

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

TIAGO ANDRÉ DE OLIVEIRA

**EFEITO DA PRESSÃO HIDRÁULICA SOBRE A DENSIDADE DO
SOLO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO

2018

TIAGO ANDRÉ DE OLIVEIRA

**EFEITO DA PRESSÃO HIDRÁULICA SOBRE A DENSIDADE DO
SOLO**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr Hernan Vielmo

FRANCISCO BELTRÃO

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2

**EFEITO DA PRESSÃO HIDRÁULICA SOBRE A DENSIDADE DO
SOLO**

por

Tiago André de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 08 horas e 00 min., do dia 12 de junho de 2018, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dra. Denise Andreia Szymczak
Coordenadora do Curso de Engenharia
Ambiental

Prof. Dr. Hernan Vielmo
Professor Orientador

Prof. Dra. Naimara Vieira do Prado
Membro da Banca

Profa. Dra. Michelle Milanez França
Membro da Banca

Prof. Dra. Denise Andréia Szymczak
Professor do TCC2

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental”

AGRADECIMENTOS

Agradeço o Professor Orientador Doutor Hernan Vielmo por ter aceito, dedicado e pela paciência em auxiliar no desenvolvimento de todo o processo da elaboração deste trabalho.

Da mesma forma agradeço a Professora Doutora Naimara Vieira do Prado e a Professora Doutora Michelle Milanez França por terem aceitado participar da banca das duas etapas da defesa do trabalho.

Agradeço à minha família, especialmente meu pai Moises Antônio de Oliveira e minha mãe Ivoni de Oliveira por todo apoio durante a graduação.

Agradeço os professores do curso de bacharelado em Engenharia Ambiental e aos demais funcionários da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por contribuírem para a minha formação acadêmica.

Agradeço de modo geral a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, bem como na minha formação acadêmica, sejam professores, colegas, amigos e família.

RESUMO

OLIVEIRA, T. A. **Efeito da pressão hidráulica exercida sobre a densidade do solo** 44p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso superior em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

O uso intensivo de maquinário pesado na agricultura causa alterações na estrutura física do solo e problemas relacionados a sua compactação, as quais promovem a sua degradação física com consequentes efeitos negativos no desenvolvimento das culturas. A camada compactada prejudica o enraizamento e a penetração de água no solo. O uso de espécies forrageiras e/ou leguminosas que ultrapassam estas camadas podem descompactar de maneira biológica este solo resultando em uma menor degradação. Este trabalho teve por objetivo a determinação do efeito da pressão hidráulica na densidade de um Latossolo, com diferentes umidades. Este efeito foi expresso por meio de curvas de regressão, as quais poderão ser utilizadas em futuros experimentos com plantas descompactadora. O experimento foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no município de Francisco Beltrão. O solo foi coletado a uma profundidade de 0-20 cm. Os tratamentos foram 6 níveis de pressão hidráulica (1; 2; 3; 4; 5 e 6 toneladas), exercidas em solo com diferentes umidades (20, 25, 30 e 35%). A determinação da densidade do solo em diferentes umidades mostrou que quanto maior a umidade, maior será a compactação e consequentemente maior a sua densidade. As equações foram satisfatórias na indicação dos parâmetros de umidade e pressão hidráulica para a obtenção da densidade do solo de pastilhas experimentais em trabalhos com plantas descompactadoras.

Palavras-chave: Pressão hidráulica, umidade, densidade, compactação.

ABSTRACT

OLIVEIRA, T. A. **Effect of hydraulic pressure on soil density**. 44p. Trabalho de conclusão de curso (TCC). Bachelor in Environmental Engineering - Federal Technological University of Paraná. Francisco Beltrão, 2018.

The intense use of heavy machines in agriculture causes alterations on the physical properties of the soil and problems related with the soil's compaction, which promote the physical degradation of the same with negative effect for crops development. The compacted layer harms the rooting process and water penetration in the soil. The use of forage species or legumes that transpass those layers can result on the biological decompaction of the soil which will present less degradation. This work had as an objective the determination of the hydraulic pressure exercised over a sample of a latosol, with different humidity's, on the subject density. This effect was expressed by a mean of regression curves, which may be used on future test with plants that present a soil decompactation potential. The experiment takes place at Federal Technological University of Paraná, located in the Francisco Beltrão County. The soil was collected at profundities between 0 to 20 cm. The treatment were 6 hydraulic press charges (1; 2; 3; 4; 5 and 6 tonne), pressed against soils with different humidity levels (20, 25, 30 and 35%). The determination of the soils density with different humidity levels showed that the bigger the humidity level, the more compaction resulting on a higher density levels. The equations were satisfactory on the indication of humidity parameters e hydraulic press for the density's result.

Keywords: Hydraulic pressure, humidity, density, compaction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração representativa da montagem do anel.....	23
Figura 2: Local onde o solo foi coletado.....	23
Figura 3: Solos coletados para análise.....	23
Figura 4: Solos sendo transportados para o laboratório.....	24
Figura 5: Solo coletado para análise.....	24
Figura 6: Amostras no forno micro-ondas.....	25
Figura 7: Amostras na estufa de ar forçado.....	25
Figura 8: Prensa Hidráulica utilizada no experimento.....	27
Figura 9: Cilindro metálico utilizado na determinação das umidades.....	27
Figura 10: Anel metálico inserido dentro do anel de PVC sobre a forma de alumínio.	28
Figura 11: Anel de PVC coberto pela amostra do solo.....	28
Figura 12: Chapa metálica com 2 cm de espessura.....	28
Figura 13: Amostra de solo sendo compactada.....	28
Figura 14: Vaso de PVC compactado com 2 toneladas.....	29
Figura 15: Vista fundo anel de PVC após compactação.....	29
Figura 16: Amostras na estufa.....	29
Figura 17: Anel metálico pós estufa.....	29
Figura 18: Amostras de solo compactadas com 1, 2 e 3 toneladas respectivamente em umidade de 30%.....	31
Figura 19: Amostras de solo compactadas com 4, 5 e 6 toneladas respectivamente em umidade de 30%.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Característica do forno micro-ondas utilizado no experimento.....	24
Tabela 2: Teste de validação do modelo adotado para a determinação da umidade.....	25
Tabela 3: Características da prensa hidráulica utilizada no experimento.....	26
Tabela 4: Relação entre pressão hidráulica e pressão aplicada por cm^2	31
Tabela 5: Teste de compressibilidade obtida e simulada pela equação 2 em umidade de 20%.....	33
Tabela 6: Teste de compressibilidade obtida e simulada pela equação 3 em umidade de 25%.....	34
Tabela 7: Teste de compressibilidade obtida e simulada pela equação 4 em umidade de 30%.....	35
Tabela 8: Teste de compressibilidade obtida e simulada pela equação 5 em umidade de 35%.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Equação linear que melhor representa a relação entre a compressão exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente obtida em umidade de 20% do solo.....	32
Gráfico 2 - Equação linear que melhor representa a relação entre a compressão exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente obtida em umidade de 25% do solo.....	33
Gráfico 3 - Equação linear que melhor representa a relação entre a compressão exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente obtida em umidade de 30% do solo.....	35
Gráfico 4 - Equação linear que melhor representa a relação entre a compressão exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente obtida em umidade de 35% do solo.....	36
Gráfico 5: Comparativo das diferentes umidades x pressão hidráulica.....	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Solo.....	14
3.2 Formação do Solo.....	14
3.3 Compactação do Solo.....	16
3.4 Efeito da Compactação do Solo.....	17
3.5 Descompactação do Solo.....	18
3.5.1 Descompactação Mecânica.....	18
3.5.2 Descompactação Biológica.....	19
3.6 Teor de Umidade no Solo.....	20
3.7 Utilização de Micro-ondas para determinação da umidade do solo.....	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 Área do Estudo.....	22
4.2 Caracterização do Solo.....	22
4.3 Tratamentos.....	22
4.3.1 Obtenção das umidades.....	23
4.4 Obtenção das densidades.....	25
4.5 Análise Estatística.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.1 Análise da densidade em umidade de 20% do solo.....	32
5.2 Análise da densidade em umidade de 25% do solo.....	34
5.3 Análise da densidade em umidade de 30% do solo.....	35
5.4 Análise da densidade em umidade de 35% do solo.....	37
5.5 Comparativo das diferentes umidades.....	38
6. CONCLUSÃO	40
7. REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

Há 30 mil anos atrás, os homens primitivos viam o solo somente como algo sobre a superfície da Terra, permitindo não somente a sua locomoção, mas também crescimento de alimentos como vegetais e frutos, além de barro para confeccionar suas cerâmicas e pigmentos para suas pinturas (LEPSCH, 2010).

