinar a umidade do solo mínima e máxima que possibilita o melhor desempenho do equipamento.



FIGURA 55. Entupimento da rosca transportadora durante a coleta de monolito no Solo I, franco arenoso, com umidade 20,76%. FONTE: VENZON (2014)



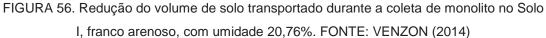




FIGURA 57. Aparência visual do monolito e acumulo de solo na frente da ferramenta de corte durante de monolito no Solo I, franco arenoso, com umidade 20,76%. FONTE: VENZON (2014)

Para umidades do solo inferiores a 18,23% o equipamento apresentou desempenho e a qualidade dos monolitos (aparência visual) satisfatório, aumentando a qualidade da amostragem do monolito com a redução da umidade do solo no momento da coleta. Na Figura 59, temos um exemplo da qualidade dos monolitos coletados com a umidade de 13,44% e na Figura 60 o fluxo de solo na calha de saída do transportador helicoidal, fluindo satisfatoriamente.



FIGURA 58. Aparência visual do monolito durante a coleta no Solo I, franco arenoso, com umidade de 13,44%. FONTE: VENZON (2014)



FIGURA 59. Volume de solo transportado durante a coleta de monolito no Solo I, franco arenoso, com umidade de 13,44%. FONTE: VENZON (2014)

Conclui-se que a umidade do solo no momento da coleta é um fator determinante para a qualidade dos monolitos e para o correto funcionamento do equipamento, sendo necessário a determinação da umidade ideal e a umidade limite para todos os solo em que o equipamento for ser utilizado.

MATHUES (1995) em trabalho de análise de amostrador de solo ressalta a dificuldade em obter amostras indeformadas em solos argilosos, tendo grandes limitações para trabalhos com umidade superior a 20% e como consequência o aparecimento de fissuras e embuchamentos.

Trabalho realizado por TEIXEIRA (1998), destaca que em solos com umidade acima de 23%, possuem uma tendência a formação de aglutinados de solo, aderindo as laminas de corte, formando uma massa compacta desbalanceando as lâminas de corte do amostrador e comprometendo a qualidade das amostras.

4.1.7 Coeficiente de variação do tempo para coleta de cada monolito

Durante a coleta dos seis monolitos para cada um dos quatro solos testados, perfazendo um total de 24 monolitos, cronometrou-se o tempo para coleta de cada monolito desde o inicio da operação até o final do processo, incluindo o tempo de retirada dos mesmos do solo (Tabela 7).

TABELA 7. Tempo de coleta dos monolitos com 0,24 m de diâmetro para cada solo e suas respectivas repetições.

Solo	Repetição	Classificação do Solo	Tempo (min)	CV (%)
	1	Franco Arenoso	7,0	10,65
	II		8,0	
Solo I	III		7,0	
00101	IV		8,0	
	V		7,0	
	VI		9,0	
	1	Franco Arenoso	7,0	12,25
	II		6,0	
Solo II	III		6,0	
0010 11	IV		7,0	
	V		8,0	
	VI		6,0	
	1	Franco Argilo Arenoso	9,0	8,75
	II		10,0	
Solo III	III		10,0	
0010 111	IV		8,0	
	V		10,0	
	VI		9,0	
	1	Areia	6,0	12,90
	II		5,0	
Solo IV	III		7,0	
3010 1 V	IV		6,0	
	V		5,0	
	VI		6,0	

CV= Coeficiente de variação

Assim, o tempo médio para coleta de um monolito com diâmetro até 300 mm é de 7,5 minutos, oscilando entre 5 e 10 minutos. Cronometrou-se também os tempos para coleta dos monolitos de 800 mm de diâmetro, tendo com tempo médio 15 min apenas para o processo de desbaste mecânico do solo, devendo ser considerado o tempo para remoção do monolito.

Segundo PIMENTEL-GOMES (2009) o coeficiente de variação para o tempo de coleta do solo III é considerado baixo e para os demais solos é classificado como médio, em comparações individuais para cada solo. Já o

coeficiente de variação para o tempo de coleta médio para todos os solos é classificado como alto.

