



## CAPÍTULO 10

# ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E INFILTRAÇÃO DA ÁGUA A PARTIR DE CHUVA SIMULADA EM ÁREA DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS EM NOVA FRIBURGO, RJ

**Nivaldo Schultz**

Professor Associado do Departamento de Solos  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica, RJ

**Karine de Oliveira Andrade**

Estudante de Agronomia  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica, RJ

**Carlos Roberto Pinheiro Junior**

Pesquisador de Pós-Doutorado  
Univesidade de São Paulo - ESALq  
Piracicaba, SP

**Marcos Gervasio Pereira**

Professor Titular do Departamento de Solos  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica, RJ

## INTRODUÇÃO

O uso do solo para o desenvolvimento de atividades agrícolas sem observar aspectos técnicos que proporcionam sua conservação provoca impactos negativos nos atributos químicos, físicos e biológicos. Consequentemente, ocasiona maior perda de solo e culmina com sua degradação, especialmente em função da erosão hídrica que tem se tornado cada vez mais comum devido à mecanização da agricultura e que pode se tornar um limitante no sistema de produção agrícola. Nesse contexto, o sistema convencional de preparo do solo, associado ao regime de chuvas intensas, além de causar degradação, impacta diretamente no potencial produtivo das culturas, eleva os custos de produção, reduz a infiltração da água, e degrada a qualidade da água dentro e fora das áreas de produção. O uso continuado desse sistema de produção torna insustentável a produção agrícola em médio e longo prazo e acarreta em sérios problemas de ordem socioeconômica. Entre os cultivos que mais utilizam o sistema convencional de preparo do solo destaca-se a produção de hortaliças, onde a prática de revolvimento com ou sem encanteramento é comum.

Em se tratando de áreas de cultivo de hortaliças, a Região Serrana do estado do Rio de Janeiro destaca-se como grande produtora, especialmente de espécies folhosas, sendo a maioria das áreas de cultivo localizadas em terrenos de relevo montanhoso. A associação do cultivo em áreas declivosas com preparo convencional do solo com uso de aração, gradagens e enxadas rotativas favorece e intensifica a erosão do solo. Diante desse cenário a mudança de hábitos de produção e a adoção de sistemas de produção conservacionistas, tais como o sistema plantio direto de hortaliças (SPDH) é uma necessidade eminente. Entretanto, a mudança da cultura de cultivar do sistema convencional para outros sistemas que sejam mais conservacionistas normalmente requer a comprovação do aumento da eficiência produtiva das culturas e também a avaliação dos impactos na conservação ou não dos recursos naturais. Essa avaliação dos impactos nos recursos naturais pode ser realizada através das perdas de solo, água e da infiltração da água no solo sob diferentes sistemas de produção agrícola.

Uma forma de obter resultados rápidos e comprovações para serem apresentados para produtores rurais e a comunidade científica é o uso de simuladores de chuvas que permitem uma maior rapidez em estimar a infiltração e as perdas de solo e água, comparando o SPDH com o sistema convencional de preparo do solo. Através dessa metodologia é possível repetir ensaios em diferentes áreas, com diferentes solos e diferentes coberturas do solo em períodos curtos de avaliação. Além disso, é possível simular chuvas com diferentes intensidades, reproduzindo de forma aproximada a variação natural das chuvas que ocorrem numa determinada região.

Apesar do sistema plantio direto (SPD) ser bastante conhecido na produção de grãos, na produção de hortaliças ainda carece de pesquisas e difusão de informações técnicas. Essa falta de dados técnicos e científicos é um fator que limita a adoção por parte dos produtores, bem como a assimilação do conhecimento nesse assunto e transferência de práticas de manejo por parte de muitos técnicos, principalmente devido às possíveis perdas na produtividade quando ainda se encontra em fase de transição do cultivo convencional para o SPD.

De maneira geral o SPD não proporciona ganhos de produtividade nos primeiros anos após a sua implantação, no entanto, após alguns anos, dependendo da condução do sistema de produção e de fatores, como a condição climática, o tipo de solo, estratégia de rotação de culturas, entre outros, hortaliças cultivadas no SPD apresentarão aumentos de produtividade e o solo apresentará melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos, além de melhorar a infiltração da água e reduzir as perdas de solo e da água, minimizando dessa forma os impactos negativos dos sistemas de produção nos recursos naturais.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de diferentes sistemas de manejo do solo em atributos físicos e na infiltração da água no solo a partir de chuva simulada.

## Histórico de ocupação da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro

A Região Serrana do estado do Rio de Janeiro apresenta um grande destaque na agricultura de montanha, principalmente o município de Nova Friburgo que é um dos mais antigos da região (Aquino *et al.*, 2014), sendo considerado o “cinturão verde” do estado (Egger, 2010).

Entre 1830 e o final deste mesmo século, se teve o desenvolvimento da monocultura do café, que foi uma atividade importante para impulsionar o crescimento da produção agrícola, em especial os hortifrutigranjeiros, para o abastecimento das fazendas cafeeiras (Carneiro; Rocha, 2009). A posição geográfica da região favoreceu na formação de um centro comercial e prestador de serviços, principalmente por ser passagem obrigatória para o escoamento da produção cafeeira para a capital (Neves, 2000).

Por ser uma região com poucas áreas planas, com predomínio de solos rasos e inclinados, se tornou mais propício a produção de flores e hortaliças, e a partir de 1850 a população ficou cada mais dependente de um abastecimento na própria cidade, visto que não compensava trazer produtos da capital fluminense, e desse modo a produção local alcançou sua autonomia e o transporte foi facilitado a partir de 1873 com a construção da estrada de ferro do Cantagalo, que reduziu significativamente o tempo para conseguir escoar a produção agrícola da região para a capital fluminense (Neves, 2000).

Atualmente é destaque no setor de horticultura, sendo responsável pelo abastecimento das cidades do Rio de Janeiro, representando cerca de 90% da produção de olerícolas do estado (EMATER-RIO, 2020). Por apresentar em sua grande parte topografia accidentada, a produção agrícola está concentrada em pequenos e médios estabelecimentos, o que torna-se um problema para o escoamento da produção, ficando historicamente nas mãos de atravessadores que levam uma parcela significativa dos lucros de suas lavouras, característica marcante na Região Serrana do estado como um todo (Carneiro; Rocha, 2009).

## Produção agrícola da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro

O estado do Rio de Janeiro apresenta pequena representatividade econômica na agropecuária em comparação a outros estados brasileiros (IBGE, 2014). Apesar de existirem áreas rurais e com importância significativa para a economia do estado, é uma região considerada como um polo turístico em desenvolvimento crescente (Neves, 2000).

O relevo acidentado e a baixa fertilidade natural dos solos faz com que a produção agrícola e pecuária seja dificultada. Além desses fatores, a tradição turística e o alto grau de urbanização do estado competem com as atividades agropecuárias criando uma condição em que em muitos casos investir em atividades agropecuárias torna-se uma opção pouco atrativa (Souza, 2019).

A região de Nova Friburgo apresenta um relevo montanhoso e escarpado, caracterizado por um conjunto de vales de topografia montanhosa, fortemente ondulada e também ondulada, com algumas encostas de relevo suave-ondulado (Dantas, 2000). Essa geomorfologia limita o manejo agrícola correto dos solos e por isso na maioria dos casos os produtores rurais preparam seus solos com aração, gradagem e uso de enxadas rotativas no sentido do declive das encostas, o que intensifica a degradação dos solos pela erosão hídrica (Carneiro; Rocha, 2009; Mendes *et al.*, 2011).