A agricultura teve início há mais ou menos 10 mil anos, quando alguns povos começaram a produzir seus próprios alimentos, abandonando a caça e coleta de alimentos. A evolução da sociedade se baseia na dependência dos recursos naturais, pelos progressos tecnológicos que facilitam a elevação do nível de vida (BERTONI, NETO, 2012).

Com o aumento da população mundial, fez com que conseqüentemente aumentasse a demanda por alimentos, necessitando assim de uma modernização na agricultura, a mecanização, influenciando no aumento da produtividade. Porém com esse aumento teve efeitos negativos que podem inviabilizar o processo de produção em virtude da degradação do meio, especialmente os solos agrícolas (LEPSCH, 2010).

A degradação dos solos afeta tanto terras agrícolas como áreas com vegetação natural, sendo um dos principais problemas ambientais, cerca de 15% das terras são atingidas pela degradação (GUERRA et al, 2009).

Com o aumento de áreas agrícolas, tem ocorrido maior preocupação com problemas relacionados a compactação do solo, devido a degradação da qualidade física do solo, com o passar dos anos de cultivo, ocasiona problemas nas propriedades do solo referentes a compactação do solo. A pecuária e principalmente a agricultura, quando executada sem o devido preparo e também com maquinário pesado, danifica o solo causando perda de produtividade e levando a degradação.

A compactação é o processo pelo qual as partículas do solo são rearranjados, esse rearranjo resulta no decréscimo do espaço poroso e aumento da densidade, a compactação altera uma série de fatores afetando o crescimento radicular, como aeração, retenção de água, resistência à penetração de raízes podendo aumentar a possibilidade de erosão (EMBRAPA, 2005). Resultando assim num menor volume de solo explorado, menor absorção de água e nutrientes e menor produção nas culturas. Para avaliar a compactação do solo,

é indicado uso da densidade, por medida quantitativa com razoável sensibilidade e facilidade para sua determinação (SILVA et al, 2012).

Os escarificadores são equipamentos indicados para descompactação mecânica do solo, rompendo camadas, porém resolve o problema em camadas superficiais, não descompactando o solo abaixo da linha de ação desses descompactadores, sendo práticas mecânicas temporárias na solução da descompactação (PEDROTTI, NETO, 2008).

Plantas com raízes profundas e ramificadas podem obter nutrientes das camadas inferiores do solo, quando decomposta, estas raízes formam bioporos, que são fundamentais para a disponibilidade hídrica e difusão de gases, melhorando as condições do solo. (SANTOS et al, 2014).

Uma alternativa para a descompactação, são o uso de algumas espécies de plantas que podem descompactar de maneira biológica o solo, suas raízes penetram facilmente e descompactam o solo, além de ser um método natural, apresentam fixação de nutrientes no solo através das plantas.

Sendo assim este trabalho comparou a densidade do solo em umidades de 20, 25, 30 e 35%, apresentando equações que melhor representem esta relação, determinando deste modo parâmetros com diferentes níveis de densidade para uso em futuros experimentos com plantas descompactadoras.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar o efeito da umidade e de diferentes pressões hidráulicas sobre a densidade de Latossolo Vermelho Distroférrico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Correlacionar a umidade com a densidade do solo submetido a diferentes pressões hidráulicas.
- Desenvolver equações que expressem a relação densidade x pressão hidráulica em solo submetido a diferentes umidades.
- Determinar os parâmetros de umidade e pressão hidráulica visando obter pastilhas com diferentes níveis de densidade para uso em experimentos com plantas descompactadoras do solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SOLO

O solo é definido como coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, formados por materiais minerais e matéria orgânica em distintas fases da decomposição. É a camada superficial da crosta terrestre em que sustenta e nutre as plantas (EMBRAPA, 2006).

É considerado um dos poucos recursos naturais renováveis, sendo um dos mais importantes do planeta, usado principalmente para matéria prima da agricultura. O solo é responsável diretamente ou indiretamente pela produção de grande parte dos alimentos consumidos. A fertilidade do solo está relacionada com o resultado da decomposição de matéria orgânica como folhas, galhos e também restos de animais. O solo é um recurso básico que suporta toda a cobertura vegetal de terra, quanto maior a variedade de solos, que uma população possuir, maior a oportunidade de seu povo encontrar melhor padrão de vida (BERTONI, NETO, 2008).

São originados de processos que modificam o tamanho e o formato das rochas, denominado intemperismo físico ou desintegração, bem como, de processos que alteram a composição química, denominados de intemperismo químico ou decomposição (LEPSCH, 2010). Em razão disso, suas características e composições estão diretamente vinculadas às rochas que lhe deram origem, associadas também às heranças e marcas causadas pelo tempo (BERTONI, NETO, 2008).

3.2 FORMAÇÃO DO SOLO

Os fatores principais para a formação do solo são material de origem, o clima, a atividade biológica dos organismos vivos, a topografia e o tempo. Uma característica comum de todos os solos é o desenvolvimento em diferentes camadas denominadas horizontes. A camada superficial, denominada de horizonte A, em geral tem mais matéria orgânica e é de coloração mais escura. A camada seguinte, horizonte B, contém mais argila e é bastante diferente na coloração, em geral bem mais clara que a superficial. Abaixo da camada B vem

o horizonte C, constituído do material original, e o horizonte R, que é a rocha. Quando a camada superficial apresenta características mais afastadas do material original, como as camadas orgânicas dos solos minerais é denominada horizonte O (BERTONI, NETO, 2008).

Segundo Lepsch (2010), o conjunto de características morfológicas constitui a base fundamental para identificar o solo, as principais características na descrição morfológica de um solo são cor, textura, estrutura, consistência, espessura e transição de horizontes. Os principais elementos do clima (temperatura e umidade) regulam o tipo e a intensidade de intemperismo nas rochas, o crescimento dos organismos e os tipos de horizontes, pois os materiais diferentes podem formar solos similares quando expostos por um longo período ao mesmo ambiente climático.

O solo pode apresentar propriedades e características diferenciadas, solos formados sob clima tropical sofrem bastante intemperismo, enquanto solos formados sob clima temperado sofrem menos com o intemperismo. Quanto mais quente e úmido o clima, maior será a lixiviação de minerais (ZIMBACK, 2003).

Os organismos que vivem no solo têm grande importância para a diferenciação dos perfis. Os microrganismos têm como função principal, desempenhar o início da decomposição dos restos vegetais e animais, ajudando assim na formação de húmus (LEPSCH, 2010). Segundo Primavesi (2002), a maioria dos componentes da mesofauna e macrofauna melhoram a qualidade do solo, especialmente na movimentação de nutrientes através das enzimas.

