

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ALINE CAVALLI

INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA AVALIAÇÃO VISUAL DA  
ESTRUTURA DO SOLO (VESS)

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO  
2020

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ALINE CAVALLI**

**INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA AVALIAÇÃO VISUAL DA  
ESTRUTURA DO SOLO (VESS)**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2020**

ALINE CAVALLI

**INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA AVALIAÇÃO VISUAL DA  
ESTRUTURA DO SOLO (VESS)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rachel Muylaert Locks Guimarães.

PATO BRANCO

2020

C377i Cavalli, Aline.  
Influência da umidade na avaliação visual da estrutura do solo (VESS) /  
Aline Cavalli. -- 2020.  
51 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Rachel Muylaert Locks Guimarães  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2020.  
Inclui bibliografia.

1. Estrutura do solo. 2. Solos - Qualidade. 3. Latossolos. 4. Solos -  
Agregação. I. Guimarães, Rachel Muylaert Locks, orient. II. Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia. III. Título.

CDD: (22. ed.) 630

Ficha Catalográfica elaborada por:  
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630  
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Pato Branco  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
**Programa de Pós-Graduação em Agronomia**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título da Dissertação nº 207**

# **INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA AVALIAÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA DO SOLO (VESS)**

por

**ALINE CAVALLI**

Dissertação apresentada às quatorze horas do dia vinte e seis de março de dois mil e vinte, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRA EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Fertilidade e Manejo de Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

---

**Dr. Cássio Antonio Tormena**  
UEM/Maringá  
(à distância, por videoconferência)

---

**Dr. José Ricardo da Rocha Campos**  
UTFPR/Pato Branco  
(à distância, por videoconferência)

---

**Dra. Rachel Muylaert Locks  
Guimarães**  
UTFPR/Pato Branco  
Orientadora

---

**Dr. Alcir José Modolo**  
Coordenador do PPGAG

Dedico este trabalho a meus pais Jorge Cavalli e Marivanda Lise Cavalli. Meus exemplos de vitória e amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer primeiramente a Deus por mais uma etapa desafiadora e de grandes aprendizados.

Agradeço a universidade pelo espaço e apoio para o desenvolvimento do trabalho bem como a todos os professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia – PPGAG, pelos conhecimentos transmitidos, conversas e esclarecimentos. Agradeço especialmente à orientadora Profa. Dr. Rachel Muylaert Locks Guimarães pelas opiniões e críticas e pela colaboração em solucionar dúvidas e problemas que surgiram ao longo da realização do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto – Processo 428579/2016-7.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo - Código de Financiamento 001.

Aos meus amigos, Giovanni Ribeiro Quani, Marcos Vinícius Rampi Costa, Raul Zucolo Irion e Renan Augusto Lack Barboza, que ajudaram na busca por materiais, nas instalações de equipamentos, nas coletas de dados e principalmente pela amizade e força de vontade em me ajudar.

Ao Gilvane Frizon, Gilmar Vicente Frizon e Odimar Baroni pela paciência e incentivo ao permitirem realizar parte da pesquisa em suas propriedades rurais.

Aos meus colegas de mestrado, Vacilania Pacheco e Pedro Paulo Zanini pelo companheirismo, troca de conhecimentos e ajuda. Ao Lucas Dotto pelas explicações e auxílio com as análises dos dados e estatística. A Luryan Tairini Kagimura e Leonardo Campestrini Fürst, pela leitura e contribuições para a dissertação.

Agradeço também aos meus familiares e amigos, pelo apoio, dedicação aos meus objetivos, por sempre ficarem felizes com minhas conquistas, além de todo o suporte e amor.

Para todos, o meu muito obrigado!

“Tudo é considerado impossível até acontecer.”

(Nelson Mandela)

## RESUMO

CAVALLI, Aline. Influência da umidade na Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS). 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2020.

O solo possui diversos atributos físicos, químicos e biológicos que definem suas características produtivas. Dentre os atributos físicos do solo, a estrutura é amplamente utilizada como um indicador de sua qualidade devido sua influência no movimento de água, ar e raízes no perfil do solo. Diversos métodos são utilizados para o estudo da estrutura do solo, destaca-se os métodos diretos por imagem como a tomografia por raios-X e microscopia eletrônica. No entanto, tais métodos são caros, demorados e exigem treinamento para serem aplicados, além da baixa repetibilidade e não serem aplicados *on-farm*. O método de Avaliação Visual da Estrutura do Solo denominado VESS tem como vantagens a rapidez na execução *on-farm* e baixo custo operacional. Contudo ao realizar a metodologia em solos brasileiros de origem basáltica, que apresentam altos teores de argila e plasticidade, o esforço amostral e a dificuldade relacionado a execução da metodologia demanda um melhor conhecimento das condições de umidade favoráveis a aplicação da metodologia, especificamente a faixa de umidade adequada para a avaliação. Este trabalho consistiu em quantificar o escore de qualidade estrutural ( $Q_e$ ) VESS num Latossolo Vermelho distroférico típico numa ampla faixa de umidade do solo estabelecida. Com isso, Após uma chuva de 60 mm, realizou-se quatro avaliações em área homogênea pela metodologia VESS, a cada 24 horas. As coletas foram realizadas na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em Pato Branco, no estado do Paraná. Foram obtidas 11 umidades distintas, uma para cada dia de coleta. Os resultados indicam que a umidade do solo interfere no escore VESS, principalmente nas camadas com qualidade estrutural 4. Concluiu-se que a melhor condição de umidade ocorreu no quinto dia após a saturação do solo, o que equivale a uma faixa de potencial mátrico entre -150 a -250 hPa, correspondente a teores de água entre 0,447 e 0,430  $m^3m^{-3}$ .

**Palavras-chave:** Estrutura do solo. Solos - Qualidade. Latossolos. Solos - Agregação.

## ABSTRACT

CAVALLI, Aline. Influence of moisture on Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). 52 f. Dissertation (Masters in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Soils and Integrated Agricultural Production Systems), Federal University of Technology - Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2020.

The soil has several physical, chemical and biological attributes that can define its production. The structure of the soil is widely used as an indicator of soil quality, due to its influence on the movement of water, and on roots in the soil profile. Several methods are used to study soil structure, including direct imaging methods such as X-ray tomography and electron microscopy. However, such methods are expensive, time-consuming and require training to be applied, in addition to having low repeatability and not being applied on-farm. The Visual Evaluation of Soil Structure, VESS, method has as its advantages speed of execution, on-farm execution and low operational cost. However, when carrying out the methodology on Brazilian soils of basaltic origin, which have high levels of clay and plasticity, the sampling effort and the difficulty related to the execution of the methodology demands a better knowledge of the favourable humidity conditions for the application of the methodology, specifically the appropriate moisture range for the evaluation. This work consisted of quantifying the VESS structural quality (Sq) score in a typical dystrophic oxisol over a wide range of established soil moisture levels. Thus, after a 60 mm rain event, four evaluations were carried out every 24 hours in a homogeneous area using the VESS methodology. The samples were collected from the experimental area of the Federal Technological University of Paraná, in Pato Branco, in the state of Paraná. Eleven different moisture levels were obtained, one for each collection day. The results indicated that soil moisture interferes with the VESS score, especially in layers with a Sq score of 4. It was concluded that the best moisture condition occurred on the fifth day after soil saturation, which is equivalent to a matric potential range of between -150 to -250 hPa, corresponding to water contents of between 0.447 and 0.430 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

**Keywords:** Soil structure. Soils - Quality. Oxisols. Soils - Aggregation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Umidade e mudanças de estado do solo.....	24
Figura 2 – Município de implantação do estudo.....	26
Figura 3 – Ilustração do experimento para saturação do solo e determinação da redução do potencial mátrico com o uso de tensiômetros.....	27
Figura 4 – Ilustração dos equipamentos instalados para a aferição da umidade do solo.....	29
Figura 5 – Ilustração da abertura da trincheira, retirada da amostra por meio do uso de pá reta e amostra pronta para a avaliação do escore $Q_e$ .....	30
Figura 6 – Ilustração da confecção dos filamentos de solo utilizados para a determinação do limite de plasticidade do solo.....	31
Figura 7 – Ilustração do teste de mão.....	32
Figura 8 – Variação do potencial mátrico em diferentes profundidades (15, 20, 30 e 40 cm) em função do tempo de medida para o solo do experimento 1. Pato Branco, 2019.....	33
Figura 9-Comparação de médias da variável umidade em relação ao VESS, para uma média global do bloco (P.0-25) média ponderada para a profundidade de 0 – 10 cm (P.0-10) e para a profundidade de 10 – 25 cm de profundidade (P.10-15), em um experimento com 11 umidades distintas e 4 repetições. Pato Branco, 2019.....	35
Figura 10 – Amostras VESS ao logo das coletas (A – 2º dia, B - 5º dia e C - 10º dia de coletas).....	38
Figura 11 – Aderência do solo da amostra na pá.....	38
Figura 12 – Teste de mão e confirmação da nota do agregado nos primeiros dias de coleta.....	39
Figura 13 – Amostas VESS desagregadas (A – 2º dia, B – 5º dia e C – 11º dia de avaliação).....	39
Figura 14 – Amostra VESS de latossolo solo com baixa umidade.....	40
Figura 15 – Regressão linear do potencial mátrico e umidade gravimétrica do solo estudado.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Graus de liberdade e quadrados médios da análise de variância para variável P.0-25, P.0-10 e P.10-25 no experimento com 11 tempos de coleta sob secamento e 4 repetições. Pato Branco, 2019.....	34
Tabela 2 – Resumo da Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS) realizada a cada 24 horas por 11 dias após uma chuva de 60 mm.....	36
Tabela 3 – Faixa de umidade adequada para avaliação dos agregados Qe 4.....	41
Tabela 4 – Classificação da Umidade do solo para a Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS) em Latossolos Vermelho.....	42

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

PR	Unidade da Federação – Paraná
IAPAR	Instituto Ambiental do Paraná
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

## LISTA DE ABREVIATURAS

VESS	Avaliação Visual da Estrutura do Solo
VSE	Análise Visual do Solo
CC	Capacidade de Campo
LP	Límite de Plasticidade
Qe	Qualidade Estrutural do Solo
kg	Quilograma
cm	Centímetro
mm	Milímetro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
hPa	Hectapascal

