
PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICO-METODOLÓGICA

PHYSICAL PROPERTIES OF SOILS: A THEORETICAL-METHODOLOGICAL APPROACH

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS: UN ABORDAJE TEÓRICO-METODOLÓGICO

Danyella Vale Barros França¹

Cristiane Mouzinho Costa²

Quésia Duarte da Silva³

RESUMO: O objetivo deste artigo foi discorrer sobre as propriedades físicas dos solos numa abordagem teórico-metodológica, com vistas a contribuir nos estudos relacionados a este tema. Neste sentido, afirma-se que as análises das propriedades físicas dos solos se fazem necessárias e são importantes para gerar dados indicadores que poderão auxiliar no processo de gestão urbana e rural, servindo de suporte para obras civis, atividades agrícolas, descarte de resíduos, infiltração de águas pluviais e áreas verdes voltadas para arborização urbana, recuperação de áreas urbanas degradadas e outros usos. As propriedades físicas dos solos afetam os processos erosivos e os estudos de ambos podem ajudar a elucidar como os processos ocorrem, como evoluem e quais medidas mitigadoras são mais adequadas para cada área afetada.

Palavras-chave: Propriedades físicas dos solos. Conceitos de Solos. Problemas ambientais Relacionados aos Solos. Erosão.

ABSTRACT: The objective of this article was to discuss the physical properties of soils in a theoretical-methodological approach, with a view to contributing to studies related to this theme. It is stated that analyzes of physical properties of soils are required and are important to generate indicator data that assist in the urban and rural management process, serving as support for civil works, agricultural activities, waste disposal, rainwater infiltration and green areas aimed at urban afforestation, recovery of degraded urban areas and other uses. The physical properties of soils affect erosion processes and

1 Mestrado em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço pela Universidade Estado do Maranhão. E-mail: danyellabarrs-geo@hotmail.com.

2 Pesquisadora do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos – IMESC. Mestrado em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço pela Universidade Estado do Maranhão. E-mail: cristianemouzinho@hotmail.com.

3 Professora do Mestrado em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço. E-mail: quesiaduartesilva@hotmail.com.

studies of both can help to elucidate how the processes occurred, how they evolve and which mitigation measures are most appropriate for each affected area.

Keywords: Physical properties of soils. Soil Concepts. Environmental Problems Related to Soils. Erosion.

RESUMEN: El objetivo de este artículo fue el de descorrer sobre las propiedades físicas de los suelos en un abordaje teórico-metodológico, con la intención de contribuir con los estudios relacionados a este tema. En este sentido, se afirma que los análisis de las propiedades físicas de los suelos se hacen necesarios y son importantes para generar datos indicadores que podrán auxiliar en el proceso de la gestión urbana y rural, sirviendo de soporte para obras civiles, actividades agrícolas, descarte de residuos, infiltración de aguas pluviales y áreas verdes orientadas para la arborización urbana, recuperación de áreas urbanas degradadas y otros usos. Las propiedades físicas de los suelos afectan los procesos erosivos y los estudios de ambos pueden ayudar a elucidar la forma en que los procesos ocurren, cómo evolucionan y qué medidas mitigadoras son las más adecuadas para cada área afectada.

Palabras clave: Propiedades físicas de los suelos. Conceptos de Suelos. Problemas ambientales Relacionados a los Suelos. Erosión.

INTRODUÇÃO

Solo é um agrupamento de corpos naturais formados por componentes sólidos, líquidos e gasosos, tridimensionais, gerados por elementos minerais e orgânicos contendo matéria viva e podendo ser vegetados na natureza e serem modificados pela ação humana; é resultante da ação climática e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação em solo se realiza num determinado tempo e é influenciada pelo relevo (LEPSCH, 2002; SANTOS *et al.*, 2013).

Ademais, é o resultado da interação de diversos processos pedogenéticos como perdas, transformações e adição (OLIVEIRA, 2011), bem como, geomorfológicos (GUERRA; MENDONÇA, 2004). A sua formação resulta da manifestação, da combinação e da intensidade dos cinco fatores de formação, isto é: material de origem, clima, relevo, organismos e tempo.

O estudo dos solos é de grande importância porque eles são a base para a produção de alimentos para as sociedades, procedentes dos campos de cultivo e pastagens; para os vegetais se fixarem neles e extraírem água em mistura com nutrientes (LEPSCH, 2002); e, para a construção de diversos empreendimentos.

Os solos são recursos naturais extenuáveis, influenciam a qualidade do ar, quando dele, poeiras são transportadas à atmosfera e também são úteis para receber e processar detritos líquidos e sólidos das áreas urbanas (LEPSCH, 2002).

Além disto, há ocorrência mundial de diversos problemas ambientais relacionados aos solos como os processos erosivos, os movimentos de massa, a poluição dos solos, a sobre-exploração dos solos em função do aumento da produtividade agrícola, urbanização e outros, gerando degradação. Tais problemas são relatados por diversos pesquisadores como Pimentel (1976), Goudi (1990), Craswell *et al.* (1998), Ramalho (1999), Dias e Herrman (2002), Puskás e Farsang (2009), Silva e Botelho (2014), Albuquerque e Vieira (2014), Guerra *et al.* (2015) e outros.

Apesar desta variada problemática ambiental relacionada aos solos, a qual está vinculada principalmente aos usos que se faz deles, não existe distinção entre os solos que estão localizados em áreas rurais e florestadas e os solos utilizados para a implantação das cidades, os solos urbanos. Porém, nas áreas urbanas, os solos são descaracterizados devido à intensa atividade humana, modificando-os de tal forma, que muitas vezes não é possível reconhecer suas características originais (PUSKÁS; FARSANG, 2009).