Em um estudo realizado por Zimback (2003), o material que dá origem ao solo, pode ser constituído de rochas, sedimentos e material de decomposição. O material de origem pode resultar a solos iguais ou solos diferentes, variando de acordo com outros fatores na formação de solos. O material de origem pode condicionar um bom número de características do solo, principalmente nos solos formados por clima seco (LEPSCH, 2010).

Conforme Zimback (2003), o relevo sofre influência direta do solo com a penetração de água, interferindo na intensidade de intemperismo. Em áreas planas, ocorre penetração de grande quantidade de água, ocasionando assim lixiviação intensa. Em áreas declivosas, a penetração de água é menor, ocasionando uma lixiviação menos intensa, formando solos rasos e menos intemperizados. Nas áreas de baixada, ocorre ganho de material, seja por meio

de enxurradas ou lençol freático, sem ocorrência de lixiviação, formando solos rasos e não muito intemperizados.

Para Lepsch (2010), o tempo é um formador de solo, resultantes de reações químicas, bem como ação das forças físicas de atração de partículas, que demandam tempo para se manifestarem. Certas reações demoram mais tempo que outras, fazendo com que alguns solos demandem mais tempo que outros para atingir seu ponto de equilíbrio.

3.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO

Com a necessidade de produção de alimentos em grande escala, a sociedade moderna passou a utilizar de maquinário cada vez mais pesado para produção agrícola, ocorrendo assim o problema da compactação do solo.

Segundo Richart et al. (2005), em solos compactados a planta tem menor desenvolvimento sendo atribuído ao impedimento mecânico ao crescimento, resultando num menor volume de solo explorado, menor absorção de água e nutrientes e menor produção de culturas.

Para Alvarenga et al. (2009), as plantas exploram o solo em busca de fatores de crescimento, dependendo fortemente da distribuição de raízes no perfil, que por sua vez, são dependentes das condições físicas e químicas as quais são passíveis de alterações em função do manejo aplicado.

Em estudo realizado por Filho et al. (2016), um aspecto importante para o manejo dos solos compactados é ter conhecimento das proporções da área de campo que são afetadas pelas diferentes intensidades de compactação.

A compactação do solo pelo tráfego pesado de máquinas vem sendo uma preocupação desde o início da mecanização da agricultura, pois é um dos fatores que mais tem influenciado nos solos agrícolas, em virtude das modificações feitas nas propriedades físicas do solo (RICHART, et al. 2005).

Em parâmetros físicos o processo de compactação é resultado da ação de forças mecânicas, oriundas do tráfego de máquinas ou pisoteio dos animais sobre o solo, e da ação das águas que percorrem no perfil do solo, transportando partículas. Com o uso excessivo de máquinas pesadas, com gradagens e arações superficiais, ocorre a quebra de agregados (EMBRAPA, 2000).

De acordo com Alvarenga et al. (2009), essa quebra dos agregados, ocasionará o aumento da densidade do solo, ocorrendo simultaneamente redução da porosidade, especialmente poros grandes, sucedendo a diminuição de troca gasosa, limitação no movimento de nutrientes, diminuição da taxa de infiltração no solo e a erosão.

Conforme Richart et al. (2005), ocorre também modificações físicas do solo no aumento na resistência do solo a penetração das raízes, redução da macroporosidade ocasionando assim o acúmulo de água e comprometendo a infiltração de água e penetração das raízes no perfil do solo.

A matéria orgânica está relacionada com fatores que indicam a qualidade do solo, sendo determinante para a produtividade mais elevada, sustentável e a base da sustentação da capacidade de troca do solo.

Biologicamente, o condicionamento do solo para processo de compactação ocorre através da decomposição da matéria orgânica que atua na estabilização dos agregados do solo. As operações de preparo do solo incorporam a camada arável, oxigenam o solo acelerando a atividade biológica que passa a decompor ou mineralizar o material orgânico incorporado no solo. Quimicamente, o condicionamento do solo origina-se da compactação do solo que promove a substituição do elemento Al + H que tem ação de acidez do solo, bem noutra adição para a ação estabilizante da estrutura do solo, pelos elementos Ca e/ou Mg, que na faixa de pH abaixo de 7,0 têm ação dispersante (EMBRAPA, 2000).

3.4 EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO

Os efeitos da compactação do solo são relativos, podendo ser benéficos ou prejudiciais ao desenvolvimento das plantas. A camada compactada do solo pode ser identificada mediante a avaliação de atributos físicos e morfológicos do solo, como densidade do solo, porosidade do solo, tipo e grau de estrutura do solo e resistência do solo a penetração (EMBRAPA, 2000).

Para Silva et al. (2012), em estudo promovido sobre o efeito da compactação do solo no desenvolvimento radicular do pinhão manso, a compactação na camada central, influencia diretamente na raiz, promovendo redução na camada superior, podendo prejudicar a penetração de raízes no

crescimento, na passagem de água e na aeração.

Segundo Kochhann (2000), para ser adequado o desenvolvimento das plantas, o solo necessita ter parte da porosidade preenchida com água e parte preenchida com ar. Em latossolos, a densidade de solo pode ser inferior a $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$, e a porosidade total valores superiores a 65%, sendo que 30% são a aeração e 35% para armazenamento de água.

3.5 DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO

A camada compactada prejudica o enraizamento e a penetração de água no solo, alguns métodos de cultivos especiais podem evitar essa degradação física do solo, como o método da descompactação do solo (ALVARENGA, et al. 2009).

Descompactação do solo é a redução de sua densidade, conseqüentemente aumentando o volume, através da interação de processos mecânicos e biológicos para promover a separação dos agregados do solo. O método de descompactação do solo pode ser feito das seguintes maneiras: descompactação mecânica e descompactação biológica (EMBRAPA, 2000).

3.5.1 Descompactação Mecânica

O processo de descompactação mecânica do solo está relacionado em romper camadas compactadas através de equipamentos mecanizados que operam em profundidades um pouco maiores implementos de preparo do solo, qualquer implemento agrícola que operar em profundidades superiores a camada compactada, descompactar mecanicamente o solo. Sendo indicado preferencialmente equipamentos com hastes, afim de causar menos intensidade de mobilização do solo (KOCHHANN, 2000).

Para implementar a descompactação mecânica do solo os escarificadores devem ser regulados para operar a pelo menos 5 cm de profundidade inferior a camada compactada. O espaçamento entre as hastes do escarificador determina o grau de compactação do solo (EMBRAPA, 2000).

Segundo Nagahama et al. (2016), realizaram um estudo sobre os efeitos da escarificação mecânica nos atributos físicos do solo em relação ao capim

elefante, sendo utilizado um escarificador com três hastes espaçadas em 0,34 m e com profundidade de 0,35m, onde a escarificação mostrou ser mais eficiente na profundidade de até 0,15m.

A descompactação mecânica resolve o problema da compactação do solo nas camadas superficiais, ocasionando problemas nas camadas mais profundas, pois abaixo da linha de ação desses descompactadores o solo continuará sendo compactado (PEDROTTI, NETO, 2008).

3.5.2 Descompactação Biológica

O processo biológico de descompactação de um solo está associado a adição de material orgânico no solo, através do sistema radicular das plantas, que preenchem a macroporosidade do solo, verificando estabilidade aos agregados do solo (EMBRAPA, 2000).