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Psi_m$

Potencial mátrico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1 HIPÓTESE.....	17
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.2.1 Geral.....	17
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
2.1 A IMPORTÂNCIA DA ESTRUTURA DO SOLO E SUA CARACTERIZAÇÃO.....	18
2.2 MÉTODOS VISUAIS DE AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO.....	19
2.2.1 Método de Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS).....	21
2.2.2 O uso do método VESS em Solos Tropicais Argilosos.....	22
2.3 RELAÇÃO ENTRE ESTADOS DE CONSISTÊNCIA, UMIDADE DO SOLO E AVALIAÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA.....	23
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
3.1 MUNICÍPIO DE ESTUDO.....	26
3.2 EXPERIMENTO 1: DETERMINAÇÃO DO TEMPO APÓS O INÍCIO DE DRENAGEM DO SOLO SATURADO EM QUE OCORRE O POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO DE -100 hPa OU CAPACIDADE DE CAMPO.....	27
3.3 EXPERIMENTO 2: DETERMINAÇÃO DA FAIXA ÓTIMA DE UMIDADE DO SOLO PARA A DETERMINAÇÃO DO VESS.....	28
3.3.1 Determinação do limite de plasticidade do solo (LP).....	30
3.3.2 Análise Estatística.....	31
3.4 EXPERIMENTO 3: TESTE DE MÃO EM LABORATÓRIO.....	31
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>33</b>
4.1 DETERMINAÇÃO DO TEMPO APÓS O INÍCIO DE DRENAGEM DO SOLO SATURADO EM QUE OCORRE O POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO DE -100 hPa OU CAPACIDADE DE CAMPO.....	33
4.2 FAIXA ÓTIMA DE UMIDADE DO SOLO PARA A ANÁLISE VESS.....	33
4.3 TESTE DE MÃO EM LABORATÓRIO.....	41
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>44</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Um solo é considerado de boa qualidade quando apresenta potencial para sustentar a produtividade biológica, promover a saúde das plantas e animais, além de manter ou melhorar a qualidade do ar e da água dentro de um ecossistema, além de resistir a degradação (GARDI *et al.*, 2002). Neste contexto, o seu comportamento é regido por um complexo conjunto de atributos físicos, químicos e biológicos sob a influência do clima e dos sistemas de manejo (PEDROTTI; MÉLLO JR, 2009). Deste modo, o manejo que contribui para evitar a degradação da estrutura do solo. O manejo auxilia para que o solo siga exercendo suas funções de transporte de água e fertilidade, além de manter a estabilidade do meio, resistindo as tensões externas, conservando sua qualidade (RAI; SINGH; UPADHYAY, 2017).

Dentre as diversas metodologias de avaliação da estrutura do solo, os métodos de avaliação visual apresentam-se como boas ferramentas devido ao baixo custo operacional e realização sob condições de campo (GUIMARÃES *et al.*, 2011; GUIMARÃES *et al.*, 2017a; GUIMARÃES *et al.*, 2017b).

Um dos métodos que vem ganhando cada vez mais espaço é o método de avaliação visual da estrutura do solo (VESS) que consiste em retirar uma amostra de solo com uma pá reta e em seguida realizar avaliação da sua qualidade por meio da verificação da forma, tamanho e resistência dos agregados, a cor, presença de macroporos visíveis ou fissuras e presença de raízes na amostra conforme metodologia descrita por Guimarães *et al.* (2011). Contudo, usuários desta metodologia relatam algumas dificuldades ao aplicarem a metodologia (EMMET-BOOTH *et al.*, 2016; GIAROLA *et al.*, 2009) em solos brasileiros com altos teores de argila devido a elevada plasticidade do solo quando úmido e coesão quando seco, podendo influenciar no valor do escore de avaliação (BALL *et al.*, 2017).

Neste contexto, sob maiores ou menores valores de umidade fora da faixa de conteúdo de água que estabelece a consistência friável do solo, hipotetiza-se que o usuário poderia classificar a estrutura do solo e sua qualidade como tendo melhor ou pior qualidade do que de fato ela é dependendo da umidade do solo (BALL *et al.*, 2017; GUIMARÃES *et al.*, 2017b). Deste modo, alguns pesquisadores sugerem que o método VESS pode apresentar elevada subjetividade devido à influência da condição de umidade do solo no estabelecimento do escore de qualidade, particularmente nos solos de classe textural argilosa ou muito argilosa.

Nestes solos, ainda não há estudos sobre a faixa de umidade adequada para que a avaliação possa ser executada de modo que minimize os erros de avaliação (EMMET-BOOTH *et al.*, 2016; GUIMARÃES *et al.*, 2017b). Assim, este trabalho tem como objetivo definir a faixa de umidade e o período após uma chuva mais adequados para Avaliação Visual da Estrutura do Solo num Latossolo Vermelho Distroférico típico de origem basáltica do sul do Brasil.

## 1.1 HIPÓTESE

Teores de água muito elevados ou muito baixo levam a interpretação equivocada da qualidade do solo avaliada por meio da Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Estabelecer a faixa de umidade ótima mais adequada para a aplicação da avaliação visual da estrutura do solo (VESS) em solo argiloso de origem basáltica.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A IMPORTÂNCIA DA ESTRUTURA DO SOLO E SUA CARACTERIZAÇÃO

A estrutura do solo estabelece o habitat físico dos organismos do solo, incluindo o crescimento radicular, e controla diversas propriedades físicas, químicas e biológicas que definem a sua qualidade (PEDROTTI; MÉLLO JR, 2009; KLEIN, 2014). A estrutura do solo compreende o arranjo espacial dos constituintes sólidos e dos vazios do solo (PEDROTTI; MÉLLO JR, 2009), ou seja, a organização de estruturas complexas conhecidas como agregados que são resultantes do arranjo das partículas individuais (PEDROTTI; MÉLLO JR, 2009; KLEIN, 2014).

Contudo, o tipo particular de determinado solo é consequência dos processos gerais de desenvolvimento, sendo os fatores de formação do solo, material de origem, clima, tempo, organismos e relevo, elementos influenciadores no aparecimento de determinada estrutura (VAN LIER, 2010). Diversas formas de agregados ocorrem em solos, frequentemente dentro de distintos horizontes de um mesmo perfil. Eles são compostos por agregados que podem ser caracterizados pelo seu tipo de agregação, forma, desenvolvimento e tamanho (YONG; NAKANO; PUSCH, 2012).

Alguns tipos de estruturas são mais conhecidas ou comumente visualizadas (KLEIN, 2014). Sendo algumas delas granulares que consiste em agregados mais esféricos, variando geralmente de 1 até maiores que 10 milímetros de diâmetros, presente em muitas superfícies particularmente aquelas ricas em matéria orgânica (YONG; NAKANO; PUSCH, 2012). As em bloco, bastante irregulares, variando de intervalos de 5 a 50 mm de comprimento, encontrados geralmente no horizonte B, onde eles promovem drenagem, aeração e penetração radicular. Outras são conhecidas como laminares, que possui forma de placas horizontais relativamente finas, podendo ser visualizadas nos horizontes superficiais e subsuperficiais (REICHARDT; TIMM, 2012). Que se desenvolvem a partir dos resultados dos processos de formação do solo, mas também podem ser formadas pelo manejo inadequado do solo (YONG; NAKANO; PUSCH, 2012). Além destas, há as prismáticas, caracterizadas por agregados semelhantes a pilares orientados verticalmente que variam em altura entre os diferentes solos e podem ter um

diâmetro de 150 mm ou mais, estes são semelhantes aos colunares, porém possuem pilares com partes superiores distintas e arredondadas (YONG; NAKANO; PUSCH, 2012).

No entanto, a estrutura do solo é mais do que apenas o arranjo físico de partículas e poros uma vez que ela controla processos dinâmicos como a retenção e o movimento da água e ar no solo, a infiltração da água (RAI; SINGH; UPADHYAY, 2017), a disponibilidade desta para as plantas, afetando diretamente a fertilidade do solo do ponto de vista agrônômico (FABIOLA *et al.*, 2010; KLEIN, 2014).

Do ponto de vista físico-mecânico, a estrutura do solo determina a estabilidade às pressões externas e a resiliência do solo que é a capacidade do mesmo se recuperar após a remoção do estresse (AMARO FILHO, 2008; KLEIN, 2014; GUIMARÃES *et al.*, 2017b). Assim, diferente da textura do solo, a estrutura pode ser modificada por práticas agrícolas, podendo ser alterada de forma positiva ou negativa (AMARO FILHO, 2008; KLEIN, 2014). Um solo mal manejado promove o rápido aumento da densidade e da resistência do solo à penetração, podendo limitar o desenvolvimento das plantas e sua produtividade dependendo do nível de densidade e das flutuações da umidade do solo (PEDROTTI; MÉLLO JR, 2009). Deste modo, têm-se buscado incentivar e relatar aos produtores rurais a importância de avaliar a estrutura do solo para a busca de melhores técnicas de manejo (VAN LIER, 2010).

## 2.2 MÉTODOS VISUAIS DE AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO

Não há um método universal para a quantificação da estrutura do solo apesar de serem utilizados diversos métodos diretos e indiretos para sua determinação (DÍAZ-ZORITA; PERFECT; GROVE, 2002), podendo ser aplicados tanto em campo como em laboratório (RABOT *et al.*, 2018). Métodos indiretos utilizam a medição de parâmetros relacionados com a estrutura do solo enquanto que os métodos diretos medem a organização de sólidos e poros por meio de técnicas de imageamento utilizando tomografia por raios-X, microscopia eletrônica ou métodos visuais diretamente no campo (RABOT *et al.*, 2018).

Alguns métodos de avaliação da qualidade do solo incluem informações visuais da estrutura do solo (MUELLER *et al.*, 2013), a partir de procedimentos semiquantitativos e tátil, os quais são conhecidos como métodos de avaliação visual do solo (VSE). Estas metodologias têm sido publicadas nas últimas décadas e consideradas serem ferramentas úteis para monitorar e gerenciar a qualidade estrutural e física do solo (BALL *et al.*, 2013). Uns dos primeiros métodos de avaliação visual do solo surgiu em 1960 com a primeira versão do livro “Le Profil Cultural” (HENIN,1960) e melhorado em 1987 por Gautronneau e Manichom (1987). O perfil cultural é um método bastante completo para avaliar o impacto do preparo e manejo nas características da estrutura do solo até 1,5 metro de profundidade (GAUTRONNEAU; MANICHON, 1987). O método exige alguns conhecimentos técnicos, a abertura de trincheiras e demanda tempo para realizar o preparo do local de análise.

Outro método conhecido é o SOILpak, desenvolvido na Austrália devido à necessidade de compreender melhor os efeitos da compactação do solo e quais melhores técnicas de manejo para se obter uma maior produtividade no cultivo de algodão (MCKENZIE, 1998). O método avalia a estrutura, a superfície do solo, o enraizamento, o tamanho do agregado, a forma, a resistência à ruptura, os macroporos e a estabilidade dos agregados até a profundidade de 1,5 metro (MCKENZIE, 1998; MCKENZIE, 2013). Atualmente o método também está sendo utilizado em solos com outros tipos de cultivo. O método exige bastante conceitos técnicos e por isso o avaliador deve obter treinamento para a sua execução (MCKENZIE, 2013).