Apesar de todos esses fatores limitantes, a Região Serrana ainda continua se destacando na olericultura, apresentando uma produção de 419.662 toneladas para uma área colhida em torno de 12.950 ha de olerícias de frutos e uma área colhida de aproximadamente 10.600 hectares de olerícias folhosas (EMATER, 2018). Os principais produtos colhidos na Região Serrana são alface (98.176,5 toneladas), couve-flor (27.616,85 toneladas), couve (29.176 toneladas), tomate (52.960,92 toneladas) e morango (865,10 toneladas) (EMATER, 2020).

## Sistemas de produção de hortaliças

A produção de hortaliças apresenta grande importância econômica, podendo ser realizada em pequenas propriedades e se tornar uma fonte alternativa para pequenas propriedades devido à sua boa rentabilidade por área cultivada. De acordo com dados do Censo Agropecuário de 2017, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), o Brasil possuía na ocasião 336 mil estabelecimentos nacionais com atividades hortícolas, com distribuição de 41% no nordeste, 28% no sudeste, 16,5% no sul, 9,7% no norte e 4,7% no centro-oeste, o que mostra a importância na produção hortícola brasileira.

O sistema convencional de produção é geralmente o adotado nas propriedades produtoras, caracterizado pelas práticas de revolvimento do solo com aração, gradagem e/ou uso de enxadas rotativas, no sentido do declive das encostas (Mendes et al., 2011). Isso tem afetado a conservação do solo, uma vez que o revolvimento excessivo provoca a destruição da estrutura do solo, acelera a mineralização da matéria orgânica e expõe o solo à erosão e consequentemente à redução da infiltração da água no solo (Bronick; Lal, 2005; Loss et al., 2017).

O revolvimento excessivo também pode resultar na formação de uma camada endurecida a aproximadamente 20 cm de profundidade, denominada “pé de arado”, sendo prejudicial ao desenvolvimento do sistema radicular das hortaliças (Bertol et al., 2016; Bertoni; Lombardi Neto, 2012). Por fim, o manejo convencional impacta ainda no custo de produção, na qualidade da água, na desvalorização das terras e agrava os riscos em relação à manutenção da garantia da segurança alimentar e de abastecimento de modo geral (Amundson et al., 2015; Bertol et al., 2017; Dechen et al., 2015). Em estudo desenvolvido por Mendes et al. (2011), na região de Bom Jardim, RJ, em área com declividade  $65 \text{ cm m}^{-1}$ , a 960 m de altitude, em um Argissolo Amarelo Distrófico cámico, avaliando perdas de solo com parcelas padrão Wishmeier (1959), de  $4,0 \times 22,00 \text{ m}$ , foram verificadas perdas de  $30 \text{ Mg ha}^{-1}$  de solo em área de cultivo convencional de olerícolas e  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  em área sob floresta nativa. Esses resultados mostram que as perdas de solo e o escoamento superficial na região podem ser elevados, mesmo em áreas sob vegetação nativa e muito intensificadas nas áreas cultivadas. Em outro estudo desenvolvido por Schultz et al. (2020), avaliando a produtividade de couve-flor sob diferentes sistemas de manejo, foi verificado produtividade superior no SPD em relação ao sistema convencional de cultivo com aração e uso de enxada rotativa, o que demonstra que é possível fazer a transição do sistema de cultivo convencional para uma agricultura mais conservacionista.

Nos últimos anos, a produção de hortaliças no SPD utilizando diversas plantas de cobertura do solo tem apresentado avanços em algumas regiões brasileiras (Echer et al., 2016; Hirata et al., 2014; Melo; Madeira; Peixoto, 2010; Souza et al., 2014). Na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, Barradas et al. (2001), avaliando doze tipos de plantas de cobertura do solo, verificaram aos 119 dias após a semeadura, a produção de  $5,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  para a aveia preta;  $4,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  para o azevém-anual;  $2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  para o chicharo;  $6,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  para a ervilhaca-comum;  $1,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  para a serradela-flor-rosa;  $7,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  para o tremoço-amarelo;  $7,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  para o tremoço-branco cv. comum;  $6,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  para o tremoço-branco cv. ML doce;  $7,9 \text{ Mg ha}^{-1}$  para o tremoço-branco cv. TRM 881;  $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  para o trevo-branco;  $3,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  para o trevo-vermelho e  $3,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  para o trevo-vesiculado. Antunes (2016), avaliando a influência do manejo da palha de aveia preta e tremoço-branco sobre a fauna invertebrada do solo em ambiente de montanha verificou a produção de  $2,1 \text{ Mg}$

ha<sup>-1</sup> de massa seca para a aveia preta; 4,8 Mg ha<sup>-1</sup> para o tremoço-branco; 4,0 Mg ha<sup>-1</sup> para o cultivo consorciado entre aveia/tremoço; e 5,8 Mg ha<sup>-1</sup> para as plantas espontâneas.

Estudo realizado por Loss *et al.* (2017) comparando o SPD com o sistema de cultivo convencional de hortaliças, verificaram que o SPD aumentou os índices de agregação, porosidade total e umidade volumétrica. Em estudo desenvolvido por Torres *et al.* (2015), avaliando atributos físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com plantas de cobertura em semeadura direta, concluiu-se que: a utilização das diferentes coberturas e a introdução do sistema de semeadura direta após 12 anos contribuíram positivamente nos atributos físicos na camada superficial do solo, no qual, a densidade do solo reduziu nas camadas de 10 a 20 cm; apesar de uma redução também na macroporosidade o valor não atingiu o limite de 10% que limitaria o crescimento das raízes e a percolação de água e trocas gasosas; além disso, teve um aumento significativo da microporosidade e da porosidade total quando comparado à época em que o experimento foi implantado.

## Degradação do solo e da água em sistema de produção convencional

No sistema de produção convencional, o solo fica exposto à ação direta das chuvas e/ou da irrigação e consequentemente sofre com perdas de solo e água, tendo desse modo, alterações em suas propriedades físicas e químicas (Silva *et al.*, 2005). Além disso, esse sistema favorece a formação do selamento superficial onde se tem a formação de uma fina camada de solo compactada devido à ação direta da gota de chuva sobre o solo (Panachuki *et al.*, 2011). Quando o solo encontra-se coberto pela vegetação viva ou morta aumenta-se a absorção da energia cinética da chuva pela cobertura, reduzindo-se assim a energia residual e a desagregação do solo (Lombardi Neto *et al.*, 1988).

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), o fator cobertura e manejo do solo representa o somatório dos produtos da razão de perda de solo (RPS) pela fração do índice de erosividade (FEI30) variando de acordo com cada cultura e com cada estádio da mesma, de variar de 0 a 1, sendo próximo a 0 nos sistemas de manejo conservacionistas e próximo a 1 nos não conservacionistas (Bertol; Schick; Batistela, 2002).

Em estudo realizado por Silva *et al.* (2005), concluiu-se que o SPD reduz a perda de solo quando comparado ao manejo convencional devido à presença de cobertura vegetal que protege o solo contra o impacto das gotas de chuva e também pelo fato do solo ser menos resistente ao escoamento devido ao preparo, confirmado o mesmo que Pruski *et al.* (1997) constataram. No qual, esses autores comentam

que quanto maior for a proteção com cobertura vegetal, menor será a ocorrência de erosão. Foi observado também em estudo realizado por Almeida *et al.* (2018), vantagem no SPD visto que a presença de cobertura vegetal influencia mais na infiltração de água dependendo do uso da terra do que o tipo de preparo do solo, sendo que ela tende a ser menor em solos sem cobertura quando comparado a sistemas conservacionistas.

### **Uso de simulador de chuva para avaliação da infiltração, perda de solo e água**

Os pesquisadores Bubenzer e Meyer (1965) estão entre os pioneiros no desenvolvimento de simuladores de chuva para estudos de erosão em laboratórios e o consideram essencial para a obtenção de dados de escoamento superficial e de erosão em períodos curtos de tempo. O simulador de chuva tem sido utilizado para possibilitar a estimativa de perdas de água, de solo, de nutrientes e taxa de infiltração, escoamento acumulado e infiltração acumulada em diferentes tipos de manejo do solo e de acordo com diferentes intensidades de chuva para facilitar na obtenção desses dados.