O cultivo de forrageiras são métodos eficazes para a descompactação do solo. Segundo Dezordi et al. (2013), que realizaram o estudo sobre o desenvolvimento aéreo e radicular de espécies vegetais em Latossolo Vermelho distroférico, com três espécies vegetais, milheto, braquiária e crotalária. A braquiária não apresentou redução de massa verde nas raízes com o aumento da densidade do solo na camada superior. Já a crotalária foi a espécie vegetal que produziu menor massa seca das raízes na camada superior. O milheto apresentou maior potencial para serem usados como cobertura do solo compactados, por apresentarem maior densidade e crescimento radicular, sendo assim o milheto apresentou melhor desenvolvimento em todas as densidades analisadas e o mais indicado para esse tipo de solo.

Para Müller et al. (2001), que analisaram a influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento de plantas de adubação verde de inverno de cinco espécies (ervilhaca, nabo forrageiro, tremoço branco, aveia preta e aveia branca), onde o nabo forrageiro e a aveia preta apresentaram maiores valores de densidade de comprimento radicular na camada compactada, sendo melhores dentre as espécies estudadas, para atravessar a camada de solo compactada.

3.6 TEOR DE UMIDADE NO SOLO

O teor de umidade, no instante em que ocorre a pressão sobre o solo, é um fator que determina a força da compactação. Segundo Ashburner e Sims(1984), se um solo estiver com baixo teor de umidade, mostrará elevada resistência ocasionando pouca deformação antes de haver modificações na sua estrutura. Porém, quando o solo apresentar elevado teor de umidade, ocorrerá a deformação lentamente em função da carga aplicada, sendo que não haverá reversão quando esta carga for removida

Para Reichert et al. (2007) a umidade atua como um lubrificante, auxiliando no rearranjo das partículas do solo, quando o mesmo for submetido a pressões. A relação entre a umidade e a compactação é dependente do tipo de solo. Dependendo do tipo de solo e de seu teor de água pode-se adotar certos limites de tensões mecânicas que serão aplicadas ao solo (HAKANSSON e MEDVEDEV, 1995).

Em estudo realizado por Machado e Trein (2000), verificaram que ao diminuir a umidade em amostras de solo (Planossolo e Latossolo Vermelho-Escuro), ocorreu aumento na sua resistência à compressão, que se comportou diferentemente em cada solo estudado.

Conforme a umidade aumenta, as curvas de compressão são frequentemente deslocadas para a região de maior densidade do solo. A umidade do solo é um fator que determina a dimensão da deformação que pode ocorrer no solo (REICHERT, et al., 2007).

3.7 UTILIZAÇÃO DE MICRO-ONDAS PARA DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO.

O método gravimétrico padrão para determinação da umidade do solo consiste na secagem da amostra em estufa em temperatura de 105°C por um período de 24 horas.

Porém, para o manejo do solo é necessário uma rápida determinação de teor de umidade do solo, sendo assim uma desvantagem o uso do método gravimétrico padrão.

Alguns autores fizeram o uso do método de micro-ondas para a determinação da umidade do solo (MIRANDA, et al. 2012), (ONDERKO e SHAKOOR, 2006).

O método utilizado consiste em determinar a umidade do solo em potência máxima em um período de 15 minutos no forno micro-ondas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DO ESTUDO

O experimento foi realizado no município de Francisco Beltrão (26° 02' 46.3" S de latitude e 53° 02' 22.1" W de longitude), localizado no sudoeste do Estado do Paraná, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no período de setembro de 2017 a maio de 2018. O clima da região é subtropical com temperatura média no inverno inferior a 18°C e no verão acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e precipitação média anual superior a 2000 mm com maior concentração de chuvas no verão (IAPAR, 2000).

O município de Francisco Beltrão, encontra-se na unidade morfoestrutural do terceiro planalto paranaense, com forma de relevo em dissecação média, topos alongados, vertentes convexas e vales em V abertos; com altitude variando entre 340 m e 1020 m, tendo um gradiente de 680 m (MINEROPAR, 2013).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo foi coletado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão e posteriormente analisado quimicamente pelo laboratório Solanalise Central de Análises Ltda.

4.3 TRATAMENTOS

O experimento foi realizado no laboratório de solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão, com 6 níveis de densidade e 4 umidades diferentes do solo, com 3 repetições.

Os tratamentos foram compostos por 6 níveis de compactação do solo: 1, 2, 3, 4, 5 e 6 toneladas. As densidades do solo foram obtidas por compressão hidráulica do solo experimental em anéis de PVC de 15 cm de altura por 20 cm de diâmetro (Figura 1).

Para cada tratamento foram usadas diferentes umidades (20, 25, 30 e

35%), para assim analisar a influência da umidade na compactação do solo.

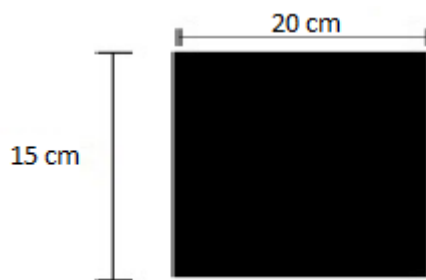


Figura 1: Ilustração representativa da montagem do anel.

4.3.1 Obtenção das umidades

Para a realização da montagem do experimento, foram obtidas as umidades pelo uso do método de forno micro-ondas (Tabela 1), no qual o solo foi coletado em profundidade de 20 cm de acordo com a literatura e levadas ao laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão, onde foram pesadas em triplicatas e posteriormente levadas ao forno micro-ondas por um período de 15 minutos em potência máxima, após esse período foram pesadas novamente afim de determinar se a amostra está na umidade desejada para os posteriores tratamentos.



Figura 2: Local onde o solo foi coletado.



Figura 3: Solos coletados para análise.



Figura 4: Solos sendo transportados para o laboratório.



Figura 5: Solo coletado para análise.

Tabela 1: Características do forno micro-ondas utilizado no experimento.

Modelo	Micro-ondas Electrolux MEF41
Potência	1000 W
Níveis de Potência	10
Voltagem	110 V
Altura	32,50 Centímetros
Largura	52,00 Centímetros
Profundidade	41,50 Centímetros
Peso	15 Quilos

Para comprovar a eficiência do método de forno micro-ondas, foi realizada a coleta do solo e posteriormente pesados em triplicatas e colocados em forno micro-ondas em um período de 15 minutos e outra triplicata em estufa de ar forçado a uma temperatura de 105° C, durante 24h.



Figura 6: Amostras no forno micro-ondas.



Figura 7: Amostras na estufa de ar forçado.

Tabela 2: Teste de validação do modelo adotado para determinação da umidade.

Métodos analisados	Média teste 1	Média teste 2	Média teste 3	Média testes
Estufa de ar forçado	33,0 %	33,4 %	31,3 %	32,6 %
Forno Micro-ondas	34,2 %	33,6 %	32,9 %	33,6 %

Foi realizado três testes com diferentes umidades, e para cada teste foi feito a média de três amostras do solo.

Pelos dados obtidos verifica-se que o método do forno micro-ondas tem valores próximos ao da estufa de ar forçado, sendo assim, justifica-se a escolha deste método para a determinação da umidade nas amostras avaliadas.

Após verificar que o solo estava na umidade desejada, foram coletadas as amostras para a determinação das densidades do solo. Afim de não ter variação na umidade do solo, as amostras foram coletadas e armazenadas em sacos plásticos para posteriormente serem obtidas as densidades do solo.

4.4 OBTENÇÃO DAS DENSIDADES

Para obter as compressibilidades de solo desejadas, foi realizado ensaio utilizando uma prensa hidráulica acionada manualmente. Para a realização do teste, foram realizadas as metodologias propostas pela norma MB-3336 da ABNT (1990) para ensaio de adensamento unidimensional, as orientações previstas no comunicado técnico 111 da EMBRAPA e o uso de prensa manual como alternativa para determinação da compressibilidade de solos agrícolas.