Também há o método conhecido como “Visual Soil Assessment (VSA)” (SHEPHERD, 2000) desenvolvido na Nova Zelândia por Shepherd. O método de avaliação visual do solo VSA busca verificar o estado físico e estrutural do solo, o desempenho das plantas e o impacto do manejo agrícola. Para isso, vários fatores são avaliados como distribuição de tamanho de agregado, a macroporosidade, a deformação superficial, ocorrência de minhocas, dentre outros. Essa avaliação vai produzir um escore visual (VS) para cada fator e gerando ao final uma nota de avaliação da qualidade do solo (SHEPHERD *et al.*, 2008).

Um outro método, chamado de avaliação visual da estrutura do solo (VESS), descrito por Ball *et al.* (2007) e refinado por Guimarães *et al.* (2011) tem

sido objeto de estudos e avaliações em diferentes países (CHERUBIN *et al.*, 2018; LEOPIZZI *et al.*, 2018; TUCHTENHAGEN *et al.*, 2018; KRAEMER *et al.*, 2017; LOGSDON; SAUER, 2017; TORMENA *et al.*, 2016; ABDOLLAHI *et al.*, 2015; ASKARI; HOLDEN, 2014; MUELLER *et al.*, 2013; BALL *et al.*, 2012; GIAROLA *et al.*, 2009). Este método permite avaliar semiquantitativamente a qualidade estrutural do solo de maneira acessível a não especialistas (EMMET-BOOTH *et al.*, 2016) que para isso desenvolveu-se uma carta de referência com instruções para a execução do método (GUIMARÃES *et al.*, 2011). O método leva entre 5 a 15 minutos para ser executado e avalia a qualidade estrutural do solo até 25 cm de profundidade. Para profundidades abaixo de 25 cm, o que pode ser considerado como sub-solo, Ball *et al.* (2015) desenvolveram o método denominado SubVESS. Tal como o VESS, as camadas do subsolo são identificadas e cada camada recebe uma nota com base em critérios definidos por Ball *et al.* (2015). Devido as diferenças físicas serem menos visíveis no subsolo, o SubVESS envolve uma avaliação mais abrangente e progressiva dos aspectos visuais e tácteis individuais (BALL *et al.*, 2017). As descrições das categorias de pontuação de qualidade do subsolo do SubVESS possui a finalidade de avaliar qualquer camada de transição antropogênica em termos de crescimento das raízes abaixo de 30 cm de profundidade (MUELLER *et al.*, 2013).

Contudo, a avaliação visual do solo (VSE) não pode revelar informação sobre o arranjo geométrico de poros e constituintes sólidos quanto a tomografia computadorizada. Contudo, avalia tanto a forma estrutural quanto a estabilidade estrutural (GUIMARÃES *et al.*, 2011) e informações por meio de indicadores biológicos (GUIMARÃES *et al.*, 2017).

### 2.2.1 Método de Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS)

O método VESS apresenta como diferencial de outros métodos a possível aplicação por pessoas sem conhecimentos técnicos avançados e de forma rápida (EMMET-BOOTH *et al.*, 2016). A execução do VESS é realizada com auxílio de uma pá reta, abrindo-se uma pequena trincheira na profundidade de aproximadamente 30 cm, a fim de retirar uma amostra não perturbada de solo com

dimensões de 25 cm de profundidade, 10 cm de espessura e 20 cm de largura. Em seguida a amostra deve ser desagregada manualmente, aplicando força progressiva para primeiro revelar os agregados com os dedos, com uma mão e depois com as duas mãos conforme instruções disponíveis em Guimarães *et al.* (2011).

O escore de qualidade é obtido a partir da comparação da estrutura das amostras com aquelas identificadas por fotos referências para cada qualidade mostrada na carta do VESS (GUIMARÃES *et al.*, 2011). Os critérios mais utilizados para definir a qualidade do solo são o tamanho e forma dos agregados, a força aplicada para a extração da amostra, a resistência do agregado avaliado pelo teste de mão, a porosidade visível e as raízes presentes na camada superficial do solo (GUIMARÃES *et al.*, 2011). A atribuição do escore estrutural é feita para cada camada identificada na amostra, com escores variando de 1 a 5 e ao final faz-se uma média ponderada levando em conta o escore e a espessura de cada camada na amostra para obter uma classificação da qualidade da estrutura do solo (BALL, *et al.*, 2007). O método apresenta cinco qualidades estruturais ( $Q_e$ ) que variam de  $Q_e=1$  (melhor qualidade estrutural) a  $Q_e=5$  (pior qualidade estrutural) como apresentam Guimarães *et al.* (2011).

### 2.2.2 O uso do método VESS em Solos Tropicais Argilosos

O método de avaliação da qualidade da estrutura do solo (VESS) foi desenvolvido em vista da necessidade de visualizar no campo, de forma simples e confiável, a estrutura do solo e a qualidade do mesmo para o crescimento das plantas (GUIMARÃES *et al.*, 2011). No Brasil, a utilização do método VESS, vem se destacando, sendo empregado principalmente na área da pesquisa (CHERUBIN *et al.*, 2017; GUIMARÃES *et al.*, 2017c; GIAROLA *et al.*, 2009), realizado empregando métodos visuais de diagnóstico do estado estrutural dos solos (GIAROLA *et al.*, 2009; GUIMARÃES *et al.*, 2011; CHERUBIN *et al.*, 2017). Contudo, alguns usuários relataram dificuldades ao utilizarem a metodologia em regiões de solos com teores de argila muito altos. Isso ocorre devido à mudança nos estados de consistência que são afetados pela umidade do solo (GIAROLA *et al.*, 2009; GIAROLA *et al.*, 2013; MONCADA *et al.*, 2014). Um solo mais seco é geralmente mais difícil de quebrar e,

portanto, é necessária uma pressão extra para fragmentar os agregados (HORN *et al.*, 2014). Já um solo úmido é mecanicamente mais fraco, o que ocasiona a deformação dos agregados quando pressão é aplicada (GUIMARÃES *et al.*, 2017b). Isso pode não ser um problema em muitas condições, mas pode ser crucial na avaliação de solos em climas temperados, já que, agregados com qualidade estrutural 3 e 4 apresentam características visuais semelhantes, sendo comprovada sua real nota ao realizar a resistência do agregado a ruptura no teste da mão ou com a redução do agregado até aproximadamente 1 a 1,5 cm de diâmetro, apresentando  $Q_e=4$  quando se desagrega de forma angulosa e  $Q_e = 3$  de forma arredondada segundo a carta VESS de Guimarães *et al.* (2011).

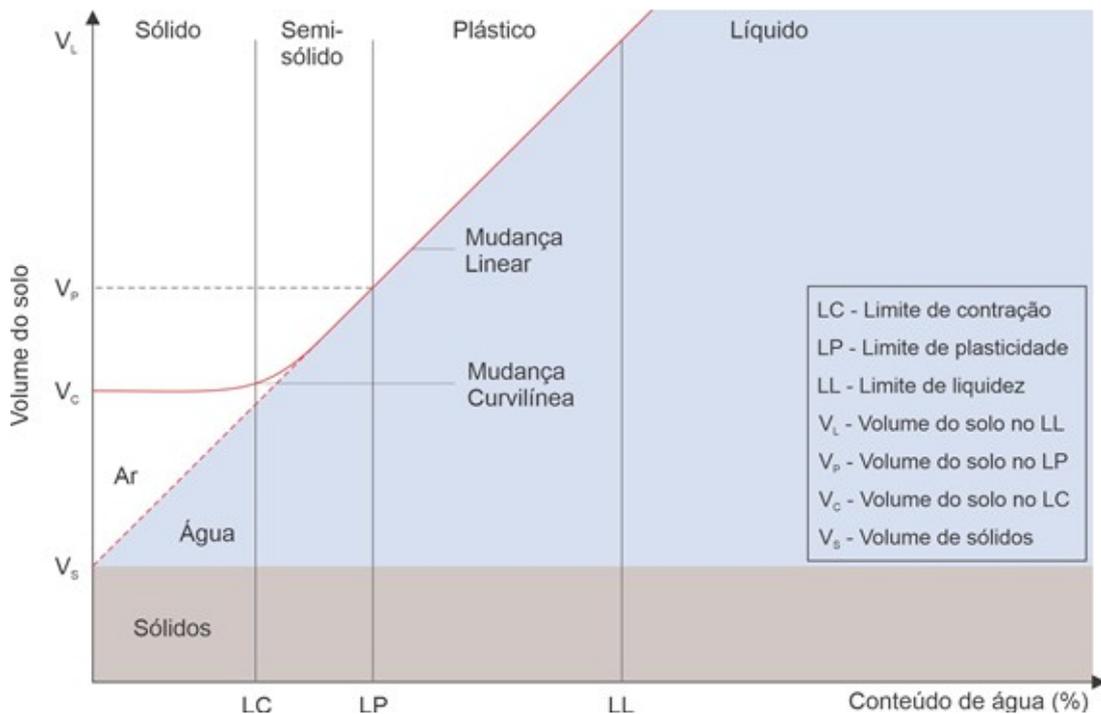
Giarola *et al.* (2013) relatam que para solos brasileiros sempre será necessário ao menos algum treinamento básico e alguma experiência para uso efetivo na realização do método do VESS. Em função das rápidas mudanças do estado de consistência dos solos argilosos com a umidade é possível que a metodologia apresenta restrições nestes solos com teor de água acima ou abaixo da capacidade de campo e/ou com excessiva compactação do solo (GIAROLA *et al.*, 2009). Neste contexto, alguns pesquisadores acreditam que dificuldade operacional do método VESS poderia ser minimizada a partir da definição de uma faixa de umidade que possibilitasse reduzir os erros potenciais durante a avaliação do solo (EMMET-BOOTH *et al.*, 2016; GUIMARÃES *et al.*, 2017b).

### 2.3 RELAÇÃO ENTRE ESTADOS DE CONSISTÊNCIA, UMIDADE DO SOLO E AVALIAÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA

Dependendo da umidade do solo (AMARO FILHO, 2008), as forças de coesão serão mais determinantes que as forças de adesão e vice-versa, e com isso, a resposta do solo poderá se apresentar de maneiras diferentes (KLEIN, 2014). Com isso, a consistência relaciona-se a reação do solo a forças externas, deformando-se ou rompendo-se, conforme o teor de umidade. Se o solo estiver em condições muito secas, exprime-se a dureza do solo, podendo gerar o rompimento de agregados em virtude do enfraquecimento dos poros, ou resistência a ruptura (MEURER, 2010; HORN *et al.*, 2014).

É comum em solos argilosos elevadas resistência à ruptura em baixas umidades, pois a coesão é bastante elevada uma vez que os poros são menores e a tensão da água no solo é maior (AMARO FILHO, 2008). Já com o aumento no teor de água no agregado, o efeito é contrário por causa do efeito lubrificante da água que diminuiu o atrito entre as partículas do solo (VEPRASKAS, 1984; AMARO FILHO, 2008) e redução da tensão da água nos poros do solo. A consistência do solo pode variar entre estados sólido, friável, plástico e líquido (KLEIN, 2014) (Figura 1). O teor mínimo de água em que um solo se comporta como líquido viscoso é denominado limite liquidez (LL). E já no limite plástico (PL), o excesso de água ao redor das partículas apresentam-se como “lubrificante”. Nesta condição, o tráfego de máquinas pode ocasionar danos à estrutura do solo (KLEIN, 2014; MALIZIA; SHAKOOR, 2018).