Pode-se observar que houve diferença estatística significativa a 5% de probabilidade pelo método do intervalo de confiança da média para o tempo de coleta dos monolitos com 0,24 m de diâmetro e os diferentes solos, conforme demonstrado na Figura 61, sendo essa diferença gerada pelo tempo de coleta no solo III. Esse solo possui grande presença de cascalho, sendo necessário a operação do equipamento de forma mais lenta evitando danos mecânicos a equipamento e ao monólito.

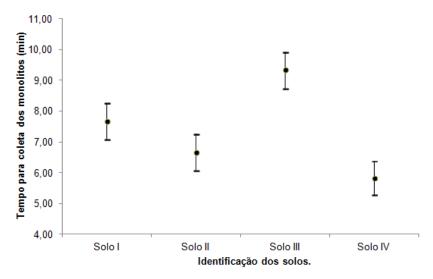


FIGURA 60. Tempo de coleta dos monolitos coletados nos diferentes tipos de solos. As barras verticais representa o intervalo de confiança da média e a sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de probabilidade. FONTE: VENZON (2014)

4.1.8 Coleta de monolitos de solos em regiões com topografia irregular

Realizou-se testes em laboratório visando determinar o ângulo de trabalho para o equipamento. Conforme verifica-se na Figura 62 o equipamento desenvolvido permite coletar monolitos em áreas com declividade máxima de até 17º.



FIGURA 61. Ângulo máximo de trabalho do equipamento.
FONTE: VENZON (2014)

Isso significa que a coleta dos monolitos pode ser realizada verticalmente ao perfil do solo, conforme Figura 63 (monolito ilustrativo "A"), ou ajustar o equipamento com qualquer ângulo variando de 0 a 17º possibilitando a coleta de monolitos perpendicular ao perfil do solo conforme Figura 63 (monolito ilustrativo "B"), desde que a inclinação do solo não ultrapasse 17º.

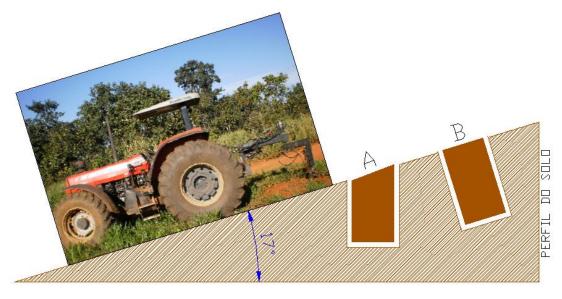


FIGURA 62. Desenho ilustrativo da coleta de monolitos em solos em função da declividade.

FONTE: VENZON (2014)

4.1.9 Desgaste das arestas da ferramenta de corte (broca)

O equipamento desenvolvido tem seu principio de funcionamento baseado na usinagem de metais, onde as ferramentas de corte possuem grandes resistências mecânicas e alta durabilidade. Para a construção da ferramenta de corte do amostrador, utilizou-se aço de alto limite de elasticidade, grande resistência mecânica e alto limite a fadiga, o qual foi soldado e posteriormente modelado suas arestas de corte com a utilização de esmeriliadeiras manuais (Figura 64).



FIGURA 63. Vista frontal das arestas da ferramenta de corte (nova).

FONTE: VENZON (2014)

Após a confecção da ferramenta de corte, iniciou-se os testes, ou seja, realizou-se a coleta de monolitos sem a realização de reparos ou afiações nas arestas de corte da ferramenta, visando verificar a durabilidade das mesmas e a qualidade dos monolitos coletados.

Durante todo o processo de testes do equipamento, usinou-se aproximadamente 100 monolitos nos quatro diferentes tipos de solo, e nas mais diversas situações, tais como: presença de areia, argila, cascalho, raízes, com diferentes níveis de umidade no solo, entre outros. Na Figura 65 demostra uma vista das arestas da ferramenta de corte após a realização de todos os testes.



FIGURA 64. Vista frontal das arestas da ferramenta após a coleta de 100 monolitos. FONTE: VENZON (2014)

Os resultados obtidos comprovam que o material escolhido para a fabricação das arestas de corte atendeu as condições propostas no desenvolvimento do equipamento, sendo eficiente em termos de durabilidade, resistência mecânica e acabamento dos monolitos coletados, uma vez que as arestas sofreram apenas um leve arredondamento no seu fio de corte (Figura 66).