Para a determinação da densidade do solo, foi inserido dentro do cilindro teste de PVC, antes da colocação da terra e antes da compressão, um cilindro metálico menor e de volume conhecido. Este procedimento permitirá a redução do tamanho da amostra a ser utilizada na estufa de ar forçado, objetivando a determinação da densidade real do solo.

O anel de PVC de 15 cm de altura foi colocado sobre uma forma metálica (para evitar perdas de solo) e dentro deste foi colocado o anel metálico. A coluna foi preenchida com solo até sua totalidade, sendo esta utilizada para a compressão hidráulica.

Para a compressão, sobre a superfície do solo, foi colocada uma chapa metálica de 2 cm de espessura e de diâmetro de 19,5 cm, objetivando comprimir

homogeneamente o solo. O conjunto assim formado foi submetido a compressão hidráulica conforme as pressões pré-determinadas.

Após este procedimento, o anel metálico contido dentro do anel de PVC foi retirado e pesado em balança de precisão e encaminhado para secagem em estufa de ar forçado a uma temperatura de 105° C, durante 24h. Após o período de estufa o anel metálico foi novamente pesado para a obtenção do peso seco.

Para o teste de compressibilidade e por consequência a obtenção das densidades de solo, foram utilizadas as seguintes compressões hidráulicas: 1; 2; 3; 4; 5 e 6 toneladas.

Este procedimento foi repetido por 3 vezes para cada valor de compressibilidade. Com estes três dados foi determinada a média de cada valor de compressão, sendo esta média utilizada para compor a tabela de resultados e obter a equação da pressão hidráulica x densidade do solo.

Para obter as compressibilidades de solo desejadas, realizou-se um ensaio utilizando uma prensa hidráulica acionada manualmente (Figura 4), do modelo RIBEIRO-P15T, com as seguintes características:

Tabela 3: Características da prensa hidráulica utilizada no experimento.

Capacidade	15 toneladas
Altura total	1270 mm
Largura	610 mm
Largura entre colunas	420 mm
Curso do fuso	85 mm
Curso hidráulico	125 mm



Figura 8: Prensa Hidráulica Manual utilizada no experimento.

Para a determinação da densidade do solo, foi inserido dentro do cilindro de PVC um cilindro metálico e posteriormente foi inserido terra e realizado a compressão. Este procedimento permitiu a redução do tamanho da amostra a ser utilizada na estufa de ar forçado, tendo por objetivo a determinação da densidade aparente do solo (Figura 9).



Figura 9: Cilindro metálico utilizado na determinação das densidades.



Figura 10: Anel metálico inserido dentro do Anel de PVC sobre a forma de alumínio.



Figura 11: Anel de PVC coberto pela amostra do solo.



Figura 12: Chapa metálica com 2 cm de espessura.



Figura 13: Amostra de solo sendo compactada.



Figura 14: Vaso de PVC compactado com 2 toneladas



Figura 15: Vista fundo anel de PVC após compactação.

Após este procedimento, o anel metálico contido dentro no anel de PVC foi retirado pesado em balança de precisão juntamente com uma Placa de Petri a fim de evitar perda de solo no manuseio da amostra e posteriormente foi encaminhado para secagem em estufa de ar forçado a uma temperatura de 105° C, durante 24h. Após o período de estufa o anel metálico foi novamente pesado para a obtenção do peso seco.



Figura 16: Amostras na estufa



Figura 17: Anel metálico pós estufa.

Por diferença (peso úmido menos peso seco) determinou-se a massa de solo. Como o volume do anel metálico era conhecido, a determinação da densidade aparente do solo foi feita pela seguinte equação matemática:

$$Densidade = \frac{Massa}{Volume} [g/cm^3] (1)$$

Com base nisso, foi possível obter os anéis experimentais com suas respectivas densidades nas umidades experimentais de 20, 25, 30 e 35%.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para descrever os resultados de densidade em função dos níveis de compactação, foi utilizada a análise de regressão linear por meio do ajuste de curvas, para a escolha da melhor equação foi utilizado o coeficiente de determinação (R^2). Para isso, também foi realizada análise de correlação linear de Pearson, com 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software Microsoft Excel, versão 3.04.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para entendimento, a tabela 4 apresenta a força para cada pressão hidráulica utilizada. Com área do tubo de PVC de 314,16 cm², percebe-se que com pressão de 1000 kg a força aplicada foi de 3,18 Kg.f.cm⁻², ou seja, para uma pressão de 1 tonelada, a amostra recebeu 3,18 kg por cm². Constata-se que, conforme aumenta a pressão (2000, 3000, 4000, 5000 e 6000 kg) aumenta aproximadamente 3 kg por cm² para cada pressão aplicada posteriormente.

Tabela 4: Relação entre pressão hidráulica e pressão aplicada por cm².

Pressão Hidráulica (kg)	Pressão aplicada (kg.f.cm ⁻²)
1000	3,18
2000	6,37
3000	9,55
4000	12,73
5000	15,91
6000	19,10

Nas figuras 19 e 20, nota-se os níveis de compactação em pressões de 1 a 6 toneladas em umidade de 30%, onde demonstram aparentemente que quanto maior a pressão hidráulica exercida maior será sua densidade e consequentemente sua compactação.



Figura 19: Amostras de solo compactadas com 1, 2 e 3 toneladas respectivamente em umidade de 30%.

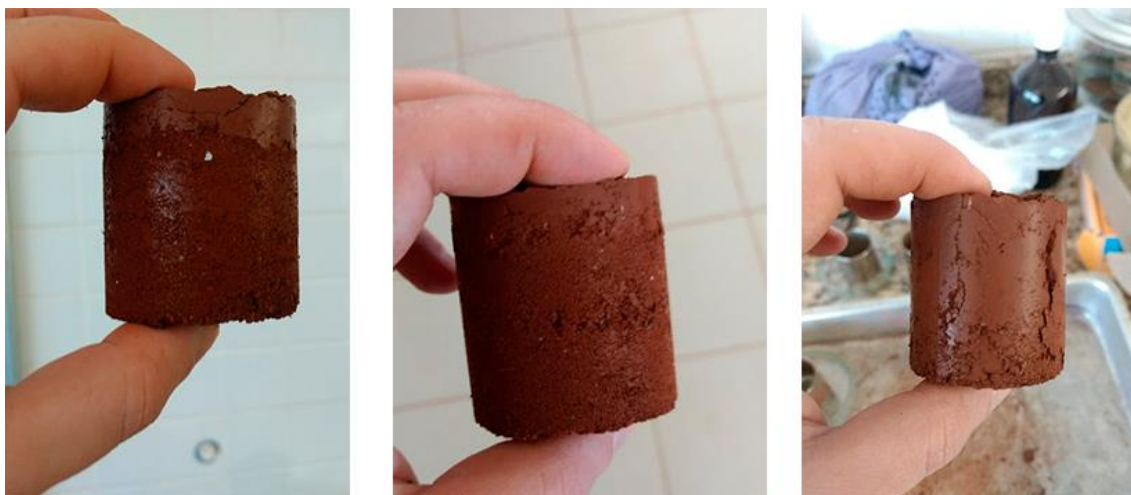


Figura 20: Amostras de solo compactadas com 4, 5 e 6 toneladas respectivamente em umidade de 30%.

5.1 Análise da densidade em umidade de 20% do solo

Para a análise da densidade foi gerada a equação matemática do tipo linear, que representou a relação entre a pressão hidráulica exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente do solo obtida em umidade de 20%.