A partir desta breve exposição sobre o conceito de solos, a importância dos estudos e a diversidade de problemas ambientais relacionados a eles, defende-se que é necessário conhecê-los para melhor conservá-los e utilizá-los e para a definição de políticas públicas adequadas ao uso e manejo (LEPSCH, 2002; GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2010; OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2013).

Palmieri e Larach (2003) afirmam que é de grande relevância conhecer as diversas propriedades dos solos, isto é, as propriedades físicas, químicas e mineralógicas, para uma melhor compreensão das suas características. Conforme De Jong Van Lier (2020), as propriedades físicas dos solos são determinadas pelo conjunto de características referentes à composição da matriz sólida e ao conteúdo dos poros.

A matriz sólida abrange os dados sobre o tamanho das partículas (frações granulométricas), o formato dos sólidos, a natureza (minerais, componentes orgânicos) e o arranjo (ou estruturação) de seus componentes. Os conteúdos dos poros compreendem as porções líquidas e gasosas (DE JONG VAN LIER, 2020).

Sobre as características físicas dos solos, Guerra (2013) ressalta que elas variam ao longo do tempo. Dessa forma, quando analisadas em qualquer estudo, é preciso que seja determinado um período de tempo, pois podem evoluir, isto é, suas propriedades podem ser alteradas, apresentando mais suscetibilidade ou menor resistência a processos erosivos, por exemplo (LAL, 1981; POESEN, 1981; MORGAN, 1984; DE PLOEY; POESEN, 1985; MORGAN *et al.*, 1987; GOVERS; POESEN, 1988; DICKINSON *et al.*, 1990; GUERRA; ALMEIDA, 1993).

Os estudos das propriedades físicas dos solos são muito utilizados para fazer prognósticos sobre o comportamento deles em ambientes naturais e alterados pelos diversos usos. As propriedades físicas dos solos influenciam os processos químicos e biológicos, e são um importante tema para os estudos a qualidade deles (LEPSCH, 2011; BRADY; WEIL, 2013).

As pesquisas relacionadas às propriedades químicas dos solos normalmente são realizadas para o entendimento das modificações ocorridas em áreas de produção agrícola e são de grande importância para subsidiar ações relacionadas à melhoria da produtividade (THOMAZ; PEREIRA, 2015).

Já as propriedades mineralógicas dos solos são estudadas para o conhecimento e avaliação da gênese deles, do comportamento físico e químico dos solos, e para o uso das propriedades como potencial mineral de nutrientes para as espécies vegetais (COMBATT; LANI; ALVAREZ, 2013).

O objetivo deste artigo, nesse sentido, é discorrer sobre as propriedades físicas dos solos numa abordagem teórico-metodológica, com vistas a contribuir nos estudos relacionados a este tema, considerando a importância já relatada dos solos e o contemporâneo acirramento dos problemas ambientais relacionados a eles, nas áreas rurais e urbanas. Dessa maneira, aborda-se inicialmente sobre este assunto e, posteriormente, discorre-se sobre a erosão dos solos em áreas urbanas. Ao final deste artigo, como resultado, verifica-se uma ampla bibliografia nacional e internacional sobre o assunto.

PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS NUMA ABORDAGEM TEÓRICO-METODOLÓGICA

Algumas propriedades físicas dos solos podem ser identificadas em trabalhos de campo, mas Guerra e Botelho (1996) afirmam que, na maioria das vezes, elas são distinguidas em laboratórios a partir de coletas de amostras com o objetivo de aprofundar a investigação.

De acordo com Palmieri e Larach (2003), as análises laboratoriais relacionadas às propriedades físicas dos solos compreendem determinações da composição granulométrica, teor de matéria orgânica, instabilidade dos agregados, densidade aparente (do solo), densidade real (de partículas) e porosidade. Lepsch (2011) afirma que os parâmetros da física dos solos envolvem:

determinação do tamanho e da quantidade das partículas unitárias dos grãos minerais do solo (que chamamos de granulometria ou textural); relações entre massas e volumes (densidade); quantidade de poros (porosidade); infiltração, absorção e movimentação da água (permeabilidade)” (LEPSCH, 2011, p. 121).

Brady e Weil (2013) defendem que as propriedades físicas dos solos são a cor, a textura, a estrutura, a estabilidade dos agregados, a densidade, a porosidade, a consistência, a capacidade de carga e de ruptura brusca do solo e que estas três últimas são relevantes para a construção civil.

De Jong Van Lier (2020) sustenta que granulometria (teores de areia, silte e argila), a textura (propriedade subjetiva observada pelo tato, dependente de uma classificação) e o volume elementar representativo (usado para identificar a porosidade de um solo) são determinantes para muitas das propriedades físicas e químicas dos solos.

Com base nestes autores, optou-se por abordar as propriedades citadas por Palmieri e Larach (2003) nos estudos relacionados aos processos erosivos.

Segundo Lepsch (2011), uma das primeiras características que diferenciam um horizonte do solo é o tamanho das partículas que o compõe. Pouquíssimos são os horizontes pedogenéticos que são constituídos essencialmente de frações que logo podem ser identificadas a “olho nu”, como é o caso dos pedregulhos e cascalhos. Assim, é necessário realizar a análise granulométrica da amostra de solo, onde se obterá a textura da mesma.

A análise granulométrica também é denominada de análise mecânica, física, fisicomecânica, textural, determinação do tamanho das partículas e fracionamento do solo (KIEHL, 1979), possibilitando a quantificação dos componentes minerais areia, silte e argila, que são expressos em g kg⁻¹ ou porcentagem de cada fração em relação à fração total de terra fina secada em estufa (TFSE) ou ao ar (TFSA).

De acordo Pereira *et al.* (2020), dentre as técnicas utilizadas para a determinação da classe textural de uma amostra, destaca-se a da pipeta, que tem como princípio básico a sedimentação das partículas. Esta técnica é considerada a de maior precisão para a determinação do separado de argila, servindo de calibração dos demais (KIEHL, 1979). Ela pode ser dividida em três etapas: a) pré-tratamento, b) dispersão e c) fracionamento.

