

Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo - DRES



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Documentos 390

Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo - DRES

*Ricardo Ralisch
Henrique Debiasi
Julio Cezar Franchini
Michely Tomazi
Luís Carlos Hernani
Adoildo da Silva Melo
Anderson Santi
Alba Leonor da Silva Martins
Fabiano Daniel de Bona*

Embrapa Soja
Londrina, PR
2017

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja

Rodovia Carlos João Strass, acesso Orlando Amaral, Distrito de Warta

Caixa Postal 231, CEP 86001-970, Londrina, PR

Fone: (43) 3371 6000

Fax: (43) 3371 6100

www.embrapa.br/soja

<https://www.embrapa.br/fale-conosco>

Comitê de Publicações da Embrapa Soja

Presidente: *Ricardo Vilela Abdelnoor*

Secretária-Executiva: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Membros: *Alvadi Antonio Balbinot Junior, Claudine Dinali Santos Seixas, Fernando Augusto Henning, José Marcos Gontijo Mandarin, Liliane Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina Neves de Oliveira, Norman Neumaier e Osmar Conte.*

Supervisão editorial: *Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol*

Normalização bibliográfica: *Ademir Benedito Alves de Lima*

Editoração eletrônica: *Marisa Yuri Horikawa*

Capa: *Marisa Yuri Horikawa*

Fotos da capa: *Adoildo da Silva Melo*

1ª edição

PDF digitalizado (2017)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Soja

Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo – DRES [recurso eletrônico]: / Ricardo

Ralisch... [et al]. – Londrina: Embrapa Soja, 2017.

64 p. il. – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937 ; 390).

1.Análise do solo. 2.Fertilidade solo. I.Ralisch, Ricardo. II.Debiasi, Henrique. III. Franchini, Júlio Cezar. IV.Tomazi, Michely. V.Hernani, Luis Carlos. VI.Melo, Adoildo da Silva. VII.Santi, Anderson. VIII.Martins, Alba Leonor da Silva. IX.Bona, Fabiano Daniel de. X.Título. XI.Série

CDD 631.42 (21.ed.)

© Embrapa 2017

Autores

Ricardo Ralisch

Engenheiro Agrônomo, Dr. em Energia na
Agricultura

Professor da Universidade Estadual de Londrina
Londrina, PR

Henrique Debiasi

Engenheiro Agrônomo, Dr. em Ciência do Solo
Pesquisador da Embrapa Soja

Londrina, PR

Julio Cezar Franchini

Engenheiro Agrônomo, Dr. em Ciências
Pesquisador da Embrapa Soja

Londrina, PR

Michely Tomazi

Engenheira Agrônoma, Dra. em Ciência do Solo
Pesquisadora da Embrapa Agropecuária Oeste

Dourados, MS

Luís Carlos Hernani

Engenheiro Agrônomo, Dr. em Solos e Nutrição de Plantas

Pesquisador da Embrapa Solos

Rio de Janeiro, RJ

Adoildo da Silva Melo

Engenheiro Agrônomo, Técnico, Embrapa Solos

Rio de Janeiro, RJ

Anderson Santi

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia

Pesquisador da Embrapa Trigo

Passo Fundo, RS

Alba Leonor da Silva Martins

Engenheira Agrônoma, Dra. em Ciência do Solo

Pesquisadora da Embrapa Solos

Rio de Janeiro, RJ

Fabiano Daniel de Bona

Engenheiro Agrônomo, Dr. em Solos e Nutrição de Plantas

Pesquisador da Embrapa Trigo

Passo Fundo, RS

Apresentação

Nas últimas décadas, o Brasil se consolidou como grande potência agrícola mundial. Considerando apenas as principais *commodities* de grãos (soja, milho, trigo e arroz), a produção brasileira alcançou aproximadamente 180 milhões de toneladas em quase 54 milhões de ha na safra 2015/2016, o que tornou o país o 4º maior produtor e 2º maior exportador mundial de grãos. No âmbito interno, as diferentes cadeias produtivas do agronegócio brasileiro respondem por cerca de 20% do produto interno bruto (PIB) e 45% das exportações, sendo ainda determinantes para o superávit de quase US\$ 48 bilhões da balança comercial brasileira em 2016.

A manutenção do protagonismo do agronegócio brasileiro no cenário mundial, assim como da importância deste setor para a economia do país, exige a redução dos impactos ambientais associados à agropecuária e o aumento da eficiência de utilização dos insumos e recursos do ambiente necessários à produção agrícola, sobretudo nutrientes e água. Para atingir esse objetivo, é fundamental a adoção de tecnologias que melhorem a fertilidade integral do solo, aqui reconhecida e entendida segundo a complexidade e interações de suas características químicas, físicas e biológicas. Nesse contexto, a estrutura do solo é componente chave da fertilidade integral, por influenciar direta e indiretamente o comportamento físico, químico e biológico do solo e, dessa forma, a sua capacidade de sustentar a produtividade agrícola mantendo a qualidade do ambiente e promovendo a saúde de plantas e animais.

O primeiro passo para a adoção de práticas de manejo que melhorem a qualidade estrutural do solo, em sistemas de produção agropecuários, envolve a correta avaliação da mesma. No entanto, a estrutura do solo tem sido avaliada por meio de métodos quantitativos que, além de não a caracterizarem diretamente, são de difícil aplicação e interpretação em condições de campo. Diante disso, a Universidade Estadual de Londrina (UEL) e a Embrapa, apoiadas por diversas outras instituições, desenvolveram um método de avaliação visual da estrutura da camada superficial do solo, denominado “Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo - DRES”, apresentado e descrito em detalhes nesta publicação.

O DRES possibilita a técnicos e produtores rurais, rápido e fácil reconhecimento dos efeitos dos diferentes sistemas de produção nas condições estruturais do solo. Auxilia no processo de tomada de decisão em relação às ações de correção ou melhoria da qualidade do manejo do solo de áreas agrícolas, com ênfase para aquelas cultivadas em Sistema Plantio Direto (SPD). Em longo prazo, esta metodologia auxiliará na identificação dos manejos mais adequados para as diferentes situações e poderá ser empregada para identificar as práticas e os agricultores de melhor desempenho na tarefa de conservar solo e água, estabelecendo parâmetros para seu reconhecimento e futura certificação.

O DRES constitui-se em um dos produtos do Convênio de Cooperação Técnica-Científica e Financeira, firmado entre a Itaipu Binacional, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa e a Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica - Fundação Eliseu Alves, cujos objetivos são “desenvolver e validar, de forma participativa, ferramentas para avaliar o desempenho técnico e contribuir para o processo de qualificação contínua do uso das terras e manejo do solo e da água, no âmbito de propriedades agrícolas e de microbacias, sob Sistema Plantio Direto, em contextos do agronegócio brasileiro”.

Acreditamos que o DRES contribuirá efetivamente para o aprimoramento do manejo do solo empregado nos sistemas de produção agropecuários em todas as regiões brasileiras, otimizando a utilização dos recursos naturais e proporcionando a conservação do ambiente.

Ricardo Vilela Abdelnoor

Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Soja

Sumário

Introdução	9
Objetivo	13
O Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo - DRES	14
Materiais	16
Procedimentos para amostragem	16
Delimitação da área.....	16
Número de amostras	17
Época de avaliação.....	17
Coleta da amostra de solo	19
Preparo e manipulação da amostra de solo	23
Identificação e delimitação de camadas de solo.....	26
Atribuição de notas de qualidade estrutural	27
Critério 1 - Evidências de degradação ou conservação da estrutura do solo	28
Critério 2 - Classes de tamanho de agregados.....	36
Atribuição de notas	43
Determinação da qualidade estrutural do solo na amostra avaliada (IQEA)	53
Índice de qualidade estrutural do solo (IQES) na gleba avaliada	56
Interpretação do índice de qualidade estrutural do solo (IQES).....	56
Considerações finais	58
Agradecimentos	59
Referências	60
Anexo I	63

Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo - DRES

Ricardo Ralisch

Henrique Debiasi

Julio Cezar Franchini

Michely Tomazi

Luís Carlos Hernani

Adoildo da Silva Melo

Anderson Santi

Alba Leonor da Silva Martins

Fabiano Daniel de Bona

Introdução

A estrutura do solo é a forma como as partículas minerais (areia, silte e argila) e orgânicas do solo estão organizadas no espaço (DEXTER, 1988). Conceitualmente, estrutura se refere ao padrão de arranjo das partículas primárias em unidades estruturais, os agregados, os quais são separados entre si por superfícies de fraqueza, ou apenas superpostos e sem conformação definida (SANTOS et al., 2013). Nos agregados, as partículas estão ligadas por substâncias orgânicas e/ou minerais, como carbonatos, óxidos de ferro, de alumínio, entre outras. Em termos agronômicos, a estrutura do solo é resultante do arranjo dos agregados, os quais são fundamentais para a fertilidade do solo e extremamente vulneráveis ao manejo (técnicas e práticas agrícolas, incluindo a biodiversidade do sistema produtivo).

De acordo com Muller et al. (2009), a estrutura do solo é a chave para os processos biológicos, físicos e químicos e está relacionada às funções ecossistêmicas exercidas por este recurso natural. A estrutura é influenciada diretamente pela biologia do solo, sendo fator determinante da qualidade e do equilíbrio da biodiversidade do solo. Portanto, agregação de boa qualidade traz efeitos positivos e benéficos às propriedades do solo e ao desenvolvimento das plantas; por outro lado,

quando as partículas se encontram dispersas, desagregadas ou muito coesas, os resultados são muito adversos à qualidade do solo e à atividade agrícola.

Por influenciar a capacidade de troca de íons, a aeração, a infiltração e disponibilidade de água, a atividade biológica, determinar a qualidade do manejo e sua relação com a gestão do ambiente, definir o potencial de produção vegetal e o desempenho econômico dos sistemas agrícolas, a estrutura é um dos atributos mais importantes a ser estudado e monitorado nas avaliações de manejo do solo e dos sistemas de produção agropecuários.

Também é a estrutura do solo que expressa mais direta e claramente os principais impactos da antropização, cujas as ações de origem física (mecânica), química e biológica afetam o processo dinâmico de sua construção ou degradação, por interferir diretamente na atividade biológica e, conseqüentemente, na fertilidade e capacidade produtiva do solo. Os demais efeitos nas propriedades químicas e físicas do solo também decorrem, em grande parte, das alterações sofridas pela estrutura do solo.

O manejo conservacionista visa preservar e/ou, na medida do possível, melhorar a estrutura natural do solo. Na maior parte das vezes, porém, isto não é alcançado pelos sistemas de manejo comumente conduzidos na prática. Por meio de boas práticas agrícolas, busca-se obter a estrutura possível e desejável, que proporcione ao solo as condições necessárias para que este exerça suas funções de forma análoga ou muito semelhante à da sua condição natural. Tais funções são: a) proporcionar o crescimento das plantas e suas raízes; b) regular o fluxo de água no ambiente, funcionando como um tampão ambiental; atuar na formação, atenuação e degradação de compostos naturais; c) permitir máxima infiltração da água das chuvas, e assim alimentar os mananciais subterrâneos, a biosfera e a atmosfera; d) reter parte dessa água para disponibilizá-la às plantas e demais organismos vivos no solo; e) propiciar as trocas gasosas essenciais para a adequada respiração da micro, meso e macrofauna e das raízes das plantas; e f)

favorecer a decomposição do material orgânico, a reciclagem e a mineralização de nutrientes e o aporte e a formação da matéria orgânica no solo, equilibrando a relação dos teores de carbono do solo com os da atmosfera. Além disso, a estrutura do solo deve conferir características de resistência e resiliência (capacidade de recuperação) em resposta a forças externas decorrentes de fatores como precipitação, tráfego de máquinas e equipamentos, pisoteio, entre outros.

Não há, em face das limitações envolvidas, metodologia analítica quantitativa que seja totalmente aceitável para avaliar a estrutura do solo. Os métodos existentes determinam de forma indireta os efeitos das alterações na estrutura do solo, mas não a caracterizam propriamente. Portanto, habituou-se a avaliar e analisar os efeitos das alterações estruturais do solo promovidas pelas práticas agrícolas. Isto traz uma dificuldade suplementar para a compreensão da relação de causa e efeito quanto ao manejo do solo e torna as análises quantitativas simplistas ou até impróprias para representar as relações solo-planta-atmosfera induzidas por esse importante atributo do solo.