O uso desse equipamento portátil facilita na realização de pesquisa, no campo e na dinâmica do processo erosivo que é alterada de acordo com o tipo de manejo do solo devido à facilidade em obter os parâmetros necessários (Alves Sobrinho; Gómez-Macpherson; Gómez, 2008), sendo um método cada vez mais utilizado (Ries *et al.*, 2009). Apesar de ser uma forma de agilizar a obtenção de dados, existe uma limitação devido à impossibilidade de reproduzir as características das chuvas naturais em relação à intensidade, duração e energia de impacto das gotas de chuva; outra dificuldade é na comparação de resultados visto que existe uma grande diversificação de simuladores de chuvas e intensidade e tipos de parcela adotado (Eltz; Mehl; Reichert, 2001).

Em estudo realizado por Carvalho *et al.* (2008), verificou-se uma maior taxa de escoamento quando se teve aplicação de altas intensidades e isso é justificado pelo fato de quando a aplicação de chuva atinge intensidades superiores à taxa de infiltração do solo naquele instante, ocasiona um acúmulo de água na superfície e consequentemente, ocorre o escoamento superficial e ao contrário acontece quando a taxa de aplicação é baixa, o escoamento também é reduzido. Carvalho *et al.* (2009) utilizando simulador de chuva verificaram perda de água de 161,2, 68,5, 154,5, 215,5 e 209,1 mm nos tratamentos com Mucuna, Crotalária, Milho em Nível, Milho Morro abaixo e Solo Exposto, respectivamente. Verificaram maiores perdas nos tratamentos milho morro abaixo e solo exposto devido ao preparo do solo realizado no sentido declive, o que ocasionou em uma maior velocidade de

escoamento da água e consequentemente em maiores perdas de água quando comparado aos outros tratamentos. Os valores totais de perdas de solo nesse experimento variou entre 1.862,2 a 12.399,8 kg ha<sup>-1</sup>, nos tratamentos crotalária e milho morro abaixo. No mesmo experimento foi possível constatar a diferença entre os resultados de preparo do solo utilizando a mesma cultura, como foi o caso do milho em nível apresentando uma perda de solo de 3.877,1 kg ha<sup>-1</sup> e 12.399,8 kg ha<sup>-1</sup> no cultivo de milho morro abaixo e nesses mesmos tratamentos foi constatado um escoamento superficial de 154,5 e 212,5 mm, respectivamente. Foi verificado menores perdas de solos nos tratamentos em que o preparo do solo foi realizado em nível. Segundo Amorim (2003), isso se deve ao fato de que o cultivo em nível propicia em uma menor velocidade e tensão cisalhante do escoamento superficial fazendo com que a capacidade de transporte e desprendimento das partículas de solo sejam reduzidas.

Estudo realizado por Bertoni e Lombardi Neto (2012) também afirma que o cultivo em nível reduz em até 50% as perdas de solo quando comparado com o cultivo morro abaixo.

Panachuki *et al.* (2011), quantificaram perdas de solo e água superiores nos tratamentos de semeadura direta sem resíduo vegetal quando comparado com os tratamentos de semeadura direta com 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo e com 4,0 Mg ha<sup>-1</sup> e isso ocorreu devido à presença de resíduos que fazem com que a infiltração de água seja favorecida e o escoamento superficial reduzido. Foi comparado também o preparo do solo com grade aradora, que apresentou maiores perdas de solo e de água do que nos do preparo com escarificador.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental foi implantada em setembro de 2017 no sítio Pica-Pau-Amarelo, na microbacia Barracão dos Mendes, na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, localidade de Serra Velha, município de Nova Friburgo, RJ (coordenadas 22° 17' 6,96"S - 42° 39' 24,04" O), em um Cambissolo Háplico (Santos *et al.*, 2018), e foi conduzida até outubro de 2020. O clima da região é classificado como Cwb segundo o modelo de Köppen com temperatura média de 18,4 °C e precipitação pluviométrica média anual de 1.372 mm.

Na região predomina a agricultura convencional com o preparo do solo mecanizado, normalmente com arações e gradagens e/ou o emprego de enxadas rotativas no sentido do declive das encostas, uma vez que a declividade predominante é superior a 30%, impossibilitando assim o preparo mecanizado do solo acompanhando o contorno das encostas. A Figura 1A ilustra a paisagem da região onde o estudo foi desenvolvido; a Figura 1B o preparo da área experimental

com a incorporação de calcário em setembro de 2017; e a Figura 1C um ciclo de cultivo de couve-flor. O experimento foi implantado em uma área de pastagem formada com diferentes espécies de brachiárias (*Urochloa* sp.) e diferentes espécies invasoras por aproximadamente 15 anos.

Em maio de 2017, a área foi dessecada com herbicida. Em agosto de 2017 foram coletadas 10 amostras simples de terra nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, utilizando trado sonda, para avaliação dos atributos químicos e a textura do solo na área total. Os atributos avaliados foram pH em água, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup>Al, P, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> e carbono orgânico do solo (COS). Com base nos resultados da análise foram calculados a soma das bases trocáveis (S), a capacidade de troca catiônica (T) do solo a pH 7,0 e saturação por bases (V%), segundo Silva (2009). A textura do solo foi determinada pelo método da pipeta, segundo Donagemma et al. (2011). Resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos, carbono orgânico e textura do solo da área experimental antes da implantação do experimento

Prof.	pH	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	S	T	V	K	P	COS	Argila	Areia	Silte
Cm	H <sub>2</sub> O	-----cmolcdm <sup>3</sup> -----						%	-mg dm <sup>3</sup> -	-----g kg <sup>-1</sup> -----						
0 a 20	5,49	2,85	1,90	0,48	0,04	0,85	11,90	5,72	17,62	32	188	33	27,98	408	404	188
20 a 40	5,10	2,65	1,30	0,47	0,04	1,20	12,10	4,46	16,56	27	184	23	25,33	519	383	98

Foram coletadas 4 amostras na área total para determinação da densidade do solo (Ds), a densidade das partículas (Dp) e o cálculo da porosidade total (PT) do solo de acordo com Teixeira et al. (2017) (Tabela 2).



Figura 1. (A) Paisagem regional, Serra Velha, microbacia Barracão dos Mendes, Nova Friburgo, RJ; (B) preparo da área experimental com a incorporação de calcário em setembro de 2017; (C) ciclo de cultivo de couve-flor. Fotos: Nivaldo Schultz.

Tabela 2. Densidade do solo (Ds) e Porosidade total (PT) do solo antes da implantação do experimento em setembro de 2017

Ds $Mg\ m^{-3}$	PT %
<b>0,0-0,10 m</b>	
1,20	48
<b>0,10-0,20 m</b>	
1,10	52
<b>0,20-0,40 m</b>	
1,10	52

Em setembro de 2017 foi realizada calagem com calcário dolomítico com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 76%, com 30% CaO e 10% de MgO, com o intuito de elevar a saturação por bases para 60%. A incorporação do calcário foi realizada com apenas uma aração com arado de 3 discos acoplados a um trator de 65 cv. Essa recomendação teve como objetivo estabelecer uma dose de calcário intermediária entre a recomendação do *Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro* (Freire et al., 2013), que recomenda a dosagem de calcário com base na neutralização do Al, e a recomendação de May et al. (2007), os quais recomendam a elevação do valor V para a couve-flor, principal cultura cultivada na localidade, para 80%. A calagem foi realizada com aplicação de dose equivalente a 8,30 Mg ha<sup>-1</sup>, em dose única e incorporada a 20 cm de profundidade com uma operação de aração (Figura 1B).