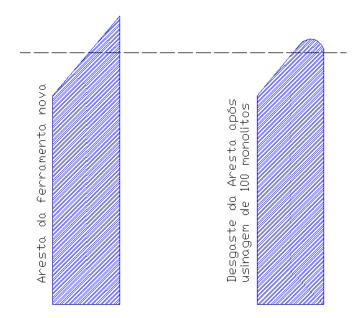


FIGURA 65. Desenho ilustrativo do desgaste na secção transversal das arestas da ferramenta após a coleta de 100 monolitos. FONTE: VENZON (2014).

Desenvolveu-se uma ferramenta de corte para que ocorrendo esse arredondamento das arestas, ou qualquer outro desgaste, a mesma possa ser facilmente removida para realização de afiações e dos ajustes necessários. Na Figura 67, apresenta-se a ferramenta de corte sendo removida para realização dos procedimentos de afiações e ajustes.

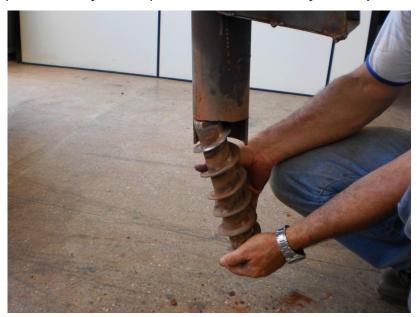


FIGURA 66. Retirada da ferramenta de corte. FONTE: VENZON (2014).

O arredondamento (pequeno desgaste) das arestas é considerado normal, uma vez que com a redução da área para produção do fio de corte e, o elevado atrito gerado entre partículas do solo com o movimento rotativo da ferramenta, proporciona um desgaste natural. Para realizar a afiação das arestas, retira-se a ferramenta do equipamento e procede-se uma nova afiação com o uso de esmeriliadeira manual. Para cada ajuste realizado nas arestas de corte da ferramenta, perde-se aproximadamente 1 mm de material, conforme Figura 68.

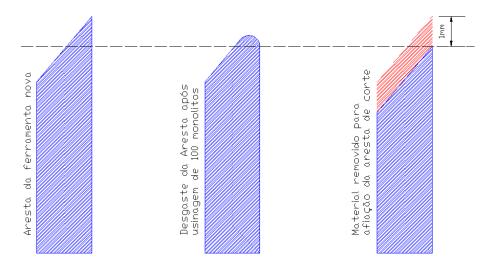


FIGURA 67. Desenho ilustrativo da remoção de material para cada ajuste realizado na ferramenta de corte. FONTE: VENZON (2014).

Levando-se em conta os solos testados, os parâmetros e procedimentos utilizados durante as coletas dos monolitos, a altura total da ferramenta de 15 mm e que a cada 100 monolitos em média será necessário a remoção de 1 mm para ajuste nas arestas de corte, a ferramenta desenvolvida possibilitará a coleta de aproximadamente de 1000 (mil) monolitos, comprovando sua eficiência e durabilidade, sendo considerado adequado o material utilizado para confecção das mesmas.

4.2 Resultados do solo

4.2.1 Avaliação da coleta de monolitos em diferentes solos.

As classes texturais de solos os quais foram realizados as avaliações são:

Solo I: Textura Franco Arenoso, com 64,54% de areia, 23,40% de silte e 12,06% argila, umidade gravimétrica na capacidade de campo de 28,86%, umidade no momenta da coleta de 13,44% e densidade de 1,33 g cm⁻³, obtendo monolitos conforme Figura 69.



FIGURA 68. Solo I - Coleta do monolito em solo classificado como Franco Arenoso. FONTE: VENZON (2014)

Solo II: Textura Franco Arenoso, com 69,16% de areia, 23,31% de silte e 7,53% argila, umidade gravimétrica na capacidade de campo de 29,52%, umidade do solo no momento da coleta de 17,06% e densidade de 1,34 g cm⁻³, obtendo monolitos conforme Figura 70.