Na análise pedológica de perfis de solo, a estrutura pode ser caracterizada visualmente, a olho nu, de acordo com o grau de desenvolvimento ou a facilidade com que os agregados são quebrados/rompidos, com a forma, tipo e o tamanho da estrutura. Segundo o IBGE (2015), conforme o arranjo das partículas, a estrutura do solo pode ser caracterizada por: a) partículas individualizadas, sem agregação de qualquer espécie ou, simplesmente, estrutura de grãos simples; b) partículas combinadas ou interligadas, mas sem formar agregados de qualquer espécie - estrutura tipo maciça; e c) partículas interligadas formando agregados de vários tipos e tamanhos. Nesse texto alguns desses conceitos são usados para auxiliar a expressar o comportamento de diferentes conformações estruturais e seus efeitos ambientais.

Os métodos convencionais para a medição das propriedades e da qualidade do solo exigem variados conhecimentos metodológicos, infraestrutura de recursos (equipamentos e laboratórios), e considerável tempo e dinheiro (GUIMARÃES et al., 2011). Por conseguinte, pro-

mover a construção de um método para avaliar a qualidade estrutural do solo, que seja viável, rápido e sensível às alterações induzidas pelo manejo, é uma necessidade premente, de grande utilidade no âmbito científico e na qualificação da gestão do solo na propriedade rural.

Métodos visuais objetivos e reproduzíveis de diagnóstico da qualidade do solo com base em avaliações e medições de campo têm sido desenvolvidos e variam desde facilmente compreensíveis, às mais complexas avaliações. Apesar de subjetivos, tais métodos permitem obter informações relevantes para o monitoramento das práticas agrícolas e dos sistemas de produção. Constituem excelentes ferramentas para auxiliar no processo de transferência de tecnologias relacionadas aos impactos do manejo sobre a qualidade do solo. Diagnosticando as relações de causa e efeito, possibilitam ainda a identificação e definição de estratégias a serem adotadas em um sistema de produção agropecuário para melhoria da qualidade estrutural e, portanto, da fertilidade do solo.

Entre os métodos de avaliação visual da estrutura do solo no campo, citam-se os de Peerlkamp (1967) e de Hénin et al. (1960). Também são relevantes os trabalhos de Gautronneau e Manichon (1987), Werner e Thiemert (1989), Tavares Filho et al. (1999), Diez e Weigelt (1997), Shepherd (2000), Ball e Douglas (2003), Ball et al. (2007), Mueller et al. (2007), Giarola et al. (2009, 2010) e Guimarães et al. (2011).

Vários desses métodos focam na descrição dos agregados superficiais e na abundância de poros biológicos, alguns são muito detalhados mas não permitem avaliação estatística devido ao alto consumo de tempo ou difícil replicação, ou ainda, ao fornecer dados categóricos ou nominais, dificultam o julgamento completo da qualidade do solo (MULLER et al., 2009). Não obstante, permitem, em maior ou menor grau, que o usuário adeque a metodologia aos objetivos da avaliação.

Entre os métodos de avaliação visual da estrutura do solo mais aceitos, o de Peerlkamp (1967) necessita de uma trincheira ampla e profunda, o que dificulta sua aplicação em larga escala. O Perfil Cultural de Hénin et

al. (1960) se fundamenta na morfologia do solo, considera a avaliação de raízes, delimitando os volumes antropizados tanto em profundidade como lateralmente, incorporando a proposta de avaliar os efeitos das operações agrícolas, mas também exige abertura de trincheira ampla e profunda. Gautronneau e Manichon (1987) ampliaram o emprego do Perfil Cultural, sistematizando a nomenclatura e definindo critérios de avaliação e interpretação das estruturas antrópicas, mediante um guia metodológico. Tavares Filho et al. (1999) adaptaram os critérios e nomenclatura do Perfil Cultural para solos tropicais. A Avaliação da Qualidade do Solo (MSQR), desenvolvida por Mueller et al. (2007), apresenta índices definidos visualmente com base no clima, topografia, estrutura e textura do solo. O VSA (*Visual Soil Assessment*), desenvolvido por Shepherd (2000), adotado pela FAO (FAO, 2017), permite caracterizar quantitativamente grandes áreas da paisagem, porém exige complemento de medições laboratoriais. O VESS (*Visual Evaluation of Soil Structure*), descrito por Ball et al. (2007), foi proposto para avaliar a qualidade física do solo de forma rápida, confiável e sensível aos efeitos do manejo. No Brasil, o método VESS vem sendo usado desde 2008, para avaliar a qualidade da estrutura dos solos sob diferentes sistemas de uso e gestão (GIAROLA et al., 2009, 2010; GUIMARÃES et al., 2011). Porém, este método não reconhece como um problema e como uma degradação da estrutura, a condição de solo desagregado, fato comum em situações com intenso revolvimento.

Objetivo

O objetivo deste documento é descrever um método de campo para avaliar a qualidade estrutural do solo, de execução simples e rápida, com mínima intervenção no local e de fácil entendimento e adoção pelos usuários, totalmente adaptável às condições tropicais e subtropicais.

O Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo - DRES

O DRES é um método para qualificar a estrutura da camada superficial do solo, baseado em características detectadas visualmente em amostras dos primeiros 25 cm. As avaliações nas amostras constam da observação de tamanho e forma dos agregados e torrões, presença ou não de feições de compactação ou outra modalidade de degradação do solo, forma e orientação das fissurações, rugosidade das faces de ruptura, resistência à ruptura, distribuição e aspecto do sistema radicular, e evidências de atividade biológica. A partir desses critérios, atribui-se uma pontuação de 1 a 6, onde "6" é indicativo de melhor condição estrutural, e "1" representa o solo totalmente degradado. Ressalta-se, entretanto, que solos como os Neossolos Quartzarênicos naturalmente não têm agregados ou os têm fracos e poucos.

O DRES foi desenvolvido com base em procedimentos adotados em outras técnicas, como o VESS (GUIMARÃES et al., 2011) e o Método do Perfil Cultural (TAVARES FILHO et al., 1999), com intuito de ser de fácil aplicabilidade, possibilitar o monitoramento espacial e temporal e a comparação de áreas com diferentes situações de manejo, bem como verificar os efeitos deste manejo na construção ou degradação da estrutura do solo.

Trata-se de abordagem distinta do VESS, pois além das evidências de compactação comumente observadas na amostra, o DRES considera, também, outros efeitos dos processos de degradação, como predomínio de estruturas desagregadas, associadas à compactação e à erosão, bem como as evidências de recuperação da estrutura do solo. O DRES considera ainda, como evidência suplementar para a qualificação da amostra, as feições visuais de degradação do solo no entorno da área amostrada. Ressalta-se, ainda, que a construção dos conceitos adotados no DRES fundamentou-se, especialmente, nos parâmetros de qualidade estrutural constatados pela ampla gama de avaliações realizadas com a metodologia do Perfil Cultural (TAVARES FILHO et al.,

1999), que bem se adequa à avaliação dos solos tropicais, definindo manejos adequados e, portanto, podendo orientar a adoção de sistemas de produção conservacionistas, conforme evidenciado por Baquero et al. (2012).

Tal procedimento é de execução rápida, pois para ser aplicado necessita de pequena intervenção, mediante abertura de minitrincheira para avaliar os 25 cm superficiais do solo, camada comumente modificada pelo manejo.

Cabe ressaltar que o DRES incorpora, em sua concepção, aspectos práticos como facilidade de entendimento e de aplicação, o que permite a adoção tanto por técnicos, quanto por produtores, além de poder ser utilizado no âmbito acadêmico. Constitui-se ainda em excelente ferramenta de transferência de tecnologias voltadas ao manejo do solo, na medida que proporciona aos interessados adequada percepção da qualidade estrutural do solo, a interpretação da relação entre o manejo adotado e a resposta obtida no campo, e o entendimento de que os resultados são comparáveis mesmo para diferentes situações de campo analisadas. Com isso, pode-se avaliar a resposta de um mesmo solo a diferentes formas de manejo, de um mesmo manejo ao longo do tempo, ou efeitos imediatos de práticas agrícolas e como esses efeitos evoluem no tempo. Portanto, esta ferramenta proporciona a identificação de áreas ou situações que mereçam estudos mais aprofundados ou ações de readequação do manejo.

Materiais

- Enxada;
- Pá de corte (pá reta);
- Bandeja plástica (25 cm de largura x 50 cm de comprimento x 15 cm de altura);
- Canivete e/ou faca, para auxílio na manipulação das amostras;
- Régua de 30 cm para medição da espessura das camadas;
- Três separadores de camadas com dimensões do comprimento da bandeja, para isolar as camadas identificadas na amostra, quando houver;
- Prancheta, formulários (a exemplo do Anexo 1), lápis e borracha, para anotação dos resultados;
- Lupa pequena, para melhor identificar feições de degradação ou conservação (opcional);
- Máquina fotográfica (opcional);
- Receptor GPS para marcação dos locais de amostragem (opcional);
- Etiquetas adesivas e canetas para retroprojektor, para identificar as amostras antes da obtenção da fotografia (opcional).

Procedimentos para amostragem

Delimitação da área

Antes da avaliação, deve-se identificar, no empreendimento rural, glebas ou regiões homogêneas com no máximo 100 ha, estabelecidas de acordo com os critérios a seguir:

- Histórico do manejo de, no mínimo, os últimos três anos, considerando, entre outros fatores: utilização ou não de preparo do solo (aração, gradagem, escarificação, subsolagem), sequência de culturas, práticas vegetativas e mecânicas de conservação do solo, adubação e produtividade das culturas;
- Estádio de desenvolvimento da cultura (se houver);
- Variabilidade na textura do solo;
- Em áreas com declividade perceptível (igual ou maior que 3%), dividir a encosta em terços: superior (topo), médio e inferior (baixada);
- Classe de solo (se for possível identificar).

Número de amostras

Mesmo dentro de regiões homogêneas, definidas conforme os critérios anteriores, a variabilidade espacial da estrutura do solo existe e deve ser considerada. Assim, é fundamental atentar para a representatividade da amostragem, avaliando-se um número mínimo de pontos capaz de representar tal variabilidade. Como referência, sugere-se um número mínimo de pontos por gleba homogênea, definido conforme o tamanho da mesma:

- Até 10 ha: 3 a 5;
- De 11 a 50 ha: 6 a 10;
- De 51 a 100 ha: 11 a 15 pontos de amostragem.

Época de avaliação

A época de avaliação influencia os resultados do DRES, pois as operações de manejo do solo, bem como a presença e o estágio de desenvolvimento das culturas, são fatores chave que interferem diretamente nos critérios observados para atribuição das notas de qualidade estrutural no DRES. A distribuição e a morfologia das raízes presentes na amostra constituem-se em dois dos principais aspectos a serem observados na atribuição das notas de qualidade estrutural no DRES, sendo características que possuem forte dependência da época de avaliação. A quantidade de raízes presentes no solo, em maior ou menor grau, está associada ao tempo decorrido entre a realização de práticas de manejo e operações agrícolas (preparo do solo, colheita, dessecação, semeadura, aplicação de fertilizantes, entre outras) e a avaliação propriamente dita, o que deverá refletir em alterações importantes na qualidade estrutural do solo.

A umidade do solo é outro fator crítico a ser considerado na definição do momento da avaliação. O teor de água no solo pode facilitar ou não o esboroamento e a manipulação da amostra e, em consequência, interferir no resultado da avaliação. Recomenda-se, portanto, que o solo esteja o mais próximo possível da consistência friável, evitando-se condições de solo tendendo a duro (seco) ou a plástico (muito úmido). De forma prática, deve-se evitar períodos muito úmidos ou de estiagem.

Para fins de praticidade, quando o solo estiver muito seco, tem-se como alternativa “irrigar”, antes da abertura da minitrincheira, uma área de 1 m², com 30 L (30 L/m² ou 30 mm), e aguardar cerca de 24 horas (solos de textura arenosa) a 48 horas (solos muito argilosos), para que haja a uniformização da frente de molhamento e a camada a ser amostrada atinja condição de umidade próxima à ideal.

Em sistemas de produção agrícola com o cultivo de culturas anuais (soja, trigo, milho, espécies vegetais para cobertura do solo, entre outras), quando o objetivo for o monitoramento dos efeitos das práticas de manejo adotadas, no médio e longo prazos, sugere-se fixar uma época em relação às operações de manejo, que pode ser: imediatamente antes da semeadura ou imediatamente após a colheita das culturas. Isto garante que as condições sejam semelhantes quanto à presença das culturas e a fase de condução do sistema de produção. Para comparações entre diferentes locais, seguir a mesma recomendação. Por outro lado, quando se pretende avaliar o efeito de uma operação específica (ex. semeadura), é importante coletar imediatamente antes e após a execução dessa ação.

É importante também estabelecer uma época do ano, para realizar essa avaliação, quando houver interesse em se comparar, ao longo do tempo, a qualidade estrutural do solo em áreas com culturas anuais e perenes, como pastagens.