Após a calagem foi delimitada a área experimental adotando-se um delineamento em blocos casualizados, com 4 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram: plantio convencional com incorporação de plantas espontâneas (PCPE); plantio convencional com incorporação de plantas de cobertura (PCPC), plantio direto na palhada de plantas de cobertura (PDPC) e plantio direto na palhada de plantas espontâneas (PDPE). A área das parcelas foi de 20 m<sup>2</sup> (5 x 4 m) e a área total do experimento foi de 320 m<sup>2</sup>. O tratamento PCPE é tradicional na região e por isso foi inserido no estudo. Em função da declividade da área experimental (26%) o preparo do solo foi realizado no sentido do declive da encosta. De outubro de 2017 a agosto de 2020 foram realizados cultivos alternados entre plantas de cobertura, couve-flor e milho, de acordo com sequência apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Cultivos realizados na área experimental entre outubro de 2017 e agosto de 2020

Período	Cultivo
Outubro de 2017 a janeiro de 2018	Consórcio crotalária juncea + feijão de porco
Fevereiro a junho de 2018	Cultivo de couve-flor
Julho a setembro de 2018	Cultivo de aveia preta
Novembro de 2018 a março de 2019	Milho (para colheita de espigas verdes)
Maio a agosto de 2019	Cultivo de couve-flor
Outubro de 2019 a janeiro de 2020	Consórcio crotalária juncea + feijão de porco
Maio a agosto de 2020	Cultivo de couve-flor

Durante a condução do experimento todos os tratos culturais necessários para o cultivo de hortaliças foram realizados, inclusive capinas nas parcelas onde o cultivo foi realizado no SPD (PDPC e PDPE). A adubação com nitrogênio (N), fósforo ( $P_2O_5$ ) e potássio ( $K_2O$ ) foi realizada de acordo com o *Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro* (Freire et al., 2013).

Em novembro de 2020 foram realizadas amostragens do solo para avaliar a Ds, Dp e PT, segundo Teixeira et al. (2017). Além da Ds, Dp e a PT, foi avaliada a resistência do solo à penetração (RSP), segundo Stolf et al. (2014). A Ds, Dp e o VTP foram determinadas nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, com a abertura de uma mini trincheira por parcela. Em função de ser um atributo do solo estável, a Dp foi avaliada através de uma média de todos os tratamentos, para o cálculo da VTP do solo. A RSP foi avaliada na camada de 0,0-0,40 m de profundidade, com base na média de 4 pontos por parcela, com as quais foram elaboradas as curvas de RSP. No momento da avaliação da RSP foram coletadas duas amostras de solo por parcela, na camada de 0,0-0,40 m para a determinação do conteúdo de água no solo.

Em novembro de 2020, dois meses após a colheita da couve-flor e com a presença de plantas espontâneas em toda a área experimental foram simuladas chuvas nas parcelas experimentais para avaliar a infiltração e as perdas de solo e água nos diferentes sistemas de manejo nos quais o solo foi mantido de 2017 a 2020 (Tabela 3). Foi utilizado o simulador de chuva portátil InfiAsper (Alves Sobrinho; Ferreira et al., 2002; Alves Sobrinho; Gómez-Macpherson; Gómez, 2008), calibrado para aplicar chuvas constantes com intensidade de 80 mm  $h^{-1}$ . A instalação do equipamento no campo e a operacionalidade seguiu as recomendações de Alves Sobrinho, Gómez-Macpherson e Gómez (2008), a saber: bicos aspersores a 2,30 m de altura em relação ao nível médio do solo no centro da parcela experimental (chapa de aço com 0,20 m de altura, com 1 x 0,70 m de comprimento e largura, respectivamente); rotação do disco obturador, responsável pela formação das gotas da chuva simulada a 230 rpm e pressão hidráulica de 4 PSI. A Figura 2A mostra os diferentes componentes que compõem o simulador de chuvas InfiAsper.

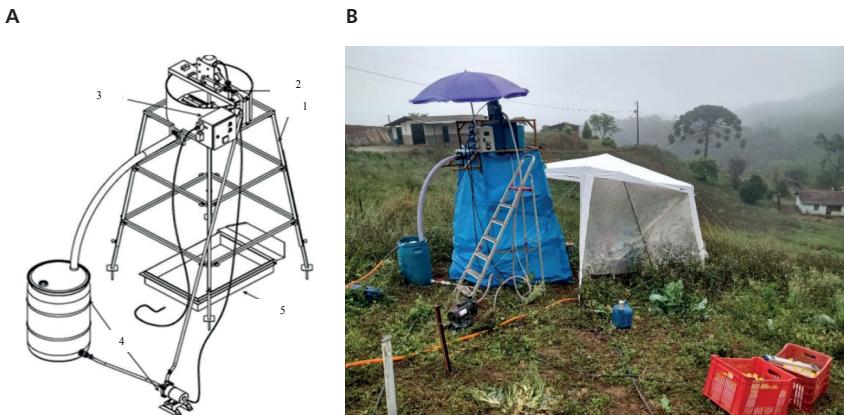


Figura 2. (A) Esquema de montagem e identificação dos componentes do simulador de chuva InfiAsper: 1. Estrutura metálica; 2. Bicos injetores de água e disco obturador; 3. Painel de controle; 4. Conjunto motobomba e reservatório de água; 5. Parcela coletora do escoamento. Adaptado de Macedo et al. (2021). (B) Simulador montado no campo na área experimental em Nova Friburgo. Foto: Nivaldo Schultz.

A parcela experimental foi cravada no solo a aproximadamente 15 cm de profundidade, restando aproximadamente 5 cm acima do nível do solo para coletar o escoamento superficial oriundo da chuva simulada. Com o objetivo de padronizar a umidade do solo foi realizado o umidecimento com a aplicação de 10 L de água com o uso de regador. Após o umidecimento foi iniciada a chuva simulada. A coleta do escoamento superficial foi iniciada após a formação das primeiras gotas na calha coletora. Após o início do escoamento, a coleta para a avaliação da perda de água foi realizada em intervalos de 1 minuto e o volume escoado medido com auxílio de proveta graduada. Para quantificar a perda de solo os volumes escoados a cada 5 minutos foram medidos e armazenados em garrafas plásticas de 1 L, totalizando 12 amostras por teste. No laboratório, essas amostras foram agitadas, transferidas para provetas onde receberam a adição de 10 mL de solução de sulfato de alumínio a 0,018 mol L<sup>-1</sup> para favorecer a floculação e a sedimentação das partículas. Após a sedimentação foi realizada a sucção da água até aproximadamente 2 cm acima do nível do material sedimentado no fundo da proveta, o qual com o auxílio de pisseta e água destilada foi transferido para placa de petri previamente seca em estufa a 105 °C por uma hora. As placas de petri contendo os sedimentos foram levadas para estufa a 105 °C onde permaneceram até atingirem peso constante. Após a secagem foi realizada a pesagem das placas com os sedimentos coletados a cada 5 minutos e os cálculos para estimar as perdas de solo em cada minuto foram realizados em planilha do Excel, de onde foi totalizado a perda de solo em cada teste de 1 hora.

A partir do conhecimento da intensidade da chuva aplicada e do escoamento superficial foram elaboradas as curvas de escoamento superficial acumulado (ESA), infiltração acumulada (IA) e a taxa de infiltração estável (TIE) em cada sistema de manejo.