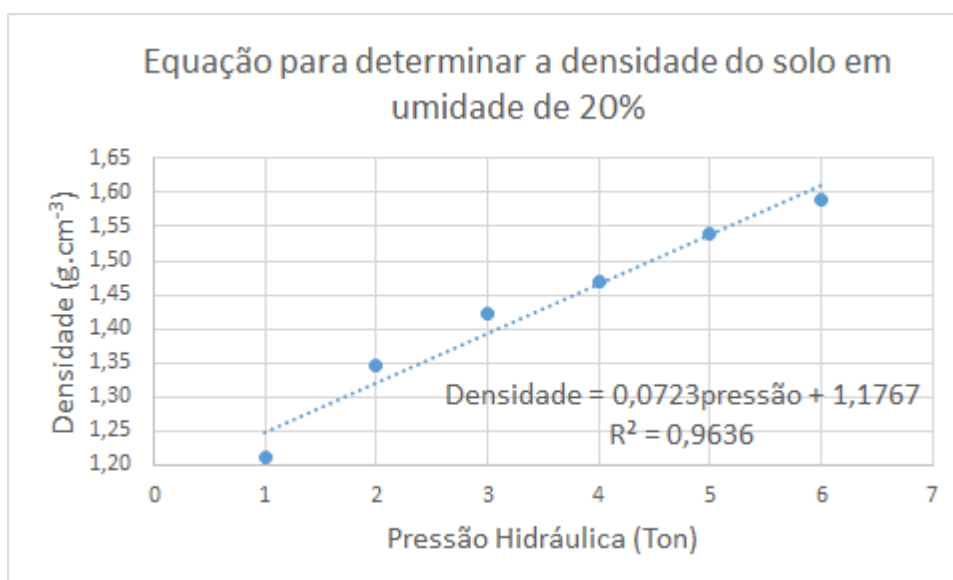


Gráfico 1 - Equação linear que melhor representa a relação entre a compressão exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente obtida em umidade de 20% do solo.

Analisando a equação das densidades, podemos perceber que o solo em sua densidade natural é de 1,1767 g.cm⁻³ em umidade de 20% e conforme aumenta a pressão exercida, maior será sua densidade.

$$\text{Densidade} = 0,0723 \times \text{pressão} + 1,1767 \text{ (g.cm}^{-3}\text{)} \quad (2)$$

Simulando possíveis pressões a serem exercidas (Tabela 5), nota-se que os valores são próximos aos obtidos pela prensa hidráulica. Isso é possível porque quanto mais próximo o valor de R (0,9636) é de 1 melhor será o ajuste da linha de regressão.

Tabela 5: Teste de compressibilidade obtida e simulada pela equação 2 em umidade de 20%.

Prensa hidráulica e valores simulados na equação (Toneladas)	Densidade aparente do solo obtida (g.cm ⁻³)	Densidade obtida com a equação (g.cm ⁻³)
1,0	1,21	1,25
2,0	1,35	1,32
3,0	1,42	1,39
4,0	1,47	1,47
5,0	1,54	1,54
6,0	1,59	1,61

5.2 Análise da densidade em umidade de 25% do solo

Para verificar a densidade, foi gerada a equação matemática do tipo linear, que representou a relação entre a pressão hidráulica exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente do solo obtida em umidade de 25%.

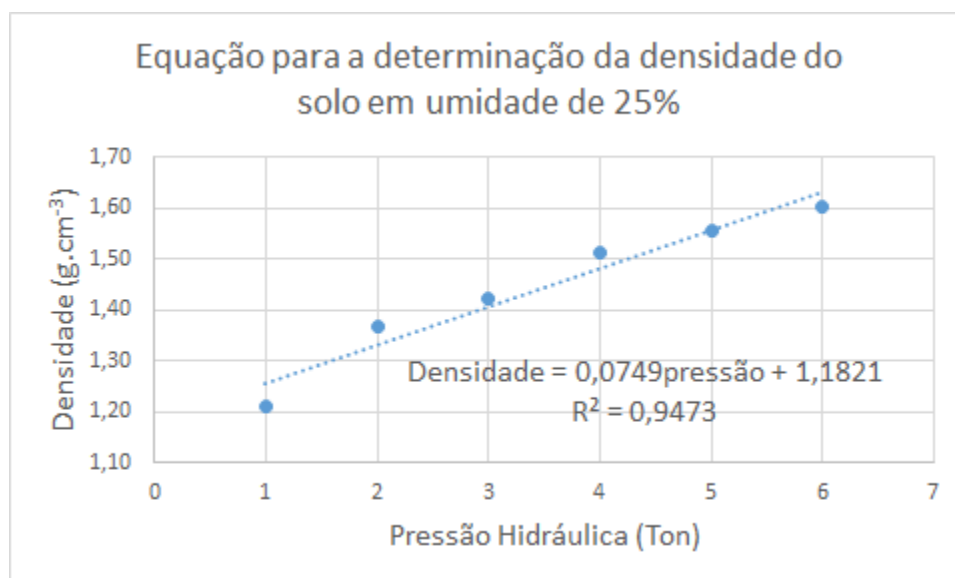


Gráfico 2 - Equação linear que melhor representa a relação entre a compressão exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente obtida em umidade de 25% do solo.

Verificando o gráfico 2, nota-se que o solo em umidade de 25% tem sua densidade natural de aproximadamente $1,1821 \text{ g.cm}^{-3}$ e comparando com o gráfico 1, observa-se que a densidade aumenta levemente de acordo com o maior teor de umidade, aumentando também a taxa de crescimento conforme maior pressão hidráulica efetuada.

$$\text{Densidade} = 0,0749 \times \text{pressão} + 1,1821 \text{ (g.cm}^{-3}\text{)} \quad (3)$$

Simulando possíveis pressões a serem exercidas (Tabela 6), percebe-se que os valores são próximos aos obtidos pela prensa hidráulica. Isso é possível porque quanto mais próximo o valor de R (0,9473) é de 1 melhor será o ajuste da linha de regressão.

Tabela 6: Teste de compressibilidade obtida e simulada pela equação 3 em umidade de 25%.

Prensa hidráulica e valores simulados na equação (Toneladas)	Densidade aparente do solo obtida (g.cm^{-3})	Densidade obtida com a equação (g.cm^{-3})
1,0	1,21	1,26
2,0	1,37	1,33
3,0	1,42	1,41
4,0	1,51	1,48
5,0	1,56	1,56
6,0	1,60	1,63

5.3 Análise da densidade em umidade de 30% do solo

Para verificar a densidade, foi gerada a equação matemática do tipo linear, que representou a relação entre a pressão hidráulica exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente do solo obtida em umidade de 30%.

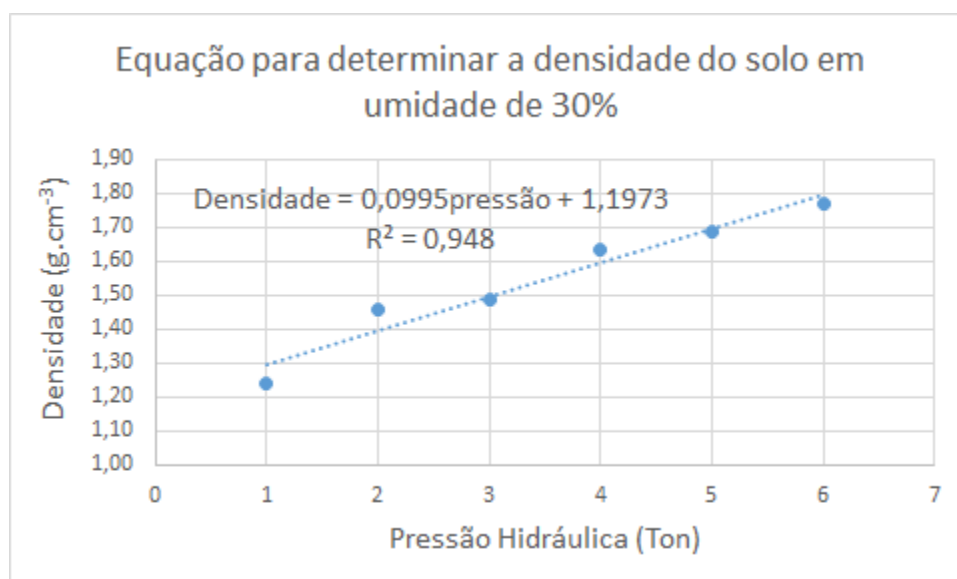


Gráfico 3 - Equação linear que melhor representa a relação entre a compressão exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente obtida em umidade de 30% do solo.

