

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM PENETRÓGRAFO DE
BANCADA VISANDO A DETERMINAÇÃO DO
INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO (IHO) EM DIFERENTES
SITEMAS DE PRODUÇÃO**

MILSON EVALDO SERAFIM

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL – BRASIL
2007

**DESENVOLVIMENTO DE UM PENETRÓGRAFO DE BANCADA VISANDO
A DETERMINAÇÃO DO INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO (IHO) EM
DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

MILSON EVALDO SERAFIM
Engenheiro Agrônomo

ORIENTADOR Prof. Dr. ANTONIO CARLOS TADEU VITORINO

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL – BRASIL
2007

**DESENVOLVIMENTO DE UM PENETRÓGRAFO DE BANCADA VISANDO
A DETERMINAÇÃO DO INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO (IHO) EM
DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

Por

Milson Evaldo Serafim

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados,
como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia,
área de concentração em Produção Vegetal para obtenção do título de
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovada em: 23 de Fevereiro de 2007.

Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino
UFGD - FCA
(Orientador)

Prof. Dra. Paula P. Padovese Peixoto
UFGD - FCA
(Coorientadora)

Prof. Dr. Cristiano Marcio A. de Souza
UFGD - FCA
(Coorientador)

Prof. Dr. Daniel Fonseca de Carvalho
UFRRJ
(Membro da banca)

A Deus, fonte de toda sabedoria.

DEDICO.

“Hei MÃE!
Por mais que a gente cresça,
Há sempre alguma coisa que não se consegue entender.”

À minha Mãe Aninha Brunoro Serafim
Ao meu Pai Getulio Serafim
A minhas Irmãs Márcia, Maura e Marcela.
Aos meus irmãos Marcio, Mauro, Magno e Mario.
À minha família.
Aos meus amigos.

OFEREÇO.

Meu Orientador Antonio Carlos Tadeu Vitorino, Meu coorientador Cristiano Márcio Alves de Souza e minha coorientadora Paula Pinheiro Padovese Peixoto.

HOMENAGEIO.

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador Prof. Antonio Carlos Tadeu Vitorino, pela sua orientação, presença, amizade e confiança.

Aos coorientadores Cristiano Márcio Alves de Souza e Paula Pinheiro Padovese Peixoto pelas contribuições e sugestões.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, pela oportunidade.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, pelos ensinamentos.

À banca examinadora de Qualificação pelas sugestões.

Aos meus amigos de pós-graduação Cassiano Cremon, Raphael Cessa, Elmo Pontes, Eloi Panaschuck, Natanael Takeu, Francimar Perez, Roberto Baldo, Cinthia Mancin, Homero Scalon, Carolina Tirllone, Graziela Cáceres, João Franco, Cezesmundo, Agenor, Francisco Eduardo.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em nome do pesquisador Amoacy por conceder a área experimental.

Aos alunos de graduação Érica Kato, Carla Eloize Caducci, Vinícius de Vitto, Fabio Ono, Willian pela amizade e apoio na execução das pesquisas.

Aos Funcionários da UFGD Vanderlei, Eva (“Tia Eva”), Nilda, Nilton, João Falcão e as secretárias do PPGA Adriana e Vanessa.

Por fim aos amigos de minha cidade em Cacoal, RO por me incentivarem neste projeto e ao amigos que fiz em Dourados Luiz e Andressa, Luiz Rafael, Idalina e Delvaniu, Nilbe, Ana Maria, Paulo, Meire, Lucilene, Thaís, Islaine, Daniel, “Seu Zé”, Zé Hortencio e Telma, Rodrigo, pelo apoio e alegrias compartilhadas.

BIOGRAFIA

Milson Evaldo Serafim, sétimo filho do casal, Getulio Serafim e Aninha Brunoro serafim, nasceu em 10 de fevereiro de 1979, na Cidade de Linhares, Estado do Espírito Santo.

Ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do sul, Campus de Dourados no ano de 2000 e recebeu o grau de Engenheiro Agrônomo em março de 2005. Neste mesmo ano iniciou o Curso de Mestrado em Agronomia pela mesma universidade em que se graduou, a qual um ano mais tarde foi incorporada a Universidade da grande Dourados. Concentrou seus estudos na área de física do solo, submetendo-se a defesa de dissertação em fevereiro de 2007.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
DESENVOLVIMENTO DE UM PENETRÓGRAFO ELETROMECAÂNICO DE BANCADA	5
RESUMO	5
DEVELOPMENT OF A ELECTROMECHANICAL PENETROMETER OF GROUP OF BENCHES	6
ABSTRACT	6
INTRODUÇÃO	7
MATERIAL E MÉTODOS	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
CONCLUSÕES	19
AGRADECIMENTOS	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
DETERMINAÇÃO INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO (IHO) EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO	24
RESUMO	24
DETERMINATION OF THE LEAST LIMITING WATER RANGE (LLWR) IN DIFFERENT SYSTEMS OF PRODUCTION	25
ABSTRACT	25
INTRODUÇÃO	26
MATERIAL E MÉTODOS	28
RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
CONCLUSÕES	40
AGRADECIMENTOS	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
APÊNDICE A	47
APÊNDICE B	56

Universidade Federal da Grande Dourados, fevereiro de 2007.
DESENVOLVIMENTO DE UM PENETRÓGRAFO DE BANCADA VISANDO A DETERMINAÇÃO DO INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO. Orientador: Antonio Carlos Tadeu Vitorino. Coorientadores: Cristiano Márcio Alves de Souza, Paula Pinheiro Padovese Peixoto.

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de desenvolver um penetrógrafo de bancada e determinar o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) em um Latossolo Vermelho distroférico sob os sistemas de cultivo convencional, direto e integração lavoura-pecuária. O desenvolvimento do aparelho foi realizado no Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, e na unidade do SENAI - Dourados, com vistas a atender a demanda de um penetrógrafo com velocidade constante de penetração, adequado ao estudo de resistência à penetração em amostras de solo indeformadas. Na elaboração do projeto foram pré-estabelecidas as condições que garantiram funcionalidade e precisão ao aparelho, como: modelo de bancada; fácil operacionalidade; sistema automático de aquisição de dados; facilidade de acomodação das amostras para testes; célula de carga com erro menor que 0,1%; deslocamento preciso e constante da haste; e conjunto estável. O aparelho possui um sistema mecânico de elevação, destinado a transformar o movimento rotacional do motor de passo em linear na haste. Para controle do *drive* do motor e do interfaceamento foi desenvolvido o software Dias, editado em ASSEMBLER para arquitetura RISC, instalado em um microcontrolador modelo IRFZ 48. Um sensor óptico instalado no sistema de elevação delimita o percurso desejado da haste e a coloca na posição inicial sempre que o aparelho é ligado. A célula de carga utilizada é do Modelo SV-20, com erro inferior a 0,03% da capacidade total. Para calibração da célula correlacionou-se as leituras da célula com massas padrão em grama. A exatidão do aparelho foi testada com a realização de testes de resistência à penetração em amostras indeformadas de uma Latossolo Vermelho Distroférico, muito argiloso, coletadas de modo aleatório, o que conferiu elevada amplitude de variação nos valores de densidade. Estas amostras foram submetidas ao teste no aparelho desenvolvido e em um penetrógrafo padrão. O desempenho do penetrógrafo desenvolvido foi satisfatório, pois não houve diferença significativa entre os seus dados e os obtidos no penetrógrafo padrão. O rendimento médio do aparelho é de oito amostras por hora. O desenvolvimento do penetrógrafo permitiu a realização do estudo de intervalo hídrico ótimo, o qual foi desenvolvido na unidade experimental da Embrapa-CPAO, em Dourados, MS, em uma área contígua com parcelas experimentais dos sistemas de cultivo convencional, direto e integração. O experimento foi instalado há oito anos e cada parcela possui uma área útil de 2 ha. Em cada sistema de cultivo foram amostrados 28 pontos, nas camadas de 0-5, 5-10, e 10-20 cm de profundidade, totalizando 84 amostras por sistema. Após a coleta as amostras foram acondicionadas em câmara fria a 5 °C enquanto não eram analisadas. Estas amostras foram utilizadas para o ajuste da curva de retenção de água no solo, curva de resistência do solo a penetração e determinação da porosidade, necessários para determinação do IHO. No sistema de cultivo convencional

e direto a menor limitação ao desenvolvimento radicular está na camada de 0-5 cm, sendo que na integração a limitação foi menor na camada de 10-20 cm. Na camada de 0-5 cm do convencional o IHO foi igual à capacidade de água disponível, sendo que nos sistema direto e integração a resistência à penetração foi o fator limitante. A resistência à penetração foi positivamente relacionada com a densidade do solo e negativamente com a umidade. O IHO teve a resistência à penetração como limite inferior em oito das nove situações estudadas.

SERAFIM, Milson Evaldo, MSc. Universidade Federal da Grande Dourados, February 2007. **DEVELOPMENT OF A COUNTER PENETROGRAPH TO DETERMINE THE LEAST LIMITING WATER RANGE UNDER DIFFERENT GROWING SYSTEMS.** Adviser: Antonio Carlos Tadeu Vitorino. Committee members: Cristiano Márcio Alves de Souza, Paula Pinheiro Padovese Peixoto.

ABSTRACT

This work purpose was to develop a counter penetrometer and to determine the Least Limiting Water Range (LLWR) in a Distroferric Red Latossol under the conventional, direct and integrated growing systems. The apparatus was developed in the physics soil lab at the Universidade Federal da Grande Dourados and in a Dourados unit of SENAI due to the need of a constant speed penetration penetrometer adequate to the study of penetration resistance in the soil samples with preserved structure. In the project elaboration some conditions were established to assure the precision and functionality to the apparatus such as, counter model, easy operation, automatic data system, accommodation facility for the samples to test, a less than 0,01% error cargo cell, a constant and precise moving stick and a stable apparatus. This apparatus has a mechanic elevation system to transform the step engine rotation motion in the stick into a linear one. The software Dias was developed to improve the interface and to control the engine drive. It was edited in ASSEMBLER to the RISC architecture. It was installed in an IRFZ48 micro control model. The optic sensor installed in the elevation system delimitates the stick desirable itinerary that places it in the initial position every time the apparatus is turned on. The cargo cell used is the SV20 model, with a less than 0,03% error probability of the total capacity. To the cells calibration, the cells reading and the mass standard in grams were related. The apparatus precision was evaluated with the resistance penetration tests in soil samples with preserved structure of a very clay Distroferric Red Latossol. The samples were collected randomly ending up with a high variation in the density bulk values. The samples were tested in the apparatus and in the standard penetrometer. The developed penetrometer performance was satisfactory as no significative difference between its data and the standard penetrometer data was observed. The average productivity of this apparatus is of 8 samples per hour. The development of the penetrometer assure the least limiting water range study, carried out at Embrapa/CPAO in Dourados, MS, in a continuous area in experimental plots under the conventional, direct an integrated growing system. This experiment was first established 8 years ago and each plot has a 2 hectares area. In each growing system 28 points were sampled, in layers of 0-5, 5-10, and 10-20 cm deep, ending up with 84 samples per each system. After sampling, they were placed in a 5 °C storage room while they were waiting to

be analyzed. Those samples were used to adjust the water retention curve in the soil, resistance curve to penetration and porosity determination, which are necessary to determine LLWR. In the conventional and direct growing system the smallest restriction to the roots development is in the 0-5 cm layer while the 10-20 layer was the smallest one when it came to the integrated system. In the 0-5 cm layer of the conventional systems the LLWR was equal to the available water capacity while in the direct and integrated systems, the resistance to penetration was the limiting factor. The resistance to penetration was positively related to the bulk density soil and negatively related to humidity. The LLWR has the resistance to penetration like inferior limit in 8 out of the studied situations.

INTRODUÇÃO

Diferentes sistemas de cultivo promovem alterações em atributos físicos dos solos que refletem diretamente na qualidade dos agroecossistemas, gerando a necessidade de estudos que permitam melhor entender o impacto dessas alterações sobre a produção das culturas. O exame de atributos do solo sob cultivo convencional e direto oferece uma avaliação conveniente de extremos da prática de manejo (Silva e Kay, 1997). Entretanto, em muitos casos, diferenças de atributos entre os sistemas não podem explicar adequadamente a variabilidade do rendimento das lavouras (Lapen et al., 2004).

As condições físicas ótimas do solo à expansão do sistema radicular das plantas, resultam de uma complexa interação entre a resistência do solo à penetração, a porosidade de aeração e a sua capacidade de suprimento de água às raízes (Lapen, 2004). O conceito de “Least Limiting Water Range” (LLWR) proposto por Letey (1985) e desenvolvido por Silva et al. (1994), traduzido no Brasil por Tormena (1998) como Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) integra em um índice estas variáveis, permitindo avaliar a influência da qualidade física de um solo no crescimento radicular das plantas.

As variações de produtividades obtidas em diferentes anos em uma mesma região, em grande parte podem ser facilmente explicadas pelo nível tecnológico adotado na produção e pelas condições climáticas ocorridas durante o ciclo da cultura. Em Mato Grosso do Sul, a região de Dourados se situa em uma das principais áreas de produção agrícola do país, onde anualmente são cultivados cerca de 600 mil hectares com soja (*Glycine max*). Nessas áreas a ocorrência de déficit hídrico é importante causa de perdas agrícolas devido à grande demanda evapotranspirométrica e pela distribuição irregular das chuvas (Fietz e Urchei, 2002). Frente a isto, é fundamental ampliar a capacidade do solo como reservatório de água dentro da faixa de tensão explorada pela cultura, cujo limite superior é dado pela capacidade de campo (0,01 MPa) e limite inferior pelo ponto de murcha permanente (1,5 MPa) (Fietz

et al., 2001).

Considerando o conceito de Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), surge a hipótese de que a limitação hídrica às culturas, nem sempre decorre da falta de água no solo entre as tensões de 0,01 e 1,5 MPa. Em muitos casos, a elevada resistência do solo à penetração, mesmo quando a umidade do solo se encontra nesta faixa de tensão, torna restritivo o desenvolvimento radicular e conseqüentemente limita o aproveitamento da água presente no solo pelas plantas.

Os penetrômetros são ferramentas bastante utilizadas na determinação da resistência do solo à penetração. No entanto, a grande diversidade de equipamentos dessa natureza tem dificultado a interpretação comparativa dos resultados obtidos nessas mensurações. Assim, Herrick & Jones (2002) recomendam a utilização de penetrômetro estático com velocidade constante de penetração tanto por sua maior precisão como também para padronizar as determinações. Este aparelho, embora com princípios bem definidos, não tem se popularizado nos laboratórios de solo das principais instituições de pesquisa do país, provavelmente pelo alto custo exigido por parte de empresas que se propõem a montá-los e, por ter sua construção nas próprias instituições dificultada por demandar equipes com grande interdisciplinaridade.

A concepção do projeto de desenvolvimento do aparelho trilhou sobre uma lista de objetivos a serem atendidos com o equipamento proposto, definidos por princípios agronômicos da área de física do solo e conceitos mecânicos, elétricos e eletrônicos constituindo-se em um projeto inédito.

A aplicação prática desse aparelho no estudo dos principais sistemas de cultivo usados na região deverá ser um grande passo para o melhor entendimento destes sistemas e para geração de tecnologias que possam contribuir para a sustentabilidade dos mesmos. A expansão das áreas com sistemas conservacionistas (plantio direto e integração) em Mato Grosso do Sul foi acompanhada do aumento de produtividade e redução dos custos de produção (Richetti, 2006). Na literatura, estes sistemas de cultivo são, quase

sempre, apontados como importantes vetores de mudança e da evolução em busca da sustentabilidade, dentro de seu conceito dinâmico, que incorpora o reconhecimento das necessidades das futuras gerações (Henklain e Medeiros 2006). Contudo, índices, valores ou condições de atributos que determinam um patamar de qualidade física do solo, capaz de garantir sustentabilidade, são difíceis de serem estabelecidos.

Diante do exposto, torna-se relevante o estudo destes sistemas por meio de pesquisas que forneçam informações e conhecimentos sobre o impacto dos diferentes sistemas de cultivo na melhoria ou deterioração da qualidade física do solo, com vista a valorizar as práticas de cultivo mais favoráveis à cada condição. Assim sendo, este trabalho teve por objetivo desenvolver um penetrógrafo de bancada, com características recomendáveis nos estudos de resistência do solo à penetração, utilizado na determinação do índice IHO, nos sistemas de cultivo convencional, direto e integração lavoura-pecuária de um Latossolo Vermelho distroférico da Região da Grande Dourados.

BIBLIOGRAFIA

FIETZ, C. R. & URCHEI, M. A. Deficiência hídrica da cultura da soja na região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.262-265, 2002.