Os dados de Ds, PT e perdas de solo foram submetidos ao teste de distribuição normal (Shapiro-Wilk), análise de variância e teste de médias ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o programa Sisvar 5.6. As curvas de RSP foram elaboradas em função da metodologia descrita por Stolf *et al.* (2014). As curvas de ESA, IA e a TIE foram elaboradas em planilha do Excel.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Ds e a PT diferiram entre os sistemas de manejo após 3 anos de cultivo (Tabela 4). A Ds na camada de 0,0-0,10 m variou de  $0,94 \text{ Mg m}^{-3}$  no PCPC para  $1,05 \text{ Mg m}^{-3}$  no PCPE, diferindo entre si, porém ambos não diferiram do PDPC e PDPE. Na camada de 0,10-0,20 m a variação foi de  $0,93 \text{ Mg m}^{-3}$  no PDPE a  $1,11 \text{ kg m}^{-3}$  no PCPE, não sendo observada diferença entre PCPE e PCPC, porém ambos diferiram do PDPC e do PDPE. Para essas duas formas de manejo não foram verificadas diferenças entre si, porém os valores foram inferiores quando comparados às demais formas de manejo. Na camada de 0,20-0,40 m o menor valor,  $0,89 \text{ Mg m}^{-3}$ , foi verificado no PDPE e o maior de  $1,04 \text{ Mg m}^{-3}$  no PCPC; não sendo verificadas diferenças entre PCPE e PCPC, porém o manejo PDPE diferiu do PCPE e PCPC.

Os valores de Ds quantificados nos quatro sistemas de manejo são baixos do ponto de vista agronômico, indicando não haver restrições ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Segundo Reinert *et al.* (2008), para solos argilosos, como é o caso do solo da área experimental, o limite crítico de Ds para o crescimento adequado das raízes das plantas está entre  $1,30$  e  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ . Apesar dos valores de Ds estarem baixos, de acordo com valores gerais na literatura, nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m o sistema de cultivo convencional (PCPE e PCPC) favoreceu o aumento dos valores de Ds em comparação ao SPD (PDPC e PDPE), especialmente na camada de 0,10-0,20 m. Esse resultado evidencia que a mecanização do solo está afetando negativamente os atributos físicos do solo e pode em médio e longo prazo promover a compactação e elevar a Ds para valores superiores àqueles considerados adequados para os cultivos agrícolas. Esse resultado posteriormente, deve ser relacionado com a produtividade, se está havendo produtividade baixa, ou se nos próximos anos haverá redução de produtividade.

A PT variou de 54,20% no PCPE a 59,00% no PCPC na camada de 0,0-0,10 m, diferindo entre si, porém sem apresentarem diferenças em comparação ao PDPC e ao PDPE. Nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m nos manejos PCPE e PCPC foram

verificados menores valores de PT, sendo esses inferiores aos manejos PDPC e o PDPE. Assim como observado para a Ds, os valores de PT mostram que, independentemente do sistema de manejo, o solo encontra-se em condições físicas adequadas para o cultivo, bem como para adequada troca gasosa e infiltração da água, no entanto, indicando que o preparo mecânico está afetando negativamente a agregação do solo, quando comparado com o SPD, seja com o cultivo de plantas de cobertura do solo ou as plantas espontâneas. Resultados similares foram observados por Loss *et al.* (2017) ao avaliarem os atributos físicos de um solo cultivado com cebola em SPDH e sistema com preparo convencional do solo por 6 anos, especialmente quanto ao aumento da PT.

Tabela 4. Densidade do solo (Ds) e volume total de poros (PT) do solo após 3 anos de produção de hortaliças sob diferentes sistemas de manejo

Tratamentos	Ds	PT
	Mg m <sup>-3</sup>	%
0,0-0,10 m		
PCPE	1,05 a	54 b
PCPC	0,94 b	59 a
PDPC	1,00 ab	57 ab
PDPE	1,03 ab	55 ab
PCPE	1,11 a	52 b
PCPC	1,10 a	53 b
PDPC	0,94 b	59 a
PDPE	0,93 b	60 a
PCPE	1,01 a	56 b
PCPC	1,04 a	55 b
PDPC	0,94 ab	59 ab
PDPE	0,89 b	61 a

Médias de 4 repetições. PCPE: plantio convencional com incorporação de plantas espontâneas. PCPC: plantio convencional com incorporação de plantas de cobertura.

PDAP: plantio direto na palhada de plantas de cobertura. PDPE: plantio direto na palhada das plantas espontâneas. As letras comparam os sistemas de manejo dentro de cada profundidade Teste t (LSD) a 5% de significância dos erros.

Os sistemas de manejos afetaram a RSP na camada de 0,0-0,40 m de profundidade, avaliada com 33% de umidade, após 3 de anos de cultivo (Figura 3). Os elevados valores de umidade observados foram resultados de chuvas que ocorreram nos dias anteriores à avaliação. Nos quatro sistemas de manejo, a RSP na camada de 0,0-0,05

m variou em torno de 0,50 MPa. Na camada de 0,05-0,20 m, as curvas mostram aumento praticamente linear na RSP no PCPE e no PCPC, chegando a 2,23 MPa a 0,20 m de profundidade no PCPE e 2,12 MPa no PCPC, com manutenção da RSP próximo de 2,20 MPa na camada de 0,20-0,40 m do PCPE, e pequeno aumento nessa camada no manejo PCPC, alcançando valores de 2,90 MPa a 0,37 m de profundidade. Nos manejos com PDPC PDPE verificou-se aumento praticamente linear na camada de 0,0-0,10 m, chegando próximo de 2 MPa, com pequena redução na camada de 0,10-0,30 m e aumento na camada de 0,30-0,40 m, chegando a aproximadamente 2,25 MPa nos sistemas PDPC e PDPE.

De maneira geral, os valores RSP encontram-se dentro da faixa considerada adequada para o desenvolvimento normal das raízes das plantas. De acordo com Taylor, Roberson e Parker Jr. (1966) e Taylor (1971), de maneira geral o limite crítico de RSP para o desenvolvimento normal das raízes das plantas é de 2,0 a 2,5 MPa, quando o solo se encontra com umidade próxima da capacidade de campo, condição em que a maioria das culturas agrícolas apresenta seu desenvolvimento máximo, se nenhum outro fator de produção se tornar limitante.

Os resultados desse estudo divergem daqueles observados por Costa *et al.* (2003), no qual foi verificado aumento da RSP no sistema plantio direto, apesar de o solo apresentar a mesma densidade. Os autores justificam o comportamento observado, pelo solo apresentar uma maior coesão e estabilidade dos agregados no SPD em comparação ao sistema convencional. Em estudo para o estabelecimento de pastagens realizado por Costa *et al.* (2012), foram verificados valores RSP inferiores a 1,0 MPa, sendo observado ainda maior desenvolvimento das raízes de *Panicum maximum* no solo com essa condição física. Silva, Reichert e Reinert (2004) afirmam que a RSP é muito variável e facilmente influenciada pelas condições de manejo do solo, da intensidade do uso de máquinas e implementos agrícolas e da umidade do solo. Segundo Boone, Vermeulen e Kroesbergen (1994), baixos valores de resistência à penetração podem estar associados à maior porosidade de solo, proporcionando um melhor desenvolvimento de raízes.

Os resultados mostram que nos manejos PCPE e PCPC o revolvimento do solo reduziu a RSP na camada de 0,0-0,20 m, porém causou elevação dos valores na camada abaixo de 0,20 m. A elevação dos valores de RSP a 0,20 m de profundidade é resultante da aração e do uso de enxada rotativa no preparo do solo, uma vez que o tombamento da leiva pelo arado e/ou o revolvimento do solo pela enxada rotativa ocorre sempre próximo de 0,20 m de profundidade. Diferentemente dos manejos PCPE e PCPC, no PDPC e PDPE foi observado aumento da RSP na camada de 0,0-0,10 m, porém sem aumento dos valores em profundidade, especialmente na camada de 0,10-0,30 m. A elevação dos valores de RSP no PCPE e no PCPC foi pequena, no entanto, trata-se de um período de manejo de apenas três anos,

resultado que leva a inferir que o plantio direto das hortaliças preserva a estrutura do solo, especialmente em profundidade superior a 0,10 m. Nesse período minimizou os problemas oriundos do aumento da RSP.