**Figura 1** – Umidade e mudanças de estado do solo



Fonte: Adaptado de MCCARTHY, 2014.

Considerando a mudança nos estados de consistência do solo em função da variação da umidade, o manejo do solo deve ser realizado em condições de consistência friável ou abaixo desta, pois, é nesse estado que a coesão entre as partículas permite uma maior resistência do solo à pressão aplicada (KIEHL, 1979; BRADY; WEIL, 2013). A umidade do solo nesta condição seria aproximadamente aquela na umidade da capacidade de campo (CC) (REICHARD; TTIMM 2012;

YONG; NAKANO; PUSCH, 2012; BRADY; WEIL, 2013). Nesse estágio o solo se comporta entre um semi-sólido friável a um material plástico e moldável, apresentando umidade próximo ao do limite de plasticidade (YONG; NAKANO; PUSCH, 2012).

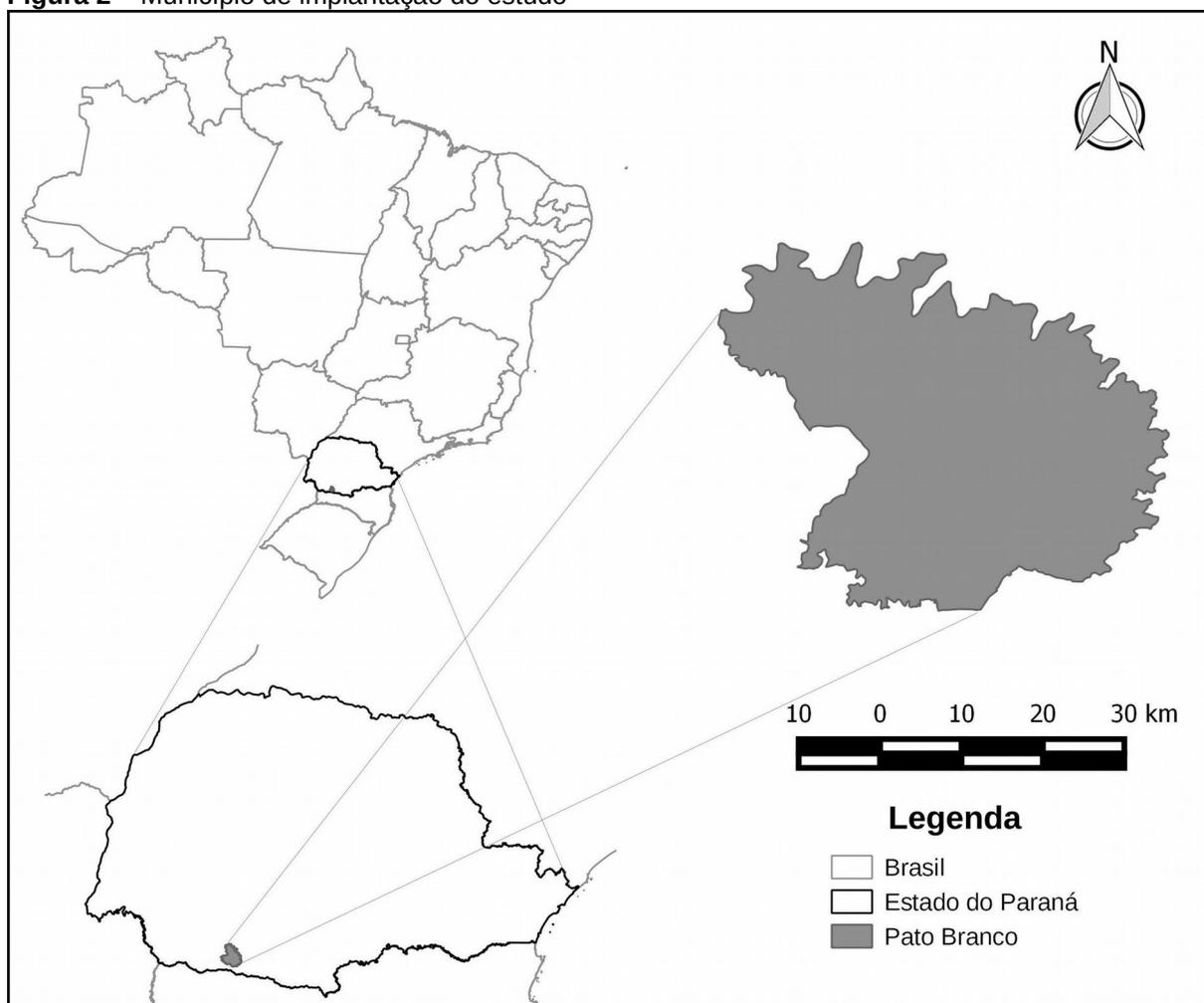
Contudo, para a avaliação visual da estrutura do solo (VESS), a faixa de umidade é tipicamente definida a partir da consistência do solo e geralmente se encontra em um limite inferior a plasticidade. Este limite é definido em laboratório e testado em campo uma vez que eles podem assumir valores diferentes (GUIMARÃES *et al.*, 2017b). Não se pode definir um valor único e ótimo de umidade, mas sim uma faixa ótima de umidade para avaliação visual da estrutura do solo, uma vez que aspectos como teor de argila, tipo de argila, teor de matéria orgânica, preparo do solo, dentre outros fatores, pode mudar o estado de consistência e influenciar a classificação da qualidade estrutural do meio (BALL *et al.*, 2017; GUIMARÃES *et al.*, 2017b).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MUNICÍPIO DE ESTUDO

O trabalho foi realizado em Pato Branco, no Estado do Paraná (Figura 2) localizado no Terceiro Planalto Paranaense, em que os solos predominantes são os Latossolos formados sob rochas do derrame basáltico apresentando elevados teores de argila (entre 60 – 70%), profundos e com boas características físicas, com altitude média de 760 metros.

**Figura 2** – Município de implantação do estudo

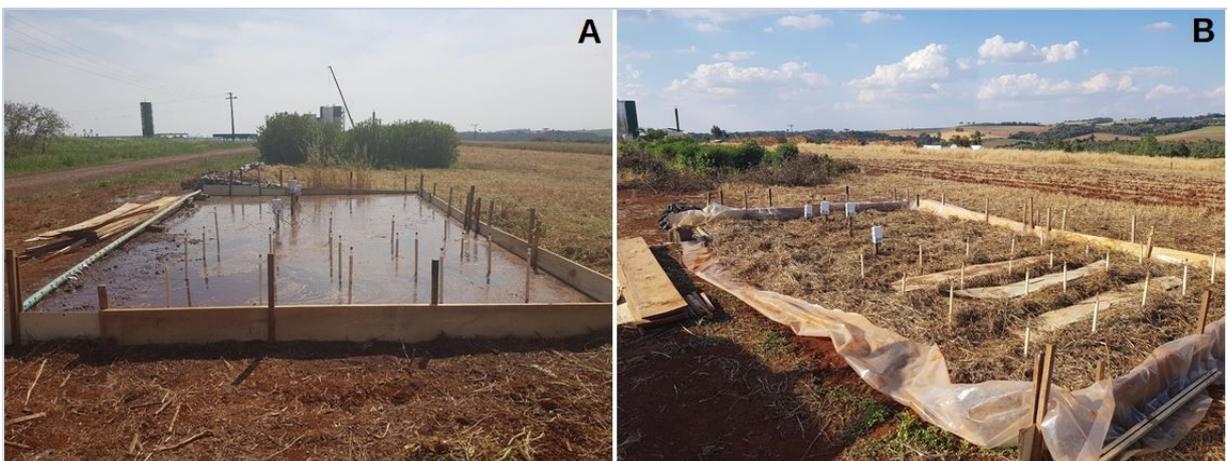


Em relação ao clima, o município de Pato Branco (região Sudoeste do Paraná) apresenta clima do tipo Cfa com verões relativamente quentes, geadas frequentes e chuvas bem distribuídas, sendo a precipitação média anual entre 1800 e 2000 mm (IAPAR, 2000).

### 3.2 EXPERIMENTO 1: DETERMINAÇÃO DO TEMPO APÓS O INÍCIO DE DRENAGEM DO SOLO SATURADO EM QUE OCORRE O POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO DE -100 hPa OU CAPACIDADE DE CAMPO

O estudo foi realizado em área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em Pato Branco, no estado do Paraná, nas coordenadas 26°10'32.7"S e 52°41'24.3"W. Selecionou-se uma área de aproximadamente 5 m<sup>2</sup> em relevo plano e num solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico. Para a determinação da densidade do solo coletou-se três amostras em cilindros de aço inox em cada profundidade, sendo elas 15, 20, 30 e 40 cm. Foram instalados 20 densímetros da marca Hidrosense, 5 repetições nas profundidades de 15, 20, 30 e 40 cm. A distância entre os equipamentos foi de 60 cm. O solo foi irrigado por 24 horas (Figura 3-A) com uma lâmina de 5 a 8 mm/h para prover a saturação do solo. Em seguida, o solo foi coberto com lona plástica e cobertura morta para evitar a exposição do solo à radiação solar (Figura 3-B) (ZONTA et al., 2016) e evitar perdas de água por evaporação. As coletas de dados potencial de água no solo foram realizadas durante o período das 06 horas até as 20 horas, tendo durabilidade de 105 horas.

**Figura 3** – Ilustração do experimento para saturação do solo e determinação da redução do potencial mátrico com o uso de tensiômetros.



O potencial de água no solo ( $\Psi_m$ ) foi calculado segundo Braga (2010) a partir da Equação 1:

$$\Psi_m = \pm (L - hc - hs) \quad (1)$$

Onde: L é a leitura no tensiômetro na unidade do aparelho, hc é a profundidade de instalação dos tensiômetros e hs é a altura entre o aparelho da leitura e o solo unidade de medida hPa.

### 3.3 EXPERIMENTO 2: DETERMINAÇÃO DA FAIXA ÓTIMA DE UMIDADE DO SOLO PARA A DETERMINAÇÃO DO VESS

A área selecionada está localizada no campo experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus de Pato Branco, sob as coordenadas geográficas 26°10'38.7"S e 52°41'28.3"W.

Solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico, apresentava cobertura de palhada de trigo no momento da amostragem. Foi necessário compactar o solo para que o mesmo apresentasse camadas com  $Q_e = 4$  no método VESS, para isto, passou-se pela área selecionada um rolo compactador da marca Hamm3411, de 210 cm de largura e 1238 Kg.