FIETZ, C.R.; URCHEI, M.A.; FRIZZONE, J.A. Probabilidade de ocorrência de déficit hídrico na região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.5, n.3, p.558-562, 2001.

HENKLAIN, J.C. & MEDEIROS, G.B. Evolução e estado da arte do plantio direto na agricultura. In: 1º SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS. Disponível em: http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_cultivo_minimo/cap01.pdf . Acesso em 24 jan. 2007.

HERRICK, J.E.; JONES, T.L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. **Soil Science Society of American Journal**, v. 66, p.1320-324, 2002.

LAPEN, D.R.; TOPP, G.C.; GREGORICH, E.G. & CURNOE, W.E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. *Soil Till. Res.*, 78:151-170, 2004.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v.1, p. 277-294, 1985.

RICHETTI, A. Avaliação dos impactos econômicos do SPD em Mato Grosso do Sul: análise do período 2001 a 2006. Dourados, Embrapa agropecuária oeste, 32p. 2006. Disponível em: <http://www.cpa0.embrapa.br/publicacoes/ficha.php?tipo=DOC&num=83&ano=2006> . Acesso em: 25 jan. 2006.

SILVA, A.P. & KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science American Journal**. v. 61, p. 877-883, 1997.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 58:1775-1781, 1994.

TORMENA, C.A. ; SILVA, A.P. & LIBARD, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:573-581, 1998.

DESENVOLVIMENTO DE UM PENETRÓGRAFO ELETROMECAÂNICO DE BANCADA

RESUMO

A resistência do solo à penetração tem sido usada para quantificar os efeitos da compactação na qualidade física do solo para o desenvolvimento de plantas. Os valores de resistência à penetração são obtidos por meio de testes feitos com penetrômetros ou penetrógrafos, a campo ou em laboratório utilizando amostras indeformadas. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um penetrógrafo eletromecânico de bancada, com velocidade constante de penetração, destinado a realização de testes de resistência à penetração em amostras indeformadas de solo. O aparelho possui um sistema mecânico de elevação, destinado a transformar o movimento rotacional do motor de passo em linear na haste, um sistema de controle do motor, uma célula de carga, um sistema automático de aquisição de dados e um chassi. O sistema mecânico teve seu torque e rotação mantidos constante por meio de um *drive* conectado ao motor. O interfaceamento foi realizado usando o software Dias, com saída em display de cristal líquido LCD 16x2 e botões de comando. Afim de verificar a exatidão dos dados obtidos com o uso do penetrógrafo desenvolvido, foram realizados ensaios em amostras de Latossolo Vermelho Distroférrico, e seus dados comparados com aqueles obtidos de um penetrógrafo padrão. O equipamento desenvolvido apresentou satisfatória precisão, pois não foi observada diferença significativa entre seus dados e os obtidos por um penetrógrafo comercial utilizado como padrão. O aparelho desenvolvido apresentou rendimento médio de oito amostras por hora.

Palavras-chave:

Compactação Penetrometria Projeto de máquinas

DEVELOPMENT OF AN ELECTRO MECHANIC COUNTER PENETROGRAPH

ABSTRACT

The soil resistance to penetration has been used to quantify the effects of the compacting in the soil physics quality to the plants development. The resistance values to penetration are obtained through tests with penetrometers or penetrographs in the field, or in the lab, using soil samples with preserved structure. This work objective was to develop electro mechanic counter penetrograph, with a constant speed penetration to test the resistance to penetration in soil samples with preserved structure. The apparatus has a mechanic elevation system in order to transform the step rotational engine motion of the stick into a linear one, a system to engine control, a cargo cell, an automatic data system and a chassis. The mechanic system had its torque and rotation kept constant through a drive connected to the engine. For the interfacing the software Dias was used, with a liquid crystal display LCD 16x2 and some commanding bottoms. In order to check to precision of the obtained data with the developed penetrograph, some tests with Distroferric Red Latossol samples and its data were compared to the standard penetrograph data. The equipment developed showed satisfactory precision, and no significative difference between its data, and the commercial penetrograph data was observed. The developed apparatus productivity was of 8 samples per hour.

Key words: compacting, penetrability, machine design

INTRODUÇÃO

A qualidade física do solo é preponderante para a expressão do máximo potencial produtivo de uma cultura. Em sistemas conservacionistas, a compactação e a qualidade do solo são constantemente questionadas para a definição de sistemas de manejo mais adequados.

A resistência do solo à penetração (RP) constitui um dos atributos físicos considerados na avaliação da qualidade do solo de sistemas conservacionistas, envolvendo questionamentos quanto à compactação e a conveniência ou não do revolvimento mecânico deste sistema de manejo para reduzi-la e propiciar menores restrições ao desenvolvimento radicular das plantas (Fidalski et al., 2006). A resistência do solo à penetração é uma das características que melhor representam as condições de desenvolvimento das raízes das plantas (Tormena & Roloff, 1996). Segundo Larson & Allmaras (1971) o desenvolvimento radicular é restringido pela elevada resistência do solo, normalmente associada à compactação deste.

O estudo da qualidade física do solo, com base na resistência à penetração, tem sido bastante utilizada (Camargo & Alleone, 1997; Nagaoka et al., 2003; Silva, 2004). No entanto, a limitação principal para estudos desta natureza tem sido relacionada à necessidade de uma metodologia de consenso entre pesquisadores, fato que tem amenizado com o surgimento de penetrômetros com velocidade de penetração constante, os quais possibilitam obter resultados mais confiáveis e comparáveis entre as diversas pesquisas (Camargo & Alleone, 1997; Bianchini et al., 2002).

Embora com limitações, a resistência à penetração pode ser usada para a indicação comparativa das condições da compactação, em solos de mesmo tipo, mesmo teor de água e manejo, devido à facilidade e rapidez com que numerosas medidas podem ser realizadas (Fidalski et al., 2006; Pereira et al., 2002). Os diferentes modelos de penetrômetros usados na determinação da resistência do solo à penetração têm dificultado a interpretação dos resultados. Assim, Herrick & Jones (2002) recomendaram a utilização de penetrômetro

estático com velocidade constante de penetração tanto por sua maior precisão como também para padronizar as determinações.

Medidas realizadas no solo, tais como resistência à penetração (Prado et al., 2002), pressão de preconsolidação (Dias Junior, 2000), resistência ao cisalhamento e resistência de agregados, são amplamente utilizadas para avaliar a estrutura do solo (Guerif, 1994; Imhoff, 2002). Resistência à penetração é mais freqüentemente usada para avaliar a compactação do solo e para correlação com o crescimento de raiz, distribuição no perfil e estrutura do solo. Os penetrômetros utilizados na obtenção desta variável possuem diferentes diâmetros e ângulo de cones. A maioria dos penetrômetros de campo tem diâmetros de cone de 11 a 25 mm e semi-ângulos 15° a 30° (Ehlers et al., 1983; Campbell & O'Sullivan, 1991; ASAE, 1993). Leituras obtidas com cones de semi-ângulos mais próximos de 30° e menor diâmetro tem apresentado melhor correlação com crescimento radicular (Groenevelt et al., 1984; Voorhees et al., 1975; Whalley et al., 2000).

Os penetrômetros de bancada com velocidade constante de penetração têm sido os mais aceitos para determinação da resistência à penetração do solo em amostras indeformadas, utilizadas nos estudos de Intervalo Hídrico Ótimo (IHO). Tormena et al., (1998) utilizou um penetrógrafo de bancada com velocidade de penetração constante, diâmetro de cone de 4 mm e semi-ângulo de 30° . Na literatura são encontrados outros trabalhos de IHO em que foram utilizados penetrógrafos com especificações e funcionamento semelhantes (Imhoff et al., 2001; Araújo et al., 2005; Leão, 2002; Beutler et al., 2006).

Este trabalho teve por objetivo desenvolver um penetrógrafo eletromecânico de bancada, de fácil manuseio e adequado para determinação da resistência à penetração em amostras de solo indeformadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O penetrógrafo foi desenvolvido no Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados e na Unidade do SENAI - Dourados, MS.

Na elaboração do projeto do equipamento algumas condições foram pré-estabelecidas visando conferir funcionalidade e precisão, as quais seguem:

- Apresentar formato compatível com o uso em bancada, de fácil mobilidade e robustez suficiente para permitir as mudanças;
- Contar com botões de controle e um display interativo, que permita as operações desejadas de forma rápida e fácil;
- Um sistema de aquisição de dados, SPIDER8, conectado a um microcomputador que permita leituras e armazenamento em intervalos de tempo inferior a um segundo. Foi utilizado o software CATMAN 5.0 na aquisição de dados obtidos pela célula de carga do Penetrógrafo;
- Dispor de uma plataforma para acomodação da amostra de solo;
- Dispor de uma célula de carga com alta sensibilidade, com erro inferior a 0,1% das leituras;
- Contar com um sistema mecânico de elevação, tipo rosca-sem-fim (descida e elevação), que proporcione um deslocamento preciso da haste de penetração, com velocidade constante e conhecida;
- Sistema mecânico estável com mínima transmissão de vibrações que possam proporcionar interferências nas leituras da célula de carga.

A fim de atender as condições apresentadas acima, o projeto contemplou os requisitos mecânicos, elétricos e eletrônicos buscando maximizar o uso de componentes comerciais, bem como de materiais de fácil aquisição.

A geometria do aparelho foi ajustada de modo a conferir um percurso de 100 mm na haste de penetração, sendo esta usinada com 4 mm de diâmetro, 100 mm de comprimento e com o ângulo do cone de 60°. As dimensões totais do aparelho foram de 600 mm de altura, 350 mm de

profundidade e 300 mm de largura.

A velocidade de deslocamento da haste do aparelho pode ser ajustada na faixa de 5 a 30 mm min^{-1} . A rosca-sem-fim foi construída com passo de 2,5 mm e seu deslocamento é definido pela rotação do motor, que foi programado de modo a permitir ajustes entre 30 e 130 rpm.

Para medir a carga aplicada sobre o solo foi utilizada uma célula de carga, modelo SV20, com capacidade de 0,196 kN. O modelo possui compensação automática para reduzir os erros devido à variação de temperatura. O movimento da haste com a ponta cônica é dado pela rosca-sem-fim.

A base do aparelho feita em chapa de aço de 5/16", com formato retangular de 300 x 350 mm. A coluna de sustentação do penetrógrafo era formada por um tubo de aço inox, com 63,5 mm de diâmetro total e 3 mm de espessura. Para segurança do operador, as engrenagens e o motor foram encerradas em uma caixa contruída em chapa de aço, com pintura eletrostática.

Os botões de controle são de fácil acesso e acionamento. O posicionamento e retirada das amostras durante os testes foi considerado simples. A base recebeu uma pintura metálica para facilitar a limpeza.

A montagem do aparelho foi considerada simples, demandando pouco esforço e tempo. Apresenta fácil conexão e interface do conjunto computador-sistema de aquisição de dados-penetrógrafo. O transporte do penetrógrafo pode ser feito por sua base ou coluna de sustentação.

O sistema de elevação que confere o percurso a haste de penetração é dotado de uma rosca-sem-fim, construída com engrenagem helicoidal cônica e passo de 2,5 mm. O parafuso desta rosca-sem-fim possui uma engrenagem movida por um parafuso "sem-fim" ligado ao eixo do motor. Este conjunto pinhão/corona resulta em uma relação de transmissão de 30:1 na rotação (rpm) proporcionada pelo motor. Os desenhos detalhados de construção dos componentes mecânicos do aparelho encontram-se no Apêndice A.

O aparelho está equipado com um motor de passo, modelo HT23-

400, com rotação nominal de 2200 rpm e o torque máximo é de 1,86 Nm, sendo que o torque demandado para trabalho no eixo de elevação é de 5 Nm correspondendo a um torque de 0,18 Nm no eixo do motor. Segundo as especificações do fabricante este torque é fornecido para rotações inferiores a 1800 rpm.

O motor possui um “drive” que disponibiliza uma corrente constante de 2 A. Esta corrente deve permanecer ao longo de toda faixa de velocidade operacional com o objetivo de manter o torque constante no eixo. A força contraeletromotriz produzida pelo motor reduz a corrente elétrica impulsionada pela força eletromotriz da fonte. O “drive” tem a função de compensar a força eletromotriz perdida pela contraeletromotriz que é aumentada em função da rotação.

O “drive” é composto por um Circuito Integrado (CI) LM317, o qual possui três terminais que possibilitam a regulação de tensão elétrica. Porém com a adição de um resistor de baixo valor de resistência no seu terminal de saída permite a construção de um regulador de corrente elétrica. Cada CI possibilita o controle de fluxo da corrente elétrica máxima de 1,5 A, demandando assim 2 CI por fase uma vez que as mesmas são de 2 A. Este CI é alimentado pelo positivo da fonte de 24 V, enviando assim, a corrente elétrica para o terminal início da bobina do motor e o terminal final da bobina é enviado para o chaveamento com o negativo da fonte.

Para o chaveamento de cada fase foi utilizado um MOSFET (transistor de efeito de campo metal óxido silício), modelo IRFZ 48. Os comandos de chaveamento são enviados pelo microcontrolador modelo PIC 16F628A.

O motor de passo possui quatro bobinas que recebem a corrente regulada pelo “drive”, e estas precisam receber uma seqüência correta de pulsos para que seja definido o sentido de rotação. O modo de acionamento destas bobinas foi definido com alimentação unipolar e acionamento bifásico. Optou-se pelo acionamento bifásico das bobinas pois desta forma embora ocorra uma redução da velocidade de rotação do motor em relação ao modo

monofásico por reduzir os passos de 3,6 para 1,8 graus tem-se um ganho de torque no eixo do motor, bem como uma redução da amplitude das vibrações mecânicas do sistema.

Ao energizar o microcontrolador são escritas as telas de apresentação do software e em seguida verifica se o sistema de elevação se encontra na posição inicial, remetendo ordem de recuo na velocidade de 12 mm min^{-1} caso não esteja. A verificação do posicionamento inicial é feita por um sensor óptico que verifica uma régua que possui furos que delimitam o curso. Uma vez no ponto inicial ele apresenta o menu principal esperando um comando de *start*. Uma vez iniciado o percurso ele apresenta a velocidade de avanço escolhida.

As entradas de comando do aparelho são dadas por três teclas e o interfaceamento é dado pelo software Dias, com saída em um display de cristal líquido LCD azul 16x2.

A escolha das opções de trabalho desejadas são obtidas pela combinação de comandos nas teclas, tendo cada uma as seguintes funções:

- a) Tecla 1 - start /retorno e parada enquanto pressionado;
- b) Tecla 2 - aumento do avanço;
- c) Tecla 3 - redução do avanço;

O código fonte do software DIAS para o microcontrolador foi editado em ASSEMBLER para arquitetura RISC e compilado pelo software livre Mplab versão 7.0. O arquivo compilado em Hexadecimal é transferido para o microcontrolador utilizando o software IC-PROG 1.05D o qual envia os sinais elétricos para a porta serial na qual está conectada um circuito programador de PIC do modelo JDM. O fluxograma do software DIAS encontra-se a seguir no Anexo B.

A calibração do aparelho consistiu em leituras fornecidas pela célula de carga em milivolts (mV). Com esse objetivo, foram correlacionadas leituras da célula de carga com massas padrão de 0,05 até 8,0 kg, colocadas sobre a célula de carga.

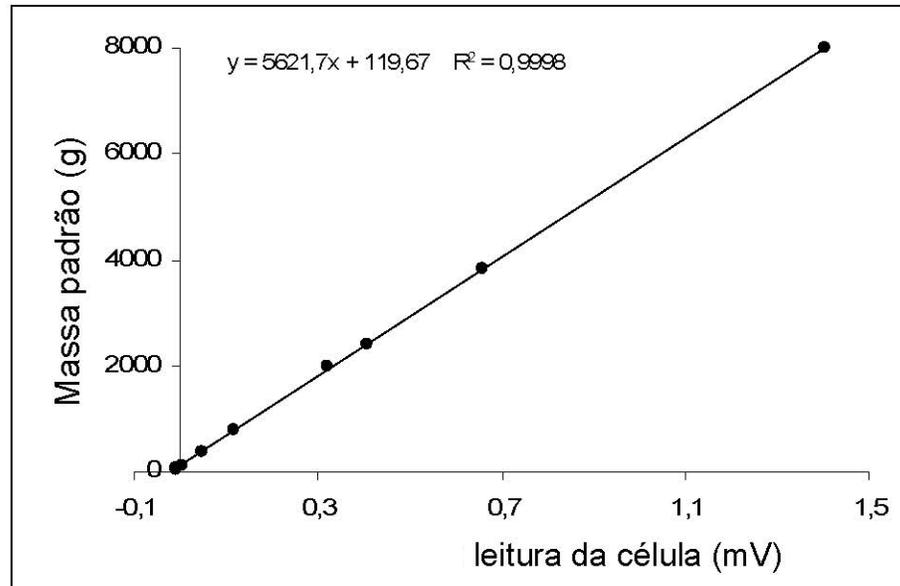


Figura 1: Resultados do ensaio de calibração da célula de carga, apresentando as variações nas leituras da mesma pelo acréscimo das massas padrões.