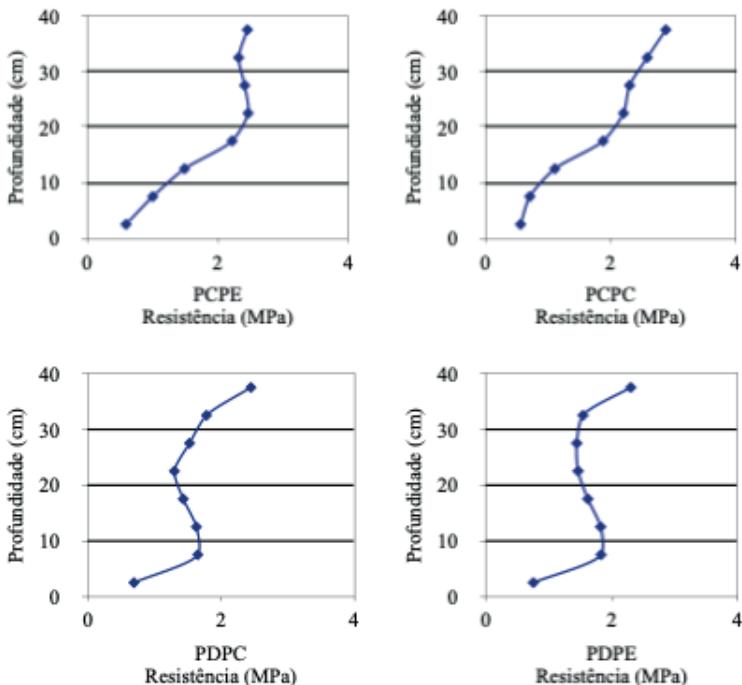


Figura 3. Resistência do solo à penetração após 3 anos de produção de hortaliças sob diferentes sistemas de manejo. PCPE: plantio convencional com incorporação de plantas espontâneas; PCPC: plantio convencional com incorporação de plantas de cobertura; PDAP: plantio direto na palhada de plantas de cobertura; PDPE: plantio direto na palhada das plantas espontâneas.

Na Figura 4A é apresentada a infiltração acumulada ao longo de 1 hora de chuva simulada com intensidade de  $80 \text{ mm h}^{-1}$ , em diferentes sistemas de manejo do solo. Foram verificados 66,79 mm no PCPE, 70,26 mm no PCPC, 73,85 mm no PDPC e 78,15 mm no PDPE. O escoamento superficial acumulado foi de 13,21 mm no PCPE, 9,74 mm no PCPC, 6,15 mm no PDPC e 1,85 mm no PDPE (Figura 4B). Esses resultados mostram elevada infiltração e baixo escoamento superficial em todos os sistemas de manejo. Em estudo realizado por Almeida *et al.* (2019), em um Argissolo Vermelho-Amarelo na Baixada Fluminense, RJ, com 9% de declividade e preparado com duas arações e uma gradagem niveladora foi observado o escoamento acumulado de 54,10  $\text{mm h}^{-1}$  com a aplicação de uma chuva com intensidade constante de 76,50  $\text{mm h}^{-1}$ , porém com duração de 38 minutos.

A TIE foi de 70,99 mm h<sup>-1</sup> no PCPE, 73,02 mm h<sup>-1</sup> no PCPC, 75,36 mm h<sup>-1</sup> no PDPC e 77,46 mm h<sup>-1</sup> no PDPE (Figura 4C). Tomando como referência a topografia acidentada da região e da área experimental (26%) e relatos de estudos que avaliaram infiltração e escoamento superficial de água com chuvas simuladas em diversas regiões do Brasil (Almeida et al., 2019; Almeida et al., 2021; Carvalho et al., 2015; Marioti et al., 2013; Panachuki et al., 2011), verifica-se que o solo em questão apresenta elevada TIE; resultado que não era esperado, uma vez que a região apresenta sérios problemas com a degradação do solo pela chuva. Em estudo realizado por Mendes, Mahler e Andrade (2011) na mesma região, avaliando perdas de solo com chuva natural, em diferentes sistemas de manejo do solo, sobre um Argissolo Amarelo Distrófico câmbico verificou-se perdas de 30 Mg ha<sup>-1</sup> de solo em área de cultivo convencional de olerícolas e 10 Mg ha<sup>-1</sup> em área sob floresta nativa. Nesse estudo, a elevada infiltração é resultante dos atributos físicos do solo, que possui baixos valores de Ds e elevada PT (Tabela 3), conferindo ao solo elevadas taxas de infiltração e por consequência baixo escoamento superficial, o que corrobora com a baixa RSP (Figura 2), que apresentou valores baixos até 0,40 m de profundidade. Outro aspecto que precisa ser considerado é a presença das plantas espontâneas na área na época da avaliação (Figura 2B), a qual protege o solo contra o impacto direto da gota de chuva e favorece a infiltração, e dessa forma reduzindo o escoamento superficial. Esse resultado mostra que a manutenção do solo cobertura, mesmo que seja com as plantas espontâneas é um bom manejo para tornar os sistemas de produção de regiões declivosas mais conservacionistas.

A perda de solo nos quatro sistemas de manejo foi baixa (Figura 5), o que se explica pela elevada infiltração e consequentemente baixo escoamento superficial. Apesar dos valores terem sido baixos, verifica-se que o SPD com plantas de cobertura do solo (PDPC) reduziu as perdas em mais de 50% quando comparado ao sistema convencional (PCPE), porém o PDPE não reduziu de forma tão significativa as perdas de solo em relação ao PCPE. Uma possível explicação para o aumento da eficiência das plantas de cobertura do solo em comparação às espontâneas na perda de solo pode estar associada ao maior volume de palhada na superfície do solo e também pela melhoria na agregação do solo com a presença das plantas de cobertura em relação às espontâneas. De acordo com Mello et al. (2003) a redução da erosão hídrica pela presença de cobertura vegetal é devido à sua capacidade em amortecer o impacto da energia cinética das gotas de chuva de modo a amenizar o escoamento superficial e consequentemente, a menor perda de solo e de água. Pruski et al. (1997) também afirmam que quanto maior for a proteção oferecida ao solo, por diferentes tipos de cobertura vegetal, menor será o efeito da ação da chuva, diminuindo o impacto das gotas diretamente sobre a superfície do solo, reduzindo a desagregação do solo e diminuindo as perdas por erosão.