FIGURA 69. Solo II - Coleta do monolito em solo classificado como Franco Arenoso. FONTE: VENZON (2014)

Solo III: Textura Franco Argilo Arenoso, com 56,16% de areia, 19,49% de silte e 24,35% argila, umidade gravimétrica na capacidade de campo de 21,72%, umidade do solo no momento da coleta de 13,05% e densidade de 1,57 g cm⁻³, obtendo monolitos conforme Figura 71.



FIGURA 70. Solo III - Coleta do monolito em solo classificado como Franco Argilo Arenoso com presença de cascalho. FONTE: VENZON (2014)

Solo IV: Textura Areia, com 88,92% de areia, 6,61% de silte e 4,47% argila, umidade gravimétrica na capacidade de campo de 24,64%, umidade do solo no momento da coleta de 7,67% e densidade de 1,40 g cm⁻³, obtendo monolitos conforme Figura 72.



FIGURA 71. Solo IV. Coleta do monolito em solo classificado como Areia. FONTE: VENZON (2014)

4.2.2 Coeficiente de variação da umidade na capacidade de campo.

A umidade na capacidade de campo é definida pela estrutura física do solo. Sendo assim, um dos objetivos do trabalho era desenvolver um equipamento para coleta de monolitos indeformados, ou seja, com o mínimo de alteração na sua estrutura física.

Para comprovar que os monolitos coletados não sofreram alterações em suas estruturas, determinou-se a umidade gravimétrica na capacidade de campo no solo natural e em cada monolito (Tabela 8). Os valores representam a média de seis pontos para cada solo.

TABELA 8. Resultado referente a umidade na capacidade de campo

Identificação	Classe Textural	Umidade CC (%)	Umidade CC	CV (%)
		Solo Natural	(%) Monolito	
SOLO I	Franco Arenoso	28,86	28,56	0,74
SOLO II	Franco Arenoso	29,52	28,97	1,33
SOLO III	Franco Argilo Arenoso	21,01	19,42	5,56
SOLO IV	Areia	24,64	25,19	1,56

CV= Coeficiente de variação

Para o solo I, classificado como Franco Arenoso, a umidade na capacidade de campo do solo natural foi de 28,86% e para o monolito 28,56%, tendo um coeficiente de variação de 0,74%. Esse resultado indica que o monolito obtido pelo processo de "usinagem" do solo, sobre ação

mecânica da ferramenta de corte, sofreu poucas alterações em sua estrutura, sendo assim considerado como monolito indeformado.

Para os solos II e IV os coeficientes de variação foram 1,33% e 1,56% respectivamente, comprovando com isso a eficiência do equipamento. Pequenas alterações nos valores podem ser gerados por: a) erros operacionais durante a coleta das amostras principalmente por se tratar de um processo manual onde o anel volumétrico é cravado ao solo por impacto, b) manuseio do monolito, sendo coletado e transportado até o laboratório.

Para o solo III, obteve-se o maior coeficiente de variação, 5,56%, sendo explicado provavelmente por se tratar de um solo com presença elevada de cascalho, o que dificulta principalmente a coleta do solo com anéis metálicos, onde o processo de cisalhamento do solo comprime ou altera sua estrutura devido ao deslocamento dos cascalhos pelas paredes do anel. Outra fonte de erro que pode explicar essa variação, seria a manutenção volumétrica da amostra no momento da realização "toalet", onde a presença de cascalhos dificulta garantir um volume exato do anel (50cm³).

O coeficiente de variação para a capacidade de campo para os quatro solos avaliados é inferior a 10% sendo classificado como baixo (PIMENTEL-GOMES 2009).

Observa-se que não houve diferença estatística significativa a 5% de probabilidade pelo método do intervalo de confiança da média entre a umidade na CC no solo natural e do monolito para os solos I, II e IV, conforme demonstrado nas Figuras 73, 74 e 76. A única diferença estatística significativa para foi para o Solo III conforme demonstrado na Figura 75, confirmando que a presença de cascalho e a dificuldade de manter um volume uniforme dificultam são os fatores que aumentaram a diferença entre a capacidade de campo do solo natural e o monólito.