Foram coletadas amostras de solo para análise granulométrica realizada pelo método da pipeta segundo Almeida *et al.* (2012). Os resultados das análises do solo da área de estudo, da camada de entre 5 a 20 cm de profundidade, revelou teores de argila de 81%, 16,7% de silte e 2,3% de areia, sendo enquadrado na classe de textura muito argilosa

Após uma chuva de 60 mm, a cada 24 horas foram avaliados 4 blocos de solo pela metodologia VESS. As coletas cessaram 11 dias após a chuva, obtendo-se 11 umidades distintas, uma para cada dia de coleta. Para a coleta do potencial da água no solo durante o momento da avaliação da estrutura do solo, foram instalados 5 tensiômetros digitais da marca Hidrosense na camada de 10 a 17 cm (Figura 4). Também foram coletadas amostras para obtenção do conteúdo de água do solo, as quais foram levadas ao laboratório, pesadas e em seguida secas em estufa por 48 h a 105°C. O teor de água em base de massa foi obtido por meio de pesagens conforme Embrapa (2017).

A análise visual da estrutura do solo (VESS) foi realizada com auxílio de uma pá reta, abrindo-se uma pequena trincheira na profundidade de aproximadamente 30 cm, a fim de retirar a amostra não perturbada de solo com 25 cm de profundidade, 10 cm de espessura e 20 cm de largura (Figura 5). Em seguida a amostra foi desagregada manualmente, aplicando-se força progressiva primeiro tentando revelar os agregados com os dedos, com uma mão e depois com as duas mãos de acordo com Guimarães *et al.* (2011) e Ball *et al.* (2017). Os escores  $Q_e$  VESS foram obtidos a partir da comparação da amostra com as referências dos

escores que constam na carta de qualidade da estrutura do solo descrita em GUIMARÃES *et al.* (2011). Os critérios mais utilizados para definir a qualidade do solo foram o tamanho dos agregados, a forma dos agregados, a presença e localização das raízes e ocorrência de poros visíveis. Assim, a avaliação da estrutura se apoiou na aparência, na resistência e nas características das unidades estruturais de blocos de solo, sendo definida por cinco valores de  $Q_e$  para a classificação da qualidade: de  $Q_e=1$  (melhor qualidade estrutural) a  $Q_e=5$  (pior qualidade estrutural), como apresenta Guimarães *et al.* (2011)

**Figura 4** – Ilustração dos equipamentos instalados para a aferição da umidade do solo.



A análise Visual da Estrutura do Solo (VESS), foi realizada com auxílio de uma pá reta, abrindo-se uma pequena trincheira no solo na profundidade de aproximadamente 30 cm, a fim de retirar a amostra não perturbada de solo, com 25 cm de profundidade, 10 cm de espessura e 20 cm de largura. Em seguida a amostra era desagregada manualmente, aplicando-se força progressiva primeiro tentando revelar os agregados com os dedos, com uma mão e depois com as duas mãos de acordo com Guimarães *et al.* (2011) e Ball *et al.* (2017).

O resultado das análises eram obtidas a partir da comparação dos agregados com a carta de qualidade da estrutura do solo do VESS (GUIMARÃES *et al.*, 2011). Os critérios mais utilizados para definir a qualidade do solo foram o tamanho, força, porosidade e raízes. A avaliação da estrutura se apoiou na aparência, na resistência e nas características das unidades estruturais de blocos de

solo, sendo definida por cinco valores de  $Q_e$  para a classificação da qualidade: de  $Q_e=1$  (melhor qualidade estrutural) a  $Q_e=5$  (pior qualidade estrutural), como apresenta Guimarães *et al.* (2011) (Figura 5).

**Figura 5** – Ilustração da abertura da trincheira, retirada da amostra por meio do uso de pá reta e amostra pronta para a avaliação do escore  $Q_e$ .



### 3.3.1 Determinação do limite de plasticidade do solo (LP)

A fim de se estabelecer o limite de plasticidade deste solo foram coletados porções de solo da área estudada, a uma profundidade de 5 a 15 cm em diversos pontos e homogêneas totalizando aproximadamente 3 kg de material. As amostras foram levadas ao laboratório e secadas ao ar, passada em peneira com abertura de malha de 0,42 mm conforme KLEIN (2014). Em seguida uma porção de solo peneirado foi selecionada e umedecida e moldado em filamentos de cerca de 1-3 cm até que o cilindro começasse a se romper como ilustrado na Figura 6. Em seguida, os filamentos foram pesados e levados para secagem em estufa em temperatura de 105°C por 48h para obtenção da umidade do solo. O limite de plasticidade correspondeu a umidade de 43% base de massa.

**Figura 6** – Ilustração da confecção dos filamentos de solo utilizados para a determinação do limite de plasticidade do solo



### 3.3.2 Análise Estatística

A fim de avaliar os resultados do VESS em relação as umidades (tratamentos), dividiu-se o experimento em três pontos de análise. Primeiro avaliou o resultado do VESS para média global do bloco (P.0-25), segundo para a profundidade até 10 cm (P.0-10) e por último para a profundidade de 10 a 25 cm (P.10-25).

As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico R versão 3.5.2 (R, 2018), os dados das classificações do solo referente a diferentes umidades foram submetidos ao qui-quadrado, a fim de verificar a normalidade dos dados e posteriormente a análise de variância. Como os tratamentos apresentaram significância, foram comparadas por meio do teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade de erro, a fim de, não obter resultados ambíguos.

### 3.4 EXPERIMENTO 3: TESTE DE MÃO EM LABORATÓRIO

Na área descrita no item 3.4 foram retirados aproximadamente 70 agregados  $Q_e=4$  em pontos escolhidos ao acaso no primeiro dia de coleta. Assim que extraídos, os agregados foram embalados com papel filme para evitar perda de água e possíveis danos durante o transporte até o laboratório. No laboratório, retirou-se o filme plástico das amostras que foram deixadas ao ar e por 8 dias

consecutivos após a coleta foi-se avaliando a consistência do agregado e sua umidade.

Para isso, seis agregados eram selecionados diariamente e submetidos a avaliação do teste de mão e ao teste de redução de agregados (até aproximadamente 1 cm<sup>3</sup>) conforme Guimarães *et al.* (2011) para a confirmação da Qe=4 (Figura 7). Em seguida, os agregados foram pesados e secados por 48h a uma temperatura de 105°C para determinação da umidade gravimétrica.

**Figura 7** – Ilustração do teste de mão

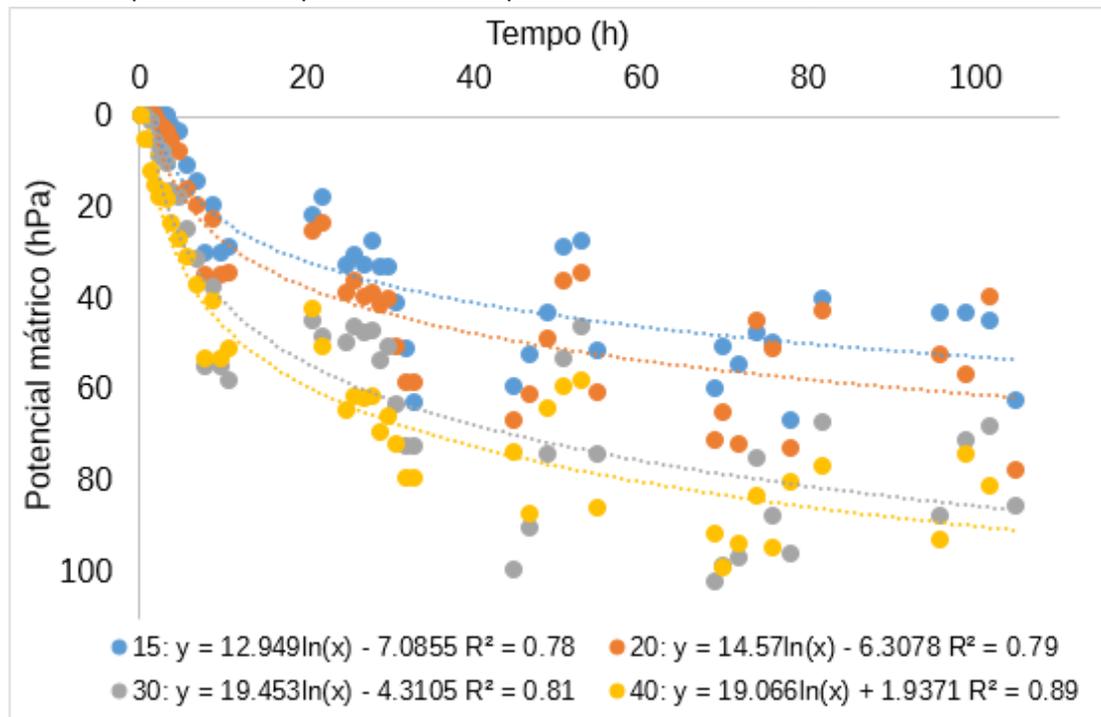


## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 DETERMINAÇÃO DO TEMPO APÓS O INÍCIO DE DRENAGEM DO SOLO SATURADO EM QUE OCORRE O POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO DE -100 hPa OU CAPACIDADE DE CAMPO

Na Figura 8 observa-se que após 96 horas de experimento a drenagem de água começa a diminuir indicando que a capacidade de campo deste solo equivale ao potencial mátrico entre -60 a -100 hPa, dependendo da profundidade de amostragem.

**Figura 8** – Variação do potencial mátrico em diferentes profundidades (15, 20, 30 e 40 cm) em função do tempo de medida para o solo do experimento 1. Pato Branco, 2019.



### 4.2 FAIXA ÓTIMA DE UMIDADE DO SOLO PARA A ANÁLISE VESS

Observa-se na Tabela 1 os resultados da análise de variância realizada para as umidades em relação a avaliação do VESS, em uma média global do bloco (P.0-25), média ponderada para a profundidade de 0-10 cm (P.0-10) e média ponderada para a profundidade de 10-25 cm (P.10-25).

**Tabela 1** – Graus de liberdade e quadrados médios da análise de variância para variável P.0-25, P.0-10 e P.10-25 no experimento com 11 tempos de coleta sob secamento e 4 repetições. Pato Branco, 2019.