Em caso de áreas experimentais, com vários sistemas de produção, é interessante que as avaliações em culturas perenes coincidam com as realizadas nos sistemas com culturas anuais, uma vez que estas apresentam maiores variações durante o ano.

O DRES pode ser considerado um aliado importante na avaliação da evolução da estrutura do solo, um dos atributos mais facilmente alterados e que melhor refletem a qualidade do solo e do manejo adotado. Dessa forma, é recomendável que este método seja repetido sistematicamente no decorrer do tempo, nas mesmas áreas e em condições semelhantes (época, cultura, umidade do solo, entre outras), para que

se tenha adequado acompanhamento do resultado de ações corretivas previamente aplicadas, ou simplesmente para monitorar a situação da qualidade estrutural do solo no intuito de realizar ajustes quando necessários.

Coleta da amostra de solo

A coleta de solo deve ser realizada em locais representativos da área a ser avaliada, seguindo-se os mesmos cuidados utilizados na amostragem de solo para avaliação de outros atributos (como a química de solo). Para tanto, deve-se evitar linhas de tráfego, trilhas, locais de concentração de animais, terraços, sulcos de erosão, cupinzeiros, formigueiros, pontos de acúmulo de material orgânico, fertilizantes ou corretivos, entre outros. Tais cuidados podem ser parcialmente desprezados se o objetivo for avaliar exatamente o efeito dessas condições ou situações específicas na qualidade estrutural do solo, como do tráfego e da mobilização mecânica por ferramenta de preparo (por exemplo, hastes de semeadoras ou escarificadores).

A coleta da amostra (bloco de solo) é uma operação crítica, pois é necessário manter o bloco de solo inteiro, preservando-se a estrutura o mais próximo da condição original do solo a campo. Inicia-se com a retirada cuidadosa da cobertura vegetal existente sobre o solo, cortando e retirando a vegetação viva e os demais resíduos vegetais da superfície. Evite arrancar as plantas, pois a retirada das raízes promove a desestruturação e desagregação do solo.

Em seguida, com o auxílio de enxadão e pá de corte reta, abre-se uma minitrincheira de 40 cm de comprimento, 30 cm de largura e 30 cm de profundidade, no sentido transversal às operações agrícolas (Figuras 1 e 2). A remoção do solo deve ser realizada conforme indicação das setas azuis na Figura 1, ou seja, perpendicular às linhas de cultivo. A superfície das duas paredes de maior comprimento e de interesse para a avaliação da minitrincheira devem permanecer intactas, sem espelhamento ou deformação pela ação do enxadão ou pá.

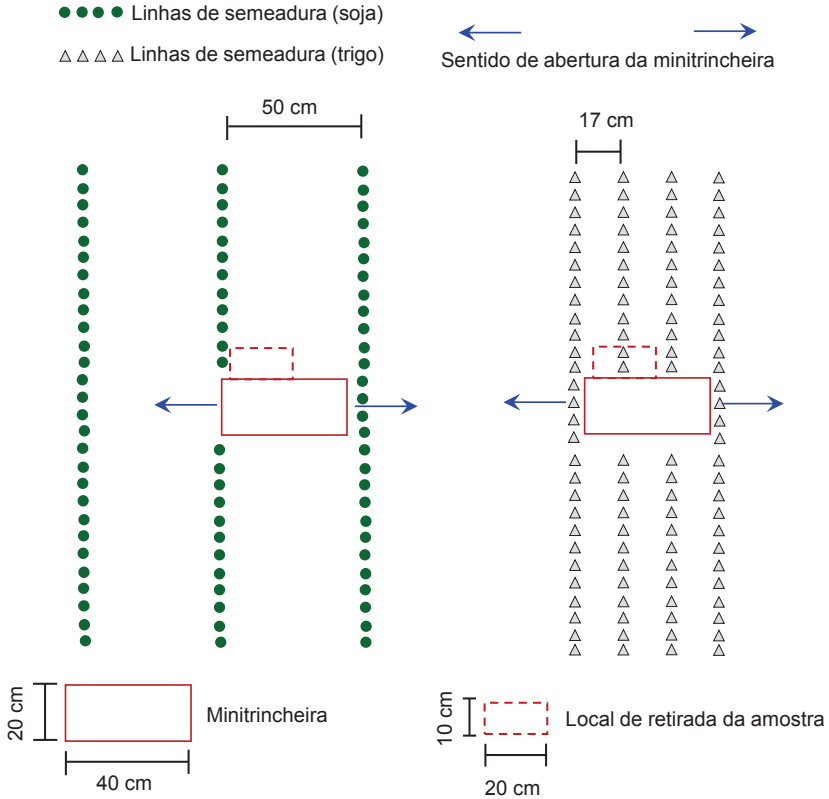


Figura 1. Esquema ilustrando o posicionamento da minitrincheira e do local de retirada do bloco de solo em relação às linhas de semeadura, em um exemplo com as culturas de soja e trigo.

Após a abertura da minitrincheira, pode ser feito um reconhecimento das condições da parede na qual será retirada a amostra, observando-se a ocorrência de variações de cor e de resistência ao toque da ponta da faca ou canivete, fatores que podem indicar mudanças bruscas no teor de matéria orgânica (MO) ou, no segundo caso, indícios de compactação do solo. Essa avaliação inicial também poderá auxiliar na identificação de camadas homogêneas que, posteriormente, serão separadas com a manipulação da amostra.

Nos cultivos em linha, o bloco de solo deve ser coletado a partir da lateral da minitrincheira e perpendicular à linha de semeadura da cultura anterior (sem incluí-la), em direção à entrelinha (Figura 1). No caso de culturas com espaçamento menor que 20 cm, a inclusão de uma linha no bloco amostrado será inevitável. Neste caso, o bloco deve ser retirado de uma posição que englobe o menor número de linhas possível. Em áreas de pastagem, evitar retirar amostra sob touceiras de gramíneas, podendo-se coletar a partir delas.

Foto: Henrique Debiasi



Figura 2. Posicionamento de minitrincheira aberta em área de resteva de soja, mostrando uma das paredes intactas onde o bloco do solo será coletado.

O bloco de solo deverá ser extraído de uma das paredes de maior comprimento com uma pá de corte reta, a qual foi mantida intacta na minitrincheira (Figura 3). O bloco deve ter espessura de 10 cm, largura mínima de 20 cm e profundidade de 25 cm (Figura 4).

Fotos: Henrique Debiasi



Figura 3. Retirada da amostra com pá de corte.

Após estar completamente enterrada, a pá deve ser inclinada para a frente ao se iniciar a retirada do bloco. Utilizando uma espátula ou faca, cortar os excedentes nas laterais e no comprimento (Figura 4A) para deixar o bloco com 25 de comprimento (Figura 4B) e 20 cm de largura (Figura 4C). Não retirar blocos com espessura inferior a 10 cm (Figura 4D), pois isso interfere diretamente no resultado do DRES, já que limita o tamanho dos agregados.

Caso o solo esteja muito compactado, dificultando assim a inserção da pá (apesar de se ter verificado que a umidade do solo é mesmo a ideal para esta avaliação), pode-se bater na parte superior da lâmina com o auxílio de uma marreta, cuidando para não aplicar força excessiva e gerar vibrações que provoquem desagregação prévia do solo. É importante ressaltar que, no caso de solos com alta friabilidade, como os arenosos, a utilização desse procedimento deve ser evitada, pois o risco de desagregação indesejável é muito alto.



Figura 4. Preparo (A) e dimensões (B, C e D) do bloco do solo.

Preparo e manipulação da amostra de solo

O bloco deve ser cuidadosamente colocado em uma bandeja plástica com 25 cm de largura, e pelo menos 50 cm de comprimento e 15 cm de altura. A disposição da amostra na bandeja deve ser de tal forma que sua profundidade (que por convenção é 25 cm) coincida com a largura da bandeja, para evitar que durante a manipulação da amostra, o solo se espalhe mais no sentido da profundidade e haja alteração na profundidade real da amostra, levando a erros (Figura 5). Se não for possível encontrar uma bandeja com 25 cm de largura, sugere-se utilizar limitadores ou separadores adicionais para que amostra não ultrapasse os 25 cm e não haja incorreto “aumento” da espessura das camadas.

Notar que, na disposição incorreta (Figura 5B), há um espaço entre a borda inferior da amostra e o limite da bandeja. A presença deste espaço fará com que, por ocasião da manipulação da amostra, ocorra alteração na espessura das camadas, modificando o resultado final do DRES. Além disso, o espaço lateral é reduzido, dificultando a manipulação da amostra.



Figura 5. Disposição correta (A) e incorreta (B) da amostra na bandeja plástica.

Antes de iniciar a manipulação para fragmentar o bloco de solo, deve-se eliminar qualquer resíduo ou efeito das ações das ferramentas empregadas para abrir a minitrincheira e retirar a amostra, como por exemplo, superfície espelhada, sulcos, etc. Usando o excedente no comprimento da bandeja (Figura 6), fragmentar o bloco, expandindo-o do centro para as laterais da bandeja, e não de cima para baixo ou de baixo para cima, ou seja, não no sentido vertical. No último caso, haverá mistura de material de diferentes camadas do bloco de solo, o que pode alterar o resultado do DRES.

Um dos aspectos mais importantes no processo da manipulação da amostra é a força a ser aplicada para o rompimento e a fragmentação do bloco de solo em torrões ou agregados de menor tamanho. A força deve ser aplicada com as mãos, em diferentes sentidos no bloco de

Fotos: Henrique Debiasi



Figura 6. Manipulando a amostra usando o comprimento da bandeja.

solo, visando identificar pontos de menor coesão ou fissuras (superfícies de fraqueza natural), as quais têm orientações variadas e onde os torrões dessa amostra serão rompidos e fragmentados. Pelo menos duas estratégias básicas podem ser aplicadas em combinação:

- aplicar a força com apenas uma das mãos, ou seja, o agregado na palma e os dedos desta mão o manipulam, buscando as linhas de ruptura da estrutura, em uma aplicação crescente de pressão com os diferentes dedos. Isto limita a energia aplicada e faz com que o agregado rotacione na mão, buscando fissuras/linhas de ruptura com diferentes orientações;
- usando as duas mãos, procurar aplicar um torque nas estruturas em diferentes posições, em sentidos inversos com cada mão, como querendo torcer a amostra. Isto visa identificar as linhas de menor coesão. A tentativa de “abrir” os agregados, que é a ação intuitiva da maioria das pessoas, concentra a energia em determinados pontos, criando fissuras onde não havia.

Quando for necessária a aplicação de uma energia maior em determinado ponto para obter a fissuração, e isto resultar no rompimento apenas das bordas do agregado em manipulação, junto aos dedos, chegou-se então ao limite do processo fragmentação.

Os fragmentos produzidos podem ter desde tamanho de partículas simples, microagregados, macroagregados e, até de torrões maiores que 7 cm de diâmetro.

Em solos arenosos, menos coesos, a pressão de fragmentação é, em geral, menor do que a dos solos argilosos, pois as diferenças de coesão entre e dentro dos próprios agregados são menores, de difícil

percepção e distinção. A menor coesão entre as partículas desses solos é pródiga para formação da terra fina ou partículas desagregadas, ao que o observador deve estar atento.

Em áreas com raízes abundantes, a agregação do solo pode se dar muito mais pela ação do emaranhado de raízes do que pela coesão entre partículas minerais do solo (Figura 7), formando “blocos” com muitos agregados fortemente unidos pelas raízes. Para separá-los é necessário aplicar uma força extra para romper as raízes, o que muitas vezes é maior que a força que mantém os agregados inteiros, resultando em destruição da estrutura original dos agregados da amostra, principalmente em solo arenoso. Nesses casos, não se deve utilizar força excessiva no intuito de fragmentar a amostra, e caso não haja evidências de compactação (ex. raízes achatadas, solo adensado), a abundância de raízes já é suficiente para considerá-lo um solo com boa estrutura.

Foto: Henrique Debiassi



Figura 7. Exemplo de estrutura agregada por raízes abundantes.

Identificação e delimitação de camadas de solo

A amostra pode ser constituída de uma ou mais camadas, identificadas a partir de variações nas características da estrutura (tamanho, grossosidade, coesão entre agregados, orientação das faces de ruptura, porosidade), cor, presença e aparência morfológica de raízes e outros organismos vivos, presença de terra fina formada por desagregação ou pulverização (formação de pó) e partículas soltas, como areia, entre

outras. As camadas devem ser delimitadas, no sentido da profundidade, por meio de separadores, como régua ou outros materiais com dimensões similares ao comprimento da bandeja (Figura 8). Em função da pouca representatividade e dificuldade de separação, camada com espessura inferior a 5 cm não deve ser individualizada para efeito de avaliação, mas considerada em conjunto com a camada mais semelhante, de maior espessura, localizada imediata e adjacente abaixo ou acima, da mesma. No caso da amostra da Figura 8, as camadas se diferenciam em função de aspectos como forma e distribuição de tamanho de agregados, intensidade da atividade biológica e concentração de raízes, entre outros.