A resistência do solo à penetração (ASAE, 1998) foi determinada do quociente da carga lida pela célula e a área transversal do cone da haste do penetrógrafo, conforme Equação 1. A área transversal do cone era de $0,126 \text{ cm}^2$, com uma ponteira de 4,0 mm de diâmetro. As medidas foram realizadas com um paquímetro, com 0,1 mm de resolução.

$$RP = 9,8067 \cdot 10^{-5} \frac{m}{A} \quad (1)$$

em que,

RP é a resistência do solo à penetração, MPa;

m é a massa obtida da célula de carga do penetrógrafo, g;

A é a área transversal do cone, cm^2 .

A profundidade da ponta da haste foi determinada em função do

tempo e da velocidade de descida da ponta cônica, na amostra durante o ensaio (Equação 2).

$$p = v \cdot t \quad (2)$$

em que,

p é a profundidade da ponta da haste, mm;

t é o tempo de duração do teste, min;

v é a velocidade de descida da haste, mm min^{-1} .

Os resultados obtidos com o aparelho desenvolvido foram comparados com aqueles obtidos de um penetrômetro de bancada padrão, modelo MA-933. Utilizando 32 amostras de solo, retiradas em um Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso, as quais foram submetidas ao teste de resistência à penetração (RP) nos dois aparelhos. Na comparação entre as curvas de dados de resistência à penetração obtidas para cada penetrômetro, foi utilizado o método estatístico proposto por LEITE & OLIVEIRA (2002). O método estatístico é uma combinação do teste F modificado por GRAYBILL (1976) $F(H_0) = (\beta - \theta)'(Y_1, Y_1)(\beta - \theta) / 2QMR \sim F_{\alpha}(2, n - 2)$ do teste t aplicado ao erro médio $t_{\bar{\epsilon}} = (\bar{\epsilon} - 0) / S_{\bar{\epsilon}}$. O erro relativo médio entre as curvas de dados foi determinado como: $\bar{\epsilon} = \sum_i^n (y_i - x_i / x_i) / n$ considerando-se que o erro, é uma variável que segue uma distribuição normal e ocorre ao acaso, pode-se testar a hipótese $H_0: \bar{\epsilon} = 0$. Foi utilizado um nível de significância de 5% de probabilidade nas comparações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A execução do projeto do penetrógrafo eletrônico de bancada foi bem sucedida e o produto resultante é apresentado nas Figuras 2 e 3. A caixa branca em pvc na parte superior do aparelho encerra os componentes eletrônicos. Os furos vistos que podem ser vistos na parte frontal da caixa possibilitam à entrada de ar, uma vez que o cooler foi instalado de maneira que quando acionado retira o ar aquecido do interior da caixa.

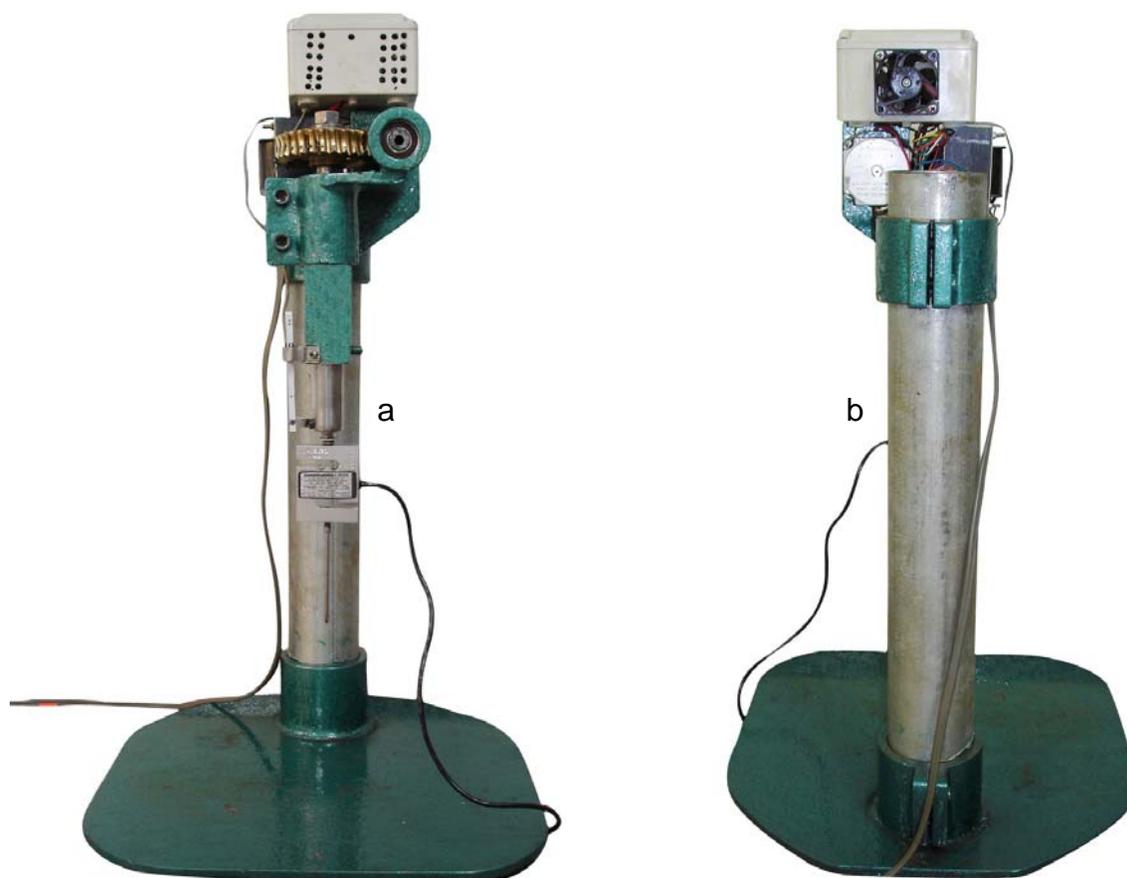


Figura 2. fotos do aparelho desenvolvido, vista frontal (a) e vista posterior (b).



Figura 3. Fotos do aparelho desenvolvido, vista lateral esquerda (a) e vista lateral direita (b).

O aparelho desenvolvido apresentou funcionamento estável em todas as etapas das análises com rendimento médio de 8 amostras por hora. Este valor é superior ao obtido no aparelho padrão. O maior rendimento de trabalho deve-se a possibilidade de ajuste da velocidade de descida desejada e da velocidade de até 4 cm min^{-1} para o retorno. Já o aparelho padrão não permite ajustar velocidades diferentes para descida e subida da haste. A comparação do aparelho na determinação da resistência à penetração pode ser visto na Figura 4. Os valores obtidos no aparelho desenvolvido não diferiram estatisticamente dos valores obtidos nos testes com o aparelho padrão.

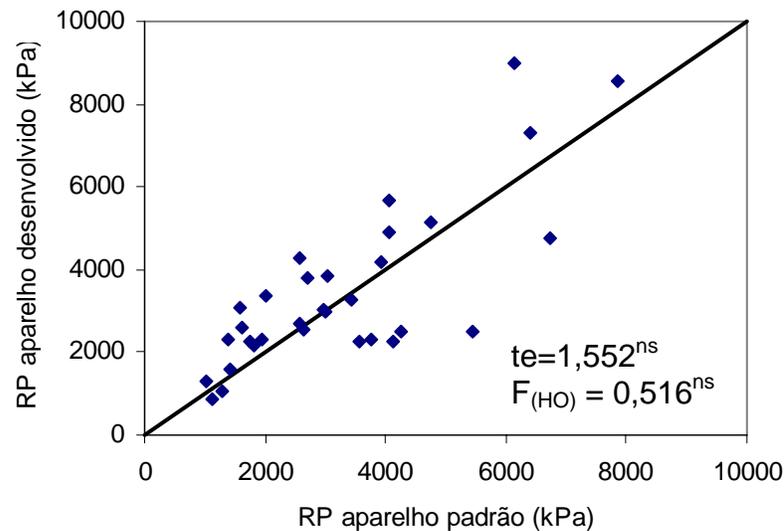


Figura 4. Comparação dos valores de resistência à penetração (RP) obtidos com o penetrógrafo desenvolvido e com o penetrógrafo padrão.

A velocidade de descida da haste de penetração, para o ensaio em laboratório foi de 10 mm min^{-1} , permitindo variação entre $3 \text{ e } 20 \text{ mm min}^{-1}$. Assumindo os valores anteriormente citados, referentes ao passo da rosca de $2,5 \text{ mm}$ e a redução conferida pelo parafuso “sem-fim” de 30:1, a velocidade de percurso de 10 mm min^{-1} é atingida com o motor trabalhando a 120 rpm.

As leituras em grama obtidas nos testes foram transformadas em valores de resistência à penetração utilizando a equação 1. No quadro 1 são apresentados os valores de massa obtidos durante um teste e os valores transformados em resistência a penetração a partir do tempo zero até 10 segundos, considerando apenas uma leitura por milímetro. A profundidade da ponta do cone apresentada é estimada em função do tempo e da velocidade de trabalho de 10 mm min^{-1} , empregando a equação 1.

Quadro 1. Valores de resistência à penetração (RP) obtidos a partir das leituras, tempo de ensaio e profundidade estimada do ápice do cone.

Tempo (s)	massa (g)	RP (MPa)	Profundidade (mm)
0	0,0	0,000	0
6	289,9	0,226	1
12	451,4	0,352	2
18	641,9	0,501	3
24	928,6	0,725	4
30	1187,3	0,927	5
36	1525,7	1,191	6
42	1903,5	1,485	7
48	2376,6	1,855	8
54	2924,8	2,282	9
60	3436,9	2,682	10

As leituras de resistência à penetração obtidas nos teste apresentam valores crescente para os primeiros milímetros, correspondentes a periferia da amostra. Em geral os valores tendiam a uma constante a partir dos 30 segundos do início do teste o que corresponde a 5 mm de penetração do ponta do cone, concordando com Bradford, (1986) que aponta o final do efeito da periferia entre 5 e 10 mm da superfície da amostra. Na Figura 5 são apresentados os valores de resistência a penetração em função do tempo de duração do teste.

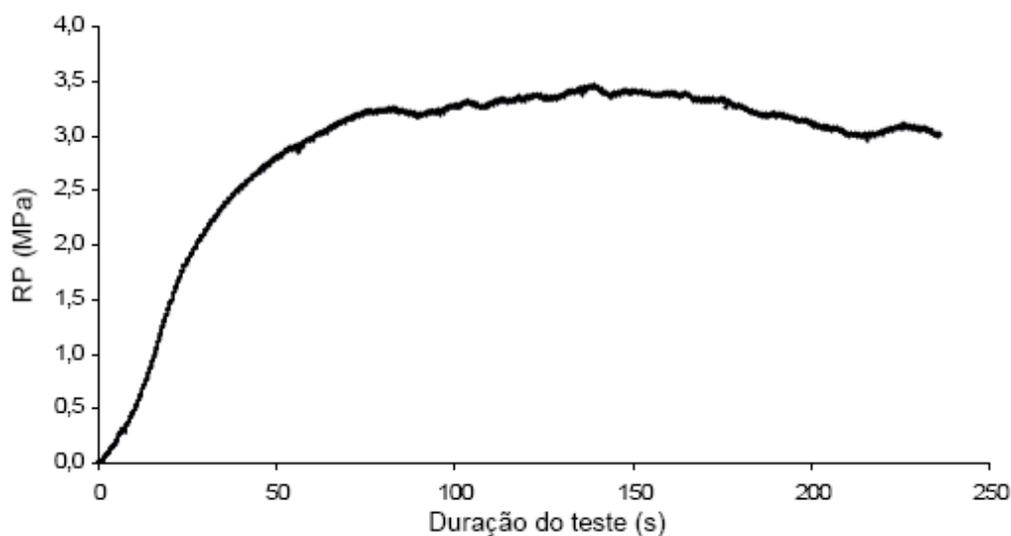


Figura 2. Valores de resistência à penetração em função do tempo de duração do teste.

CONCLUSÕES

O penetrógrafo desenvolvido apresentou fácil operação, elevado rendimento, fácil ajuste de velocidade de penetração, sendo as leituras equivalente às obtidas com o penetrógrafo comercial utilizado como padrão.

AGRADECIMENTOS

Ao SENAI/Dourados-ms, pela parceria estabelecida, disponibilizando sua oficina mecânica de tornearia.

A capes pela bolsa de estudo concedida durante a realização do mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO M.A.; TORMENA C.A.; SILVA A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2005.

American Society of Agricultural Engineers - ASAE. **Soil Cone Penetrometer Standards**, 40th ed. ASAE, St. Joseph, MI. p.820-821, 1993.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. SILVA, A.P. & BARBOSA, J.C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.639-645, 2006

BIANCHINI, A.; MAIA, J.C.S.; MAGALHÃES, P.S.G.; CAPPELLI, N. & UMEZU, C.K. Penetrógrafo eletrônico automático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.332-336, 2002.

BRADFORD, J.M. Penetrability. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analyses - physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madson, ASA – SSSA, 1986. p.463-478.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.R. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Degaspari, 1997. 132p.

CAMPBELL, D.J., O'SULLIVAN, M.F. The cone penetrometer in relation to trafficability, compaction and tillage. In: Smith, K.A., Mullins, C.E. (Eds.), **Soil Analysis, Physical Methods**. Marcel Dekker, New York, pp. 399-429. 1991.

EHLERS, W., KOPKE, U., HESSE, F., BOHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil Tillage Res.** v. 3, 261-275. 1983.

DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo. In: Novais, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.. **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa, MG: 2000. V. 1. p. 55-94.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; GONÇALVES, A.C.A.; OLIVEIRA JUNIOR, R.S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e da taxa de estratificação de carbono orgânico do solo em um Latossolo Vermelho eutroférico. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.36, n.6, p.1773-1779, 2006.

GRAYBILL, F.A. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury Press, 1976, 704p.

GROENEVELT, P.H.; KAY, B.D.; GRANT, C.D. Physical assessment of a soil with respect to rooting potential. **Geoderma**, 34, 101- 114. 1984.

GUERIF, J., 1994. Effects of compaction on soil strength parameters. In: Soane, B.D., van Ouwerkerk, C. (Eds.), **Soil Compaction in Crop Production**. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, p. 191– 214.

HERRICK, J.E.; JONES, T.L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. **Soil Science Society of Am. J.**, v.66, p.1320-1324, 2002.

IMHOFF, S., C. Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos. 2002. 104f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP.

IMHOFF, S.; SILVA, P.A.; DIAS JUNIOR, M.S. & TORMENA, C.A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:11-18, 2001.

LARSON, W.E.; ALLMARAS, R. R. Management factors and natural forces as related compaction. In: Compaction of agricultural soils. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, p.367-427. 1971.

LEÃO, T.P. **Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem**. 2002. 58f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP.

LEITE, H.G.; OLIVEIRA, F.H.T. Statistical procedure to test identity between analytical methods. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** v.33, n.7/8, p.1105-1118, 2002.

NAGAOKA, A.; LANÇAS, K.; CASTRO NETO, P.; LOPES, A. & GUERRA, S.P.S. Soil penetration resistance after the traffic with two types of tyres using the dynamic test equipment. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.7, n. 2, p. 387-393, 2003.

PRADO, R. M.; ROQUE, C. G. & SOUZA, Z. M. Sistemas de preparo e resistência a penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 37, n. 12, p. 1795-1801, 2002.

PEREIRA, J.O.; SIQUEIRA, J.A.C.; URIBE-OPAZO, M.A. & SILVA, S.L. Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB. v.6, n.1, p.171-174, 2002.

SILVA, V.R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D.J.; SILVA, A.P.; BRAIDA, J.A. & KAISER, D.R. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.2, p.399-406, 2004.

TORMENA, C.A. ; SILVA, A.P. & LIBARD, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:573-581, 1998.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.333-339, 1996.

VOORHEES, W.B.; FARRELL, D.A.; LARSON, W.E. Soil strength and aeration effects on root elongation. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 39, 948– 953. 1975.