Lepsch (2011) ressalta, porém, que antes das fases procedimentais para identificação da textura da amostra, é necessário, primeiro, que sua matéria orgânica seja eliminada, para que haja uma determinação precisa da quantidade e da proporção das partículas minerais de um horizonte de solo. De acordo com o referido autor, a técnica mais comum na eliminação de matéria orgânica utiliza a oxidação desta com água oxigenada.

A fase de pré-tratamento, segundo a Embrapa (1997), consiste em uma vez coletada a amostra do tipo deformada no campo, esta é levada para laboratório, destorroada e peneirada em uma peneira de malha 20mm (calhaus) e 2mm (cascalho).

Do material que foi peneirado, pesa-se 20g, a qual é agitada contendo um dispersante químico. Essa fase de dispersão tem como objetivo a destruição dos agregados e individualização das partículas, fazendo com que argilas e silte fiquem suspensos no líquido, o que facilita as suas separações pelo peso (EMBRAPA, 1997; LEPSCH, 2011, PEREIRA *et al.*, 2020).

A dispersão química, em geral, é feita com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 1 mol L⁻¹, para solos com elevado conteúdo de cálcio e /ou magnésio, e recomenda-se o uso de solução de hexametáfosfato de sódio. A dispersão mecânica, por sua vez, é realizada, em geral, com agitador de haste vertical ou agitador horizontal (EMBRAPA, 1997, COSTA, 2015, BARROS, 2016, PEREIRA *et al.*, 2020).

A suspensão do material é agitada em um “stirrer” por 15 minutos ou em uma mesa agitadora por aproximadamente 6 horas e posteriormente passada para uma peneira de malha 0,053mm (nº 270), na qual as areias ficam retidas, para depois serem secas e pesadas (EMBRAPA, 1997, LEPSCH, 2011, FUSHIMI, 2012).

A argila e o silte que passam pela peneira são recebidos em uma proveta de 1000 ml e depois de agitados com um bastão de vidro por aproximadamente 20 segundos, tendo este, na sua extremidade inferior, uma tampa de borracha contendo vários furos e de diâmetro um pouco menor do que o da proveta, são deixados em repouso, levando em consideração, a temperatura do ambiente, seguindo a tabela proposta pela Embrapa (1997).

Após essa etapa, realiza-se a separação das frações granulométricas ou a fase de fracionamento. A areia, em função de seu maior tamanho, é separada das demais frações por tamisação. A fração argila é determinada em alíquota coletada na suspensão de solo em uma pipeta de 50ml. Após o tempo de sedimentação calculado com base em modificação da Lei de Stokes, o silte é obtido pela diferença (EMBRAPA, 1997, PEREIRA *et al.*, 2020).

Os resultados desta análise granulométrica são geralmente apresentados em triângulos texturais (BRADY; WEIL, 2013; PEREIRA *et al.*, 2019), com base nas porcentagens obtidas através dos procedimentos aplicados. No que diz respeito à aplicação destes resultados, Guerra e Botelho (1996) e Guerra (2013) destacam que os teores de areia, silte e argila atuam sobre a erosão à medida que podem oferecer maior ou menor grau de resistência ao destacamento, denominado de *detachment* e ao transporte realizado pela água através do escoamento superficial, difuso ou concentrado.

Os estudos de Farmer (1973), Bryan (1974) e Poesen (1981) indicaram que as areias apresentam os maiores índices de erodibilidade. Farmer (1973) afirmou que a remoção de sedimentos é maior na fração areia média e diminui nas partículas maiores ou menores, entretanto, Guerra e Botelho (1996), apontaram que não são as areias médias, mas as frações de silte e areia fina que apresentam maior facilidade em serem erodidas, devido à falta de coesão e ao peso insuficiente frente à ação da água destas partículas.

Nesta mesma perspectiva, os estudos de Wischmeir e Mannering (1969), Mutter e Burnham (1990) e Guerra (1991) demonstraram que quanto maior o teor de silte, maior a susceptibilidade dos solos em sofrer erosão. Posteriormente, em estudos realizados por Costa (2015), Barros (2016), Viana (2016), Sousa (2019), Lisboa (2018) e Viana (2020) na Ilha do Maranhão, chegou-se às conclusões similares as de Farmer (1973) e de Guerra e Botelho (1996), e estes estudos têm em comum o predomínio da fração areia média e fina como partículas com maior índice de erodibilidade na área em questão.

As frações de areia grossa e argila são as que apresentam maior resistência à erosão (GUERRA; BOTELHO, 1996), sobretudo as argilas, que, apesar de dificultarem o processo de infiltração, são partículas mais difíceis de serem removidas, especialmente quando se apresentam em agregados (GUERRA, 2013).

No entanto, a agregação das partículas de areia, silte e argila é afetada por outras propriedades do solo, logo, elas devem ser analisadas levando-se em consideração outras propriedades, apesar do reconhecimento científico da importância da textura dos solos. De acordo com Guerra (2013), um elemento que influencia diretamente as frações granulométricas é o teor de matéria orgânica, nesse sentido:

O processo de formação de matéria orgânica, no solo, depende da flora e da fauna que vive sobre ou dentro do solo. As atividades humanas, especialmente a agricultura, tendem a provocar mudanças no teor de matéria orgânica, que, em consequência, provoca mudanças em outras propriedades do solo. Uma parte considerável da matéria orgânica do solo é formada por raízes e microrganismos. Os minerais são também importantes na formação de húmus, porque os efeitos químicos do húmus podem reagir com as substâncias minerais para formar o complexo chamado húmus-argila (GUERRA, 2013, p. 156).