A espessura e a nota atribuída em função da condição estrutural de cada camada da amostra do solo em análise, devem ser anotadas em planilha específica (Anexo 1).

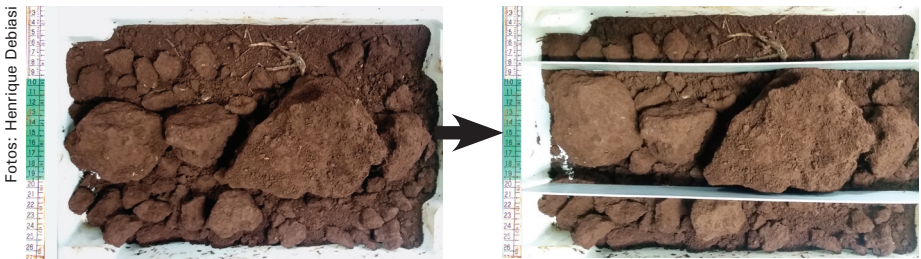


Figura 8. Identificação, separação e medição da espessura de camadas de solo com características morfológicas distintas.

Atribuição de notas de qualidade estrutural

O método DRES prevê pontuação para cada camada identificada na amostra. As notas atribuídas à qualidade estrutural de cada camada (Qe_c) detectada na amostra servirão de base para cálculo e definição da qualidade estrutural dessa amostra (IQEA) e da gleba como um todo (IQES).

As Qe_c serão atribuídas em função de dois critérios: 1) evidências de degradação ou conservação/recuperação do solo (Tabelas 1, 2 e 3); e 2) proporção visual da ocorrência (em volume) dos diferentes tama-

nhos de agregados após a manipulação da amostra, segundo a chave atribuição das notas (Tabela 4 e Figura 20).

Critério 1 - Evidências de degradação ou conservação da estrutura do solo

As evidências de degradação ou conservação/recuperação da estrutura de cada camada de solo na amostra devem ser percebidas visualmente, observando-se, durante a manipulação da amostra, as características e critérios listados na Tabela 1.

As evidências de degradação ou conservação do solo, na amostra como um todo e no entorno do ponto de coleta (Tabelas 2 e 3), são aqui entendidas como informações auxiliares ou complementares para se decidir sobre a Qe_c de cada camada da amostra. Isto porque os aspectos gerais das condições do entorno do ponto de coleta, não são necessariamente as causas fundamentais de degradação da amostra em si. Salientam apenas o fato de que tais aspectos gerais do terreno denotam o uso de determinadas práticas agrícolas que podem induzir a melhoria ou a degradação estrutural a ser observada em uma amostra. Características do entorno podem ter diferentes causas, não necessariamente associadas à qualidade estrutural, objeto deste método. Por exemplo, pastagem com indícios de degradação pode ser mais uma questão de química de solo do que de estrutura; erosão pode ocorrer em áreas com estrutura de solo com razoável qualidade, basta o solo estar momentaneamente exposto ou ocorrer uma chuva com intensidade acima do período de retorno e/ou o terraceamento não existir ou não estar corretamente construído ou mantido, etc. Portanto, os aspectos gerais das condições do entorno do ponto de coleta, podem auxiliar a eliminar dúvidas sobre a Qe_c a ser atribuída a uma dada camada.

Alguns solos (por exemplo, os Nitossolos) podem apresentar, nos horizontes superficiais, estrutura em blocos angulares com faces retas e, neste caso, essa estrutura deve ser considerada da própria natureza original do solo, não como uma evidência de degradação. Portanto, havendo disponibilidade de área com vegetação nativa (referência), recomenda-se, mediante avaliações em perfis, fazer um reconhecimento

das características estruturais naturais de horizontes mais superficiais do solo, criando assim um acervo de informações que permitirá distinguir a estrutura natural, da alterada pelo manejo que se quer avaliar.

Tabela 1. Resumo das principais evidências ou indícios de degradação ou de conservação/recuperação do solo, utilizadas como critério para atribuição das notas de qualidade estrutural de cada camada (Qe_c), pela metodologia DRES.

Evidências de degradação	Evidências de conservação ou recuperação
Raízes pivotantes tortas (Figura 9A); raízes achatadas e crescendo preferencialmente nas fissuras (Figura 9B).	Raízes pivotantes sem comprometimento do crescimento em profundidade (Figura 12A), explorando o interior dos agregados (Figura 12C).
Predomínio de agregados maiores que 7 cm e/ou agregados com faces lisas e ângulos retos de ruptura, coesos, com pouca porosidade, exibindo espelhamentos e zonas de umectação, com forma quadrada (Figura 10A) ou laminar (Figura 10B).	Predomínio de agregados com tamanho entre 1 e 4 cm, com baixa coesão, faces de ruptura rugosas, arredondados, e linhas de ruptura sem orientação definida (Figura 13A).
Presença de solo desagregado, evidenciado a existência de estruturas compactadas na mesma camada e/ou camadas adjacentes. (Figura 10C).	Presença de agregados grumosos ¹ (Figura 13B). A estrutura livre, quando presente, encontra-se na superfície e é resultado da atividade biológica (Figura 13C).
No caso de solo com textura arenosa, a presença de canais com areia solta no sentido vertical do perfil do solo indica ocorrência de desagregação (Figura 11).	Ausência de partículas primárias desagregadas em canais verticais.
Ausência ou poucos indícios de atividade biológica.	Indícios de alta atividade biológica (Figura 14).

¹ Em solos com textura arenosa a estrutura grumosa é pouco comum. Neste caso, considerar os demais aspectos.



Figura 9. Características das raízes que indicam degradação da estrutura do solo. A) Raízes pivotantes tortas e/ou com crescimento interrompido; B) Raízes achatadas e concentradas nas fissuras; C) Raízes de milho concentradas na camada superficial do solo.

Foto: Henrique Debiasi

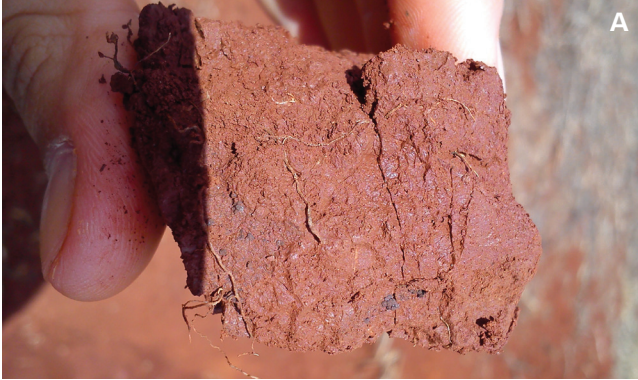


Foto: Hudson Carlos L. Leonardo



Foto: Adoildo da Silva Melo



Figura 10. Agregados típicos de solos com qualidade estrutural degradada. A) Agregado com tamanho maior que 7 cm, exibindo superfícies de ruptura lisas, espelhadas, planas e formando ângulos retos; B) agregado com forma laminar; C) Solo desagregado próximo à camada compactada.



Figura 11. Presença de areia iluviada sobre as superfícies de ruptura do agregado. Escala em centímetros (cm).

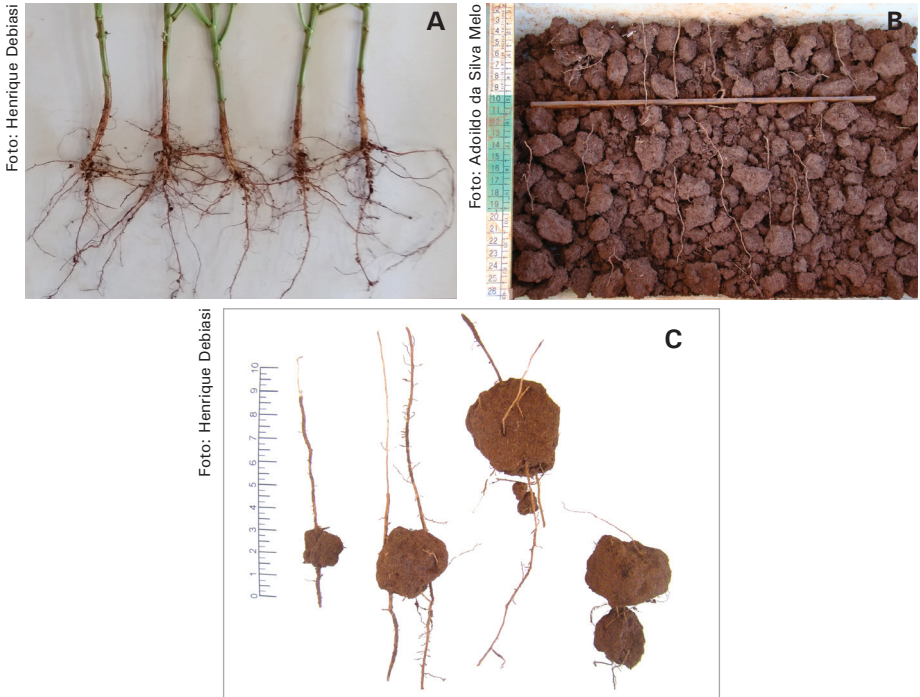


Figura 12. Características das raízes indicadoras de conservação ou recuperação da estrutura do solo. A) Raízes pivotantes sem deformações que comprometam o crescimento vertical; B) Raízes bem distribuídas em profundidade, com redução gradual na abundância no perfil; C) Raízes crescendo através dos agregados (escala em centímetros).

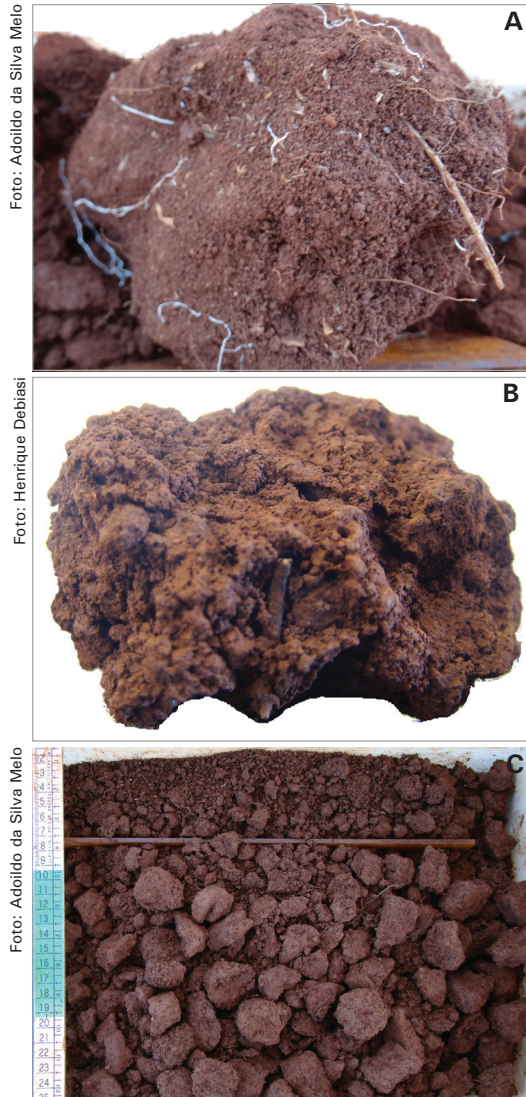


Figura 13. Feições de agregados que evidenciam estrutura conservada ou em recuperação.

- A) Agregado com tamanho entre 1 e 4 cm, arredondado, faces de ruptura rugosas e com indícios de alta atividade biológica; B) Agregado grumoso; C) Amostra de solo com estrutura livre na camada superficial resultante da atividade biológica.

Foto: Michely Tomazi



Foto: Michely Tomazi



Foto: Henrique Debiasi



Figura 14. Alguns indícios de alta atividade biológica: A) Fungos micorrízicos em agregados; B) Coprólitos; C) Presença de minhocas.

Tabela 2. Resumo das principais características da amostra como um todo, que se constituem em informações complementares ou auxiliares para atribuição das notas de qualidade estrutural de cada camada (Qe_c), pela metodologia DRES.