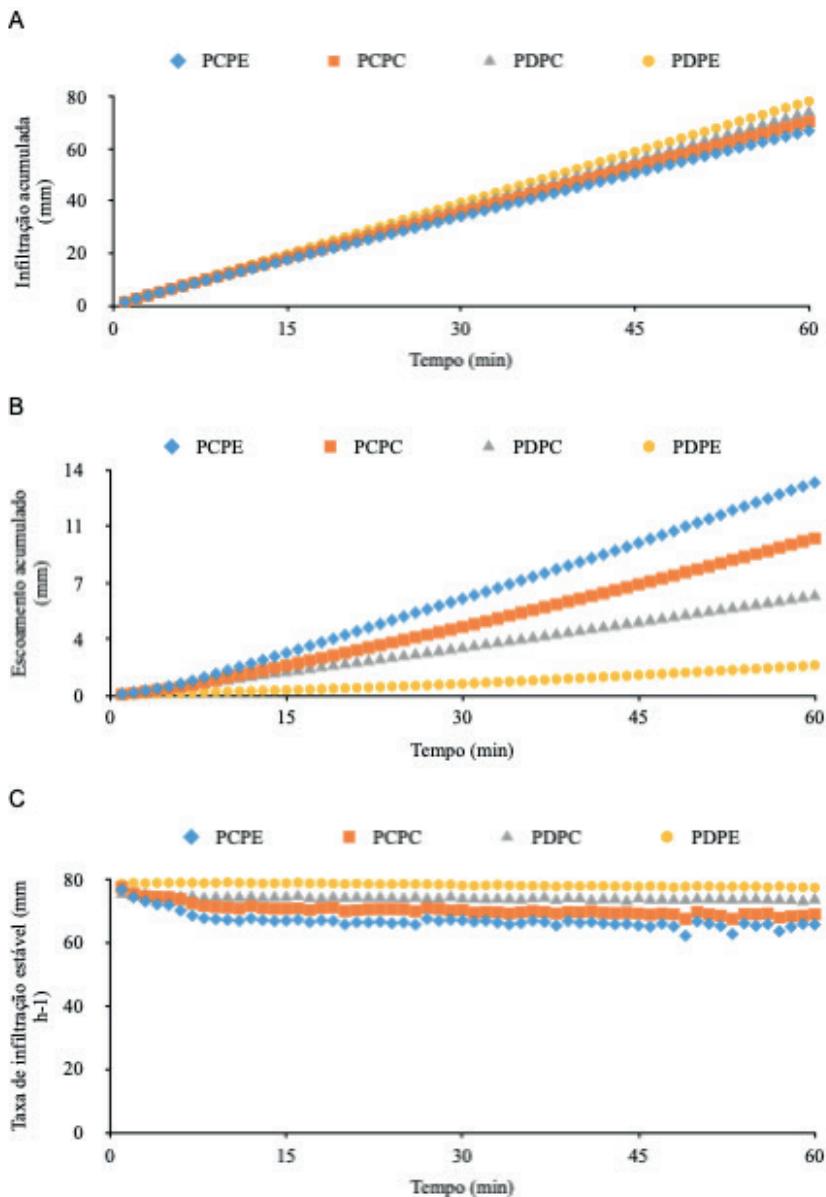


Figura 4. Infiltração acumulada (A); escoamento acumulado (B); e taxa de infiltração estável (C) em área de produção de hortaliças, sob diferentes sistemas de manejo, na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro. PCPE: plantio convencional com incorporação de plantas espontâneas; PCPC: plantio convencional com incorporação de plantas de cobertura; PDPC: plantio direto na palhada de plantas de cobertura; e PDPE: plantio direto na palhada das plantas espontâneas.

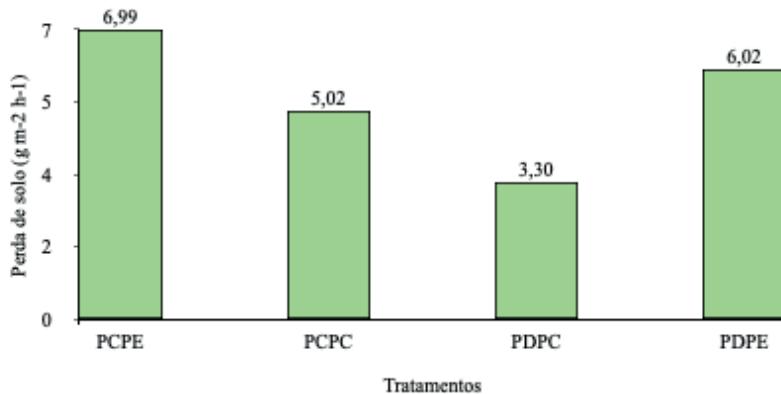


Figura 5. Perda de solo em área de produção de hortaliças sob diferentes sistemas de manejo na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro. PCPE: plantio convencional com incorporação de plantas espontâneas; PCPC: plantio convencional com incorporação de plantas de cobertura; PDPC: plantio direto na palhada de plantas de cobertura; e PDPE: plantio direto na palhada das plantas espontâneas.

De acordo com Pezarico *et al.* (2013), os solos com maior densidade apresentam um aumento da resistência à penetração, e consequentemente, redução no valor da infiltração, ou seja, causam prejuízos e comprometem a qualidade física do solo, sendo também observado neste estudo, no qual, o sistema convencional apresentou maior resistência à penetração em comparação aos tratamentos do SPD, assim como na redução da infiltração acumulada e taxa de infiltração (Figura 4). Essa correlação inversa entre a RSP e a infiltração de água também foi verificada por Martins e Santos, (2017), sendo observado que quando os valores de RSP estiveram entre 2,0 a 3,0 MPa, a infiltração de água no solo ficou entre 20% a 30% sob chuva simulada de 280 mm h<sup>-1</sup>, e quando a RSP foi de 0,05 MPa, a infiltração alcançou 100%. A partir dos dados obtidos, os autores concluíram que à medida que a RSP reduz, a infiltração da água aumenta. Nesse mesmo estudo, concluiu-se que a infiltração da água no solo e a RSP é influenciada pelo uso e sistema de manejo do solo, onde na área de floresta foi observada a maior infiltração e menor resistência à penetração.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo da área estudada apresenta condições físicas que favorecem a infiltração da água e baixo escoamento superficial, mesmo no sistema convencional de cultivo.

O sistema convencional com revolvimento intensivo do solo no sentido do declive das encostas degrada a estrutura do solo, eleva a densidade do solo, a resistência à penetração, reduz a infiltração, e assim eleva o escoamento superficial e as perdas de solo, quando comparado ao SPD.

O SPDH reduz a densidade do solo e a resistência à penetração, aumenta a porosidade total e a infiltração, e minimiza as perdas de solo e de água, tornando-se um sistema conservacionista de manejo dos solos agrícolas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, W. S.; CARVALHO, D. F.; PEREIRA, F. A. C.; ROUWS, J. R. Sediment production and soil water infiltration under different simulated rainfall characteristics. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, v. 23, n. 8, p. 572-578, 2019.
- ALMEIDA, W. S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P. T. S.; MENEZES, R. S.; SOBRINHO, T. A.; CARVALHO, D. F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil & Tillage Research**. p.130-138, 2018.
- ALMEIDA, W. S.; SEITZ, S.; OLIVEIRA, L. F. C.; CARVALHO, D. F. Duration and intensity of rainfall events with the same erosivity change sediment yield and runoff rates. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 9, p. 69-75, 2021.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 617-625, 2007.
- ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 337-344, 2002.
- ALVES SOBRINHO, T.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; GÓMEZ, J. A. A portable integrated rainfall and overland flow simulator. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 163-170, 2008.
- AMORIM, R. S. S. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras**. Tese Doutorado. – Viçosa: UFV, 116 p. 2003.
- AMUNDSON, R.; BERHE, A. A.; HOPMANS, J. W.; OLSON, C.; SZTEIN, A. E.; SPARKS, D. L. Soil and human security in the 21st century. **Soil Science**. v. 348, p. 1-6, 2015.
- ANTUNES, T. G. S. P. **Influência do manejo da palhada de aveia-preta e tremoço-branco sobre a fauna invertebrada do solo em ambiente de montanha**. Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. Dissertação (mestrado em agricultura orgânica). 51 p., 2016.

AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. T. S.; SILVA, M.; TEIXEIRA, O. A. Disseminação da aveia-preta como cobertura do solo em sistemas de cultivo de hortaliças em unidades de produção familiar na região Serrana Fluminense. In: X Congresso da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, p. 1718-1723, 2014.

BARRADAS, C. A. A.; FREIRE, L. R.; ALMEIDA, D. L.; DE-POLLI, H. Comportamento de adubos verdes de inverno na região serrana fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1461-1468, 2001.

BERTOL, I. Conservação do solo no brasil: histórico, situação atual e o que esperar para o futuro. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. (boletim informativo 42). 48 p. 2016.

BERTOL, I.; LUCIANO, R. V.; BERTOL, C.; BAGIO, B. Nutrient and organic carbon losses, enrichment rate, and cost of water erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-15, 2017.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três tipos de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 545-552, 2002.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone. 355 p., 2012.

BOONE, F. R.; VERMEULEN, G. D.; KROESBERGEN, B. The effect of mechanical impedance and soil aeration as affected by surface loading on the growth of peas. **Soil and Tillage Research**, v. 32, p. 237-251, 1994.