Conforme Verlengia e Gargantini (1968), as técnicas comumente usadas na determinação da matéria orgânica envolvem combustão por via seca e por via úmida, empregando-se os mais variados processos; mede-se o CO² desprendido, que pode ser avaliado por volume, peso ou titulação. O carbono orgânico pode ser expresso na forma elementar ou como matéria orgânica.

Lepsch (2011) afirma que a matéria orgânica pode ser estimada pelo método de combustão úmida, também proposto por Verlengia e Gargantini (1968). Neste método, o material do solo é oxidado ou digerido à quente por meio de uma solução líquida de ácido crômico (dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico). Assim, todas as formas orgânicas de carbono são transformadas em gás carbônico (CO₂). “O excesso de dicromato é titulado com (NH₄)₂ Fe (SO₄)₂ · 6 H₂O, e os teores de carbono, calculados por diferença” (LEPSCH, 2011, p. 254). Em seguida, multiplica-se a porcentagem de carbono pelo fator 1,724, estimando, de maneira indireta, a matéria orgânica.

Uma vez determinado o teor de matéria orgânica, pode-se avaliar o papel desta propriedade física em agregar as partículas do solo, apesar de que, ainda não se conhece com profundidade esta relação, conforme explica Guerra (2013).

Apesar das dificuldades em se encontrar uma correlação direta entre a erodibilidade e a matéria orgânica, Guerra (2013) aponta que estudiosos como Greenland *et al.* (1975) e De Ploey e Poesen (1985) estabeleceram limites percentuais de matéria orgânica que podem afetar, ainda que minimamente, a erodibilidade dos solos. Os primeiros estabeleceram que solos com menos de 3,5% de teor de matéria orgânica possuem agregados instáveis, enquanto que os outros dois pesquisadores concluíram que apenas 2% já era considerado suficiente para que os solos fossem considerados com baixa estabilidade de agregados.

Para Guerra (2013), a estabilidade/instabilidade dos agregados é outra propriedade física que tem sido enfatizada por vários pesquisadores (EPSTEIN; GRANT, 1967; HARTMANN; DE BOODT, 1974; VERHAEGEN, 1984; IMESON; KWAAD, 1990; CASTRO FILHO *et al.*, 1998; SOUZA *et al.*, 2004; NEVES *et al.*, 2006; CAMPOS, 2018) como sendo influenciada pela matéria orgânica, e ao mesmo tempo, agindo sobre a estrutura dos solos.

Guerra e Botelho (1996) afirmam que o teor – quantidade de agregados em relação aos outros constituintes dos solos – e a estabilidade dos agregados dependem de uma série de fatores e afetam diretamente os processos erosivos, pois ao entrar em contato com a água, esses agregados podem se romper, ou seja, um solo pode apresentar elevado teor de agregados, mas sua estabilidade pode ser baixa. Para estes autores, esta propriedade pode ser diretamente influenciada pelas argilas e ainda mais pela matéria orgânica.

Conforme Pereira *et al.* (2020), a análise da estabilidade dos agregados expressa a resistência à decomposição que os agregados apresentam quando submetidos às forças externas (pela ação de implementos agrícolas e do impacto das gotas de chuva) ou forças internas (compressão de ar, expansão/contração), que tendem a rompê-los (REINERT; REICHERT, 2006). A desagregação em água, separando os agregados iniciais em outros menores, agrupados em função do diâmetro, é uma das técnicas usadas para avaliar a estabilidade (CAMARGO *et al.*, 2009).

Lepsch (2011) afirma que há vários métodos de estudo dos agregados. Dentre estes, tem-se o de peneiramento úmido. Pereira *et al.* (2020) explicam que faz-se primeiramente o preparo da amostra e posteriormente, usa-se neste procedimento, um jogo de tamises (peneiras) com as malhas 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,10 mm, colocadas nesta ordem no aparelho de oscilação vertical Yooder para o peneiramento mecânico em água. Após vários ciclos, com um tempo total de 15 minutos, os agregados retidos nas peneiras devem ser colocados em placas de Petri e levados à estufa por 24 horas à 105 °C para posterior pesagem e cálculo do índice de estabilidade dos agregados.

Lepsch (2011) defende que quanto mais estáveis forem os agregados e mais estruturados forem os solos, menos eles se esboarão quando saturados com água (BRADY; WEIL, 2013) no procedimento citado.

Em linhas gerais, os autores concordam que a estabilidade dos agregados age diretamente sobre a erodibilidade dos solos, ou seja, quanto maior for a estabilidade à ação da água, menor as taxas de erodibilidade e vice-versa (DE PLOEY; POESEN, 1985; DAVIES, 1985; MORGAN, 1986; DANIELS; HAMMER, 1992; GUERRA; ALMEIDA, 1993; GUERRA, 1994, 1995; GUERRA; BOTELHO, 1996; CASTRO FILHO *et al.*, 1998; SOUZA *et al.*, 2004; NEVES *et al.*, 2006; GUERRA, 2013, CAMPOS, 2018).

Existem, ademais, outras três propriedades físicas dos solos que estão diretamente interrelacionadas e atuam como fatores controladores de processos erosivos, são elas: a densidade do solo, densidade de partículas e a porosidade. As densidades e a porosidade são características que estão muito relacionadas porque ambas são as relações entre massa e volume dos solos (LEPSCH, 2011).

A densidade de partículas, dessa maneira, não considera os espaços porosos, pois sua função é considerar unicamente o tipo de partículas sólidas dos solos. A densidade dos solos considera a estrutura e compactação deles, incluindo o espaço poroso, pois está relacionada à massa de solo seco por volume. A porosidade refere-se ao espaço, entre e dentro dos agregados, ocupado pelo ar ou pela água dos solos.