Indícios de degradação	Indícios de conservação ou recuperação
<p>Transição abrupta entre camadas, em geral com uma camada muito solta (desagregada) na superfície seguida de outra camada muito compactada, com agregados grandes compactos e poucas raízes atravessando-os (Figura 15A). Esta situação indica que, possivelmente, a camada superficial solta contém solo pulverizado ou “terra fina”. Presença de estrutura desagregada na subsuperfície do solo, denotando ação mecânica (uso de arados, grades e ou escarificadores). Nesse caso não confundir com aspecto natural do solo original.</p>	<p>A transição entre camadas, quando ocorre, é gradual e, quase sempre, percebida apenas pela redução de volume do sistema radicular e/ou mudança de cor do solo (Figura 15B). Deve-se atentar para as eventuais mudanças abruptas de horizonte natural do solo, pois este efeito é pedológico e poderá ser confirmado na área de referência ou nos dados pedológicos da região em estudo.</p>
<p>Raízes concentradas na camada superficial (Figura 9C). Indica possível impedimento físico ao crescimento radicular nas camadas inferiores.</p>	<p>Raízes bem distribuídas em profundidade (Figura 12B), reduzindo a abundância de forma gradual no perfil.</p>

Fotos: Adaildo da Silva Melo

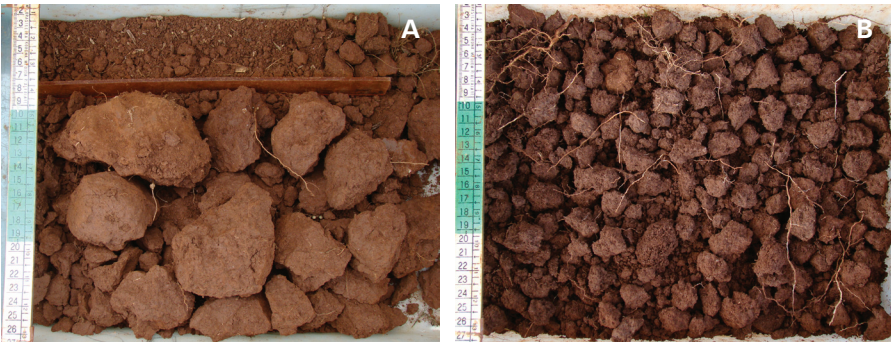


Figura 15. Exemplos de transição abrupta (A) e gradativa ou transição imperceptível (B) entre camadas da amostra de solo.

Tabela 3. Resumo das principais características do entorno (paisagem) do ponto de coleta da amostra, que se constituem em informações complementares ou auxiliares para atribuição das notas de qualidade estrutural de cada camada (Qe_c), pela metodologia DRES.

Indícios de degradação	Indícios de conservação/recuperação
Revolvimento intensivo do solo (ex. preparo com arado, grade ou escarificador).	Ausência ou mínimo revolvimento do solo, restrito à linha de semeadura.
Ausência ou mínima cobertura da superfície do solo, ou apenas palhada da cultura recém colhida, sem outros resíduos de culturas anteriores (indica que o solo não está permanentemente coberto).	Presença de cobertura morta sobre a superfície em diferentes estágios de decomposição, indicando solo completa e permanentemente coberto.
Sinais de erosão na área.	Utilização de técnicas de conservação do solo (ex. terraços, semeadura e cultivo em nível), sem sinais de erosão.
Pastagem com indícios de degradação, com mais de 30% do solo descoberto, baixo potencial de rebrote, invasão de plantas daninhas, presença de cupinzeiros.	Pastagem produtiva, com manejo adequado da lotação animal, com alta cobertura.

Critério 2 - Classes de tamanho de agregados

A metodologia do DRES prevê também a avaliação da proporção relativa (em volume) entre diferentes tamanhos de agregados, que são medidos no sentido de sua maior dimensão ou diâmetro.

Neste método consideram-se as seguintes classes de tamanho de agregados: menores que 1 cm; entre 1 e 4 cm; e maiores que 7 cm de diâmetro. Estas classes de tamanho foram propostas com base em resultados obtidos nas avaliações com o método do Perfil Cultural (TAVARES FILHO et al., 1999; RALISCH et al., 2001; RALISCH et al., 2010; BAQUERO et al., 2012; SILVA et al., 2014). É importante ressaltar que esses limites facilitam a identificação a olho nu e representam os pontos críticos para identificar as situações de degradação ou recuperação/conservação do solo, identificados no Método do Perfil Cultural.

A classe de agregados com tamanho entre 4 a 7 cm, apesar de não constar da chave de atribuição das notas de Qe_c (Tabela 4), também é considerada, mas de forma indireta.

Classe de agregados menor que 1 cm

A determinação do significado relativo à presença de estruturas com tamanho < 1 cm, em termos de qualidade estrutural do solo, depende de uma série de fatores, além da questão dimensional, que devem ser analisados em conjunto.

A presença de estruturas < 1 cm na camada superficial, natural do tipo de solo avaliado, resultante da ação climática e da intensa atividade biológica, com predomínio de agregados grumosos (Figura 16, lado direito), constitui indicador de preservação ou mesmo melhoria da qualidade natural do solo. Em subsuperfície, a formação desses agregados pode ocorrer em galerias oriundas da atividade biológica. Outra possibilidade de ocorrência natural de agregados < 1 cm é no horizonte B de algumas classes de solos, como os Latossolos (B latossólico). Novamente, a presença de estruturas pedológicas do horizonte B indica a preservação da estrutura natural do solo.

Excetuando-se as duas situações anteriores (camada livre superficial e horizonte B de Latossolos), a presença de agregados < 1 cm não se constitui em indicador de adequada qualidade estrutural do solo, pois favorece a oxidação e perda da MO, pela maior exposição da mesma aos agentes decompositores e, também, confere maior suscetibilidade ao transporte no processo de erosão. Adicionalmente, camadas formadas por agregados muito pequenos são mais suscetíveis à compactação pelo tráfego ou pisoteio animal, bem como à formação de crostas superficiais que favorecem os processos erosivos e podem prejudicar a emergência das plântulas. Sob o ponto de vista de desempenho produtivo das culturas, camadas de solo muito solto, geralmente oriundas do revolvimento mecânico, implicam em um volume excessivo de macroporos em detrimento aos poros capilares. Isso resulta na diminuição da capacidade de retenção de água disponível, limitando a produtividade das culturas principalmente em safras caracterizadas por defi-

ciências hídricas. Além disso, a condutividade hidráulica não saturada e o contato solo-raízes também são prejudicados, tornando as plantas ainda mais suscetíveis a estresses hídricos.

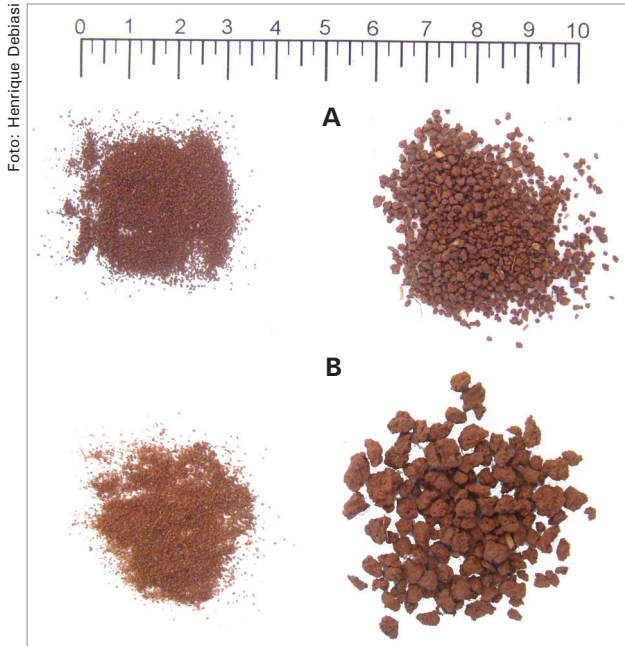


Figura 16. Agregados pulverizados (lado esquerdo) e agregados grumosos < 1 cm (lado direito), em solo argiloso (A) e arenoso (B). Escala em centímetros (cm).

A classe < 1 cm pode conter solo desagregado, composto de partículas individualizadas, de grãos simples ou partículas finas (pó). A estrutura desagregada é antrópica e é promovida por uma ação mecânica sobre agregados/torrões previamente compactados, normalmente causada pelas ferramentas agrícolas. O atrito da ferramenta com o solo e entre os agregados do solo quando sofre uma mobilização supera as forças de coesão das partículas do solo, desagregando-as. É comum ocorrer esta condição na camada superficial de solos com intenso revolvimento, tipicamente formada por preparos secundários de solo (por exemplo, gradagem), que trabalham superficialmente e visam formar

o que se considerou o “leito de sementeira”, com todos os problemas advindos desta prática. Também pode ocorrer em camadas subsuperficiais resultantes da ação de ferramentas fixas, como sulcador tipo haste/facão de semeadoras trabalhando em alta velocidade com o solo seco, ou das operações de escarificação ou subsolagem. Assim, o conhecimento do histórico da área é fundamental para facilitar a interpretação da presença de solo pulverizado. Da mesma forma, a existência de palha misturada ao solo é um indicador de revolvimento, fator geralmente associado ao processo de degradação. Nesse último caso, é importante não confundir essa característica com o processo de incorporação de restos culturais pela ação da macro e mesofauna do solo (bioturbação), que geralmente resulta na formação de pequenos fragmentos de material orgânico.

Outro fator que pode causar intensa desagregação do solo é o impacto das gotas da chuva em solo descoberto, o que pode levar ao selamento superficial. Esta situação é mais crítica em solos de textura arenosa. A energia cinética do escoamento superficial de água também resulta em intensa desagregação do solo. Neste caso, é comum a presença de partículas de areia solta na superfície do solo.

Juntamente com as estruturas < 1 cm, pode-se encontrar também feições que denotam compactação como raízes achatadas, superfícies de agregados alisadas, torrões muito coesos, misturados ao solo desagregado. Estas condições podem evoluir rapidamente para uma nova compactação, seja por pressão externa ou por rearranjo das partículas, o que é comum em solos de textura média e arenosa.

Uma questão importante a considerar é a “vizinhança” ou o ambiente do entorno destes agregados. Se eles ocorrem entre agregados maiores, com presença abundante de raízes, com sinais de atividade intensa da biota do solo, sinais visíveis de acúmulo de matéria orgânica, e não são predominantes na amostra, os riscos associados à degradação da estrutura do solo são minimizados. Porém, quando ocorre a associação da estrutura desagregada (< 1 cm) com torrões (> 4 cm), ou a camada desagregada estiver em contato com camada adjacente

compactada, resultando em transição abrupta entre as mesmas (Figura 15A), trata-se de uma situação crítica, facilitando a evolução do processo de degradação, principalmente por meio de erosão hídrica.

Classe de agregados 1 a 4 cm

A classe de agregados com tamanho entre 1 e 4 cm (Figura 17) foi adotada como parâmetro norteador de uma condição estrutural desejável. Esse entendimento é embasado nos estudos com Perfil Cultural, onde se constatou que agregados com este limite de tamanho, associado ao aspecto grumoso, com alta atividade biológica e porosidade visível, permitem ao solo exercer adequadamente suas funções, potencializando sua fertilidade e a produtividade das culturas.



Figura 17. Agregados de tamanho entre 1 e 4 cm. Da esquerda para direita, agregados com tamanho de 1, 2 e 4 cm, respectivamente.

Ressalta-se que, em algumas situações, onde o solo não é frequentemente revolvido, pode-se encontrar predomínio desta classe de agregados, porém, com faces retas (sem grumosidade), intercalados ou não a torrões maiores que 4 cm. Neste caso, os poros visíveis, raízes e os indícios de atividade biológica são poucos ou ausentes.

Portanto, apesar dos agregados terem tamanho compatível com a condição desejável, outras características indicadoras de degradação devem ser consideradas para atribuir a pontuação que define a qualidade estrutural do solo (Tabela 1). Para fins de recuperação do solo, o predomínio desta classe de agregados, é menos crítica que as demais.

Serão consideradas também nesta classe, estruturas > 4 cm, constituídos de agregados unidos por grande quantidade de raízes, e que não foram fragmentados durante a manipulação da amostra de solo, pois a força necessária para isso é em geral muito grande levando ao rompimento das estruturas fora das linhas naturais de fissura (Figura 7). Esta opção só é válida se as raízes se desenvolvem sem nenhum impedimento físico, em todas as direções, penetrando facilmente nos agregados, e na presença de estruturas porosas e grumosas, situação encontrada comumente em solos com manejo conservacionista.