WHALLEY, W.R.; LIPIEC, J.; STE-PNIEWSKI, W.; TARDIEU, F. Control and measurement of the physical environment in root growth experiments. In: Smit, A.L., Bengough, A.G., Engels, C., van Noordwijk, M., Pellerin, S., van de Geijn, S.C. (Eds.), **Root Methods A Handbook**. Springer-Verlag, Berlin, p. 76– 112, 2000.

INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO (IHO) DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO

RESUMO

A qualidade estrutural do solo para o crescimento de plantas é indispensável para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. O intervalo hídrico ótimo (IHO) é um indicador desta qualidade, com maior sensibilidade por encerrar em seu conceito atributos de potencial mátrico do solo, aeração e resistência à penetração. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar sistemas de cultivo quanto à qualidade estrutural do solo para o desenvolvimento de plantas por meio da determinação do IHO. O estudo foi realizado com amostras indeformadas de um Latossolo Vermelho Distroférico, sob os sistemas de cultivo convencional, direto e integração lavoura-pecuária, no município de Dourados, MS. Em cada sistema de cultivo foram amostrados 28 pontos, nas camadas de 0-5, 5-10, e 10-20 cm de profundidade, totalizando 84 amostras por sistema, as quais foram utilizadas para o ajuste da curva de retenção de água no solo, curva de resistência do solo à penetração e determinação da porosidade, necessários para determinação do IHO. No sistema de cultivo convencional e no direto a menor limitação ao desenvolvimento radicular está na camada de 0-5 cm, sendo que na integração a limitação foi menor na camada de 10-20 cm. Na camada de 0-5 cm do convencional o IHO foi igual a capacidade de água disponível, nos sistema direto e integração a resistência à penetração foi limitante. A resistência a penetração aumenta com a densidade do solo e diminui com a umidade. O IHO teve a resistência à penetração como limite inferior em oito das nove situações estudadas.

Palavras-chave: Integração lavoura-pecuária; Plantio direto; Dinâmica da água no solo.

THE LEAST LIMITING WATER RANGE IN A DISTROFERRIC RED LATOSSOL UNDER DIFFERENT GROWING SYSTEMS

ABSTRACT

The structural soil quality to the plants growth is necessary to the development of agricultural sustainability systems. The Least Limiting Water Range (LLWR) is an indicator of this quality. This indicator presents high sensibility and in its concept it engages the matric potential of the soil, the aeration and the resistance to penetration. This work objective was to characterize the growing systems related to the structural soil quality for the plants development by the LLWR. The study was developed using soil samples with preserved structure of a Distroferric Red Latossol under the conventional, direct and integrated growing systems in de county of Dourados, MS. In each system 28 points were sampled, in 0-5, 5-10, and 10-20 cm deep layers, ending up with 84 samples by system which was used to adjust the water retention curve in the soil, soil resistance curve to penetration and porosity determination, all them necessary to the LLWR determination. In the conventional and direct growing systems the smallest restriction to de roots development was in the 0-5 cm layer, while in the integration system the smallest limiting was in 10-20 cm layer. In the conventional system, in the layer 0-5 cm, the LLWR was equal to the available water capacity, in the direct and integrated systems the resistance to penetration was limiting factor. The resistance to penetration was positively related to the bulk density soil and negatively related to humidity. The LLWR has the resistance to penetration like inferior limit in 8 out of the studied situations.

Key words: integration no tillage water dynames in the soil.

INTRODUÇÃO

No escopo da Física do Solo um dos problemas relevantes é a compactação do solo, especialmente com a grande expansão de sistemas de cultivos com revolvimento mínimo do solo, representado, genericamente, pelo sistema de plantio direto (SPD) em substituição ao sistema convencional de preparo do solo.

Em solos compactados ocorrem alterações da estrutura, da densidade do solo (Grohmann & Queiroz Neto, 1966; Rosa Junior, 1984), da macroporosidade total, do tamanho e continuidade dos poros (Moraes, 1984; Soane & Ouwerkerk, 1994; Dexter, 1998). O ambiente físico do solo ao redor das raízes é controlado pela aeração, temperatura, umidade e resistência mecânica sendo todas essas propriedades físicas do solo, modificadas em grau variável, pela compactação do solo (Boone & Veen, 1994; Secco, 2004).

A resistência à penetração do solo, na zona de raiz é freqüentemente usada como uma medida de compactação do solo. Como outros atributos físicos do solo, a resistência à penetração possui elevada variabilidade espacial e em profundidade. Zonas de passagem do rodado de máquinas e entre rodado possuem resistência diferentes que dependem de textura do solo, tipo e peso da máquina e implemento, conteúdo de umidade no solo, tempo de cultivo, número e velocidade de passagens de implementos e rodas (Larney & Kladviko, 1989).

Latossolos com mineralogia oxídica predominante na fração argila, tendem a apresentar menor capacidade de armazenamento de água (Ferreira et al., 1999) e em condições de ocorrência de veranicos e estiagens, grande demanda evapotranspirométrica e distribuição irregular das chuvas, podem resultar na ocorrência de déficit hídrico, que é uma das principais causas de perdas agrícolas na safra de verão da região da Grande Dourados (Fietz & Urchei, 2002). Estes fatores destacam a importância do solo como reservatório de água dentro da faixa de tensão explorada pela cultura, cujo limite superior é dado pela capacidade de campo (0,01 MPa) (Reichardt, 1988) e limite inferior pelo ponto de murcha permanente (1,5 MPa) (Savage et al., 1996).

O conceito de “Least Limiting Water Range” (LLWR) foi proposto por Letey (1985) e desenvolvido por Silva et al. (1994) como indicador da qualidade estrutural do solo para o crescimento das raízes, visto que integra num único parâmetro, os três fatores importantes associados ao desenvolvimento das plantas: aeração, umidade e resistência mecânica do solo. Pesquisas têm mostrado que o LLWR, traduzido como Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) (Tormena et al., 1998) é alterado pelo grau de compactação do solo (Silva et al., 1994; Silva & Kay, 1997; Betz et al., 1998; Tormena et al., 1998 e Imhoff et al., 2001).

O IHO é um indicador da qualidade estrutural (física) do solo para o crescimento das plantas e para sua estimativa requer a determinação da capacidade de campo e ponto de murcha permanente, volume de poros do solo e resistência do solo à penetração. Na determinação da resistência do solo à penetração são utilizados diversos penetrômetros, o que tem dificultado a interpretação dos resultados. Assim, Herrick & Jones (2002) recomendam a utilização de penetrômetro estático com velocidade constante de penetração, tanto por sua maior precisão quanto para padronizar as determinações.

Considerando a importância dos atributos físicos do solo na dinâmica da água no solo, desenvolveu-se este trabalho com objetivo estudar o Intervalo Hídrico Ótimo em Latossolo Vermelho Distroférico, sob os sistemas de cultivo convencional, plantio direto e integração lavoura-pecuária.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste trabalho foram coletadas amostras na unidade experimental da Embrapa-CPAO no município de Dourados, MS, no ano agrícola de 2005/2006, em um Latossolo Vermelho Distroférico, onde há oito anos vem sendo conduzido um experimento com três sistemas de cultivo: 1) sistema convencional; 2) sistema de plantio direto; e 3) sistema de integração lavoura-pecuária. As análises laboratoriais foram realizadas no laboratório de Física do Solo da Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD.

A caracterização granulométrica do solo na profundidade de 0-0,20 m forneceu os seguintes valores: areia = 280 g kg^{-1} , silte = 110 g kg^{-1} e argila = 610 g kg^{-1} , sendo o solo classificado como de classe textural Franco-Argilo-Arenosa (Embrapa, 1999).

As parcelas experimentais de cada sistema de cultivo possuem dois hectares. Em cada sistema de cultivo foram escolhidos 28 pontos de amostragem aleatoriamente. As amostras foram retiradas nas entrelinhas da cultura de soja nos meses de dezembro (2005) e janeiro (2006), que coincidiu com a fase final do período vegetativo da cultura.

As amostras foram coletadas em três profundidades: 0 a 5; 5 a 10; e 10 a 20 cm. As 84 amostras indeformadas, de cada sistema de cultivo, foram retiradas utilizando anéis volumétricos de 100 cm^3 . Depois de devidamente preparadas, foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de $2/3$ da altura do anel, numa bandeja com areia fina lavada, coberta com papel mata-borrão. Para determinar a curva de retenção de água (CRA) foi adotado o procedimento descrito em Silva et al. (1994). As 28 amostras foram divididas em 7 grupos de 4 amostras, sendo cada grupo submetido aos seguintes potenciais na câmara de pressão de Richards: -0,004; -0,01; -0,033; -0,066; -0,1; -0,3 e -1,5 MPa, utilizando pressões aplicadas em câmaras com placas porosas, conforme Klute (1986).

Quando as amostras atingiram o equilíbrio nas referidas tensões foi medida a resistência do solo à penetração, utilizando um penetrômetro eletrônico com velocidade constante de penetração de 1 cm min^{-1} com

diâmetro de base de 4 mm e semi-ângulo de 30°.

No centro geométrico de cada amostra foi introduzida a haste de penetração. As leituras obtidas nos 5 mm superiores e inferiores da amostra foram descartadas, visando eliminar o efeito da periferia da amostra, conforme proposto por Bradford (1986). A frequência de leitura de resistência à penetração correspondeu à coleta de um valor a cada 0,25 segundos, obtendo-se um total de 800 leituras por amostra, das quais um valor médio foi utilizado. Determinada a resistência do solo à penetração, as amostras foram secas em estufa a 105-110 °C, por 24 horas, para determinação da densidade do solo pelo método do anel volumétrico. A massa seca das amostras foi empregada também no cálculo da porosidade total dada pela diferença entre a massa da amostra saturada e a massa da amostra seca, considerando um cm^{-3} de água igual a um grama:

$$P_{\text{total}} = A_{\text{sat}} - A_{\text{seca}} \quad (1)$$

em que,

(P_{total}) é a porosidade total, cm^3 ;

A_{sat} é a massa da amostra saturada, g;

A_{seca} é a massa da amostra seca, g.

A porosidade de aeração, definida como a fração da porosidade total que subtraída desta deixa 10% da porosidade total livre para a aeração, foi estimada empregando a equação 2, apresentada a seguir:

$$P_A = P_{\text{total}} - 0,1 \quad (2)$$

Em que,

P_A é a porosidade de aeração, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$;

P_{total} é a porosidade total $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Para obter a curva de retenção de água no solo foi utilizado o modelo linearizado apresentado na Equação 3, adaptado de Silva & Kay (1994):

$$\ln \theta = a_0 + a_1 \cdot \ln D_s + (b_0 + b_1 \cdot \ln D_s) \cdot \ln T \quad (3)$$

em que,

θ é a umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);

Ds é a densidade do solo (Mg m^{-3});

T é o potencial matricial (MPa);

a_0 , a_1 , b_0 e b_1 são coeficientes obtidos por meio do ajuste dos modelos.

Para estimativa dos valores de umidade na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) foi empregada a Equação 3, fixando o valor da tensão em 0,01 e 1,5 MPa para CC e PMP, respectivamente.

A curva de resistência do solo à penetração foi ajustada por meio de um modelo não-linear, proposto por Busscher (1990):

$$RP = a + \theta^b + Ds^c \quad (4)$$

em que,

RP é a resistência do solo à penetração (MPa);

θ é a umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$);

Ds é a densidade do solo (Mg m^{-3});

a , b e c são coeficientes obtidos por meio do ajuste dos modelos.

O IHO foi determinado com base nos procedimentos descritos em Silva et al. (1994). Os valores críticos de umidade associados com o potencial mátrico, resistência do solo à penetração e porosidade de aeração foram, respectivamente: capacidade de campo (θ_{CC}) no potencial de -0,01 MPa (Reichardt, 1988); ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) no potencial de -1,5 MPa (Savage et al., 1996); umidade volumétrica em que a resistência do solo à penetração (θ_{RP}) atinge 2,0 MPa (Taylor et al., 1966) e o umidade volumétrica em que a porosidade de aeração (θ_{PA}) é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Grable & Siemer, 1968). A figura do IHO, em cada sistema de cultivo foi obtida plotando as equações 3 com valor de T de 10 e 1500 kPa, para a capacidade de campo e ponto de murcha permanente, respectivamente, e as equações 4 e 5 em um mesmo sistema de coordenadas x e y . No eixo das abcissas estão os valores crescentes de densidade do solo entre o mínimo e máximo valor de densidade encontrado no sistema de cultivo. O

eixo y representa a umidade do solo.

Os modelos tiveram o erro relativo médio (te) e a hipótese H_0 por $F(H_0)$, testados segundo método proposto por Leite & oliveira (2002). O

erro relativo médio entre as curvas de dados foi determinado como:

$\bar{e} = \sum_i^n (y_i - x_i / x_i) / n$, considerando-se que o erro, é uma variável que segue uma distribuição normal e ocorre ao acaso, pode-se testar a hipótese $H_0: \bar{e} = 0$. Foi utilizado um nível de significância de 5% de

probabilidade nas comparações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros para os atributos físicos empregados no ajuste dos modelos de retenção de água e resistência do solo à penetração são apresentados no Quadro 1. A densidade do solo e a retenção de água no solo estão de acordo com Leão (2002), trabalhando em um Latossolo Vermelho distrófico. O elevado coeficiente de variação da resistência à penetração pode estar relacionado à variabilidade natural da densidade do solo, ao gradiente de umidade entre as amostras e aos diferentes sistemas de cultivo que foram amostrados. Larney & Kladvko (1989) relatam a variabilidade desses atributos em relação a estas situações.

Quadro 1. Estimativa dos parâmetros da umidade volumétrica (θ) ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), da densidade (D_s) (Mg m^{-3}) e resistência à penetração determinadas nas amostras com estrutura indeformada.

Parâmetros	Média	Desvio-padrão	CV	Mínimo	Máximo
θ	0,353	0,063	18	0,219	0,497
D_s	1,126	0,128	11	0,772	1,363
RP	2,059	1,482	72	0,100	6,921

CV = coeficiente de variação (%).

Os coeficientes do modelo de retenção de água no solo são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Parâmetros do modelo de retenção de água no solo, coeficiente de determinação, testes t do erro médio e F em cada profundidade e sistema de cultivo.

Camada	sistemas	a_0	a_1	b_0	b_1	R^2	te	F(H_0)
00-05	convencional	-0,92220	0,26620	-0,05907	0,11434	0,83	0,55 ^{ns}	1,30 ^{ns}
00-05	direto	-0,71701	-0,07584	-0,11991	0,25105	0,97	0,04 ^{ns}	0,45 ^{ns}
00-05	integração	-0,49918	-1,83577	-0,17085	0,56816	0,70	0,69 ^{ns}	0,44 ^{ns}
05-10	convencional	-0,74489	0,37088	-0,09372	0,00288	0,94	1,46 ^{ns}	0,94 ^{ns}
05-10	direto	-1,06550	2,65961	0,00959	-0,61711	0,99	2,28 ^{ns}	3,63 ^{ns}
05-10	integração	-0,90980	1,05586	-0,00764	-0,40203	0,90	1,53 ^{ns}	0,97 ^{ns}
10-20	convencional	-0,40500	-1,34569	-0,17372	0,46009	0,94	1,12 ^{ns}	0,65 ^{ns}
10-20	direto	-0,86201	0,86716	-0,06677	-0,09831	0,90	0,16 ^{ns}	0,35 ^{ns}
10-20	integração	-1,10926	3,61685	0,03029	-0,96353	0,83	0,34 ^{ns}	1,26 ^{ns}

^{ns}

não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

Os parâmetros dos modelos de resistência à penetração são apresentados no Quadro 3. Verificou-se que a resistência apresentou

variação diretamente proporcional com a densidade do solo e inversamente proporcional com a umidade. Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores trabalhando em Latossolo Vermelho distrofico (Araújo et al., 2005; Leão, 2002; Tormena et al., 1998).

Quadro 3. Parâmetros do modelo de resistência do solo à penetração, coeficiente de determinação, testes t do erro médio e F em cada profundidade e sistema de cultivo.