Analisando os resultados, percebe-se que o solo em umidade de 30%, tem sua densidade natural de $1,1973 \text{ g.cm}^{-3}$, valor moderadamente maior que os apresentados nas umidades de 20 e 25%, ou seja, a densidade tende a aumentar conforme o aumento da umidade.

$$\text{Densidade} = 0,0995 \times \text{pressão} + 1,1973 \text{ (g.cm}^{-3}\text{)} \quad (4)$$

Simulando possíveis pressões a serem exercidas (Tabela 7), nota-se que os valores são próximos aos obtidos pela prensa hidráulica. Isso é possível porque quanto mais próximo o valor de R (0,948) é de 1 melhor será o ajuste da linha de regressão.

Tabela 7: Teste de compressibilidade obtida e simulada pela equação 4 em umidade de 30%.

Prensa hidráulica e valores simulados na equação (toneladas)	Densidade aparente do solo obtida (g.cm ⁻³)	Densidade obtida com a equação (g.cm ⁻³)
1	1,24	1,29
2	1,46	1,40
3	1,49	1,50
4	1,63	1,60
5	1,69	1,69
6	1,77	1,79

5.4 Análise da densidade em umidade de 35% do solo

Para a análise da densidade, foi gerada a equação matemática, do tipo polinomial, que melhor representou a relação entre a pressão hidráulica exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente do solo obtida. Com o uso desta equação, determinou-se as densidades aparentes do solo desejadas para a umidade de 35%.

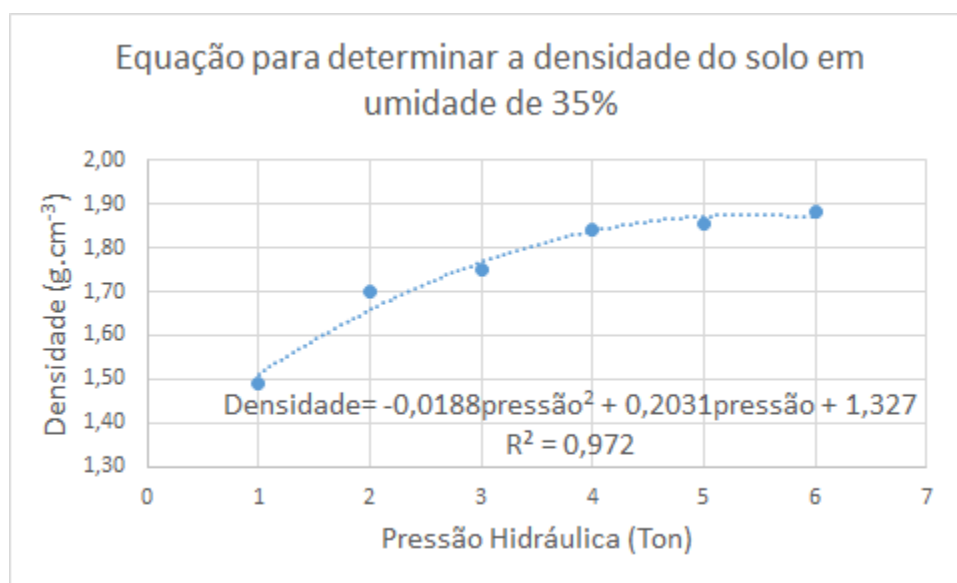


Gráfico 4 - Equação polinomial que melhor representa a relação entre a compressão exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente obtida em umidade de 35% do solo.

Analisando os resultados, nota-se que a equação que mais se encaixou na curva foi a polinomial, onde podemos perceber que com a umidade em 35% e o solo sendo compactado com mais de 4 toneladas, tende a manter uma densidade estável, ou seja, com a pressão hidráulica maior que 4 toneladas a densidade tende a estabilizar (Tabela 8), até chegar o valor máximo e a partir disso decresce, comportamento similar também foi observado por Reinert (1990); Dias Junior (1994); Kondo (1998) e Kondo e Junior (1999). Tal fato pode ser explicado quando uma pressão é aplicada ao solo seco, ela é suportada pelo solo e, conforme a umidade aumenta, as deformações aumentam até atingir um máximo e, a partir daí, decrescem com o aumento da umidade, pelo fato de ser, para alta umidade, parte da pressão aplicada dissipada na água, reduzindo a pressão sobre o solo e, conseqüentemente, sua deformação (HOLTZ e KOVACS, 1981).

Tabela 8: Teste de compressibilidade obtida e simulada pela equação 5 em umidade de 35%.

Prensa hidráulica e valores simulados na equação (Toneladas)	Densidade aparente do solo obtida ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Densidade obtida com a equação ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
1,0	1,47	1,51
2,0	1,70	1,66
3,0	1,75	1,77
4,0	1,84	1,84
5,0	1,85	1,87
6,0	1,88	1,87

Os testes de simulação foram necessários pois essas equações poderão ser utilizadas para novos trabalhos com esses valores de densidades estabelecidos no presente trabalho, porém se forem feitos com valores diferentes de densidade, basta inverter os eixos x e y para densidade e pressão hidráulica respectivamente, assim a equação calculará quanto de pressão hidráulica será necessária para as densidades desejadas.

5.5 Comparativo das diferentes umidades

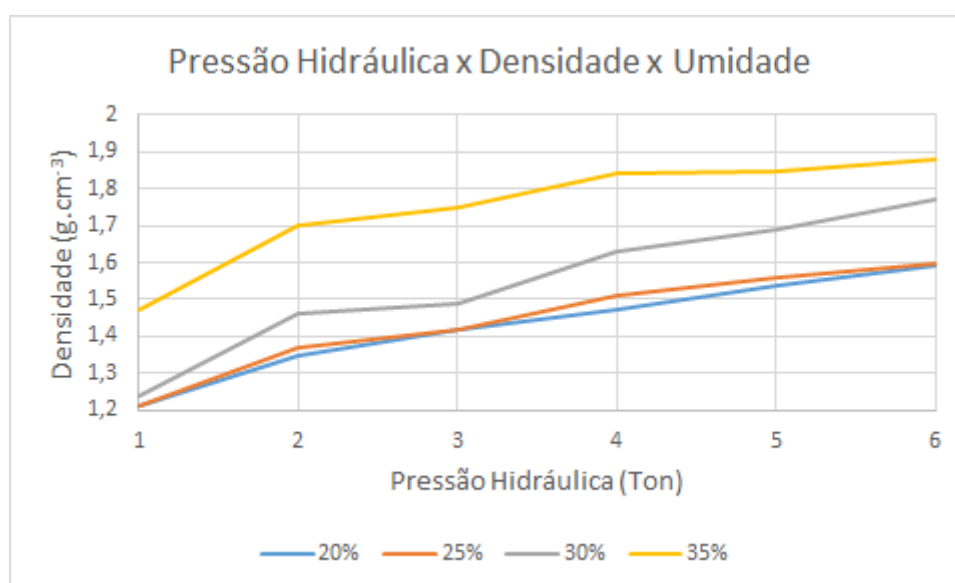


Gráfico 5 - Comparativo das diferentes umidades x pressão hidráulica.