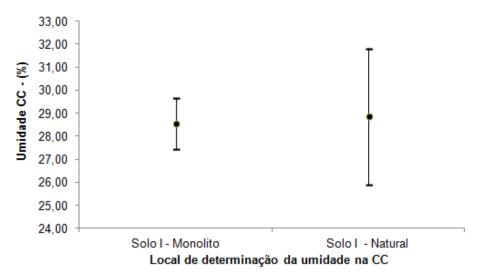


FIGURA 72. Comparativo entre a umidade na CC no solo natural e monolito para o Solo I. As barras verticais representa o intervalo de confiança da média e a sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de probabilidade. FONTE: VENZON (2014)

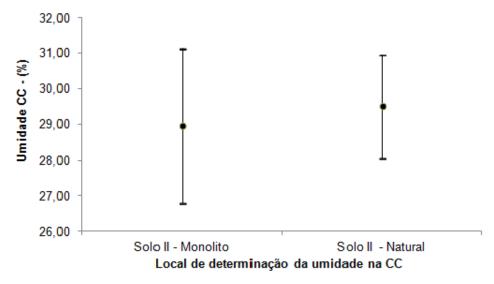


FIGURA 73. Comparativo entre a umidade na CC no solo natural e monolito para o Solo II. As barras verticais representa o intervalo de confiança da média e a sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de probabilidade. FONTE: VENZON (2014)

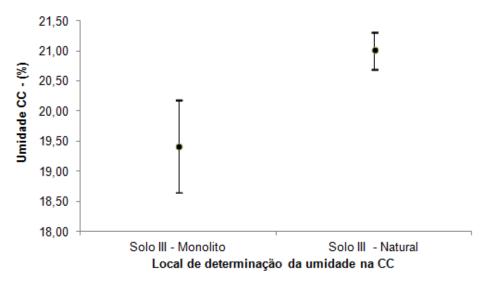


FIGURA 74. Comparativo entre a umidade na CC no solo natural e monolito para o Solo III. As barras verticais representa o intervalo de confiança da média e a sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de probabilidade. FONTE: VENZON (2014)

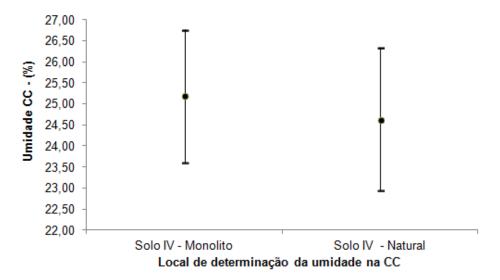


FIGURA 75. Comparativo entre a umidade na CC no solo natural e monolito para o Solo IV. As barras verticais representa o intervalo de confiança da média e a sobreposição dos intervalos indica a igualdade estatística a 5% de probabilidade. FONTE: VENZON (2014)

5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O protótipo deverá ser dimensionado levando em consideração todas as forças envolvidas no processo, sejam elas mecânicas ou hidráulicas. Após esse dimensionamento recomenda-se a construção de um equipamento com dimensões e adequações obtidas pelo dimensionamento.

Durante a construção de um novo equipamento deve-se levar em consideração a segurança do operador, devendo ser projetado e instalado sistemas de segurança que protejam o operador contra falhas mecânicas ou hidráulicas, evitando assim possíveis acidentes no caso de falhas.

Desenvolver um equipamento para a coleta de monolitos com maiores profundidades, possibilitando e facilitando o trabalho com colunas de solos.

Durante o dimensionamento deve-se verificar a possibilidade e a viabilidade de utilizar unidade hidráulica autônoma, instalando bomba hidráulica e reservatório especifica para o equipamento, possibilitando a utilização em todos os modelos de tratores agrícolas.

Aperfeiçoar a utilização de poliuretano injetado na confecção de recipientes (vasos) para condição de experimentos em casas de vegetação.

Projetar uma ferramenta para retirada de monolitos com diâmetro e profundidades superiores a 0,5 m, facilitando o uso em lisimetros por exemplo.

Testar a umidade ideal de coleta para todas as classes de solo.

6 CONCLUSÃO

O equipamento desenvolvido é capaz de coletar amostras de solos indeformadas com o mínimo de alteração na sua estrutura, e possibilita coleta de amostras indeformadas de diâmetros entre 0,15 a 0,80 m para o formato cilíndrico e 0,17 a 0,50 m para o formato cônico.

Os solos avaliados permitiram o adequado funcionamento do equipamento desenvolvido, possibilitando a coleta de monolitos mesmo em presença de raízes, cascalhos e em texturas variadas.