Camada	uso	a	b	c	R ²	te	F(H ₀)
00-05	convencional	0,00805	-3,32149	0,47717	0,84	1,06 ^{ns}	1,42 ^{ns}
00-05	direto	0,00560	-4,26470	1,76095	0,86	1,28 ^{ns}	0,70 ^{ns}
00-05	integração	0,00386	-3,90060	12,78301	0,87	0,63 ^{ns}	0,16 ^{ns}
05-10	convencional	0,15404	-2,14546	0,44684	0,64	1,03 ^{ns}	2,03 ^{ns}
05-10	direto	0,04812	-2,23779	11,88776	0,85	0,86 ^{ns}	0,76 ^{ns}
05-10	integração	0,02409	-2,40166	13,91457	0,89	1,30 ^{ns}	3,48 ^{ns}
10-20	convencional	0,08403	-2,31811	5,09754	0,71	1,65 ^{ns}	0,59 ^{ns}
10-20	direto	0,15125	-2,49688	0,55096	0,75	1,26 ^{ns}	1,27 ^{ns}
10-20	integração	0,07786	-2,09104	9,44577	0,57	1,25 ^{ns}	2,69 ^{ns}

^{ns} não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

As estimativas da umidade volumétrica em que a resistência à penetração atinge 2 MPa, empregando os coeficientes apresentados no Quadro 3, foram obtidas pela Equação 3, fixando o valor da RP em 2 MPa. O modelo adaptado de Silva et al. (1994) empregado no ajuste dos modelos de retenção de água no solo estimou satisfatoriamente os valores de umidade.

Os valores de porosidade total e densidade do solo são apresentados no Quadro 4. A porosidade total foi máxima na camada de 0 a 5 cm no sistema convencional e teve seu menor valor na camada de 5 a 10 no sistema de plantio direto. Para a densidade, o valor mínimo foi na camada de 0 a 5 do convencional e máximo na camada de 10 a 20 do direto.

Quadro 4. Porosidade total (P_{total}) nas camadas de 0 a 5; 5 a 10; e 10 a 20 cm, nos sistemas de cultivo convencional, direto e integração lavoura-pecuária, em um Latossolo Vermelho distroférrico.

Camada	uso	P_{total} ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	D_s
00-05	convencional	0,65	0,94
00-05	direto	0,64	1,04
00-05	integração	0,59	1,14
05-10	convencional	0,59	1,16
05-10	direto	0,57	1,14
05-10	integração	0,58	1,16
10-20	convencional	0,57	1,21
10-20	direto	0,57	1,23
10-20	integração	0,59	1,11

Para a camada de 0-5 cm de profundidade o IHO foi igual a capacidade de água disponível no sistema convencional (Figura 1a). No sistema direto (Figura 1b) a resistência à penetração limitou o intervalo hídrico ótimo para todos os valores de densidade. No sistema de integração o IHO também teve a resistência à penetração como limite inferior para todos os valores de densidade, (figura 1c), sendo esta limitação ainda maior que no sistema de plantio direto (Figura 1c).

A resistência à penetração na camada de 0 a 5 cm, menor no sistema convencional em relação aos sistemas com ausência de revolvimento (direto e integração) corrobora com os resultados obtidos por Beutler et al. (2001) quando comparou o sistema convencional utilizando arado de discos com o sistema plantio direto. O autor observa ainda que a partir desta profundidade as diferenças entre estes sistemas são pouco expressivas.

Os três sistemas de cultivo tiveram o IHO menor que a capacidade de água disponível na camada de 5-10 cm, devido a resistência à penetração, sendo que nos sistemas direto e convencional a limitação foi mais acentuada (Figuras 2a, 2b, 2c). No sistema convencional o IHO tem como limite superior a porosidade de aeração quando a densidade é superior a $1,28 \text{ Mg m}^{-3}$, dando indicação de compactação severa, uma vez que Latossolos oxidícos tendem a apresentar elevada porosidade sob condições naturais (Ferreira et al., 1999).

Na camada de 10-20 cm a resistência à penetração foi o limite inferior do IHO para todos os valores de densidade, nos três sistemas de cultivo, indicando limitação severa a expansão radicular (Figuras 3a, 3b, 3c). A porosidade de aeração foi limitante sob valores de densidade mais elevados nos sistemas convencional e direto por apresentar menos de 10% da porosidade total, livre para circulação de ar (Figura 3^a e 3b).

O conceito de IHO mostrou se sensível a variação da densidade do solo, tendo seu valor reduzido no limite inferior pela resistência à penetração, exceto na camada de 0 a 5 cm do sistema convencional. Utilizando o conceito de capacidade de água disponível (CAD), Ono et al., (2006) trabalhando em Latossolo Vermelho Distroférico obteve CAD crescente para os sistemas convencional, direto e integração, na ordem, podendo verificar uma melhoria da disponibilidade hídrica para as culturas em virtude da adoção dos sistemas de cultivo direto e integração.

A restrição física devido a resistência à penetração observada nas figuras de IHO não condiz com relatos da literatura de melhoria de indicadores da qualidade do solo nas áreas com cultivo direto ou integração (Franchini, et al., 2000), que demonstram inclusive uma maior semelhança de atributos desejáveis destes sistemas e ambientes naturais Da Ros et al., (1997). Discorda também dos resultados obtidos por produtores que adotam estes sistemas na região, os quais listam vantagens como a redução do custo de produção, aumento de produtividade e maior resiliência destes sistemas cultivo frente à adversidades como clima, pragas, plantas daninhas entre outros diminuindo as chances de frustrações drásticas de produtividade (Embrapa, 2006; Febrapdp, 2006). Santos (2006) obteve maior rendimento de grãos nas áreas sob plantio direto em relação às de cultivo convencional.

Embora o aumento da densidade do solo e conseqüentemente da resistência à penetração nos sistemas de cultivo direto e integração seja preocupante e mereça atenção afim de evitar complicações futuras, que possam demandar práticas onerosas (aração, subsolagem) para reestabelecimento do potencial produtivo, a adoção de valor de 2 MPa como restritivo ao desenvolvimento radicular em áreas sob estes sistemas parece ser um valor inadequado. Segundo Tisdall & Oades (1982) e Pedroti et al.,

(2001) a resistência real, exercida pelo solo à penetração radicular é, geralmente, menor que a resistência medida pelo penetrômetro, já que as raízes procuram os caminhos de menor resistência durante o seu crescimento. Esse aspecto está relacionado com a permanência da continuidade dos poros, resultante da decomposição das raízes, da liberação de exudatos radiculares, da atividade biológica no solo mais efetiva, proporcionando maior estabilidade dos agregados.

A ausência de revolvimento dos sistemas de cultivo direto e integração, proporciona a preservação e conseqüentemente um aumento de poros gerados por raízes de plantas e por integrantes da mesofauna do solo. Segundo Dexter (1998), para o desenvolvimento do sistema radicular as plantas precisam explorar a porosidade presente no solo ou forçar a abertura de novos poros, superando a resistência oferecida pela matriz do solo. Estes poros preexistentes devem servir como caminhos preferenciais às raízes em expansão.

A arquitetura dos poros com maior continuidade e alinhamento nos sistemas direto e integração, apresentando diâmetro acima de 10 μm é favorável a expansão radicular, porém, ignorada por hastes metálicas utilizada nos testes de resistência à penetração, inúmeras vezes maior ao de uma raiz em expansão, estimando valores de resistência à penetração superiores aos realmente impostos pelo solo às raízes (Grant & Lanfond, 1993). A haste empregada neste trabalho apresenta 4 mm de diâmetro, ou seja, 400 μm .

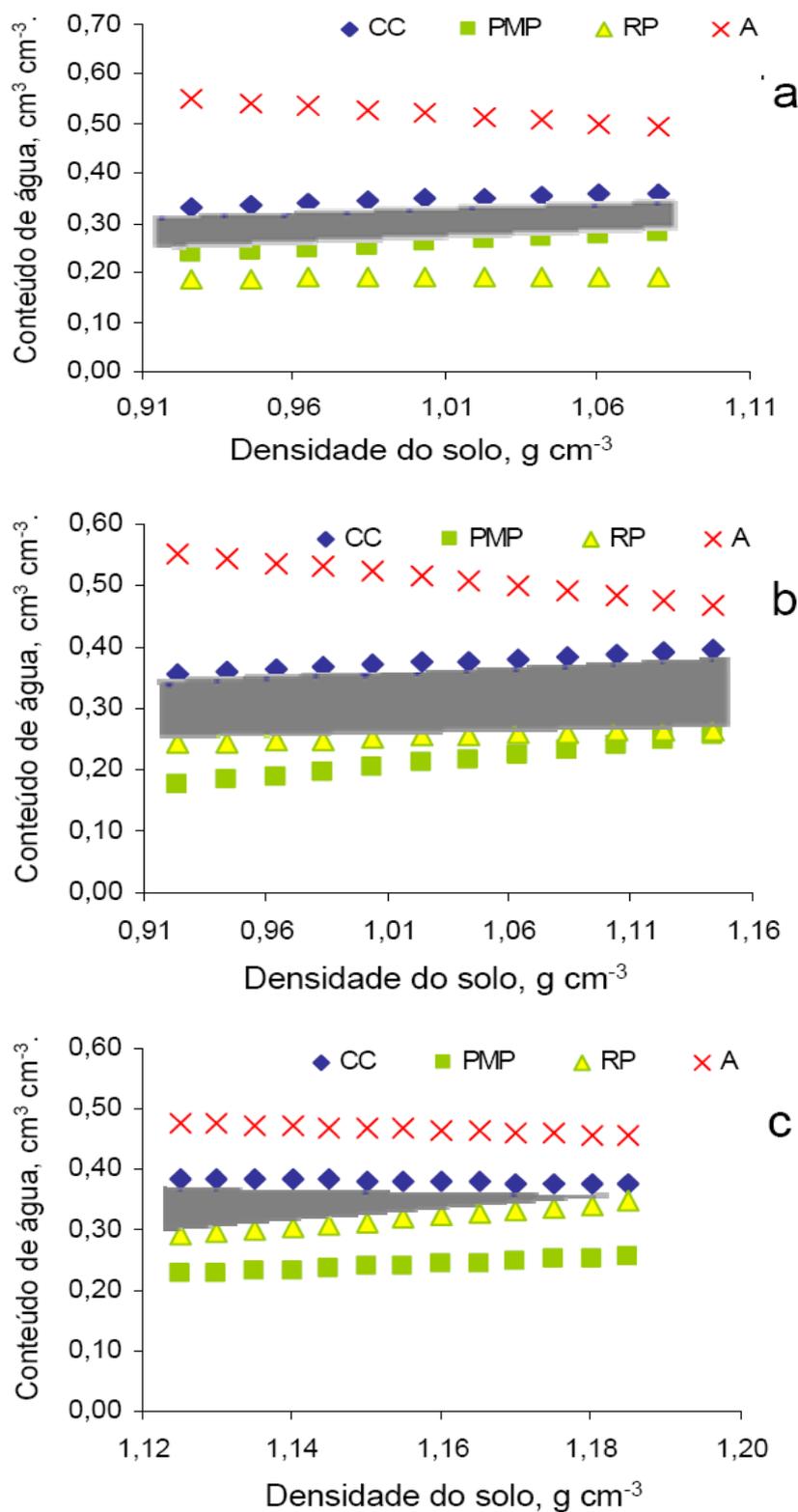


Figura 1. Variação da umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) com a densidade do solo (D_s), nos limites críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (A) e resistência do solo à penetração de 2 MPa (RP); na camada de 0 a 5 cm do sistema de cultivo convencional (a), direto (b) e integração (c). A área r representa o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO).

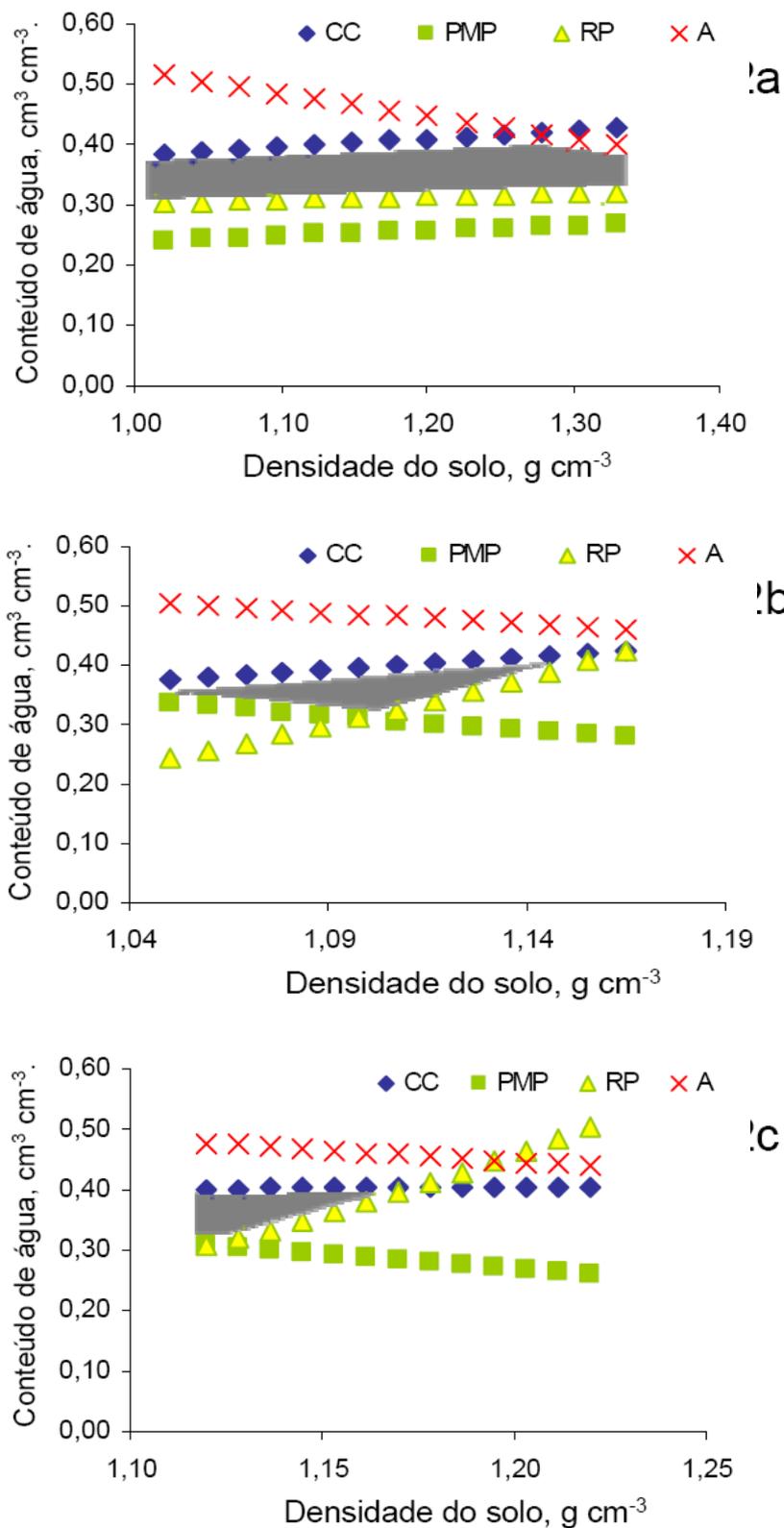


Figura 2. Variação da umidade volumétrica (cm³ cm⁻³) com a densidade do solo (D_s), nos limites críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (A) e resistência do solo à penetração de 2 MPa (RP); na camada de 5 a 10 cm do sistema de cultivo convencional (a), direto (b) e integração (c). A área rachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO).