Em conseqüente, para se obter os valores de densidade de partículas e densidade dos solos podem ser utilizados os procedimentos do balão volumétrico e do anel volumétrico, respectivamente, realizados com as amostras do tipo indeformadas coletadas em trabalhos de campo, pois estas preservam os espaços porosos da amostra (EMBRAPA, 1997). Já para os procedimentos de densidade do solo, as mostras coletadas no anel volumétrico devem ser primariamente pesadas, levadas à estufa por 24 horas a 105 °C, posteriormente retiradas da estufa, levadas ao dessecador para que sejam realizados os cálculos.

No que tange à densidade de partículas, devem ser pesadas 20g de TFSE (terra fina seca em estufa) e transferidas para um balão volumétrico de 50 ml. Devem ser adicionados 20 ml de álcool etílico com auxílio de uma bureta à amostra que está no balão volumétrico, agita-se a amostra e deixa-se descansar por aproximadamente 15 minutos. Após este tempo deve ser adicionado mais álcool etílico até a marcação de 50 ml no balão volumétrico e realizados os cálculos, conforme previsto pela Embrapa (1997).

À vista disso, para encontrar os valores de porosidade, devem ser utilizados os resultados das duas análises supracitadas, aplicadas em uma fórmula específica para esta propriedade. Quanto aos parâmetros de classificação destes índices, Guerra e Botelho (1996) apontam que para a densidade de partículas, aonde a grande maioria dos resultados oscila em torno de 2,65 g/cm³.

Alguns solos apresentam minerais que possuem densidades maiores, sendo assim chamados de minerais pesados. Sobre isto, Lepsch (2011) completa que solos minerais têm densidades maiores, mais do que os orgânicos, porque um determinado volume de matéria orgânica pesa muito menos que o mesmo volume de material mineral.

Os valores da densidade de partículas estão muito relacionados com o tipo e a quantidade de componentes minerais e orgânicos. Em horizontes orgânicos é menor que 0,9 g.cm⁻³; em horizontes minerais, com altos teores de óxido de ferro, costuma estar em torno de 3,0 g.cm⁻³. Mas frequentemente, em solos minerais e com baixos teores de óxidos de ferro, os valores giram em torno de 2,6 g.cm⁻³, isto porque essa densidade é próxima da de muitos minerais comuns no solo, como a do quartzo (2,65 g.cm⁻³) e da caulinita (2,6 g.cm⁻³) (LEPSCH, 2011, p. 226).

Nos solos em que são encontrados uma alta densidade de partículas, acima de 2,65 g/cm³, têm-se maior resistência aos agentes erosivos, pois, mesmo sendo pequenas, as partículas apresentam maior peso e, conseqüentemente, dificultam a ação da água e do vento.

Lepsch (2011) salienta que apesar da densidade de partículas ser uma propriedade importante dos solos, ela por si só, nada informa sobre a porosidade ou arranjo de partículas do solo. Individualizada, ela se restringe apenas à indicação de atributos referentes ao tipo de partícula sólida, e indiretamente para indicações sobre facilidade de penetração de raízes e armazenamento de água.

A densidade do solo, por sua vez, é mais útil nas aplicações práticas, conforme afirma Lepsch (2011). Para ele, essa aplicação prática se dá pelo fato de que a densidade do solo pode variar em um mesmo horizonte, pois depende de sua estrutura e compactação. Para mais, Guerra e Botelho (1996) defendem que esta propriedade física controla a ação dos processos erosivos, justamente por estar associada à maior ou menor compactação do solo.

Em suma, quanto maiores forem os valores de densidade do solo, mais compactado o solo será e conseqüentemente menor será a capacidade de infiltração deste, o que é inversamente proporcional à porosidade. Neste sentido, áreas com alta densidade do solo, possuem baixa porosidade, menor capacidade de infiltração e maior concentração no escoamento superficial, sendo o inverso também verdadeiro.

Em termos de classificação, a densidade do solo varia, quase sempre, entre 0,8 e 2,0 g/cm³, sendo que a literatura aponta valores menores que 1,3 g/cm³ como baixos e valores maiores que 1,6 g/cm³ como altos; os outros valores são intermediários (HAMBLIN;

DAVIES, 1977; MORGAN, 1984, 1986; DANIELS; HAMMER, 1992; GUERRA, 1995; GUERRA; BOTELHO, 1996).

Segundo Brady e Weil (2013), a densidade de um solo mineral típico de textura média pode ter valor em torno de 1,25 g/cm³ ou 1.250 quilogramas em um metro cúbico. Vale ressaltar que, mesmo considerando a classe textural deve-se sempre levar em conta as outras propriedades físicas dos solos da área em que se está analisando, pois teoricamente as características granulométricas podem apontar um resultado, que na prática poderá ser outro, devido aos diversos atributos físicos.

Morgan (1984) afirma que não se deve imaginar que solos arenosos possuem alta porosidade, em especial aqueles com elevado teor de areia fina, pois a compactação provocada pela mecanização ou outro processo como o pisoteamento, irá aumentar a densidade do solo, reduzindo sua porosidade.

Solos argilosos, muitas vezes, possuem maior porosidade, em especial quando as argilas apresentam elevados índices de floculação, facilitando a penetração das águas, através dos seus poros (PRADO, 1995).

Em estudos realizados por Moraes (2018) em 3 voçorocas no Parque Estadual do Bacanga na Ilha do Maranhão e por Sousa (2019) em 5 áreas do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil na mesma ilha, identificou-se dados de densidade de solo, de partículas e da porosidade total.

No Parque Estadual do Bacanga, os dados de densidade de solo indicaram densidades variando de 0,30 g/cm³ a 1,70 g/cm³, sendo esta última a área com maior compactação, considerando que a literatura aponto como referência, valores até 1,3 g/cm³ como baixos e valores maiores que 1,6 g/cm³ como altos (MORAES, 2018).