BRONICK, C. B. J.; LAL, R. L. A. Soil structure and management: a review. **Geoderma** v. 124, p. 3-22, 2005.

BUBENZER, G. D.; MEYER, L. D. Simulation of rainfall and soils for laboratory research. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v. 8, n. 1, p. 73-75, 1965.

CARNEIRO, M. J.; ROCHA, B. N. R. Limites e possibilidade da construção de “territórios de desenvolvimento” na Região Serrana do Rio de Janeiro. **Política e Sociedade**, n. 14, p. 251-275, 2009.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S. da; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão para diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2008.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S. da; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.

CARVALHO, D. F.; EDUARDO, E. N.; ALMEIDA, W. S.; SANTOS, L. A. F.; ALVES SOBRINHO, T. Hydric erosion and water infiltration in different soil management system and corn development stage. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, p. 1076-1082, 2015.

COSTA, M. A. T.; BATISTA, M. A.; MUNIZ, A. S.; SILVA, K.; SEIDEL, E. P.; FERNADES, M. Avaliação da fertilidade de um latossolo vermelho distrófico em área de mata e agrícola no cultivo inicial do milho (*Zea mays* L.). Ribeirão Preto-SP. In: XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. *Anais...* 2003.

COSTA, M. A. T.; TORMENA, C. A.; LUGÃO, S. M. B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W. G.; MEDEIROS, F. M. Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 993-1004, 2012.

DANTAS, M. E. **Mapa geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM. 63 f., 2 mapas. Executado pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Belo Horizonte. 2000.

DECHEM, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; MARIA, I. C. Losses and costs associated with water erosion according to soil cover rate. *Bragantia*, v. 74, p. 224-33, 2015.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. D.; VIANA, J. H. M. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed., Embrapa Solos: Rio de Janeiro, RJ. Documentos 132. 230 p., 2011.

ECHER, M. M.; DALASTRA, G. M.; HACHMANN, T. L.; GUIMARÃES, V. F.; FIAMETTI, M. S. Desempenho de cultivares de berinjela em plantio direto e convencional. *Horticultura Brasileira*, v. 34, p. 239-243, 2016.

EGGER, D. S. **Continuidades e rupturas:** transformações sócioespaciais na agricultura em Sumidouro, RJ. 2010. 85f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 485-493, 2001.

EMATER-RIO. **Acompanhamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2018. Disponível em: <http://www.emater.rj.gov.br/areaTecnica/cult2018.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2022.

EMATER-RIO. **Relatório por culturas do sistema ASPA/AGROGEO** – Estado do Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <http://www.emater.rj.gov.br/images/culturacorr2020.htm>. Acesso em: 10 abr. 2022.

FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. (Orgs.). **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, RJ. Editora Universidade Rural, p. 257-413, 2013.

HIRATA, A. C. S.; HIRATA, E. K.; GUIMARÃES, E. C.; RÓS, A. B.; MONQUERO, P. A. Plantio direto de alface americana sobre plantas de cobertura dessecadas ou roçadas. **Bragantia**, v. 73, p. 178-183, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sidra. **Censo Agropecuário 2017**.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estados mais pobres aumentam participação no PIB em dez anos, aponta IBGE**, 2014. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/902/1/2021\\_CDS\\_180.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/902/1/2021_CDS_180.pdf). Acesso em: 10 abr. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sidra. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/902/1/2021\\_CDS\\_180.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/902/1/2021_CDS_180.pdf). Acesso em: 10 abr. 2022.

LOMBARDI NETO, F.; MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DECHEN, S. C. F.; VIEIRA, S. R. Efeito da quantidade de resíduos culturais de milho nas perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 71-75, 1988.

LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E.; SCHMITZ, D.; VEIGA, M.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 11, p. 105-113, 2017.

MACEDO, P. M. S. M.; PINTO, M. F.; ALVES SOBRINHO, T.; SCHULTZ, N.; COUTINHO, T. A. R.; CARVALHO, D. F. A modified portable rainfall simulator for soil erosion assessment under different rainfall patterns. **Journal of Hydrology**, v. 596, p. 126052, 2021.

MARIOTTI, J.; BERTOL, I.; RAMOS, J. C.; WERNER, R. S.; PADILHA, J.; BANDEIRA, D. H. Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1361-1371, 2013.

MARTINS, F. P.; SANTOS, E. L. Taxa de infiltração da água e a resistência do solo a penetração sob sistemas de uso e manejo. **Acta Iguazu**. Cascavel, v. 6, n. 4, p. 28-40, 2017.

MAY, A.; TIVELLI, S. W.; VARGAS, P. F.; SAMRA, A. G.; SACCONI, L. V.; PINHEIRO, M. Q. **A cultura da couve-flor**. Campinas: IAC (boletim técnico, 200). 2007.

MELLO, R. A. C.; MADEIRA, N. R.; PEIXOTO, J. R. Cultivo de brócolos de inflorescência única no verão em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 23-28, 2010.

MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 901-909, 2003.

MENDES, C. A. R.; MAHLER, C. F.; ANDRADE, A. G. Erosão superficial em Argissolo Amarelo sob cultivo perene e com pousio florestal em área de relevo montanhoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1387-1396, 2011.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1777-1785, 2011.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista Ciência Agronômica**, v. 56, p. 40-7, 2013.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; SANTOS, W. L.; RODRIGUES, L. N.; ANTUNES, V. L. Infiltração da água no solo. Viçosa - MG: **Engenharia na Agricultura**, 26 p. (Caderno Didático, 25), 1997.

NEVES, L. A. Nova Friburgo: Um perfil histórico-geográfico acerca do quadro socioespacial da região. **Geo UERJ Revista do Departamento de Geografia**, UERJ, RJ, v. 7, p. 77-88, 2000.

REINERT, D. J.; ALBURQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADE, M. M. C. Limite crítico de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

RIES, J. B.; SEEGER, M.; ISERLOH, T.; WISTORF, S.; FISTER, W. Calibration of simulated rainfall characteristics for the study of soil erosion of agricultural land. **Soil and Tillage Research**, v. 106, p. 109-116, 2009.

SANTOS, H. G.; TITO-JACOMINE, P. K.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. revista e ampliada. Brasília: Embrapa, 356p, 2018.

SCHULTZ, N.; PINHEIRO JUNIOR, C. R.; RODRIGUES, G. C. S.; COSTA, E. S. P.; PEREIRA, M. G.; SOBRINHO, N. M. B. A. Produção de couve-flor em sistema plantio direto e convencional com aveia preta como planta de cobertura do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 30107-30122, 2020.

SILVA, C. F. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2. ed. revisada e ampliada, Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, 627 p. 2009.

SILVA, C. G.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F. Atributos físicos, químicos e erosão entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v. 25, n. 1, p. 144-153, 2005.

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

SOUZA, R. F.; FIGUEIREDO, C. C.; MADEIRA, N. R.; ALCÂNTARA, F. A. Effect of management systems and cover crops on organic matter dynamics of soil under vegetables. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 923-933, 2014.

SOUZA, R. P. O Desenvolvimento Rural no Estado do Rio de Janeiro a partir de Uma Análise Multidimensional. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57:109-126, 2019.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L. G.; SILVA, L. C. F.; MARGARIDO, L. A. C. Penetrômetro de Impacto Stolf - programa computacional dedados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 774-782, 2014.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER Jr., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966.

TAYLOR, H. M. Root behavior as affected by soil structure and strength. In: CARSON, E.W. (ed.) **The plant root and its environment**. Charlottesville, University of Virginia, Cap. 11, p. 28-291, 1971.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEICEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 573 p. 2017.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 39, p. 428-437, 2015.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses:** A guide to conservation planning. (Agriculture Handbook, 5). Washington, USDA, 58 p. 1978.