Classe de agregados maior que 7 cm

A classe de agregados maior que 7 cm (Figura 18) foi adotada por representar características e condições de solo em processo avançado de compactação por ações inadequadas de manejo. Os solos com predomínio desta classe de agregados têm potencial de recuperação mais lento do que aqueles com predomínio de agregados de 4 a 7 cm. Essa condição estrutural influencia negativamente nas funções do solo, como suporte ao desenvolvimento das plantas, crescimento radicular, infiltração de água, fluxos e armazenamento de água e ar, entre outra.

Ressalta-se que, em casos de recuperação de solo nestas condições, a opção por subsolagem ou escarificação para rompimento dos agregados grandes e compactos só será efetiva se houver introdução imediata de cultura com intenso sistema radicular fasciculado (a exemplo de gramíneas de elevada relação C:N). Do contrário, em apenas uma safra, os efeitos dessa operação mecânica poderão ser neutralizados.



Figura 18. Agregado com tamanho maior do que 7 cm, em comparação com agregados de 1 a 4 cm.

Classe de agregados de 4 a 7 cm

A classe de agregados com tamanho entre 4 e 7 cm (Figura 19) é característica de solo que pode estar tanto em processo de compactação, como em processo de recuperação de sua condição estrutural, mediante a adoção de boas práticas de manejo. Neste último caso, a pressão do manejo é menor do que a capacidade de recuperação estrutural do solo, sua resiliência. Dentre as práticas que favorecem a recuperação da estrutura, é imprescindível a presença intensiva de raízes em constante desenvolvimento, associada à deposição de resíduos vegetais sobre a superfície do solo pelas plantas, de forma a oferecer um aporte de material orgânico ao solo maior do que as perdas por decomposição e por erosão.

No entanto, para facilitar a interpretação, a chave (Tabela 4) foi construída de tal forma que não há necessidade de quantificar esta classe, que será indiretamente considerada, ao se observar os intervalos das demais classes.



Figura 19. Agregados com tamanho entre 4 e 7 cm.

Atribuição de notas

Para atribuição das notas para cada camada (Qe_c), foi desenvolvida uma chave de classificação, baseada em uma escala de pontuação descrita em detalhes na Tabela 4, e resumida na Figura 20. Porém, isso deverá ser apenas realizado após se considerar as evidências de conservação/recuperação ou degradação da camada de solo (Tabela 1), com o auxílio de informações complementares obtidas da análise da amostra como um todo (Tabela 2) e das características do entorno (Tabela 3). Assim, quando houver predomínio de evidências de conservação ou recuperação do solo, as notas de 6 a 4 devem ser consideradas e, quando houver predomínio de evidências de degradação do solo, apenas as notas de 3 a 1 deverão ser atribuídas às camadas da amostra em questão.

A espessura e a Qe_c correspondentes a cada camada devem ser anotadas em formulário específico (ver Anexo 1), pois serão utilizadas para calcular a nota de qualidade estrutural da amostra (IQEA).

Tabela 4. Chave para atribuição das notas de qualidade estrutural de cada camada da amostra de solo (Qe_c).

Condição Inicial	Camadas da amostra com evidências de conservação/recuperação			Camadas da amostra com evidências de degradação		
	$Qe_c = 6$	$Qe_c = 5$	$Qe_c = 4$	$Qe_c = 3$	$Qe_c = 2$	$Qe_c = 1$
Tamanho do agregado e % na amostra	Mais de 70% de agregados com 1 a 4 cm	50 a 70% de agregados de 1 a 4 cm	Menos de 50% de agregados de 1 a 4 cm	Menos de 50% de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm	50 a 70 % de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm	Mais de 70% de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm
Características da estrutura	Estrutura friável, agregados muito grumosos e porosos, com atividade biológica alta. Raízes abundantes e bem distribuídas na camada avaliada, sem deformações ocasionadas por impedimentos físicos, crescendo através dos agregados.	Estrutura friável, agregados grumosos e porosos, com mediana atividade biológica. Raízes bem distribuídas na camada avaliada, podendo apresentar poucos sinais de restrição ao crescimento. As raízes crescem predominantemente através dos agregados.	Estrutura friável, pouco grumosa, pouco poros e fraca atividade biológica. Raízes podem apresentar algum impedimento ao desenvolvimento.	Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, com poucos poros e atividade biológica. Pode apresentar raízes achatadas com dificuldade para desenvolvimento pleno na camada avaliada.	Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, com alguns poros e pouca atividade biológica. Desenvolvimento radicular limitado, com predomínio de raízes achatadas com dificuldade para penetração no interior dos agregados.	Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, sem poros visíveis e atividade biológica. Forte restrição ao desenvolvimento radicular, com predomínio de raízes achatadas, crescendo preferencialmente nas fissuras entre os agregados.

¹ Classificado de acordo com a Tabela 1. ² Para solo argiloso. Nas notas 1, 2 e 3, é considerado a soma das estruturas > 7 cm e as < 1 cm, que podem ou não ocorrer simultaneamente na mesma amostra.

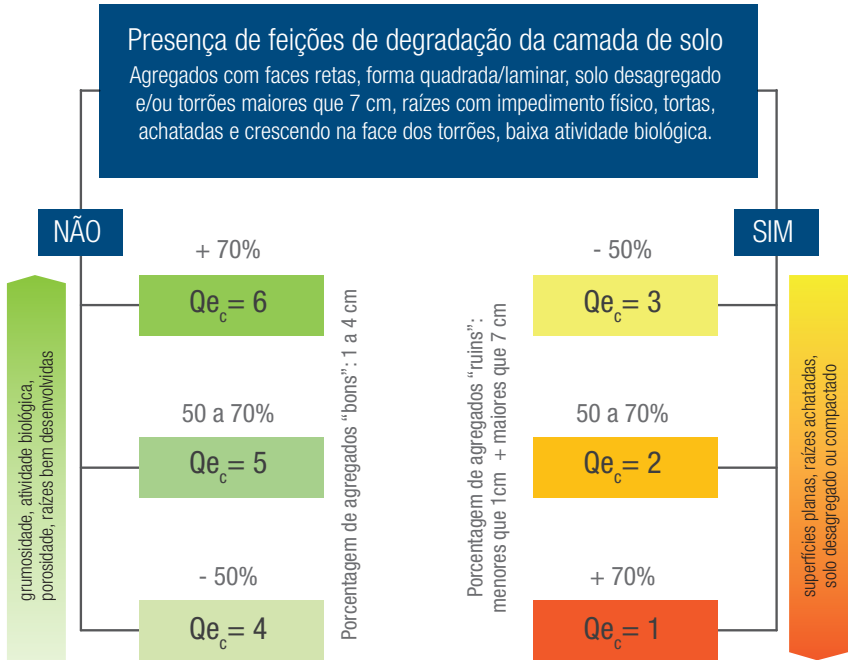


Figura 20. Esquema para atribuição das notas de qualidade estrutural (Qe_c) em cada camada da amostra de solo avaliada.

Para auxiliar a atribuição das notas, identificar as proporções percentuais em volume para as diferentes classes (< 1 cm, 1 a 4 cm, e > 7 cm). Nas primeiras avaliações, quando o avaliador ainda não adquiriu sensibilidade suficiente para quantificar a proporção de agregados misturados na camada, sugere-se agrupá-los conforme o tamanho para identificar visualmente as proporções (Figura 21). Adicionalmente, o avaliador pode utilizar agregados de tamanho conhecido (1, 4 e 7 cm), obtidos da própria amostra ou de outra, como referência de tamanho.

Exemplos práticos de camadas de solo com Qe_c variando de 6 a 4 e de 3 a 1 (degradação por compactação ou desagregação), são apresentados na Figura 22.

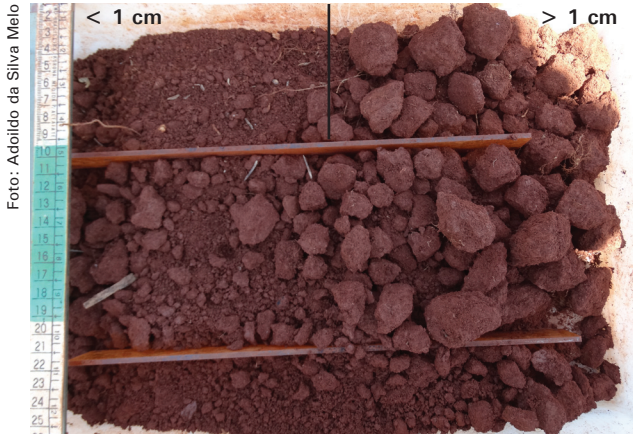


Figura 21. Exemplo de separação de agregados por tamanho nas camadas, visando facilitar a atribuição das notas Qe_c .

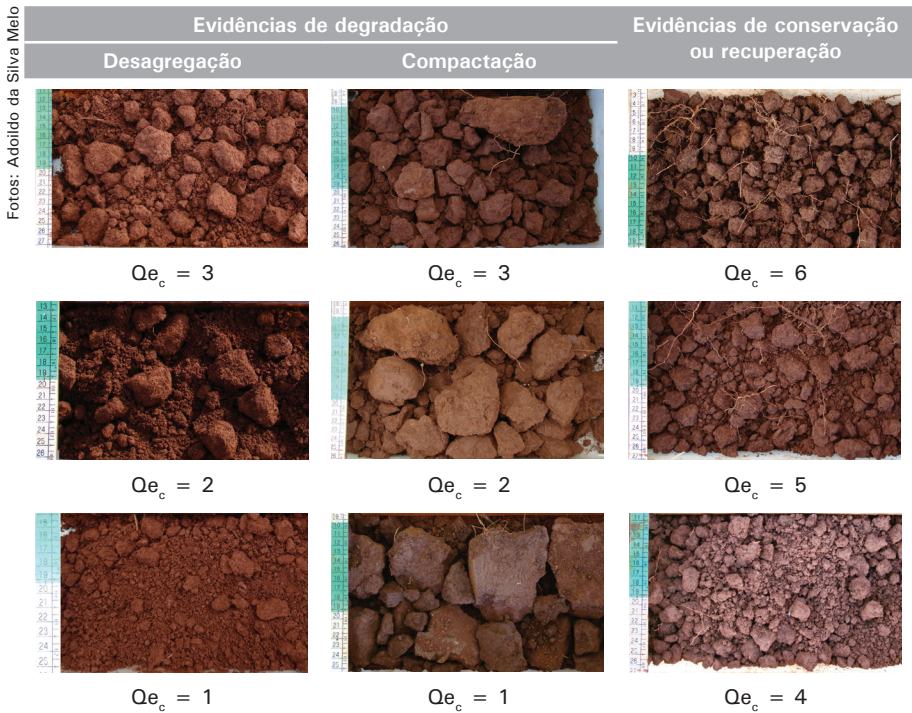


Figura 22. Camadas de solo com notas de qualidade estrutural (Qe_c) variando de 6 a 4 (com evidências de conservação/recuperação) e de 3 a 1 (com evidências de degradação por desagregação ou compactação excessivas).

Camadas da amostra de solo sem evidências de degradação (Qe_c de 6 a 4)

$Qe_c = 6$ - mais de 70% de agregados entre 1 a 4 cm, e forte presença de estrutura grumosa

Na camada identificada, deve haver mais de 70% (em volume) de agregados entre 1 e 4 cm, grumosos (mais visível em solos argilosos), com muitos poros visíveis e atividade biológica abundante (ex. raízes abundantes, hifas de fungos, macrofauna) (Figuras 13, 14 e 16, lado direito). Durante a manipulação, o solo se fragmenta facilmente em agregados de 1 a 4 cm (exceto em touceira de raízes de gramíneas, devido ao efeito dessas raízes em manter a estrutura unida). As fissuras não possuem orientação definida, ou seja, acontecem em todas as direções. Se houver plantas vivas na área, observar a presença das raízes, cujo desenvolvimento deve ocorrer sem nenhum impedimento físico, explorando internamente os agregados e os torrões, ou seja, não devem apresentar sinais de achatamento, indicando compactação.

$Qe_c = 5$ - com 50 a 70% de agregados entre 1 a 4 cm, com estrutura grumosa

Para receber esta nota, a camada deve apresentar de 50 a 70% (em volume) de agregados com tamanho de 1 a 4 cm, de conformação grumosa, porosos, com atividade biológica visível. Durante a manipulação, o solo se fragmenta em estruturas de 1 a 4 cm (exceto em touceira de raízes de gramíneas, devido à força das raízes para manter a estrutura unida). As raízes são bem distribuídas e podem apresentar poucos sinais de restrição ao crescimento. A nota 5 representa uma boa condição estrutural, mas que ainda pode ser melhorada.