Os valores de densidade de partículas variaram de 2,56 g/cm³ a 2,59 g/cm³, indicando que as áreas estudadas não apresentam forte resistência aos processos erosivos, o que se percebe pelo número de voçorocas ocorrentes na área. Os dados de porosidade total variaram de 38 a 51,25%, indicando em geral baixa porosidade e forte relação com a ocorrência dos processos erosivos presentes (MORAES, 2018).

Na área do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil na Ilha do Maranhão (Maranhão, Brasil), os dados de densidade de solo indicaram densidades variando de 1,66 g/cm³ a 1,99 g/cm³, indicando forte compactação do solo (SOUSA, 2019).

Os valores de densidade de partículas variaram de 2,50 g/cm³ a 2,85 g/cm³, indicando que as áreas estudadas não apresentam forte resistência aos processos erosivos. Os dados de porosidade total variaram de 27 a 40%, indicando muito baixa porosidade e forte relação com a ocorrência dos processos erosivos no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil (SOUSA, 2019).

Assim, percebe-se que a análise das propriedades físicas dos solos contribui significativamente para o entendimento dos atributos dos solos e para a compreensão relacionada à erodibilidade. Tem aplicação direta em diversos estudos, tais como os voltados para agricultura, movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos.

EROSÃO DOS SOLOS EM ÁREAS URBANAS

A erosão dos solos ocorre quando o solo está desnudo e exposto à ação abrasiva do vento e da água (CRAUL, 1999). É um processo orgânico que faz parte da dinâmica da natureza, mas as formas de uso dos solos e ocupação do relevo podem acelerar este processo.

A maneira como a sociedade modifica os ambientes naturais através de técnicas, afeta o funcionamento do sistema terrestre, gerando novos ritmos aos processos naturais, os quais podem causar, dentre outros, a erosão acelerada dos solos (BUENO, 2011).

Embora a erosão dos solos esteja relacionada com os aspectos naturais como a litoestratigrafia, as formas de relevo, as características dos solos, a declividade, o clima, a vegetação e as características hidrológicas, ambientes rurais e urbanos, as formas de uso dos solos pelas práticas de manejo e de conservação atuam no balanço temporal dos processos erosivos.

Goudie e Viles (1997) explicam que os processos erosivos acelerados ocorrem devido à interferência humana no equilíbrio da formação dos solos, iniciando pela remoção da cobertura vegetal e continuando pelo uso e manejo inadequado das atividades agrícolas, mineração (entre outras atividades econômicas) e da urbanização.

Goudie (1990) afirma que diversos trabalhos já demonstram os efeitos da urbanização nas taxas de erosão, e aponta que durante o processo de construção da cidade, no qual, há uma grande quantidade de solo exposto e muitas alterações no terreno devido a movimentações e escavações de máquinas, as taxas de erosão apresentam os índices mais elevados.

Após cessado ou diminuto o processo de construção da cidade, a propensão é que as elevadas taxas de erosão se reduzam, sobretudo nas cidades com uma boa infraestrutura de rede de esgotos, galerias, pavimentação nas ruas, áreas verdes, entre outros, o que não é comum nas cidades dos países em desenvolvimento, como o Brasil.

Além da infraestrutura ser, em geral, deficitária nestas áreas, há um crescimento significativo da população urbana, o qual está relacionado diretamente com o agravamento dos problemas de processos erosivos acelerados. Tendo em vista que 55% da população mundial vive em áreas urbanas e a projeção é de que aumente 70% até 2050 (ONU, 2019), infere-se que esta problemática tende a se ampliar, sendo considerada na opinião de Guerra (1994) como um problema social, político e econômico.

No que se refere ao Brasil, os dados do IBGE (2008) indicam que 691 municípios do país apresentam problemas de erosão que afetam o sistema de drenagem urbana, por fatores agravantes de erosão. Deste total, as regiões sudeste e nordeste apresentam o maior número de municípios afetados, sendo respectivamente 251 e 166.

Quanto ao percentual populacional urbano destas duas regiões brasileiras, destaca-se que a região sudeste tem a maior taxa do país, com 46,4% da população habitando áreas urbanas; a região nordeste ocupa a segunda posição com o percentual de 24,1% de população urbana (IBGE, 2010).

Guerra (2011) afirma que apesar dos processos erosivos terem abrangência em quase toda superfície da Terra, eles ocorrem em especial nas áreas com clima tropical, cujos totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões, ou as chuvas se concentram em determinadas estações do ano, o que é um fator agravante para a erosão, como ocorre na região do clima semi-árida da região nordeste.

Autores brasileiros, a partir de estudos regionais, indicaram as principais causas dos processos erosivos nas áreas estudadas. Verdum *et al.* (2014) afirmaram que no Rio Grande do Sul, as principais causas foram o uso intensivo de máquinas agrícolas nas lavouras, a prática da queimada e a redução das áreas de florestas.

Na região do cerrado brasileiro, Rodrigues (2014) defende que o desmatamento, a modificação das condições da cobertura vegetal, a compactação, o fogo, a alteração do nível de base local ou regional, as alterações estruturais na cobertura pedológica, dentre outros, são os principais fatores que contribuem para a erosão e degradação dos solos.

No litoral norte do estado de São Paulo, as causas são atribuídas às diversas atividades humanas desenvolvidas em várias fases econômicas, incluindo os problemas socioeconômicos e ambientais na atualidade, conjugados à situação de fragilidade ambiental na área (JORGE, 2014).

No semi-árido nordestino, Corrêa *et al.* (2014) defendem que os processos erosivos regionais estão relacionados às características dos solos tipicamente semiáridos e dos solos relíquias, sendo alguns deles em estado de desequilíbrio biopedoclimático, e à ocorrência de cambissolos nas encostas.