Para cada tipo de solo é necessário determinar a umidade mínima e máxima de trabalho, tendo como limitante a umidade acima de 18,23% para o solo Franco Arenoso (solo I).

A dureza do material da ferramenta de corte utilizado é adequada, apresenta pequeno desgaste e boa durabilidade. O desgaste não afeta até certo limite a qualidade dos monolitos, promovendo pouca interferência na estrutura do solo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C.L.T.; COELHO, E.F.; COURO, L.; SILVA, E.L. Parâmetros de solo-água para a engenharia de irrigação e ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Calda-MG, **Anais...:** UFLA/SBEA, 1998. p.1-132.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.873-928.

Benghough, A.G.; Mullins, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, V 41, p. 341-358, 1990

BEVEN, K. J.; GERMAN, R. F. Macropores and water flow in soils. Water Resources Research, v.18, p.1311-1325, 1982.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; CONTE, O.; OLIVEIRA, S.; LEVIEN, R.; Equipamento para coleta de amostras indeformadas de solo para estudo em condições controladas. Revista Brasileira Ciência do Solo. Solo, p.1929-1934, 2009.

BYRNES, M.E. In: **Field sampling methods for remedial investigations**. Boca Raton –Florida: CRC Press, Inc., 1994.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Amostragem do solo** (1999).

http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/anexos/download/630 0.pdf. acesso: 10/05/2014. DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. Revisão de literatura: **O processo de compactação do solo e sua modelagem**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.20, p.175-182, 1996.

FERREIRA, P. A. **Transporte de solutos no solo**. Viçosa – MG: UFV, 2007. 30p. (Apostila).

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S. & FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. Revista Brasileira Ciência do Solo, V 31, p. 691-699, 2007.

GELAIN, N.S.; SILVA, B.R.; FERRIGOLO, B.Z.; GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; REICHERT J.M. Densidade e resistência do solo à penetração em função da qualidade das amostras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2011, Uberlândia. **Anais...**

GERARD, C. J.; MEHTH, H. C.; HINOJOSA, F. Root growth in a clay soil. **Soil Science**, v. 114, p. 37-49, 1972.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York, Academic Press, 1982. 364p.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego, Academy Press, 769p., 1998.

JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. **Soil Physics**. 5 ed. New York: Jonh Wiley & Sons, 1991. 328p.

KUPPER A., F. GROHMANN and H. GARGANTINI 1953 - **Movimento de Ions, NO₃, NH₄, K e PO₄ em Solos Massapé, Roxa Misturada e Arenito Baurú**. Instituto Agronômico de Campinas, Bôletim n° 34, 9 pp. Brazil.

LA ROCHELLE, P.; SARRAILH, J.; TAVENAS, F.; ROY, M.; LEROUEIL, S. Causes of disturbance and design of a new sampler for sensitive soils. **Canadian Geotechnical Journal**, Ottawa, v.1, n.18, p.52-66, 1981.

LARCHER, W. **A planta sob estresse**. In: LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos: Editora Rima, 2000. p.341-437.

LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Embrapa-SNLCS, 1984. 46p.

MATHUES, F. Estudo de um amostrador de solo para veículos leves. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, 1995, 40p (Relatório de Estágio não publicado)

MEROTTO JR., A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.197-202, 1999.

OLIVEIRA, L. F. C, MARTINEZ, M. A., PRUSKI, F. F., RUIZ, H. A. MATOS, A. T. Metodologia de amostragem de solo para a obtenção da condutividade hidráulica e da curva de eluição de solutos. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.8, n.2, p. 112-121, 2000.

OLIVEIRA J. B.; JACOMINE P.K.T.; CAMARGO M; N. Classes Gerais de Solos do Brasil: Guia auxiliar para o seu reconhecimento. Jaboticabal, SP. 2.ed, FUNEP, 1992. 201p.

PAYTON, M.E.; MILLER, A.E. & RAUN, W.R. **Testing Statistical Hypotesis using standard error bars and confidence intervals**. Comm. Soil Sci. Plant. Anal., v. 31, p. 547-551. 2000.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15^a Ed. Piracicaba: FEALQ, 2009, 451p.