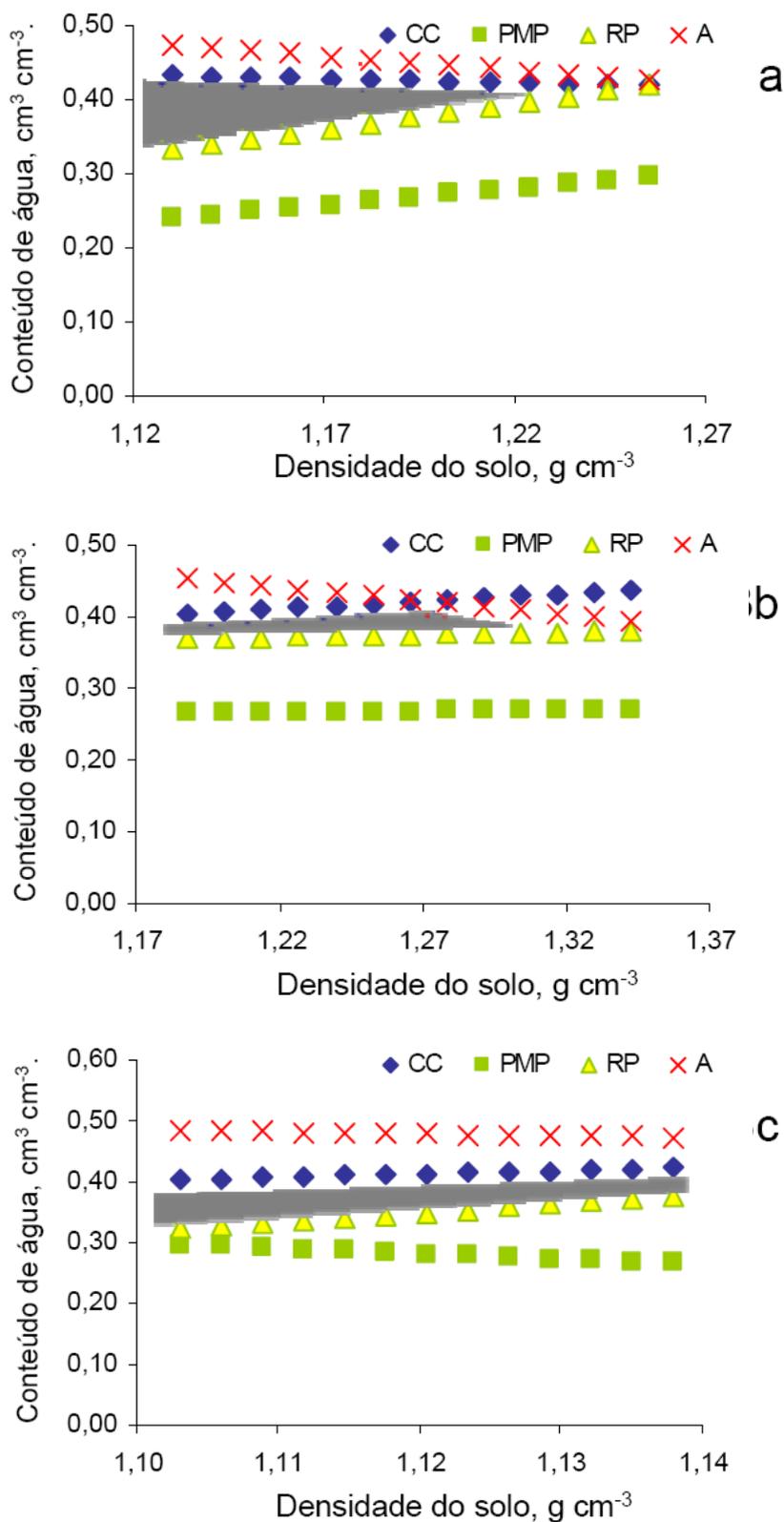


Figura 3. Variação da umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) com a densidade do solo (D_s), nos limites críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (A) e resistência do solo à penetração de 2 MPa (RP); na camada de 10 a 20 cm do sistema convencional (a), direto (b) e integração (c). A área rachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO).

CONCLUSÕES

A resistência à penetração (RP) aumenta com a densidade do solo e diminui com a umidade. A RP foi o limite inferior do IHO em oito das nove situações estudadas.

O conceito de IHO mostrou-se mais sensível que o conceito de água disponível, indicando restrição severa à expansão radicular quando considerado o valor de 2 MPa como crítico.

AGRADECIMENTOS

A Embrapa – CPAO, Dourados, MS por ter cedido à área experimental para coleta das amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2005.

ASRHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed). **Methods for assessing soil quality**. Madison. Soil(SSSA Spacial Publication,

BETZ, C.L.; ALLMARAS, R.R.; COPELAND, S.M. & RANDALL, G.W. Least limiting water range: traffic and long-term tillage influences in a webster soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 62:1384-1393, 1998.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C. & PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 25, p. 167-177, 2001.

BOONE, F.R. & VEEN, B.W. Mechanisms of crop responses to soil compaction. In: SOANE, B.D. & van OUWERKERK, C., eds. Soil compaction in crop production. Amsterdam, **Elsevier**, 1994.p. 237-264.

BRADFORD, J. M. Penetrability. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analyses - physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madson, ASA - SSSA, 1986. p.463-478.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a commom water content. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, 33:519-524, 1990.

DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.2, p.241-247, abr/jun. 1997.

DEXTER, A. R. Advences in characterization of soil structure. **Soil Tillage Res.** 11: 199-238, 1998.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto Na Palha. **Informativo N15**, pagina 6. 2006.

FERREIRA, M. M. & DIAS JUNIOR, M. S. **Física do solo**. Lavras, DCS/UFLA/CAPES/PROIN, 1996. 86p.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.23:515-524, 1999.

FIETZ, C. R. & URCHEI, M. A. Deficiência hídrica da cultura da soja na região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.262-265, 2002.

FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C.M.; FERREIRA, M.M. & GAUDÊNCIO, G.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p.459- 467, 2000.

GRABLE, A.R. & SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potencial and elongation of corns root. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 32:180-186, 1968.

GRANT, C.A.; LANFOND, G.O. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in Southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science, Ottawa**, v. 73, n.2, p.223-232, May 1993.

GROHMANN. F. & QUEIROZ NETO, J.P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argiloso sobre a penetração das raízes de arroz. **Bragantia**, 25:421-431, 1966.

GUPTA, S.C. & ALLMARAS, R.R. Models to assess the susceptibility of soil to excessive compaction. **Adv. Soil Sci.**, 6: 65-100, 1987.

HAKANSSON, I. & VOORHERS, W.B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C. & STEWARD, B.A., eds. Methods for assessment of soil degradation. **Advences in soil science**. Boca Raton, CRS Press, 1998. p. 167-179.

HERRICK, J.E.; JONES, T.L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. **Soil Science Society of Am. J.**, v.66, p. 1320-324, 2002.

IMHOFF, S.; SILVA, P.A.; DIAS JUNIOR, M.S. & TORMENA, C.A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:11-18, 2001.

KAYOMBO, B. & LAL, R. Responses of tropical crops to soil compaction. In: SOANE, B. D. & van OUWERKERK, C., eds. Soil compaction in crop production. Amsterdam, **elsevier**, 1994.p. 287-316.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. ed. **Methods of soil analyses - physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madson, ASA-SSSA, 1986. p.635-660.

LARNEY, F.J. & KLADVIKO, E.J. Soil Strength Properties Under Four Tillage Systems et Three Long-Term Study Sites in Indiana. **Soil Science America Journal**. 53:1539-1545, 1989.

LEÃO, T.P. ; SILVA, A.P. & TORMENA, C. A. Algorithm for calculating the least limiting water range of soil. **American Society of Agronomy**. Published online July 13, 2005.

LEÃO, T.P. **Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem**. 2002. 58f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba-SP.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Adv. Soil Sci.**, 1: 277-294, 1985.

LEITE, H.G.; OLIVEIRA, F.H.T. Statistical procedure to test identity between analytical methods. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** v.33, n.7/8, p. 1105-1118, 2002.

MORAES, W. V. Comportamento de características e propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Escuro, submetido a diferentes sistemas de cultivo. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1984. 107p. (Tese de Mestrado)

ONO, F. B.; SERAFIM, M. E.; CREMON, C.; CARDUCCI, C. E.; KATO, E. M. S. Disponibilidade hídrica de três sistemas de cultivo em Latossolo Vermelho Distroférrico, textura argilosa da região de Dourados, MS. REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 58., 2006, Florianópolis. Anais eletrônicos da 58ª Reunião Anual da SBPC. São Paulo : SBPC/UFSC, 2006. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra>. Acesso em: 26 fevereiro de 2007.

PEDROTTI, A. & DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo: como evita-la. **Agropecuária Catarinense**, 9:50-52, 1996.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; DIAS JUNIOR, M.S.; GOMES, A.S. & TURATTI, A.L.. Resistência mecânica do solo à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 521-529, 2001.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 12:211-216, 1988.

RIBEIRO JUNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 301 p.

ROSA JUNIOR, E. J. **Efeito de sistemas de manejo e tempo de uso sobre características físicas e químicas de dois solos de Ponta Porã**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1984, 89p. (tese de Mestrado)

SANTOS, H.P.; LHAMBY, J.C.B.; SPERA, S.T. Rendimento de grãos de soja em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 36, n. 1, 2006.

SAVAGE, M. J.; RITCHIE, J. T.; BLAND, W. L. & DUGAS, W. A. Lower limit of soil water availability. **Agron. Journal**. 88:651-844, 1996.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & DA ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de uma Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28:797-804, 2004.

SILVA, A.P. & KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 61:877-883, 1997.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 58:1775-1781, 1994. SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van, eds. Soil compaction in crop production. Netherlands, **Elsevier**, 1994. p.01-21.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G.M. & PARKER Jr., J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Sci.**, 102:18-22, 1966.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and waterstable agregates in soils. **Journal Soil Sci.**, Oxford, v.33, p.141-163, 1982.

TORMENA, C.A. ; SILVA, A.P. & LIBARD, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p.573-581, 1998.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O penetrógrafo desenvolvido apresentou desempenho satisfatório, pela sua facilidade de operação, pelo seu elevado rendimento de trabalho e pela acurácia dos dados obtidos que foram estaticamente similares aos do penetrógrafo comercial tomado como padrão.

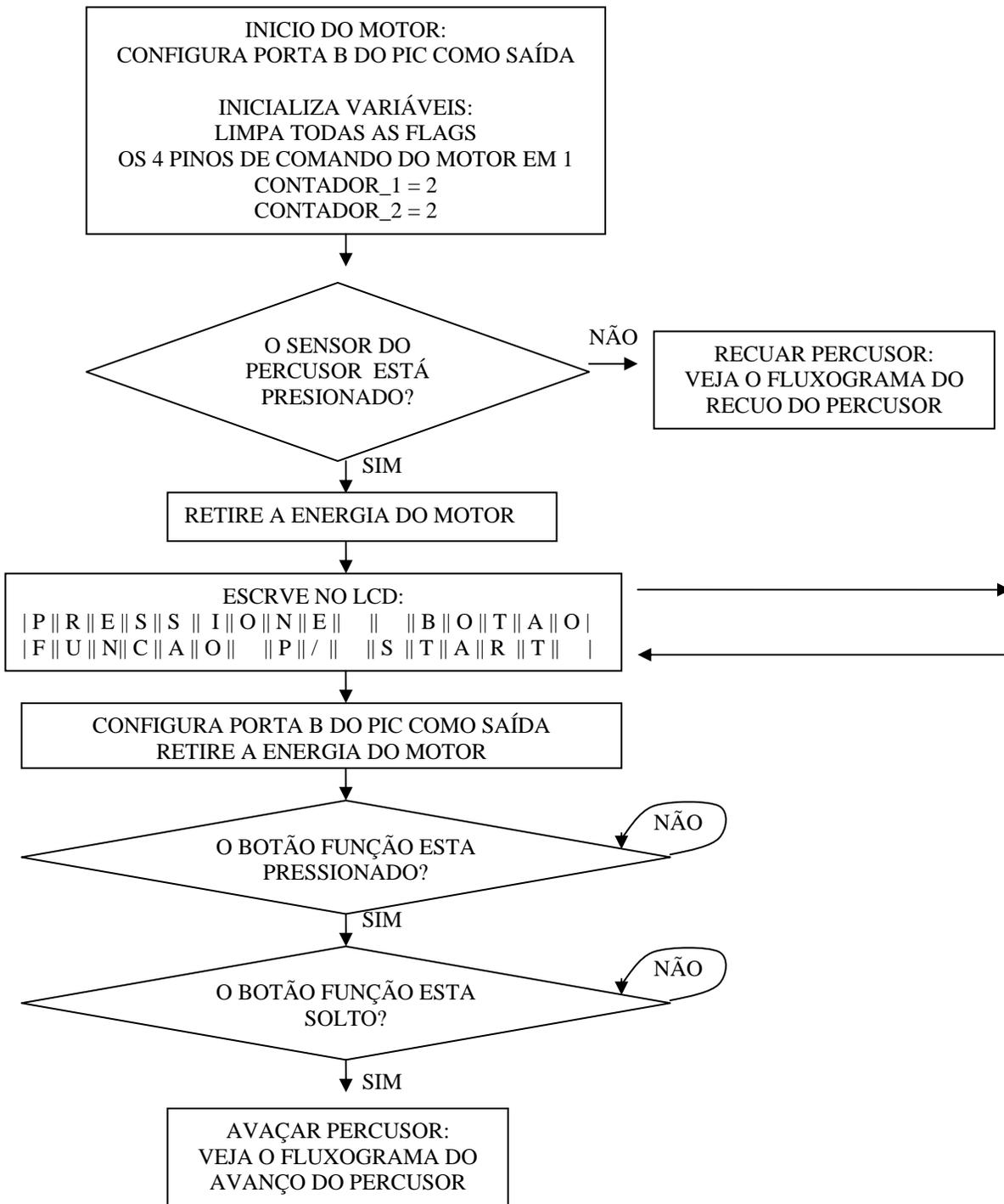
Para as condições deste trabalho, a execução do projeto de construção do penetrógrafo apresentou-se interessante pelo seu menor custo em relação ao valor de um penetrógrafo com função similar disponível no mercado brasileiro e por atender as exigências metodológicas de determinação da resistência à penetração necessária para o estudo de Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) proposto neste mesmo trabalho.

O IHO mostrou-se um índice de elevada sensibilidade na detecção de variações na qualidade física do solo para o crescimento de plantas de diferentes sistemas de cultivo.

Nos três sistemas de produção estudados, a principal limitação presente foram os elevados valores de resistência à penetração, reduzindo consideravelmente a amplitude entre o limite inferior e o limite superior da disponibilidade hídrica, determinada pelo IHO.