Na região amazônica, Albuquerque e Vieira (2014) informam que cortes de encostas, elaboração de níveis de talude para a abertura de estradas, exploração mineral de areias, argilas e pedras para a construção civil e para a expansão urbana das cidades são intervenções ocorrentes e relacionadas à erosão dos solos.

Santos e Westphalen (2014) afirmam que no noroeste do Paraná, as erosões estão associadas às características naturais da paisagem, à morfologia dos solos e aos índices pluviométricos elevados, mas principalmente à retirada da vegetação nativa para a produção do café no início da década de 1930 e para a instalação dos centros urbanos, gerando aumento do escoamento concentrado das águas pluviais.

Silva e Botelho (2014) defendem que na área urbana do Rio de Janeiro, os escorregamentos ocorridos no relevo montanhoso resultaram em perda de centenas de vidas humanas e nas áreas com produção agrícola, a forma de produção praticada desde o século XVIII tem gerado degradação dos solos, os quais são naturalmente frágeis e pouco férteis.

Na Ilha do Maranhão, norte do estado, a expansão urbana deflagrada de retirada da cobertura vegetal sobre solos do tipo: Argissolo vermelho-amarelo concrecionário e plintossolo concrecionário, em geral, muito suscetíveis aos processos erosivos, aliados às áreas com maior declive, estão relacionadas aos processos erosivos intensos na área (BEZERRA *et al.*, 2004).

Nas áreas urbanas em construção, tem-se em geral, solos expostos, ocorrência de obras de engenharia com cortes de taludes e aterros, retirada da mata ciliar, deposição irregular de resíduos sólidos, áreas com ocupação espontânea ou não nas encostas, desmatamento da vegetação para construções diversas e ruas, inexistência ou inadequada rede de esgoto e galerias pluviais. Tais situações tornam esses ambientes mais susceptíveis à erosão e outros problemas, podendo ocorrer perdas materiais e imateriais, inclusive perdas de vidas humanas (GUERRA, 2011).

No que se refere aos tipos de processos erosivos mais comuns em áreas urbanas cita-se a erosão em lençol e as voçorocas. Conforme Bezerra *et al.* (2004), as áreas urbanas construídas em terrenos arenosos e profundos apresentam forte tendência ao desenvolvimento de processos erosivos em grande escala, podendo ocorrer ravinas e voçorocas, estando estas entre os processos erosivos mais agudos, e sendo consideradas como principais feições decorrentes da degradação física dos solos.

A erosão por voçorocamento é causada por vários mecanismos que atuam em diferentes escalas tempo-espaciais, podendo ser entendida, segundo Oliveira (1999), como um processo relacionado a deslocamentos de partículas, transporte de partículas por escoamento superficial difuso, transporte por fluxos concentrados, quedas d'água, solapamentos, liquefação, movimentos de massa e arraste de partículas.

Embora no meio urbano seja comum a ocorrência de áreas com solo exposto, e este ser um fator propício a processos erosivos, Guerra (2011) explica que a voçoroca é uma feição muito comum nessas áreas, mas que independe da existência ou não de solo exposto na superfície.

Os processos ocorrem em duas fases, a primeira é a remoção e a segunda, o transporte. Na primeira ocorre a remoção de partículas, que pode formar crostas no topo do solo, e na segunda fase, essas partículas podem ser transportadas na superfície, porém o transporte pode também ocorrer em subsuperfície através da formação de *pipes*, com diâmetros variando de alguns centímetros até vários metros. O material sobreposto aos dutos pode colapsar e originar a voçoroca.

Quanto à erosão em lençol, Guerra (2008) explica que este processo erosivo é mais comum nas áreas de ocupação espontânea das cidades, pois na maioria das vezes as ruas não possuem calçamento e ainda existem terrenos não construídos, o que facilita este tipo de erosão. A erosão pode ocorrer a partir do escoamento da água em superfície, da saturação dos solos e/ou da formação de crostas, da formação de poças que rompem os obstáculos, dando origem ao escoamento superficial. A princípio, este escoamento é difuso, podendo dar origem à erosão em lençol (*sheet erosion*) ou laminar.

Jim (1998) afirma que diversas mudanças ocorrem na morfologia dos solos nas áreas urbanas em virtude de obras de engenharia com uso de corte ou aterros, ocasionando a remoção do horizonte superficial e/ou a sobreposição de camadas superficiais.

Assim como a ocorrência de camadas distintas e artificiais resultante da introdução de diferentes materiais, com diferentes texturas, devido à tentativa de reconstituição do solo removido ou descarte de restos de construções sobre o terreno, pode ocorrer também a transição das camadas dos solos de maneira irregular ou descontínua, às quais deveriam apresentar transição plana ou ondulada, justamente devido à adição de materiais exógenos, que nem sempre é homogênea em toda a área (DE KIMPE, MOREL, 2000).

CONCLUSÕES

O objetivo deste artigo foi discorrer sobre as propriedades físicas dos solos numa abordagem teórico-metodológica, com vistas a contribuir nos estudos relacionados a este tema, considerando a importância dos solos e o atual acirramento dos problemas ambientais relacionados a eles, nas áreas rurais e urbanas.

Afirma-se que as análises das propriedades físicas dos solos se fazem necessárias e são importantes para gerar dados indicadores que poderão auxiliar no processo de gestão urbana e rural, servindo de suporte para obras civis, atividades agrícolas, descarte de resíduos, infiltração de águas pluviais e áreas verdes voltadas para arborização urbana, recuperação de áreas urbanas degradadas e outros.

As propriedades físicas dos solos influenciam os processos erosivos, os quais, por sua vez, afetam vidas humanas e geram perdas ambientais e socioeconômicas. Afirma-se assim que os estudos de ambos podem ajudar a elucidar como os processos ocorrem, como evoluem e quais medidas mitigadoras são mais adequadas para cada área afetada.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. R. C.; VIEIRA, A. F. S. G. Erosão dos solos na Amazônia. *In.*: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (org.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 223-259.
- BARROS, D. V. **Situação das áreas com ocorrência de movimentos de massa na bacia hidrográfica do Bacanga**: estudo de caso do bairro Salinas do Sacavém e Vila Embratel.