Fator Variação	Graus de liberdade	P.0-25	P.0-10	P.10-25
Blocos	3	0.06	0.08	0.042
Umidades	10	1.15*	2.38*	0.74*
Resíduo	30	0.02	0.07	0.09
Média	-	3.30	3.30	3.34
Coefficiente de variação(%)	-	4.68	8.04	9.06

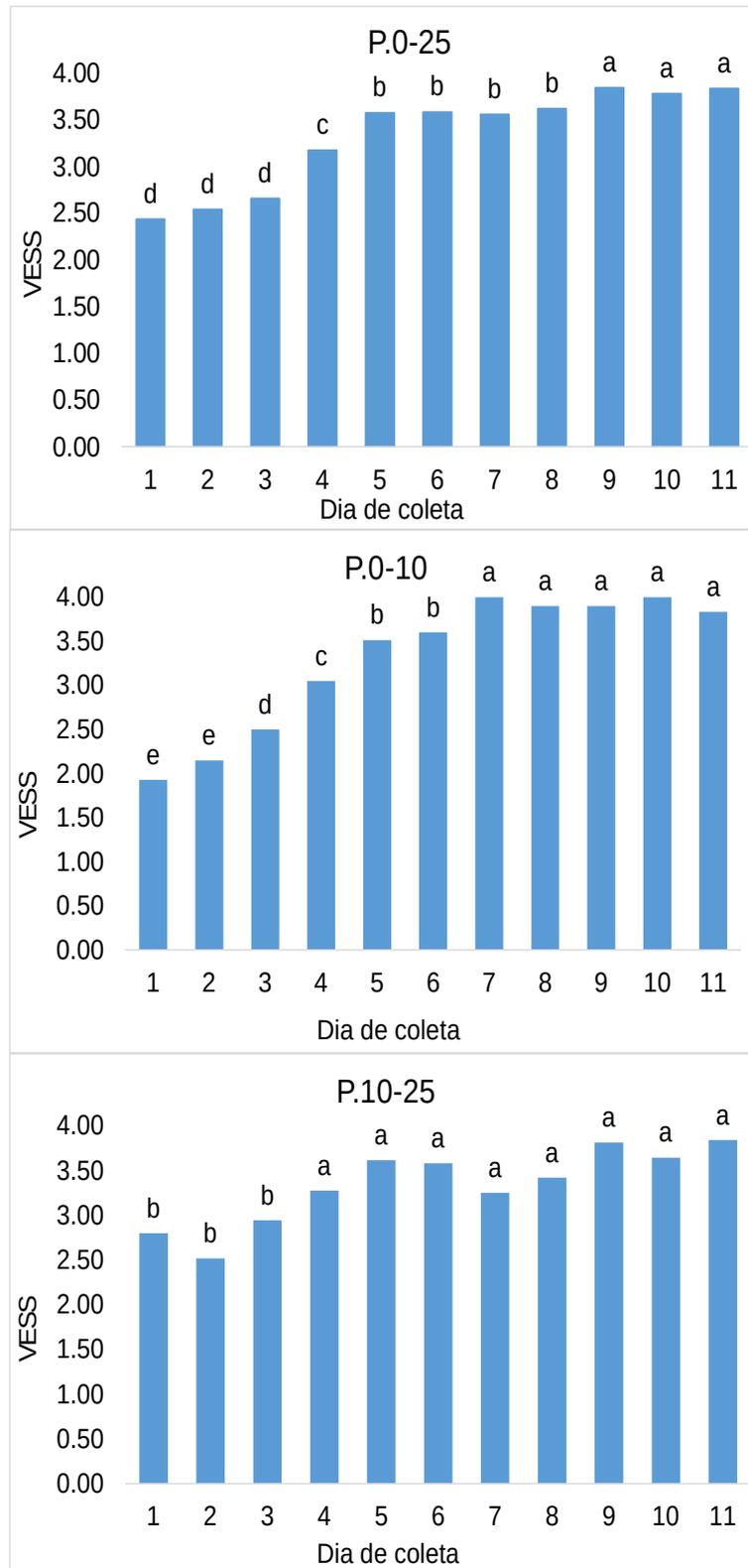
\* Significativo em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott Knott.

Para as três situações avaliadas, os tratamentos apresentaram diferença estatística a 5% de probabilidade do erro. A média se manteve na mesma classe de qualidade estrutural pois as características físicas na área avaliada do solo apresentava-se com baixa heterogeneidade entre as camadas.

Os valores de Qe VESS para cada dia/conteúdo de água amostrada para a média ponderada da amostra (P.0-25), camada de 0-10 cm (P.0-10) e 10 a 25 cm (P.10-25) estão apresentados na Figura 9.

A faixa ótima para a avaliação se encontrou entre o 5º e 8º dia de coleta (Tabela 2), onde os agregados de classificação 4 não romperam mais no teste de mão.

**Figura 9**-Comparação de médias da variável umidade em relação ao VESS, para uma média global do bloco (P.0-25) média ponderada para a profundidade de 0 – 10 cm (P.0-10) e para a profundidade de 10 – 25 cm de profundidade (P.10-15), em um experimento com 11 umidades distintas e 4 repetições. Pato Branco, 2019.



\*Dados não seguidos por mesma letra, diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Skot-Knott, em nível de 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 2** – Resumo da Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS) realizada a cada 24 horas por 11 dias após uma chuva de 60 mm..

Dias (horas) e umidade ( $m^3.m^{-3}$ ) após a chuva de 60 mm	VESS (média global do bloco)	Considerações
1 (24h) 0.473	2,44	Facilidade na extração da amostra; Amostra muito aderida a pá; Dificuldade na percepção de camadas com diferentes Qe; Solo pegajoso e agregados Qe 4 rompiam-se no teste de mão; Agregados 4 confirmados pela redução de agregados necessariamente.
2 (48h) 0,460	2,54	Facilidade na extração da amostra; Amostra muito aderida a pá; Dificuldade na percepção de camadas com diferentes Qe; Solo pegajoso e agregados Qe 4 rompiam-se no teste de mão; Agregados 4 confirmados pela redução de agregados necessariamente.
3 (72h) 0.457	2,66	Facilidade na extração da amostra; Amostra muito aderida a pá; Melhor percepção de camadas com Qe contrastantes; Solo pegajoso e agregados Qe 4 rompiam-se no teste de mão; Agregados 4 confirmados pela redução de agregados necessariamente.
4 (96h) 0.450	3,18	Fácil extração da amostra; Menor aderência da amostra a pá; Melhor percepção de camadas com Qe contrastantes; 70% dos agregados Qe 4 não rompem no teste de mão; Agregados Qe 4 confirmados pela redução de agregados.
5 (120h) 0.447	3,57	Solo mais firme, ponto ótimo de extração da amostra; Amostra com baixa aderência a pá ( $u \leq 2$ cm); Ótima percepção das camadas com Qe contrastantes; Os agregados Qe 4 já não rompem no teste de mão; Redução dos agregados não mais obrigatória.
6 (144h) 0.444	3,59	Solo mais firme, ponto ótimo de extração da amostra; Amostra sem aderência a pá; Os agregados Qe 4 já não rompem no teste de mão; Redução dos agregados não mais obrigatória.
7 (168h) 0.443	3,56	Um pouco de dificuldade para começar abrir a trincheira de acesso; Ótima percepção das camadas com Qe contrastantes.
8 (192h) 0.430	3,62	Um pouco de dificuldade para começar abrir a trincheira de acesso em função da primeira camada estar com umidade muito baixa; Ótima percepção das camadas; Os agregados Qe 4 já não rompem no teste de mão.

9 (216h) 0.411	3,85	Um pouco de dificuldade para a extração da amostra; Perda da parte superior da amostra pela baixa coesão; Dificuldade de revelar os agregados manualmente; Alguns agregados Qe 3 não romperam no teste de mão; Dificuldade em distinguir entre Qe3 e 4. Solo seco, desmoronamento de solo ao cavar a trincheira e retirar a fatia;
10 (240h) 0.397	3,78	Dificuldade de revelar os agregados manualmente; Agregados Qe 3 não rompem mais no teste de mão; Confirmação de Qe3 necessariamente pela redução de agregados. Dificuldade na extração da amostra;
11 (264h) 0.388	3,84	Solo muito seco, perda de amostra; Agregados Qe 3 não rompem mais no teste de mão; Confirmação de Qe3 necessariamente pela redução de agregados; Condição inapropriada para realização do VESS.

O primeiro dia de coleta, 24 horas após o término da precipitação apresentou umidade mais elevada com  $0,47 \text{ m}^3/\text{m}^3$  e medida de potencial mátrico ( $\Psi_m$ ) igual a 69,8 hPa. Esta condição para P.0-25 não diferiu estatisticamente dos dias de coleta 2 e 3, cujos valores de umidade e potencial variaram de  $0,461 \text{ m}^3/\text{m}^3$  e 92,20 hPa;  $0,457 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , 135,20 hPa. Nestas condições, apresentou-se pouca dificuldade em abrir a trincheira para retirada da amostra, com tudo, devido ao alto conteúdo de água, esta se deformava plasticamente ao ser extraída do solo (Figura 10-A), além disso, o solo aderiu-se na pá (Figura 11) dificultando a desagregação da amostra para a avaliação dos agregados, pois ao exercer um pouco de força no intuito de “descolar” a amostra da pá, os agregados deformavam um pouco na região aderida. Outro fator que dificultava a avaliação da estrutura nestas umidades, era a alta pegajosidade e moldabilidade das amostras, complicando a percepção das diferentes camadas. Com isso, apesar de apresentarem características visíveis de solo compactado (Figura 13-A), a avaliação nos três primeiros dias, apresentaram-se solo com agregados frágeis, rompendo com facilidade no teste de mão (Figura 12).

**Figura 10** – Amostras VESS ao logo das coletas (A – 2º dia, B - 5º dia e C - 10º dia de coletas)



**Figura 11** – Aderência do solo da amostra na pá



No quarto dia de amostragem a umidade do solo mostrou-se em  $0,450 \text{ m}^3/\text{m}^3$  e  $\Psi_m$  de  $161,8 \text{ hPa}$ , o solo já apresentava-se menos pegajoso, com baixa aderência da amostra à pá, não interferindo na exposição dos agregados das amostras. A maioria dos agregados  $Q_e 4$ , já não romperam no teste de mão (aproximadamente 70% dos agregados avaliados). Porém, na profundidade de 20 a 25 cm, percebia-se que a umidade era superior ao restante das camadas, interferindo na avaliação das amostras ou camadas com  $Q_e=4$ . Devido a isso, pode-se concluir que, o quarto dia de análise correspondeu a uma transição para o conteúdo de água não adequado para avaliação ao conteúdo ótimo para amostragem.

**Figura 12** – Teste de mão e confirmação da nota do agregado nos primeiros dias de coleta



No dia de coleta 5, a umidade e medida de potencial mátrico ( $0,447 \text{ m}^3/\text{m}^3$  e  $192 \text{ hPa}$ ) foram considerados ótimos para a avaliação. As amostras para análise VESS puderam ainda ser extraídas com facilidade, sem se deformar e também sem perder solo (Figura 12-B). A aderência à pá não interferiu mais na desagregação da amostra, podendo-se visualizar bem as diferentes camadas (Figura 14-B), o que facilitou a avaliação. Os agregados com  $Q_e=4$  não romperam no teste de mão.