RABELO, N. A. **Método de Análise** – Goiânia: Ed. UCG, 2000. 88p.: (Cadernos Didáticos; 12).

RADCLIFFE, D. E. e RASMUSSEN, T. C. **Soil water moviment**. In: SUMNER, M.E., Ed. Handbook of soil science. Boca Raton: CRC PRESS, 2000. p. a-87 – a-128.

RANDO, E.M. Alterações nas características e propriedades físicas de um Latossolo Roxo distrófico, ocasionadas pelo cultivo convencional. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1981. 161p. (Tese de Mestrado).

ROGERS, J. S. & McCHESNEY, D. S. System for collecting undisturbed core from surface soils for micrmorphological analysis. **Soil Science. Society of American Journal**, v.6, n. 55 p. 1796-1797, Novembro-Dezembro 1991.

ROSOLEM, C. A.; FERNANDEZ, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.821-828, 1999.

ROSSI, P.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N. Curvas de distribuição de efluentes do íon nitrato em amostras de solo deformadas e

indeformadas. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.3, p. 675-682, 2007.

SILVA, Jonathas Batista Gonçalves, M.S., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2009. **Desenvolvimento e avaliação de um método para a retirada de amostras indeformadas de solo.**

SOUZA, B. R. F.; JUNIOR, C. A. S.; CARVALHO, L.; PELLIN, D. Desempenho de amostradores de solo sob diferentes coberturas vegetais na região de Aquidauana-MS. **Agrarian Academy**, 2014.

SQUIRE, S., RAMSEY, M.H., GARDNER, M.J., LISTER, D. Sampling proficiency test for the estimation of uncertainty in the spatial delineation of contamination. **Analyst** 125, p.2026–2031, 2000.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 755-760, 2004.

SWEIGARD, R. J.; BLUESTEIN, P. **Use of field measurements to predict reforestation success**. University of Kentuchi, p.129-141, 2000.

TAVARES FILHO, J.; EIRA, G. C.; LUDWIG FARINHA, L.R. **Avaliação da compactação em um solo cultivado no sistema convencional**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v19, p. 219-225, 1999

TEIXEIRA, M. A. **Desenvolvimento de equipamento para extração de amostras indeformadas de solo**. 1998. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1998.

THOMASSON, A. J. **Towards an objective classification of soil structure**. Journal of Soil Science, v.29, p.38-46, 1978.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a brazilian oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil and Tillage Research**, v.52, p.223-232, 1999.

United States Environmental Protection Agency – USEPA. **Description and Sampling of Contaminated Soils** – A field pocket guide – EPA 625/12-91/002. Cincinnati, OH, Center for Environmental Research Information, 1991.

USDA, **Soil survey manual**. Washington, DC, USA, Soil Survey Division Staff, 1993. 437p. (Handbook, 18).

van der PERK, M.; de ZORZI, P.; BARBIZZI, S.; BELLI, M.; FAJGELJ, A.; SANSONE, U.; JERAN, Z.; JACIMOVIC, R. **The effect of short-range spatial variability on soil sampling uncertainty**. Applied Radiation and Isotopes, Oxford, v.66, n. 12, p.1582–1587, 2008.

van GENUCHTEN, M.T. & WIERENGA, P.J. Solute dispersion: coefficients and retardation factors. In: KLUTE, A. (ed.) Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods. Madison, ASA, SSSA, 1986. p.1025-1031.

WANG, J; HESKETH, J. D.; WOOLEY, J. T. Preexisting channels and soybean rooting patterns. Soil Science, v. 141, p.432-437, 1986.

de ZORZI, P.; BARBIZZI, S.; BELLI, M.; FAJGELJ, A.; JACIMOVIC, R.; JERAN, Z.; SANSONE, U.; van der PERK, M. **A soil sampling reference site: The challenge in defining reference material for sampling**. Applied Radiation and Isotopes, Oxford, v.66, n.12, p.1588–1591, 2008a.

de ZORZI, P.; BARBIZZI, S.; BELLI, M.; MUFATO, R.; SARTORI, G.; STOCCHERO, G. **Soil sampling strategies: Evaluation of different approaches.** Applied Radiation and Isotopes, Oxford, v.66, n.12, p.1691–1694, 2008