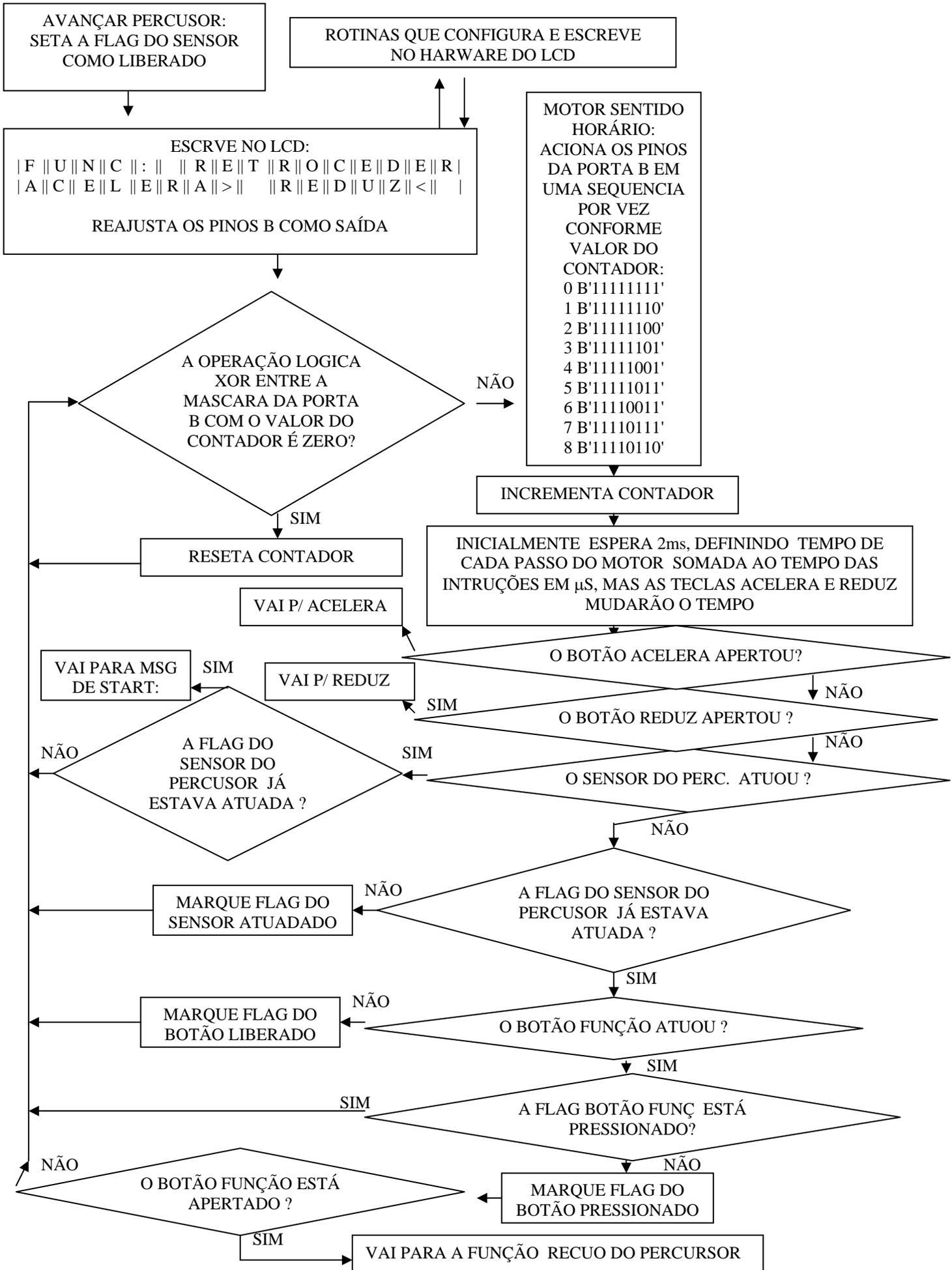
APÊNDICE A

Fluxograma inicial do motor

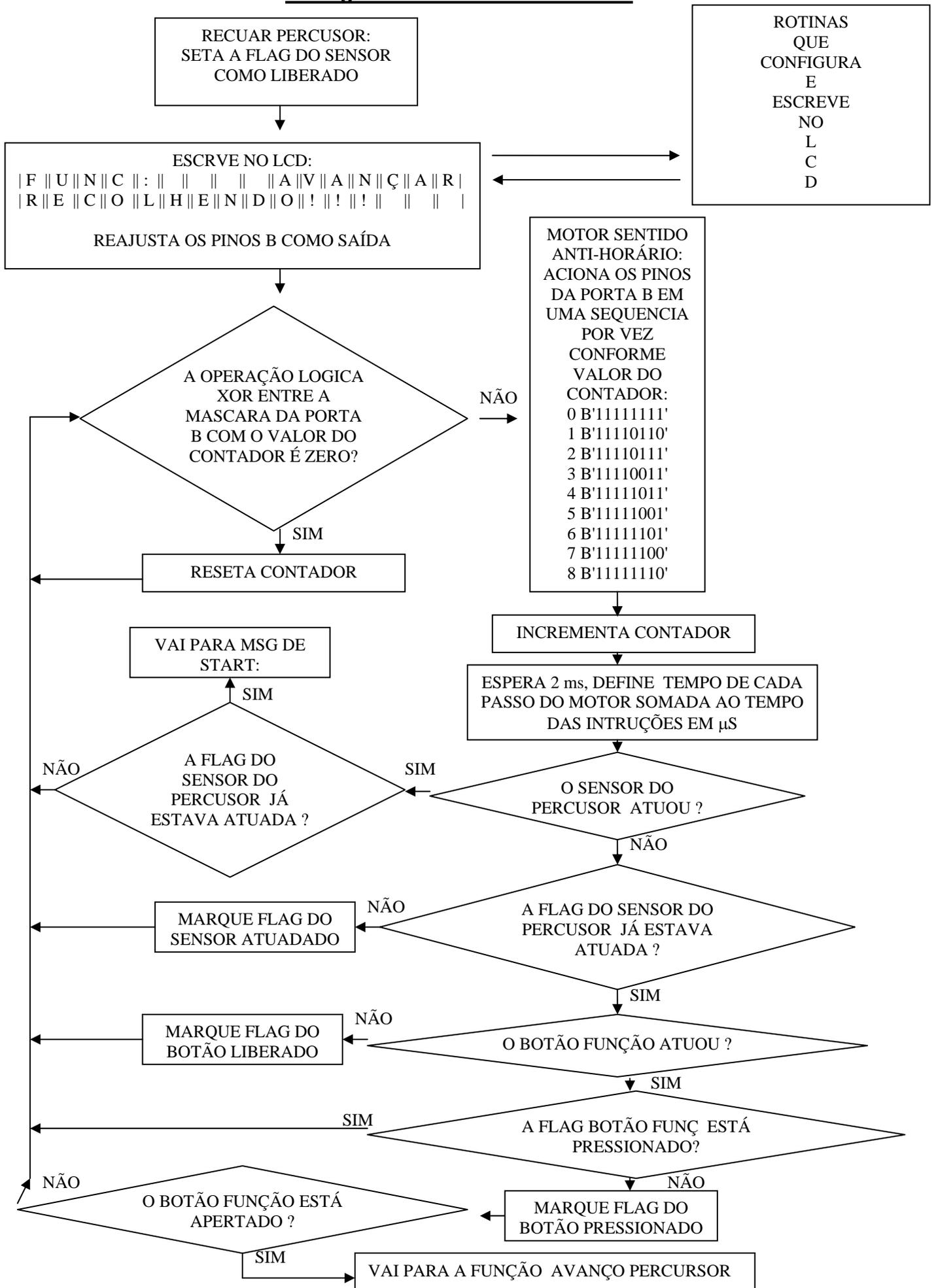


ROTINAS
QUE
CONFIGURA
E
ESCREVE
NO
LCD

Fluxograma do Avanço do Percursor



Fluxograma do recuo do Percursor



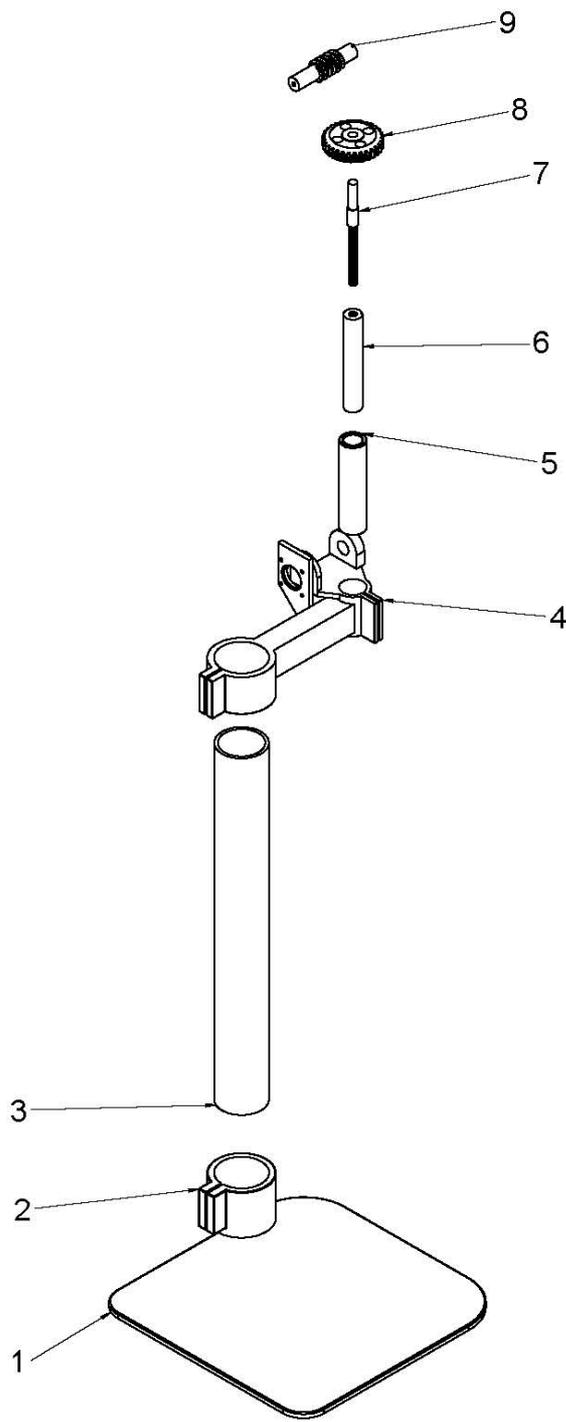
Código fonte do software Dias em hexadecimal

:020000040000FA
:020000002528B1
:080008000900080026080F3969
:100010008207FF34FE34FC34FD34F934FB34F3340E
:10002000F734F6346F34AF34E334C634E934C734CC
:10003000873426080F398207FF34F634F734F33457
:10004000FB34F934FD34FC34FE3483160313F230F0
:100050008500003086008130810000308B008312E3
:10006000031307309F0085018601061486140615C8
:1000700086152830C3212830C3210630C3210C3017
:10008000C3210130C3214030C3210230AF210430ED
:10009000AF211F30AF210430AF210430AF21043035
:1000A000AF211F30AF210030AF218030C721203079
:1000B000AF214930AF214E30AF214930AF2143301D
:1000C000AF214930AF214130AF214C30AF21493011
:1000D000AF215A30AF214130AF214E30AF214430F3
:1000E000AF214F30AF212130AF212030AF21C030C0
:1000F000C7212030AF212030AF212030AF21203068
:10010000AF212030AF212030AF212030AF2120306F
:10011000AF212030AF212030AF212030AF2120305F
:10012000AF212030AF212030AF212030AF2120304F
:10013000AF21E0218030C7215030AF214530AF21C1
:100140004E30AF214530AF215430AF215230AF2176
:100150004F30AF214D30AF214530AF215430AF216A
:100160005230AF214F30AF212030AF213130AF219D
:100170002E30AF213030AF21C030C7212030AF2129
:100180002030AF212030AF212030AF212030AF21EF
:100190005530AF214630AF214D30AF215330AF2124
:1001A0002E30AF212030AF212030AF212030AF21C1
:1001B0002030AF212030AF212030AF21E02180302E
:1001C000C7212030AF212030AF215030AF21523035
:1001D000AF214F30AF214A30AF214530AF215430ED
:1001E000AF214F30AF212030AF212030AF21503030
:1001F000AF214F30AF215230AF212030AF2120301E
:10020000AF21C030C7214D30AF214930AF214C3034
:10021000AF215330AF214F30AF214E30AF212030CE
:10022000AF214530AF215630AF214130AF214C30A6
:10023000AF214430AF214F30AF212030AF215330B8
:10024000AF212E30AF21E0218030C7212030AF21F7
:100250002030AF212030AF214830AF214130AF21D5
:100260005230AF214430AF215730AF214130AF2160
:100270005230AF214530AF212030AF212630AF21A1
:100280002030AF212030AF212030AF21C030C72136
:100290002030AF212030AF215330AF214F30AF217C
:1002A0004630AF215430AF215730AF214130AF211C
:1002B0005230AF214530AF212030AF215030AF2137
:1002C0004F30AF215230AF212030AF212030AF214D
:1002D000E0218030C7212030AF212030AF212030F5
:1002E000AF214530AF215330AF214D30AF214130E8

:1002F000AF214530AF214C30AF212030AF21443009
:10030000AF214930AF214130AF215330AF212030F0
:10031000AF212030AF21C030C7212030AF212030A5
:10032000AF212030AF212030AF212030AF2120304D
:10033000AF215030AF215230AF214130AF21443096
:10034000AF214F30AF212030AF212030AF212030FE
:10035000AF212030AF212030AF21E021F329051556
:1003600085110514A4000F308605F030240586049D
:1003700005100514A40E0F308605F0302405860400
:100380000510CB21080005118511B12108000511C8
:100390008511B12108008316F13086008312051102
:1003A00085150514861FD829051005140510D129B7
:1003B000051005140510831601308600831208000D
:1003C000A401A40AA4190800FA30A200A030A300D6
:1003D0000000A30BE829A20BE629E12983160030CF
:1003E000860083120800EE21A70106148614061564
:1003F00086150230A6000230A500051B002AB22A8D
:1004000006148614061586158030C7215030AF219A
:100410005230AF214530AF215330AF215330AF219F
:100420004930AF214F30AF214E30AF214530AF21A1
:100430002030AF214230AF214F30AF215430AF21B7
:100440004130AF214F30AF212030AF21C030C72124
:100450004630AF215530AF214E30AF214330AF2170
:100460004130AF214F30AF212030AF215030AF218C
:100470002F30AF212030AF215330AF215430AF2186
:100480004130AF215230AF215430AF212030AF2165
:10049000EE210614861406158615851E502A4D2A4F
:1004A000851E502A532A27128030C7214630AF219B
:1004B0005530AF214E30AF214330AF213A30AF211C
:1004C0002030AF215230AF214530AF215430AF2121
:1004D0005230AF214F30AF214330AF214530AF21F3
:1004E0004430AF214530AF215230AF21C030C72159
:1004F0004130AF214330AF214530AF214C30AF21E7
:100500004530AF215230AF214130AF213E30AF21D5
:100510002030AF215230AF214530AF214430AF21E0
:100520005530AF215A30AF213C30AF212030AF21C0
:10053000EE212608083A0319A601A60A062086001D
:1005400025084623051E152B851C152B851E372BCC
:10055000051BAD2A271EB02A992A271E992AB22ADE
:100560002716992A27128030C7214630AF215530EF
:10057000AF214E30AF214330AF213A30AF21203090
:10058000AF212030AF212030AF212030AF214130CA
:10059000AF215630AF214130AF214E30AF21433033
:1005A000AF214130AF215230AF21C030C72152308E
:1005B000AF214530AF214330AF214F30AF214C3018
:1005C000AF214830AF214530AF214E30AF2144300C
:1005D000AF214F30AF212130AF212130AF21213069
:1005E000AF212030AF212030AF212030AF21EE21CC
:1005F0002608083A0319A601A60A19208600023027
:100600004623051B092B271E0C2B851E0E2B27119D
:10061000F82A271EF82A002A2716F82A271D112B48
:10062000F82A2715851E532AF82AFF30A800A900AA

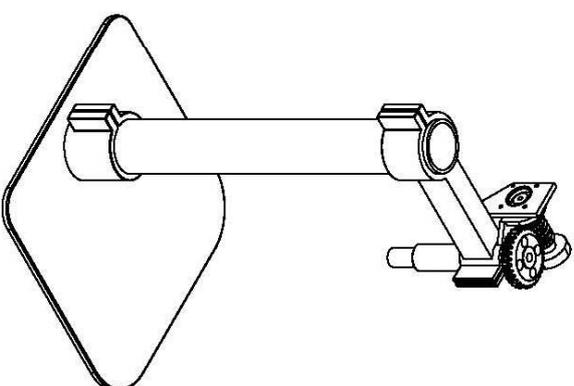
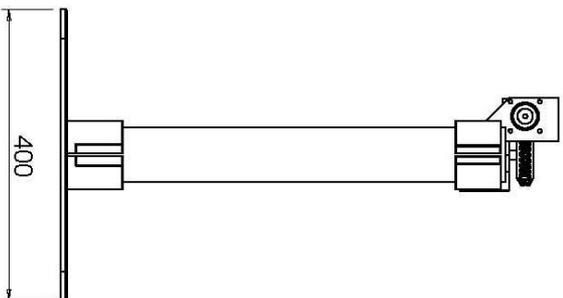
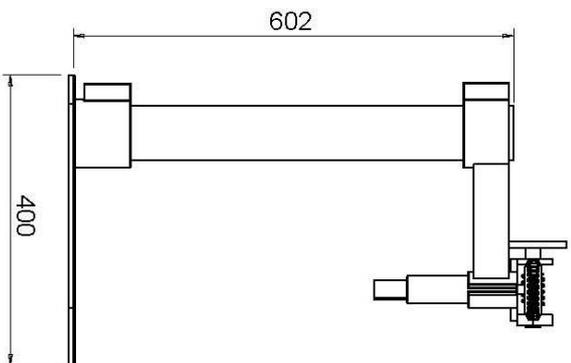
:10063000051A1F2BA80B182B271C292B182B27104A
:100640008518272BA90B202BA71C302B202BA7109C
:10065000532A27142508023A0319152BA503532AF8
:10066000A7142508783A0319152BA50A532AFF3039
:10067000AA00851A402BAA0B392B271D422B392B98
:100680002711532A2715271E992AB22AAC00C630F3
:10069000AB00AB0B492BAC0B472B0800AC00A830D0
:0C06A000AB00AB0B512BAC0B4F2B080038
:02400E00433F2E
:00000001FF

APÊNDICE B



Legenda	
1.	Base de sustentação
2.	Abraçadeira da haste de sustentação
3.	Haste de sustentação
4.	Braço principal
5.	Camisa
6.	Êmbulo
7.	Sem-fim do êmbulo
8.	Coroa helicoidal côncava
9.	Pinhão sem-fim

Universidade Federal da Grande Dourados		
Projeto: Penetrógrafo de Bancada		
Peça: Vista explodida		
Unidade: milímetro	Material: Aço ABNT 1020	Quantidade: 1 unidades
Escala: 1:10	Data: 8/2/2007	Folha 1 de 8



Universidade Federal da Grande Dourados

Projeto:

Penetrógrafo de Bancada

Peça:

Penetrografo

Unidade: milímetro

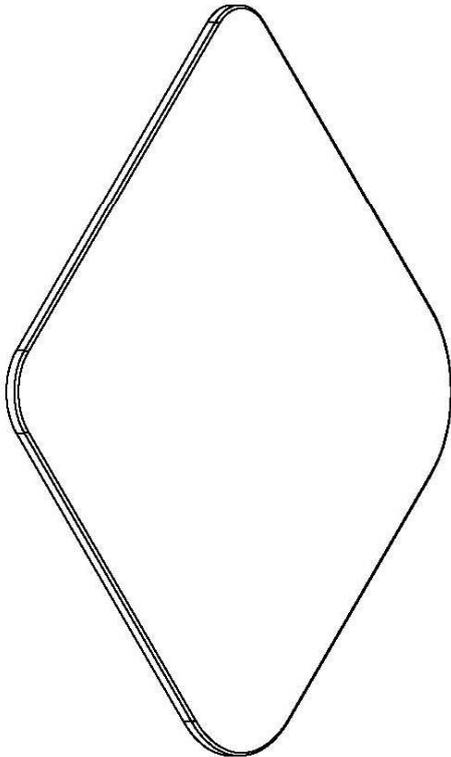
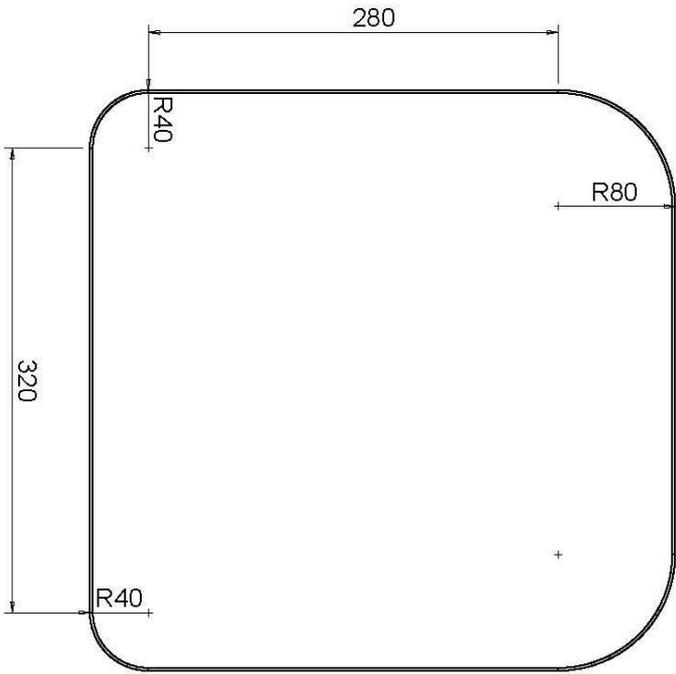
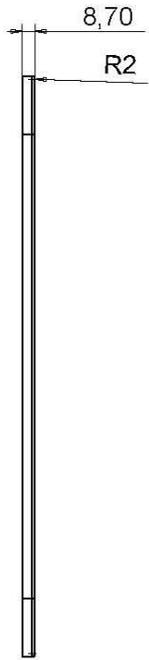
Material: Aço ABNT 1020

Quantidade: 1 unidades

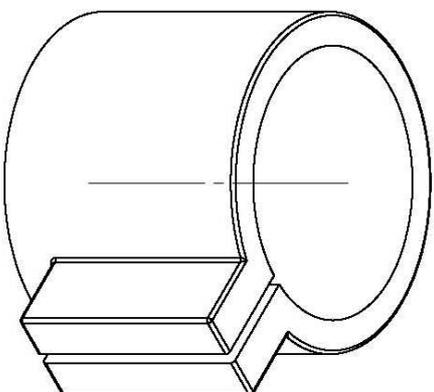
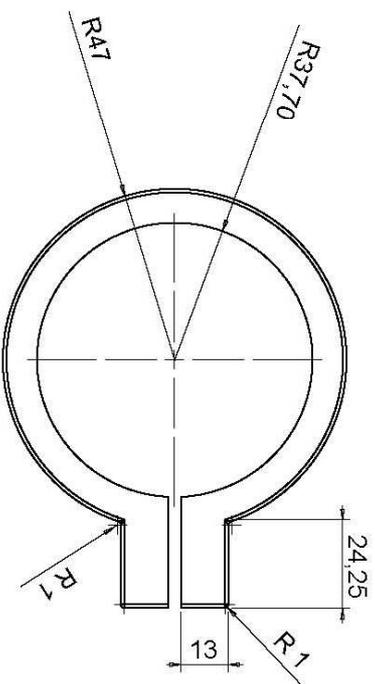
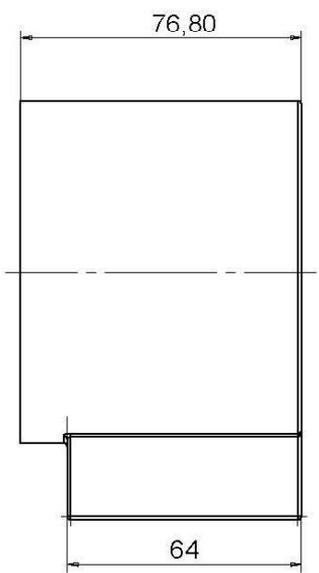
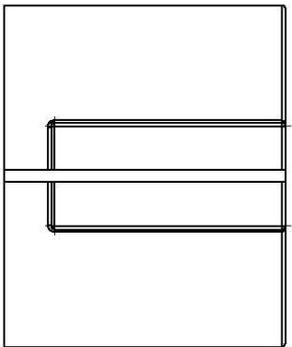
Escala: 1:10

Data: 8/2/2007

Folha 2 de 8



Universidade Federal da Grande Dourados		
Projeto:		
Penetrógrafo de Bancada		
Peça:		
Base de sustentação		
Unidade milímetro	Material: Aço AENIT 1020	Quantidade: 1 unidades
Escala 1:5	Data: 8/22/2007	Folha 3 de 8



Universidade Federal da Grande Dourados

Projeto:

Penetrógrafo de Bancada

Peça:

Abraçadeira da haste

Unidade: milímetro

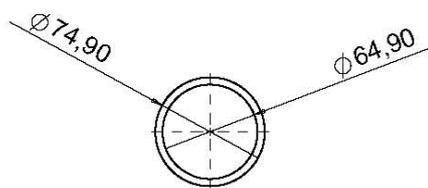
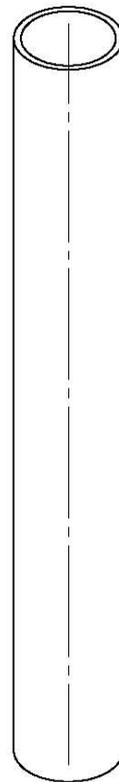
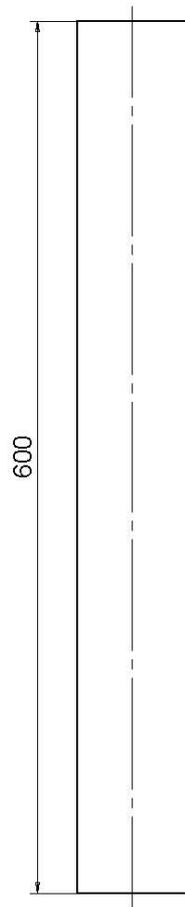
Material: Aço ABNT 1020

Escala: 1:2

Data: 8/2/2007

Quantidade: 1 unidades

Folha 4 de 8



Universidade Federal da Grande Dourados

Projeto:

Penetrógrafo de Bancada

Peça:

Haste

Unidade: milímetro

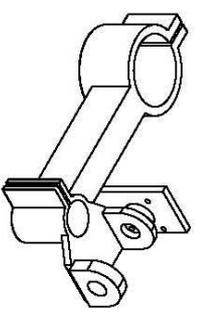
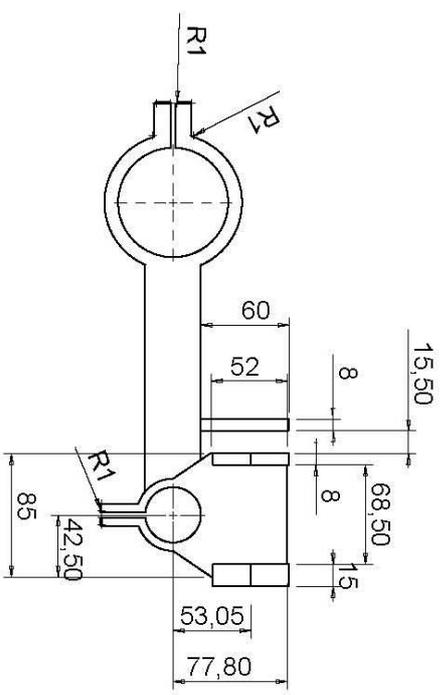
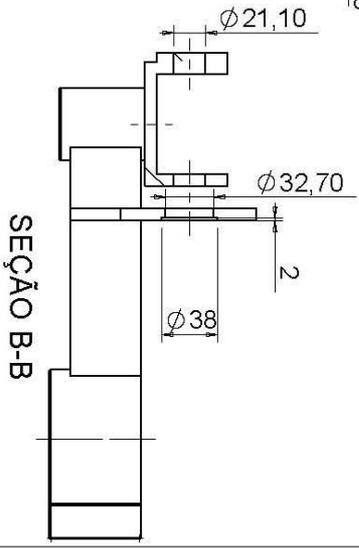
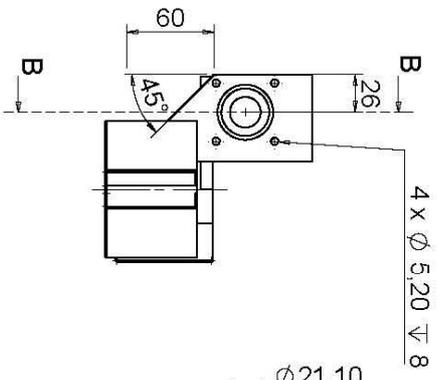
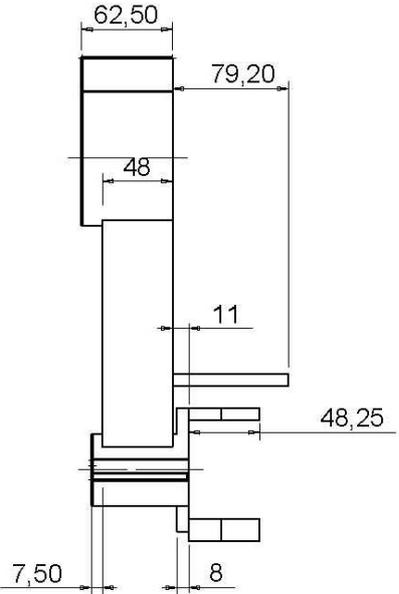
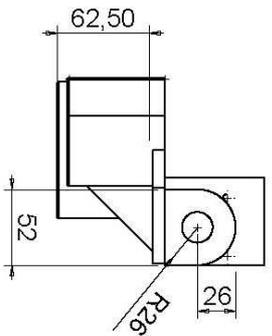
Material: Aço ABNT 1020

Quantidade: 1 unidades

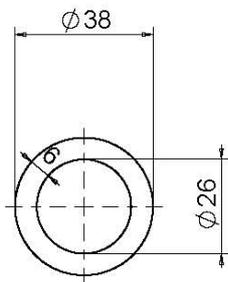
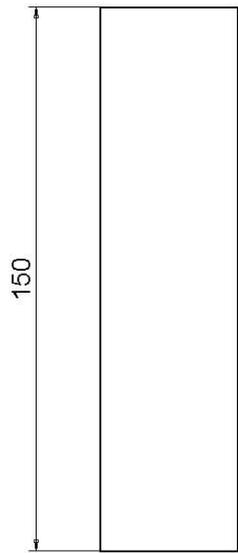
Escala: 1:5

Data: 8/2/2007

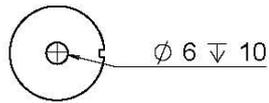
Folha 5 de 8



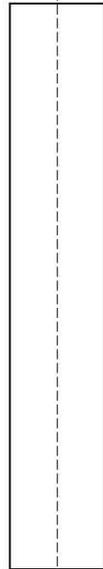
Universidade Federal da Grande Dourados			
Projeto:			
Penetrógrafo de Bancada			
Peça:			
Braço principal			
Unidade milímetro	Material Aço ABNT 1020	Quantidade: 1 unidades	
Escala 1:5	Data 8/2/2007	Folha 6 de 8	



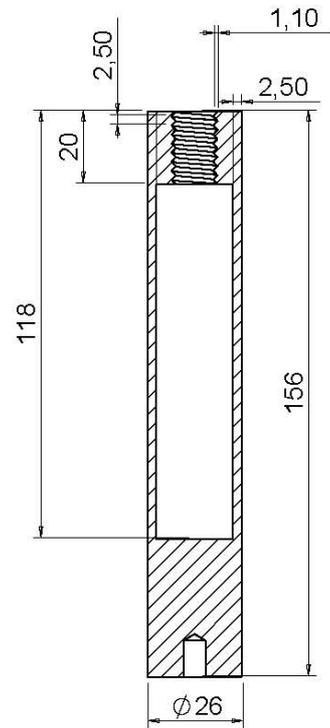
1



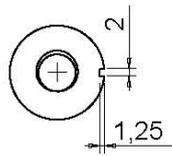
$\phi 12,50$



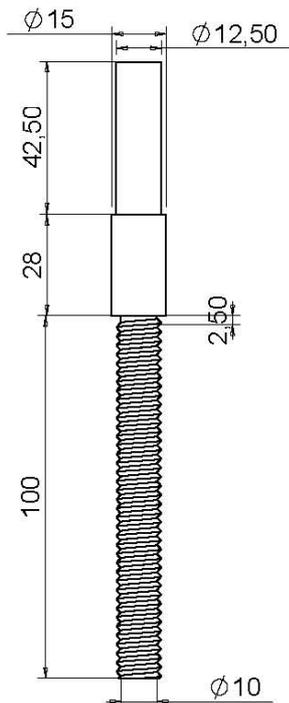
C



SEÇÃO C-C



2



3

Legenda

- 1. Camisa
- 2. Êmbulo
- 3. Haste sem fim

Universidade Federal da Grande Dourados

Projeto:

Penetrógrafo de Bancada

Peça:

Camisa e êmbulo

Unidade: milímetro

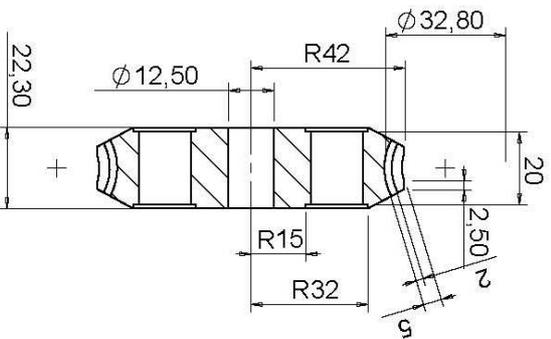
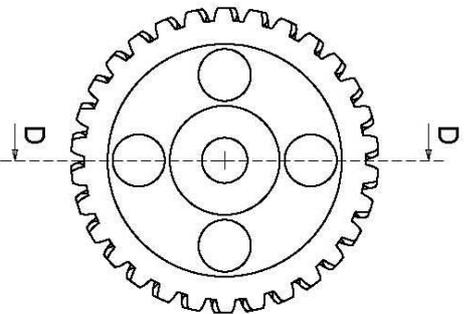
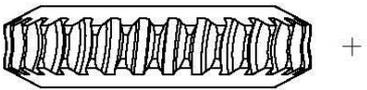
Material: Aço ABNT 1020

Quantidade: 1 unidades

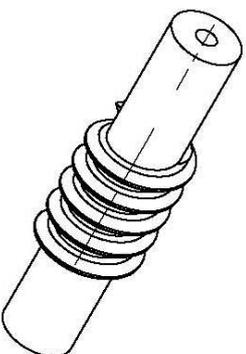
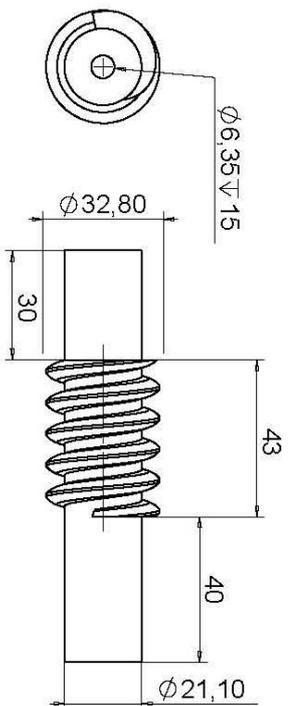
Escala: 1:2

Data: 8/2/2007

Folha 7 de 8



SEÇÃO D-D
SCALA 1 : 2



Detalhes da helicoidal	
Passo	10,00 mm
Número de dentes	30

Universidade Federal da Grande Dourados	
Projeto:	Penetrógrafo de Bancada
Peça:	Coroa e pinhão
Unidade: milímetro	Material: Aço ABNT 1020
Escala: 1:2	Data: 3/2/2007
	Quantidade: 1 unidades
	Folha 8 de 8