**Figura 13** – Amostas VESS desagregadas (A – 2º dia, B – 5º dia e C – 11º dia de avaliação)



Na Figura 9 é possível observar que a umidade e medida de potencial mátrico do quinto dia de coleta não diferiu estatisticamente da umidade do sexto, sétimo e oitavo dia. Contudo, no oitavo dia já se obteve um pouco de dificuldade em começar abrir a trincheira de acesso de retirada da amostra, no entanto, apesar do

solo na parte superficial apresentar-se mais seco, não houve interferência na avaliação das amostras. Contudo, no dia seguinte de avaliação (dia 9), o solo já estava mais seco ( $0,411 \text{ m}^3/\text{m}^3$  e  $262,6 \text{ hPa}$ ), dificultando a extração da amostra, principalmente até uns  $15 \text{ cm}$  de profundidade (Figura 14). Nesta etapa começou-se a perder solo ao retirar as amostras e os agregados começaram a ficar muito grandes (Figura 13-C), sendo que até os agregados Qe 3 começaram a não romper mais no teste de mão.

A umidade e medida de potencial mátrico do nono dia não diferiu estatisticamente da avaliação do décimo e décimo primeiro dia de coleta ( $0,397 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,  $262,6 \text{ hPa}$  e  $0,388 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,  $273,2 \text{ hPa}$ ). Contudo o décimo primeiro dia apresentou-se mais crítico para avaliação, pois neste momento, o solo estava extremamente seco, dificultando muito a abertura da trincheira e a extração das amostras. Nestas condições, houve perda de amostra na parte superior, precisando de ajuda de uma terceira pessoa para segurar a amostra ao retirá-la do solo. Os agregados eram muito grandes, sendo necessário reduzi-lo para realizar a avaliação do teste de mão.

**Figura 14** – Amostra VESS de latossolo solo com baixa umidade



A Figura 9 – P.0-10, mostra uma grande variação na qualidade estrutural dos agregados até o quinto dia de avaliação (onde a umidade começava a se estabilizar). Após o sétimo dia de coleta, a umidade não apresentou diferença significativa na Qe VESS, porém, neste período a parte superficial estava cada vez

mais seca em relação ao restante da amostra. Com isso, os agregados nesta camada apresentaram-se mais firmes, sendo que a partir do nono dia de coleta, até os agregados Qe 3 começaram a não romper no teste de mão (cerca de 40% das amostras avaliadas), recebendo nota 4 para sua qualidade estrutural, correspondendo a uma classificação mais elevada da camada do que em condições de umidade mais elevada no solo.

Já para a camada de 10 a 25 cm de profundidade, a umidade se manteve elevada por mais tempo (Figura 9 – P.10-15), pois, mesmo apresentando uma média de classificação elevada, nesta profundidade encontramos Qe de 2 a 4. Com base nos resultados deste estudo, sugerimos que em Latossolos Vermelhos a avaliação do VESS seja feita a partir de 120 horas até 192 horas depois de uma chuva de no mínimo 50 mm, ou seja, entre o 5 a 8 dia (Tabela 2).

#### 4.3 TESTE DE MÃO EM LABORATÓRIO

Com a avaliação do teste de mão em laboratório foi possível determinar uma faixa de umidade ideal para a avaliação dos agregados Qe 4 em Latossolo Vermelho distroférico típico, sendo na faixa de 0,36 a 0,389 Kg/Kg (Tabela 3). A umidade volumétrica dos agregados pode ser calculada com a densidade média da área de amostragem igual 1,17 Mg/m<sup>3</sup>.

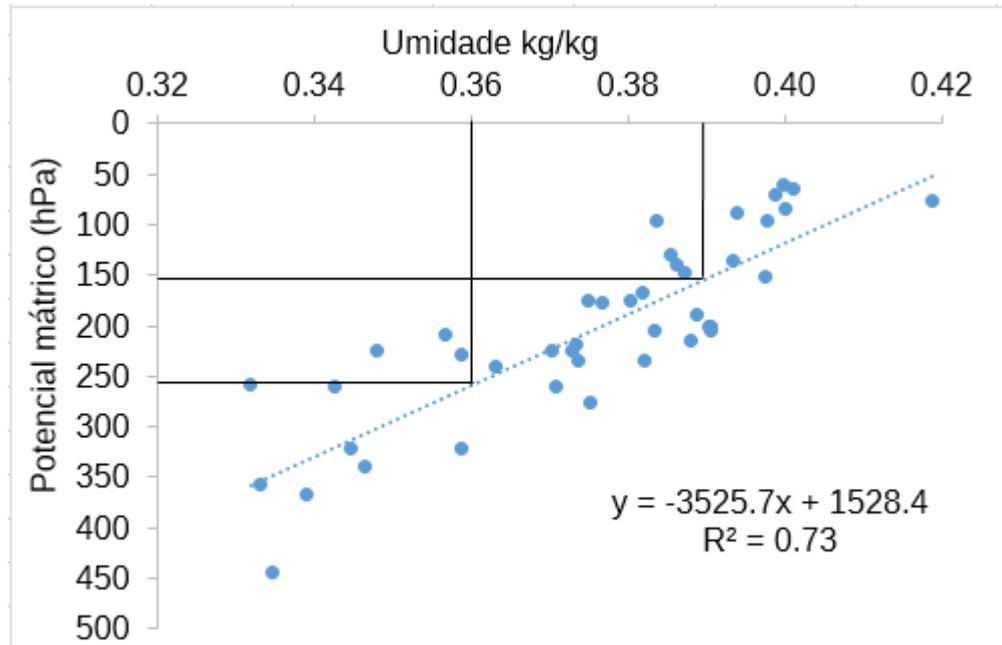
**Tabela 3** – Faixa de umidade adequada para avaliação dos agregados Qe 4

Classificação	Muito úmido	Adequado	Seco
Umidade kg/kg	$u \geq 0,39$	$0,39 > u \geq 0,36$	$u < 0,36$
Umidade m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	$u \geq 0,45$	$0,45 > u \geq 0,43$	$u < 0,43$

Para encontrar a faixa de potencial mátrico adequado para realizar a análise VESS, construiu-se um gráfico de regressão linear da umidade gravimétrica com o potencial mátrico encontrado a campo (Figura 15), onde a relação dos dados apresentou que 73% da variação do potencial mátrico do solo pode ser explicado pela umidade gravimétrica. Com isso, plotou-se a faixa de umidade adequada para a avaliação de agregados Qe = 4 encontradas em laboratório (Tabela 3) até a curva de regressão e o intervalo do potencial mátrico que melhor se adequa para a avaliação do VESS em um Latossolo Vermelho distroférico típico com 81% de argila

é de aproximadamente -150 a -250 hPa.

**Figura 15** – Regressão linear do potencial mátrico e umidade gravimétrica do solo estudado



Ao comparar o experimento 2 e 3, percebe-se que a umidade na faixa ótima de avaliação incluiria o quarto dia de avaliação (0,45 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> – Tabela 3), porém, observa-se que a campo, a umidade não apresenta-se homogeneamente distribuída pelo perfil, sendo mais seguro a avaliação a partir do quinto dia após a chuva de saturação (Tabela 4).

**Tabela 4** – Classificação da Umidade do solo para a Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS) em Latossolos Vermelho.

Classificação para coleta	Muito úmido			Médio	Adequado				Seco		
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º
Dia da coleta	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º
Horas após a chuva de saturação	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264
Umidade em kg/kg	0,405	0,394	0,39	0,385	0,382	0,38	0,379	0,368	0,351	0,34	0,332
Umidade em m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0,473	0,46	0,457	0,45	0,447	0,443	0,442	0,43	0,411	0,396	0,388
Potencial mátrico (hPa)	69,1	93,2	135,2	161,8	192	203,4	217,4	220,4	262	262,6	273,2

Devido à influência da umidade do solo nos agregados, faz-se necessário a redução do agregado para a confirmação de sua real qualidade

estrutural. Com isso, após o teste de mão o agregado deve seguir sendo avaliado, principalmente quando o solo se apresentar com potencial mátrico fora da faixa adequada, fragmentando-o até que fique em um volume de aproximadamente 1 cm<sup>3</sup>.

Durante a fragmentação já é possível verificar a qualidade estrutural do agregado, pois, quando for Qe 3, ao realizar o rompimento de uma parcela do agregado este mesmo se rompe de maneira a deixar o agregado mais arredondado. Já quando o agregado de Qe 4, a fragmentação ocorre de forma angulosa, sem esfarelamento do solo.

Quando o solo estiver muito seco, a fragmentação apresenta-se um pouco mais difícil, isso devido a força de coesão apresentada pelos solos argilosos. Todavia, mesmo o agregado agora mais rígido, ao aplicar força para a fragmentação, se for de classe 3 vai de certa forma romper-se de modo a esfarelar-se, enquanto agregados de classe 4, quebram em partes, de extrema angulosidade.

## 5 CONCLUSÕES

A umidade do solo interfere na avaliação dos agregados Qe 4 em Latossolo Vermelho distroférico típico. O quarto dia de avaliação correspondeu a um período de transição entre o conteúdo de água não adequado para conteúdo de água ótimo para amostragem. Sendo então recomendada a prática do VESS no quinto dia após uma chuva de no mínimo 50mm.

O potencial de água no solo ideal para realizar o VESS está na faixa de -150 a -250 hPa. Faz-se necessário a redução dos agregados, com características de Qe 3 e 4, quando solo avaliado fora desta faixa.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Para melhores conclusões é importante que realize-se mais repetições do experimento da faixa de umidade ótima para VESS e Capacidade de Campo.

## REFERÊNCIAS

- ABDOLLAHI, L.; HANSEN, E. M.; RICKSON, R.J.; MUNKHOLM, L.J.. Overall assessment of soil quality on humid sandy loams: effects of location, rotation and tillage. : Effects of location, rotation and tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 145, p. 29-36, jan. 2015.
- ALMEIDA, Brivaldo Gomes de et al. **Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012.
- AMARO FILHO, J. **Física do solo: conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008.
- ASKARI, M. S.; HOLDEN, N. M. Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. **Geoderma**, v. 230-231, p. 131-142, out. 2014.
- BALL, B.C.; CAMERON, K.C.; DI, H.J.; MOORE, S. Effects of trampling of a wet dairy pasture soil on soil porosity and on mitigation of nitrous oxide emissions by a nitrification inhibitor, dicyandiamide. **Soil Use and Management**. V. 28, p. 194–201. 2012.
- BALL B.C.; DOUGLAS, J. T. A simple procedure for assessing soil structural, rooting and surface conditions. **Soil Use and Management**, v. 19, n. 1, p. 50–56, 2003.
- BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L.J. Field assessment of soil structural quality - a development of the Peerdklamp test. **Soil Use and Management**, v. 23, n. 4, p.329-337, 2007.
- BALL, B. C., BATEY, T., MUNKHOLM, L. J., GUIMARÃES, R. M. L., BOIZARD, H., MCKENZIE, D. C., ... HARGREAVES, P. The numeric visual evaluation of subsoil structure (SubVESS) under agricultural production. **Soil and Tillage Research**, 148, 85–96. 2015.
- BALL, B. C.; GUIMARÃES, R. M. L.; CLOY, J. M.; HARGREAVES, P. R.; SHEPHERD, T. G.; MCKENZIE, B. M. Visual soil evaluation: A summary of some applications and potential developments for agriculture. **Soil and Tillage Research**, v 173, p. 114-124, 2017.
- BRADY, N.C.; WEIL, R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades Dos Solos**. 3. ed. Brasil: Bookman, 2013. 716 p.
- BRAGA, M. B. **Uso da tensiometria no manejo da irrigação** / Marcos Brandão Braga, Marcelo Calgaro. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.
- BRITO, A. dos S. LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O.. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 35, n. 6, p.1939-1948, dez. 2011.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise mineralógica e física do instituto Agrônômico de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1986. 94p. (Boletim técnico, 106).