$Qe_c = 4$ - menos que 50% de agregados entre 1 a 4 cm, fraca presença de estrutura grumosa

A camada apresenta menos de 50% de agregados entre 1 e 4 cm, fraca presença de estruturas grumosas, a distribuição de raízes é desuniforme no perfil do solo e estas apresentam sinais de algum impedi-

mento. Os efeitos da atividade biológica são menos evidentes. A nota 4 contempla situações sem predominância de evidências de degradação, com baixa quantidade de agregados no tamanho desejável (1 a 4 cm), porém, sem a presença de agregados com dimensões maiores do que 7 cm e sem a ocorrência de estrutura desagregada, que são indesejáveis.

Esta condição estrutural pode ser considerada de qualidade razoável, por não apresentar predominância de evidências de degradação e, ao mesmo tempo, apresentar razoável capacidade de melhoria, mediante aumento da diversidade de espécies vegetais no sistema de produção, redução da mobilização do solo ou ambos. Representa uma fase em que a recuperação da estrutura do solo é rápida. Sua ocorrência é frequente em áreas após a consolidação e estabilização do SPD, passado os primeiros anos de sua adoção, denotando recuperação da fertilidade do solo. Entretanto, pode também representar o inverso, indicando estrutura em processo de degradação, o que pode estar ocorrendo, por exemplo, pela redução do percentual de gramíneas no sistema de produção ou realização de alguma operação de mobilização do solo.

Camadas da amostra de solo com evidências de degradação (Q_e de 3 a 1)

As notas de 3 a 1 são atribuídas às camadas com evidências predominantes de degradação e, portanto, focam na presença de estruturas “ruins” (com tamanho < 1 cm e > 7 cm).

Os agregados ou torrões grandes (> 7 cm) (Figura 18) indicam compactação intensa, enquanto a estrutura desagregada (< 1 cm) (Figura 16, lado esquerdo) reflete intenso revolvimento do solo que favorece a compactação e o torna altamente vulnerável à erosão. Solo desagregado e exposto é mais vulnerável ao impacto de gotas de chuva, à perda de MO pela sua oxidação e seu arraste pela enxurrada e, devido à maior erosão, proporciona reflexos negativos na qualidade ambiental.

Em ambos os casos (compactação ou desagregação excessiva), a produtividade das culturas pode ser bastante limitada. A presença de

grande proporção da estrutura desagregada leva a falsas interpretações dos dados analíticos quantitativos, como a densidade do solo e a resistência do solo à penetração, cujos resultados indicam valores baixos. Já para porosidade e taxa de infiltração, este tipo de estrutura apresenta valores altos, teoricamente bons, mas que não referendam um adequado sistema de produção pelos altos riscos envolvidos, redução de produtividade e aumentos dos custos de produção.

Solos que apresentam predomínio das classes de agregados menor que 1 cm (desagregado) e maior do que 7 cm (compactado), têm baixa capacidade de recuperação e exigem mais tempo e maiores custos para refletir ações de melhorias. A recuperação das camadas compactadas, com predomínio de torrões > 7 cm, inicia-se pela sua fragmentação ou fissuração e conseqüente redução do tamanho dos mesmos. Este comportamento é natural e tem velocidade variável, em função de clima e tipo de solo. Algumas estratégias de manejo podem auxiliar nesta recuperação:

- reduzir as pressões sobre o solo, racionalizando as operações agrícolas, reduzindo o tráfego de máquinas e adequando seus rodados e as velocidades operacionais;
- intensificar o enraizamento e a atividade biológica nestas camadas, adotando sistemas de rotação de culturas que alternem e/ou associem diferentes sistemas radiculares (principalmente gramíneas);
- em casos extremos, a fissuração ou ruptura destas camadas pode ser induzida por equipamentos rompedores de solo, como as hastes sulcadoras de semeadoras ou escarificadores e subsoladores, mas estas ferramentas ou operações não podem ser consideradas corretivas, pois o atrito destas com o solo promove a desagregação do solo. Assim, a melhoria definitiva da qualidade estrutural do solo só será efetivada mediante a intensa ação biológica, favorecida por sistemas radiculares abundantes e bem distribuídos.

É comum a ocorrência associada de torrões grandes (> 7 cm) e estruturas desagregadas (< 1 cm), pois a desagregação deriva da compactação que, por sua vez, tem como uma das origens a desagregação intensa. Portanto, as operações de preparo de solo induzem um ciclo vicioso negativo à agregação do solo, que deve ser interrompido para

que inicie a regeneração da estrutura e da fertilidade do solo. Promover a intensificação da atividade biológica do solo leva à proteção da sua estrutura, mas não a ponto de compensar a agressividade dos sistemas de preparo de solo mais comuns. A opção pelo preparo de solo deve ter um objetivo específico e nunca generalizado.

$Qe_c = 3$ - menos que 50% de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm

A soma da proporção de agregados < 1 cm e > 7 cm não deve ultrapassar 50% do volume da camada. Durante a fragmentação do solo na bandeja, há maior resistência ao rompimento dos agregados grandes que são adensados, formando estruturas com faces lisas e ângulos retos de ruptura, com poucos poros visíveis e pouca atividade biológica (Figura 10). No caso dos agregados < 1 cm, estes se desfazem facilmente com a pressão dos dedos, e estão em geral localizados junto aos torrões grandes ou estruturas compactadas, com pouco material orgânico entre eles (Figura 10C). As raízes tendem a se concentrar nesta estrutura e, nos agregados compactados, exploram as fissuras entre eles, apresentando-se achatadas e pouco bifurcadas (Figuras 9B). As raízes pivotantes não são retilíneas (Figura 9A).

A nota 3 indica problemas com o manejo do solo e do sistema de produção, como preparos excessivos de solo, baixa produção de fitomassa aérea e de raízes, operações agrícolas em condições de solo inadequadas, entre outros. Porém, com a adequação desses procedimentos, a recuperação do solo pode ser obtida. O tempo de recuperação é variável e dependente diretamente das condições edafoclimáticas e da espessura das camadas a serem modificadas. Pode-se considerar um período aproximado de 2 anos para recuperação de camadas com $Qe_c = 3$. Assim, o mais importante é adequar o sistema de produção o quanto antes, principalmente no que se refere à racionalização do tráfego de máquinas agrícolas e ao aumento da diversidade de espécies vegetais cultivadas, priorizando aquelas com alto potencial de produção de fitomassa da parte aérea e raízes.

$Qe_c = 2$ - com 50 a 70% de agregados menor que 1 cm e maior que 7 cm

A soma da proporção de agregados < 1 cm e > 7 cm representa de 50 a 70% do volume da camada. Além de maiores, os agregados se apresentam mais coesos e mais difíceis de fragmentar. As características dos torrões são semelhantes, com faces lisas e ângulos retos de ruptura (Figura 10). Durante a manipulação já é possível ver claramente a formação da estrutura desagregada oriunda da fragmentação, o que ilustra o processo já citado anteriormente. A porosidade visível é rara e se constata pouca atividade biológica. As raízes exploram preferencialmente as fissuras entre os agregados ao invés de penetrá-los, apresentando-se achatadas e pouco ramificadas (Figura 9B). Em função da maior presença de torrões compactados grandes, é mais comum raízes pivotantes em formato de "S" (Figura 9A). As estruturas < 1 cm se comportam exatamente da mesma forma que na classe anterior, desagregando facilmente com a pressão dos dedos, estando em geral localizadas junto aos agregados grandes ou estruturas compactadas, com pouco material orgânico entre elas. As raízes tendem a se concentrar nesta estrutura, que assume proporções maiores na camada mais superficial.

Presença de camadas com esta nota deve alertar os gestores da atividade agropecuária. A $Qe_c = 2$ indica que o sistema de produção tem problemas e que os processos de degradação do solo estão em fase avançada, tendendo a crítica. Sua mitigação é mais demorada e requer investimento na alteração dos procedimentos e das rotações de culturas. Os resultados dependerão da eficiência dessas adequações, estimando-se em, no mínimo, 4 anos o tempo necessário para sua recuperação.

 $Qe_c = 1$ - mais de 70% de agregados menor que 1 cm e maior que 7 cm

A soma da proporção de agregados < 1 cm e > 7 cm representa mais de 70% do volume da camada. Durante a fragmentação do solo na bandeja, há maior resistência para rompimento das estruturas grandes

(torrões), por estarem mais coesos. Da mesma forma, as rupturas apresentam faces lisas e ângulos retos (Figura 10). A camada apresenta poucas raízes e a porosidade visível e a atividade biológica são ausentes. As estruturas < 1 cm continuam com as mesmas características indicadas nas Qe_c anteriores, desagregando facilmente com a pressão dos dedos, estando sempre localizadas junto aos agregados grandes ou estruturas compactadas, com pouco material orgânico entre eles. As raízes não penetram os agregados e restringem seu crescimento às fissuras entre os mesmos (Figura 9B).

Esta situação é crítica, pois os processos de degradação do solo estão em fase muito avançada, comprometendo as funcionalidades do solo, prejudicando o ambiente e a atividade econômica. Este tipo de estrutura denota uso excessivo de operações agrícolas mecanizadas, normalmente mal gerenciadas e executadas, em velocidades excessivas, com frequente mobilização do solo. O sistema de produção, por outro lado, não contempla maior biodiversidade (consorciações e rotações de culturas) com espécies capazes de aportar material orgânico em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica. Adequando os procedimentos, deverá haver, a médio prazo, uma razoável resposta na redução da proporção da estrutura desagregada, aumentando sua coesão e estabilidade. Resultados mais importantes são demorados e exigem monitoramento e paciência, pois a sensação inicial é de que há uma piora, fato que leva muitos produtores a interromper o processo de recuperação da estrutura do solo, adotando práticas inadequadas e revertendo à condição ruim anterior.

Determinação da qualidade estrutural do solo na amostra avaliada (IQEA)

Após a identificação das camadas, obtenção da espessura e atribuição de notas para cada camada (Qe_c), calcula-se a o Índice de Qualidade Estrutural do solo da Amostra (IQEA), por meio da equação (1):

$$IQEA = \frac{(E_{c1} \times Qe_{c1}) + (E_{c2} \times Qe_{c2}) + (E_{c3} \times Qe_{c3})}{E_{total}} \quad (1)$$

onde:

IQEA = índice de qualidade estrutural do solo da amostra;

E_c = espessura de cada camada, em cm (o número de camadas pode variar de 1 a 3);

Qe_c = nota de qualidade estrutural atribuída à cada camada;

E_{total} = espessura/profundidade total da amostra (25 cm).

O IQEA corresponde à média das notas atribuídas às camadas, ponderada pela espessura das mesmas. Para o método proposto e considerando se tratar de uma avaliação para uma profundidade de 25 cm, não é necessário separar a amostra em mais de 3 camadas, visto que isto não afeta o resultado pela baixa representatividade que se teria no IQEA. Portanto, por questões de praticidade, emprega-se no máximo três.

Exemplos observados a campo e cálculos de IQEA

Exemplo 1 (Figura 23): Amostra com transição gradual entre as camadas, dificultando a distinção entre elas, portanto, foi considerada uma única camada. Apresenta mais de 70% dos agregados com tamanho entre 1 a 4 cm com aspecto grumoso, alta porosidade e atividade biológica, sistema radicular abundante e bem distribuído no perfil, sem impedimento ao desenvolvimento, e ausência de indícios de compactação. Desta forma, a Qe_c atribuído foi 6, e como há uma única camada, o IQEA é equivalente à Qe_c .



Figura 23. Exemplo de amostra com uma única camada, onde a IQEA é igual à Qe_c (Qe_c e IQEA = 6).

Exemplo 2 (Figura 24): Amostra com distinção de duas camadas, uma com 18 cm e outra com 7 cm de espessura. De acordo com os critérios da chave de pontuação (Tabela 4 e Figura 20) e claras evidências de processo de degradação na amostra, atribuiu-se $Qe_c = 2$ para a camada mais superficial, e $Qe_c = 3$ para a mais profunda. O IQEA será a média ponderada das Qe_c atribuídos às duas camadas:

$$IQEA = \frac{(18 \text{ cm} \times 2) + (7 \text{ cm} \times 3)}{25 \text{ cm}} = \boxed{2,28}$$



Figura 24. Exemplo de amostra com duas camadas, uma com 18 cm de espessura e $Qe_c = 2$, e outra com 7 cm de espessura e $Qe_c = 3$, gerando um IQEA = 2,28.