Conforme o gráfico 5, pode-se analisar o comportamento das densidades

em diferentes umidades do solo, onde as umidades de 20 e 25% não variam muito uma da outra, porém a umidade de 30% já começa a ter um comportamento um pouco maior nas densidades mantendo-se linear.

Os resultados desse trabalho corroboram com estudos realizados por Souza et al. (2006), onde avaliou as propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de Cerrado sob diferentes usos e manejos, a baixa umidade presente no solo tende a sofrer redução nos valores de densidade em função da perda de sua estruturação.

Segundo Guariz et al. (2009), em estudo feito sobre a variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais, a umidade influencia linearmente nos valores de densidade do solo e, de modo geral, quanto maior for a densidade, maior será a sua compactação e a estrutura degradada, influenciando assim em menor porosidade total e, por consequência, haverá maiores restrições para o crescimento radicular e desenvolvimento das plantas.

6. CONCLUSÃO

A determinação da densidade do solo em diferentes umidades confirmou que quanto maior a umidade do solo, mais o solo poderá se compactar e que quanto maior a pressão exercida sobre o solo maior será sua densidade.

As equações que melhor expressam a relação umidade x densidade em solo submetido a diferentes pressões hidráulicas foram as equações lineares para solos com umidade de 20, 25 e 30% e equação polinomial para umidade de 35%.

As equações mostraram-se satisfatórias para a indicação de parâmetros de umidade e pressão hidráulica na determinação da densidade do solo em pastilhas experimentais, com diferentes níveis de densidade, para uso em trabalhos com uso de plantas descompactadoras, em Latossolo Vermelho Distroférico, predominante na região sudoeste do Paraná.

7. REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMONI, S. J. **Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n. 4, p.601-612, 2003.

ASHBURNER, J.E.; SIMS, B.G. **Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza.** San José: IICA, 1984. 474 p.

BARROS, T. D.; JARDINE, J. G.; **Agroenergia: Nabo forrageiro.** 2012 Disponível em:<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn002wx5eo0sawqe38tspejq.html>>. Acesso em 26/05/2017

BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do Solo** 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.

CRUSCIOL, C.A.C.; COTTICA, R.L.; LIMA, E.V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E.; **Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília v.40, n.2, p.161-168, 2005.

DEZORDI, G. B.; MENDES, K. F.; MACEDO, F. G.; CAMACHOS, M. A.; COLLETI, A. J.; GOUVEIA, R. G. L.; **Desenvolvimento aéreo e radicular de espécies vegetais em Latossolo Vermelho distroférico sob compactação induzida.** Scientia Plena, Tangará da Serra, v. 9, n. 5, 2013.

DIAS JUNIOR, M.S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic.** East Lansing, Michigan State University, 1994. 114p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos.** – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

EMBRAPA MILHO E SORGO. Sistemas de Produção. 5ª ed. 2009. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/ferequip.htm>. Acesso em: 28/05/2017.

Estatcamp (2014). **Software Action. Estatcamp** - Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil. Disponível em <<http://www.portalaction.com.br/>>. Acesso em: 15/05/2017.

FILHO, F. X. O.; MIRANDA, N. O.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, P. C. M.; MESQUITA, F. O.; COSTA, T. K. G. **Compactação de solo cultivado com cana de açúcar em Baía Formosa, Rio Grande do Norte**. Revista Ceres, Viçosa, v.63, n.5, 2016.

FRIZON, D.; CASTRO, A. M. C. **Desenvolvimento do feijão-guando (guandu) em diferentes densidades de solo argiloso**. Revista. Varia Scientia v. 04, n. 08, p. 91-101, 2004.

GUARIZ, H.R.; CAMPANHARO, W. A.; PICOLI, M. H. S.; CECÍLIO, R. A.; HOLLANDA. M. P. **Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, p. 7709-7716. 2009.

KONDO, M.K. **Compressibilidade de três latossolos sob diferentes usos**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1998. 105p.

KONDO, M. K.; DIAS, M. S. J. **Estimativa do efeito do uso da umidade do solo sobre a compactação adicional de três latossolos**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, p.773-782. 1999

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2.ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 216p.

MACHADO, A.; TREIN, C. **Determinação da compressibilidade em dois tipos de solos do Rio Grande do Sul**. Reunião sul brasileira da ciência do solo, Pelotas, 2000.

MAZETTO, F.; LANÇAS, K.P.; NAGAOKA, A.K.; NETO, P.C.; GUERRA, S.P.G. **Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.750-757. 2004.

MINEROPAR - **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná Escala 1:250.000 modelos reduzidos Minerais do Paraná**; Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. 63 p.

MIRANDA, E.P.; MONTEIRO, F.N.F.; SANTOS, F.R.M.; LEITE, K.N.; RODRIGUES, A.V.; OLIVEIRA, D.P. **Determinação da umidade do solo no forno de microondas em diferentes potências**. In: II WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO, 2008, Fortaleza-Ceará.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A.; **Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno**. Revista Brasileira de Classificação do Solo, Botucatu, v. 25, p 531 – 538, 2001.

NAGAHAMA, H. J.; GRANJA, G. P.; CORTEZ, J. W.; RAMOS, R. L.; ARCOVERDE, S. N. S.; **Efeitos da escarificação mecânica nos atributos físicos do solo e agronômicos do capim elefante**. Revista Ceres, Viçosa, v. 63, n. 5, 2016.

ONDERKO, R. J.; SHAKOOR, A. **Fatores que afetam a determinação da umidade de solos com emprego de forno de microondas**, 10° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, Santa Catarina, 2006.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO R. G. M. **Erosão e conservação dos solos**. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 339 p.

HÅKANSSON, I.; MEDVEDEV, V.W. **Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles**. Soil and Tillage Research, v.35, p.85-97, 1995.

HERNANI, L. C.; **Sistema Plantio Direto: Nabo forrageiro**. Embrapa, 2012. Disponível em:
<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT000fh2b6jui02wyiv80rn0etn7qovcch.html#>. Acesso em: 27/05/2017

HOLTZ, R.D. & KOVACS, W.D. **An introduction to geotechnical engineering**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1981. 733p.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; SERTON, A. L. **Compactação e descompactação de solos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 20p. (Embrapa Trigo. Documentos, 19).

PEDROTTI, A.; NETO, M. D.; **Mecanização agrícola: Fontes mecanizadas como contribuição aos sistemas de produção agrícola**. Aracaju: Fundação Oviêdo Teixeira, 2008. 204 p.

PORTERFIELD, J.W; CARPENTER, T.G. **Soil compaction: an index of potential compaction for agricultural tires**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.29, n.4, p.917-22, 1986.

PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação**. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5, p.49-134.

REINERT, D.J. **Soil structural form and stability induced by tillage in a Typic Hapludalf**. East Lansing, Michigan State University, 1990. 129p

RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R.; **Compactação do solo: causas e efeitos**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

SILVA, S. D.; ALVES, J. M.; MESQUITA, G. M.; LEANDRO, W. M.; **Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e crambe (*Crambe abyssinica* Hochst)**. Global Science and Technology, Rio Verde, v. 05, n. 02, p. 87 – 97, 2012.

SOUZA, M.A.S.; OLIVEIRA, S.M.O.; ARANTES, S.O.; BORGES, E.N. **Densidade do solo em três sítios de amostragem submetido a diferentes sistemas de manejo na cafeicultura do cerrado**. São Paulo. 2006.

ZIMBACK, C. R. L.; **Formação dos solos**. Botucatu: GEPAG – UNESP, 2003.