CHAUDHARI, S. K.; SINGH, R.; KUNDU, D. K.. Rapid Textural Analysis for Saline and Alkaline Soils with Different Physical and Chemical Properties. **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 72, n. 2, p.431-441, mar. 2008.

CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A. L. C.; GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. E. P.; KARLEN, D. L.; CERRI, C. C. Assessing soil structural quality under Brazilian sugarcane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). **Soil and Tillage Research**, v. 173, p.64-74, 2017.

CHERUBIN, M.R.; CHAVARRO-BERMEJO, J.P.; SILVA-OLAYA, A.M. Agroforestry systems improve soil physical quality in northwestern Colombian Amazon. **Agroforest Systems**. p. 1–13. 2018.

CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A. L. C.; GUIMARÃES, R. M.L.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. E.P.; KARLEN, D. L.; CERRI, C. C.. Assessing soil structural quality under Brazilian sugarcane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). **Soil And Tillage Research**, v. 173, p. 64-74, nov. 2017.

DÍAZ-ZORITA, M., PERFECT, E., GROVE, J. Disruptive methods for assessing soil structure. **Soil and Tillage Research**, v. 64, p. 3–22, 2002.

DHIR, R. K.; DE BRITO, J.; MANGABHAI, R.; LYE C. Q.. Use of Copper Slag in Geotechnical Applications. **Sustainable Construction Materials: Copper Slag**, [S.l.], p.211-245, 2017.

DIECKOW, J.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D. B. M.; SALTON, J. C.; MACEDO, M. M.; MIELNICZUK, J.; HERNANI, L. C.. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal Of Soil Science**, [S.l.], v. 60, n. 2, p.240-249, 2009.

EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. **Embrapa Solos**, 3ª ed. Brasília, DF. 2017.

EMMET-BOOTH, J. P.; FORRISTAL, P. D.; FENTON, O.; BALL, B. C.; HOLDEN, N. M. A review of visual soil evaluation techniques for soil structure. **Soil Use and Management**, v. 32, n. 4, p. 623-634, 2016.

FABÍOLA, N.; GIAROLA, B.; PIRES, A.; TORMENA, C. A.; BALL, B.; ROSA, J. A. Visual soil structure quality assessment on Oxisols under no-tillage system Avaliação visual da qualidade da estrutura do solo em Latossolos sob sistema plantio direto. **Scientia Agricola**, p. 479-482, 2010.

FODOR, R.V.; MCKEE, E. H.; ROISENBERG, A. Age distribution of Serra Geral (Paraná) flood basalts, southern Brazil. **Journal Of South American Earth Sciences**, [s.l.], v. 2, n. 4, p.343-349, 1989.

GARDI, C., TOMASELLI, M., PARISI, V., PETRAGLIA, A., SANTINI, C. Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands. **European Journal Of Soil Biology**, v. 38, n. 1, p.103-110, 2002. Disponível em: < [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01111-6](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01111-6)> Acesso em: 09/10/2019.

GAUTRONNEAU, Y.; MANICHON, H. **Guide méthodique du Profil Cultural**. 1987. Disponível em: <http://profilcultural.isara.fr/images/stories/guide.pdf> Acesso em: 23/06/2019.

GIAROLA, N. F. B.; DA SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C. On the Visual Evaluation of Soil Structure: The Brazilian experience in Oxisols under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 60-64, 2013.

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. DA; BALL, B. Método de avaliação visual da qualidade da estrutura aplicado a Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, v. 39, n. 8, p. 2531-2534, 2009.

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A. mprovements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management**. v. 27, n.3, p. 395-403, 2011.

GUIMARÃES, R. M. L.; KELLER, T.; MUNKHOLM, L. J.; LAMANDÉ, M. Visual soil evaluation and soil compaction research. **Soil and Tillage Research**, v. 173, p 1-3, 2017.

GUIMARÃES, R. M. L.; LAMANDÉ, M.; MUNKHOLM, L. J.; BALL, B. C.; KELLER, T. Opportunities and future directions for visual soil evaluation methods in soil structure research. **Soil and Tillage Research**, v.173, p.104–113, 2017b.

GUIMARÃES, R. M. L.; PEREIRA, B. F. F.; SILVA, W. G; *et al.* The merits of the Visual Evaluation of Soil Structure method (VESS) for assessing soil physical quality in the remote, undeveloped regions of the Amazon basin. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 173, p. 75-82, 2017c.

IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná**, 2000. Disponível em: < <http://www.iapar.br/pagina-677> > Acesso em: 16/10/2019.

KIEHL, Edmar José. **Manual de edafologia**: relação solo planta. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1979. 262 p.

KLEIN, Vilson Antonio. **Física do solo**. Passo Fundo: Editora da Universidade de Passo Fundo (UPF), 2014.

KRAEMER, F.B.; SORIA, M.A.; CASTIGLIONI, M.G.; DUVAL, M.; GALANTINI, J.; MORRÁS, H.. Morpho-structural evaluation of various soils subjected to different use intensity under no-tillage. **Soil and Tillage Research**. V. 169, p. 124–137, 2017.

LEOPIZZI, S.; GONDRET, K.; BOIVIN, P.. Spatial variability and sampling requirements of the visual evaluation of soil structure in cropped fields. **Geoderma**, v. 314, p. 58–62, 2018.

LOGSDON, S.D.; SAUER, P.. Improved or unimproved urban areas effect on soil and water quality. **Water**, v. 9, p. 247, 2017.

MALIZIA, J. P.; SHAKOOR, A.. Effect of water content and density on strength and deformation behavior of clay soils. **Engineering Geology**, [S.l.], v. 244, p.125-131, out. 2018.

MARCOLIN, C.D.; KLEIN, V.A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 33, p. 349- 354, 2011.

MCCARTHY, D. F.. **Essentials of soil mechanics and foundations : basic geotechnics**. 7. ed. Estados Unidos da América: Pearson, 842 p., 2014.

MCKENZIE, D. C. . **SOILpak**. USA WB Sanders Company. 3 ed.. NSW Agriculture. 1998. Disponível em: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Hird+ditation#3%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:T+hird+edition#1> Acesso em: 23/06/2019.

MCKENZIE, D. C.. Visual soil examination techniques as part of a soil appraisal framework for farm evaluation in Australia. **Soil and Tillage Research**, 127, 26–33. 2013.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 4 ed. Egon José Meurer, Editor. Porto Alegre: Evangraf, 2010.

MONCADA, M. P.; GABRIELS, D.; LOBO, D.; REY, J. C.; CORNELIS, W. M. Visual field assessment of soil structural quality in tropical soils. **Soil And Tillage Research**, [S.l.], v. 139, p.8-18, jun. 2014.

MUELLER, L., SHEPHERD, G., SCHINDLER, U., BALL, B. C., MUNKHOLM, L. J., HENNINGS, V., ... HU, C. Evaluation of soil structure in the framework of an overall soil quality rating. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 74–84, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.03.002>

MUNKHOLM, Lars Juhl. Soil friability: A review of the concept, assessment and effects of soil properties and management. **Geoderma**, v. 167: p. 236-246, 2011.

PEDROTTI, A.; MÉLLO JR, A. V. **Avanços em ciência do solo: A Física do Solo na Produção Agrícola e Qualidade Ambiental**. A. Pedrotti; A. V. Mélló Jr, Eds. São Cristóvão. Editora UFS, Aracaju: Fapitec, 2009, 212p..

PINTO, C. De S. **Curso Básico de Mecânica do solo: Em 16 Aulas**. 3. ed. Carlos de Souza Pinto. São Paulo Oficina de Textos, 2006.

RABOT, E., WIESMEIER, M., SCHLÜTER, S., VOGEL, H.J. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, v. 314, p. 122–137, 2018.

RAI, R. K., SINGH, V. P., & UPADHYAY, A. . Soil Analysis. In: **Planning and Evaluation of Irrigation Projects**, p. 505–523. 2017.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: RFoundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 29 Jan. 2020.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C.. **Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. 2 Ed. Manole. p. 524, 2012.

SHEPHERD, G. **Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country**, 1 Visual soil assessment, 2000. Disponível em: [https://www.landcareresearch.co.nz/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0011/28676/VSA\\_Volume1\\_smaller.pdf](https://www.landcareresearch.co.nz/__data/assets/pdf_file/0011/28676/VSA_Volume1_smaller.pdf) Acesso em: 23/06/2019

SHEPHERD, G., STAGNARI, F., PISANTE, M., BENITES, J.. **Visual soil assessment**. Rome: Bioagrinomics; University of Teramo; FAO. 2008.

SUGIHARA, S.; FUNAKAWA, S.; KILASARA, M.; KOSAKI, T.. Effect of land management and soil texture on seasonal variations in soil microbial biomass in dry tropical agroecosystems in Tanzania. **Applied Soil Ecology**, [S.l.], v. 44, n. 1, p.80-88, jan. 2010.

TORMENA, C.A.; KARLEN, D.L.; LOGSDON, S.; CHERUBIN, M.R. Visual soil structure effects of tillage and corn stover harvest in Iowa. **Soil Scienc Society of America Journal**. V. 80, p. 720–726, 2017.

TUCHTENHAGEN, I.K.; DE LIMA, C.L.R.; BAMBERG, A.L.; GUIMARÃES, R.M.L.; PULIDO MONCADA, M. Visual evaluation of the soil structure under different management systems in lowlands in southern Brazil. **Revista Brasileira em Ciência do Solo**, v. 42, p. 1–13, 2018.

VAN LIER, Q. de JONG. **Física do solo**. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 298. 2010.

VEPRASKAS, M. J.. Cone Index of Loamy Sands as Influenced by Pore Size Distribution and Effective Stress. **Soil Science Society Of America Journal**, [S.l.], v. 48, n. 6, p.1220-1225, nov. 1984.

YONG, R. N.; NAKANO, M.; PUSCH, R.. **Environmental Soil Properties and Behaviour**. Londres e Nova York: CRC Press, 2012.

ZONTA, João Henrique et al. **Manejo da Irrigação do Algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa, 2016.