Exemplo 3 (Figura 25): Amostra onde foi possível a distinção de três camadas, com 7 cm (mais superficial), 13 cm (intermediária) e 5 cm (mais profunda). Levando-se em consideração os critérios constantes da Tabela 1, há indícios claros de degradação da estrutura nas camadas 1 e 2, o que limita a Q_{e_c} das mesmas a valores entre 1 e 3. De acordo com os critérios da chave de pontuação (Tabela 4 e Figura 20), atribui-se $Q_{e_c} = 2$ para a camada superficial e 3 para a intermediária. Para a camada mais profunda, não há evidências de degradação e, utilizando os critérios de pontuação da Tabela 4 e Figura 20, a Q_{e_c} atribuída foi de 4. O IQEA, correspondente à média das Q_{e_c} ponderada pela espessura da respectiva camada, é de 2,92:

$$IQEA = \frac{(7 \text{ cm} \times 2) + (13 \text{ cm} \times 3) + (5 \text{ cm} \times 4)}{25 \text{ cm}} = \boxed{2,92}$$



Figura 25. Amostra onde foi possível a distinção de três camadas: superficial (7 cm de espessura e $Q_{e_c} = 2$), intermediária (13 cm de espessura e $Q_{e_c} = 3$), e mais profunda (5 cm de espessura e $Q_{e_c} = 4$), gerando o IQEA = 2,92.

Índice de qualidade estrutural do solo (IQES) na gleba avaliada

O IQES da gleba ou área homogênea é composto pela média das notas de IQEA das amostras individuais daquela gleba, conforme equação (2):

$$IQES = \frac{(IQEA_1 + IQEA_2 + \dots + IQEA_n)}{n} \quad (2)$$

onde:

IQES = índice de qualidade estrutural do solo na gleba avaliada;

n = número total de amostras;

IQEA = nota de qualidade estrutural atribuída às amostras, de 1 até a n.

Interpretação do índice de qualidade estrutural do solo (IQES)

A partir do IQES determinado para uma dada gleba, é possível propor alterações no manejo da mesma gleba, com vistas à recuperação, manutenção e/ou melhoria da qualidade estrutural do solo. A Tabela 5 traz interpretações e algumas sugestões simplificadas para cada classe de IQES.

Em todas as situações de qualidade estrutural apresentadas na Tabela 5, sistemas de produção envolvendo a rotação de pastagem e culturas anuais são excelentes alternativas para melhoria da estrutura do solo devido à ação do sistema radicular (SALTON; TOMAZI, 2014). As raízes das gramíneas (com ênfase para as com relação C:N elevada) são muito eficazes na formação de agregados estáveis e porosos, e são essenciais para o estágio inicial de recuperação de solos que se encontram em condição ruim ou muito ruim, principalmente, quando essas plantas são cultivadas após as operações para descompactação do solo. É preciso primeiro estabelecer uma estrutura de solo capaz de resistir à compactação resultante de tráfego de máquinas na área.

Tabela 5. Índice de qualidade estrutural do solo (IQES) para a gleba avaliada, interpretações e recomendações.

IQES	Qualidade estrutural	Recomendação de melhorias
6,0-5,0	Muito boa	Manter o sistema de manejo utilizado, atentando para possibilidade de adoção de novas tecnologias conservacionistas.
4,0-4,9	Boa	Intensificar o uso de sistemas diversificados de produção com alta capacidade de aporte de fitomassa aérea e raízes (ex. gramíneas). Verificar se não há necessidade de interferir na estratégia de rotação e consorciação de culturas adotada no sistema de produção.
3,0-3,9	Regular	Aprimorar o sistema de produção ampliando a diversificação de culturas, incluindo espécies vegetais com alta capacidade de aporte de fitomassa aérea e raízes (ex. gramíneas), e evitar/eliminar operações mecanizadas no preparo do solo. Gerenciar as operações mecanizadas visando redução de tráfego.
2,0-2,9	Ruim	Realizar um diagnóstico da área, incluindo as condições químicas e físicas no perfil, revisando as práticas conservacionistas do solo (ex. terraceamento, alocação de estradas e operações em nível). Rever e aprimorar o sistema de produção utilizado, aumentando a diversidade de espécies vegetais e priorizando culturas com alta capacidade de aporte de fitomassa aérea e raízes (ex. gramíneas). Na recuperação do solo, preferir o uso de plantas recuperadoras, em relação ao emprego de práticas mecânicas. Evitar operações de preparo de solo, mesmo as realizadas esporadicamente. Racionalizar o tráfego de máquinas agrícolas.
1,0-1,9	Muito ruim	Realizar um diagnóstico aprofundado da área, incluindo as condições químicas e físicas no perfil; adotar e/ou readequar as práticas conservacionistas mecânicas (ex. terraceamento, alocação de estradas, operações em nível) e vegetativas (cultivo em nível, faixas de retenção, consorciação e rotação de culturas) do solo. Repensar o sistema de produção utilizado. Adotar estratégias integradas de recuperação que envolvam sistemas diversificados de produção com alta capacidade de aporte de fitomassa aérea e raízes, podendo requerer intervenções mecânicas de recuperação física do solo, desde que adotadas criteriosamente, considerando a umidade do solo, as condições do equipamento e a velocidade adequada, entre outras. Inclusão de gramíneas no sistema, de preferência com pastejo, com correto manejo da pastagem e ajuste de lotação, visando intensificar a recuperação da estrutura do solo. Uso de adubação orgânica de forma criteriosa pode ajudar.

Considerações finais

O DRES permite avaliar a qualidade estrutural do solo e orientar sobre as práticas de manejo a serem adotadas para melhoria do sistema de produção e recuperação do solo.

É de execução rápida e simples, facilitando o monitoramento das áreas agropecuárias, mas requer um treinamento mínimo para que haja comparabilidade e confiabilidade nas informações obtidas.

Na sua adoção e execução, é importante também ter habilidade para considerar as diferenças entre classes de solos e para observar as variações características da estrutura em função da textura dos solos, no processo da manipulação da amostra.

As situações ilustradas e os comentários se baseiam, principalmente, em situações com espécies vegetais anuais, porém, os mesmos critérios se adequam aos demais sistemas de produção com culturas perenes e semi-perenes.

O DRES é uma ferramenta para auxiliar no diagnóstico do solo minimizando a necessidade de análises mais onerosas e eliminar práticas mecanizadas desnecessárias, ou quando necessário, auxiliar a identificação da camada afetada a ser corrigida.

Além disso, o DRES se constitui em uma ferramenta interessante para ações de transferência de tecnologias relacionadas ao manejo conservacionista do solo, pois permite que o público interessado perceba na prática os efeitos de práticas adequadas na preservação e/ou melhoria da qualidade estrutural dos solos agrícolas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio recebido por parte de todos os pesquisadores e instituições parceiras da Rede de Pesquisa SoloVivo - convênio Embrapa-Itaipu Binacional, no âmbito da qual a concepção do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) se deu.

Entre essas instituições, destacam-se a Itaipu Binacional, pelo investimento financeiro e apoio irrestrito em cada etapa realizada, e a Universidade Estadual de Londrina-PR, por disponibilizar sua estrutura, funcionários e estudantes.

Agradecimento especial é devido à Embrapa, coordenadora da pesquisa e dos trabalhos de campo, a qual além de pessoal, estrutura, recursos financeiros, disponibilizou experimentos de longa duração, com manejo de solo, fruto de antigos projetos, alguns com mais de 30 anos em condução por suas unidades Embrapa Soja, Embrapa Trigo, Embrapa Agropecuária Oeste e Embrapa Solos. A partir destes experimentos, foi possível o desenvolvimento e validação do método ora apresentado.

É fundamental lembrar e agradecer a contribuição de instituições como cooperativas, fundações e organizações de produtores. Neste sentido, enfatiza-se o papel desempenhado pela cooperativa Comigo (Rio Verde-GO), que disponibilizou áreas de estudo e apoiou ações que também contribuíram para o desenvolvimento desta metodologia. Não menos importante foi a participação e o apoio da Cocamar Cooperativa Agroindustrial (Maringá-PR), cujo departamento técnico se empenhou na validação de campo da metodologia. A Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação (FEBRAPDP), por sua relevância na interface de comunicação com os produtores rurais, recebe aqui também um agradecimento especial.

Os autores agradecem ainda a muitos profissionais que, de uma forma ou de outra, auxiliaram na construção desta metodologia, entre eles, enfatizam-se: Marie Bartz, da Universidade Positivo, Maria de Fátima Guimarães, da Universidade Estadual de Londrina - UEL, Amanda Letícia

Pit Nunes, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UEL e Ademir Fontana, pesquisador da Embrapa Solos, este último, pela minuciosa leitura deste documento.

Referências

BALL, B. C.; DOUGLAS, J. T. A simple procedure for assessing soil structural, rooting and surface conditions. **Soil Use and Management**, v. 19, p. 50-56, 2003.

BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. J. Field assessment of soil structural quality - a development of the Peerlkamp test. **Soil Use and Management**, v.23, p. 329-337, 2007.

BAQUERO, J. E.; RALISCH, R.; MEDINA, C. de C.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. de F. Soil physical properties and sugarcane root growth in a red oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 63-70, 2012.

DIEZ, T.; WEIGELT, H. **Bodenstruktur erkennen und beurteilen: Anleitung zur Bodenuntersuchung mit dem Spaten**. Freising-Muenchen: Bayer Landesanstalt fuer Bodenkultur und Pflanzenbau, 1997. 16p.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**, v. 11, p. 199-238, 1988.

FAO. **A semi-quantitative approach to soil suitability**. Disponível em: <<http://www.fao.org/soils-portal/soil-assessment/a-semi-quantitative-approach/en/>>. Acesso em: 17 mai. 2017.

GAUTRONNEAU, Y.; MANICHON, H. **Guide méthodique du profil cultural**. Lyon: CEREF-GEARA, 1987. 71p.

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; 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, p. 2531-2534, 2009.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; BALL, B.; ROSA, J. A. Visual soil structure quality assessment on Oxisols under no-tillage system. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 479-482, 2010.

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

HÉNIN, S.; FEODOROFF, A.; GRAS, R.; MONNIER, G. **Le profil cultural: Principes de physique du sol**. Paris: Masson, 1960. 320p.

IBGE. **Manual técnico de pedologia: guia prático de campo**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 134p. (IBGE. Manual Técnico de Pedologia, 4.) Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2017.

MUELLER, L.; SCHINDLER, U.; BEHRENDT, A.; EULENSTEIN, F.; DANNOWSKI, R. **The Muencheberg Soil Quality Rating (SQR)**. Muencheberg: Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), 2007. 102p.

MUELLER, L.; KAY, B. D.; DEEN, B.; HU, C.; ZHANG, Y.; WOLFF, M.; EULENSTEIN, F.; SCHINDLER, U. Visual assessment of soil structure: Evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany: Part I: Comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. **Soil & Tillage Research**, v. 103, p.178-187, 2009.

PEERLKAMP, P. K. Visual estimation of soil structure. In: DE BOODT, M.; DE LEENHERR, D. E.; FRESE, H.; LOW, A. J.; PEERLKAMP, P. K. (Ed.). **West European methods for soil structure determination**. Ghent: State Faculty of Agricultural Sciences, 1967. p. 216-223.

RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F. O perfil cultural na avaliação do manejo e da compactação. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo**. Jaboticabal: Funep, 2001. p.74-87.

RALISCH, R.; ALMEIDA, E.; SILVA, E. P.; PEREIRA NETO, O. C.; GUIMARÃES, M. F. Morphostructural characterization of soil conventionally tilled with mechanized and animal traction with and without cover crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1795-1802, 2010.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. 6p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 198).

SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C., SHIMIZU, S.H. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Editora da UFV; Rio de Janeiro: Embrapa Solos/Editora da UFRRJ, 2013.100p.

SHEPHERD, T. G. **Visual soil assessment**. Volume 1: Field guide for pastoral grazing and cropping on flat to rolling country. Palmerston North: Horizons.mw & Landcare Research, 2000. 84p.

SILVA, A. P.; BABUJIA, L. C.; FRANCHINI, J. C.; RALISCH, R.; HUNGRIA, M.; GUIMARÃES, M. F. Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management systems. **Soil & Tillage Research**, v.142, p.42-53, 2014.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C.; NEVES, C. S. V. J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 393-399, 1999.

WERNER, D.; THAEMERT, W. Zur Diagnose des physikalischen Bodenzustandes auf Produktionsflaechen. **Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde**, v. 33, p.729-739, 1989.

Anexo I

Formulário de campo para Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES)

Local _____ Data _____

Coordenadas _____

Avaliador _____

Ponto*	Espessura da camada (cm)	Nota por camada (Qe_c)	Média ponderada (IQEA)**	Observações

*Ou amostra

$$** IQEA = \frac{(E_{c1} \times Qe_{c1}) + (E_{c2} \times Qe_{c2}) + (E_{c3} \times Qe_{c3})}{E_{total}}$$

ACESSE: www.embrapa.br/dres



Embrapa

Soja