2016. Monografia (Graduação) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil, 2016.
- BEZERRA, J. F. R.; MENDONÇA, J. K. S.; GUERRA, A. T.; FEITOSA, A. C. Estudo do uso e ocupação do solo como condicionante aos processos erosivos no município de São Luís, Maranhão. *In.*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 5; ENCONTRO SUL-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 1., 2004, Santa Maria. **Anais [...]**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004. p.1-12.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. São Paulo: Bookman Editora LTDA, 2013.
- BRYAN, R. B. Water erosion by splash and the erodibility of Albertan soils. **Geograph Annlr**, 56A, p.159-181, 1974.
- BUENO, F. A. A erosão de solos no extremo oeste paulista e seus impactos no campo e na cidade. **Revista Geomae**, v. 2, n. 2, p. 57-68, 2011.
- CAMARGO, O. A., MONIZ, A. C., JORGE, J. A., VALADARES, J. M. A. S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo**, n. 106, p. 1-77, 2009.
- CAMPOS, C. D. **Relação entre carbono orgânico total, glomalina e estabilidade de agregados em Neossolo Litólico**. 2018. Monografia (Graduação) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, Brasil, 2018.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 22, p. 527-538, 1988.
- COMBATT, E. M., LANI, J. L., ALVAREZ, V. H. Caracterização das propriedades físicas, químicas e mineralógicas de solos tiomórficos do estado do Espírito Santo – Brasil e de Córdoba – Colômbia. **Revista de Ciências Agrícolas**, v. 30, n. 2, p. 8-19, 2013.
- CORRÊA, A. C. B., SOUZA, J. O. P., CAVALCANTI, L. C. S. Solos do ambiente semiárido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica. *In.*: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (eds.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p.127-169.
- COSTA, C. M. **Situação das áreas com movimentos de massa no município de São Luís, Ilha do Maranhão-MA**. 2015. Relatório (Pesquisa) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil. 2015.
- CRASWELL, E. T.; NIAMSKUL, C.; PENNING DE VRIES, F. W. T. Catchment approach to combating soil erosion in Asia: the managing soil erosion consortium. *In.*: VRIES, F. W. T.; KERR JÚNIOR, A. (org.). **Soil erosion at multiple scales: principles and methods for assessing causes and impacts**. Penning de Wallingford: Cabi Publishing, 1998. p. 161-173.
- CRAUL, P. J. **Urban soils: applications and practices**. New York: John Wiley, 1999.
- DANIELS, R. B.; HAMMER, R. D. **Soil geomorphology**. Nova York: John Wiley and Sons, 1992.
- DAVIES, P. Influence of organic matter content, moisture status and time after reworking on soil shear strength. **Journal of Soil Science**, v. 36, p. 299-306, 1985.
- DE JONG VAN LIER, Q. **Física do solo: baseada em processos**. Piracicaba: Edição do Autor, 2020.
- DE KIMPE, C. R.; MOREL, J.-L. Urban soil management: a growing concern. **Soil Science**, v. 1, n. 165, p. 31- 40, 2000.

- DE PLOEY, J., POESEN, J. Agregate stability, runoff generation and interrill erosion. In RICHARDS K. S.; ARNETT, R. R.; ELLIS, S. (org.). **Geomorphology and soils** [S.l.], [s.n.], 1985. p. 99-120.
- DIAS, F. P., HERRMAN, M. L. P. Susceptibilidade a deslizamentos: estudo de caso no bairro Saco Grande, Florianópolis – SC. **Caminhos da Geografia**, v. 6, n. 3, p. 57-73, 2002.
- DICKINSON, W. T., WALL, G. J., RUDRA, R. P. Model building for predicting and managing soil erosion and transport. In: BOARDMAN, J.; FOSTER, I. D.; DEARING, J. A. (eds.). **Soil erosion on agricultural land**. Wiley, chichester, 1990. p. 415-428.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997.
- EPSTEIN, E., GRANT, W. J. Soil losses and crust formation as related to some physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 31, n. 4, p. 547-550, jul./aug. 1967.
- FARMER, E. E. Relative detachability of soil particles by simulated rainfall. **Soil Science Society of American Journal**, v. 37, p. 629-633, 1973.
- FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente-SP**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, Brasil, 2012.
- GOUDI, A. **The human impact on the natural environment**. Oxford: Basil Blackwell Ltda, 1990.
- GOUDIE, A., VILES, H. **The Earth transformed: an introduction to human impacts on the environment**. Oxford: Blackwell Publishers Ltda, 1997.
- GOVERS, G., POESEN, J. Assessment of the interrill and rill contributions to total soil loss from an upland field plot. **Geomorphology**, v. 14, n. 1, p. 343-354, 1988.
- GREENLAND, D. J., RIMMER, D., PAYNE, D. Determination of the structural stability class of English and Welsh soils using a water coherence test. **Journal of Soil Science**, v. 26, p. 294-303, 1975.
- GUERRA, A. J. T. Avaliação da influência das propriedades do solo na erosão com base em experimentos utilizando um simulador de chuvas. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 4., 1991, Sobral. **Anais [...]**. Sobral: Universidade Estadual Vale do Acaraú, 1991. p. 260-266.
- GUERRA, A. J. T. Catastrophic events in Petrópolis City (Rio de Janeiro state), between 1940 and 1990. **GeoJournal**, v. 37, p. 349-354, 1995.
- GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. p. 149-209.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. p. 149-210.
- GUERRA, A. J. T. The effect of organic matter content on soil erosion in simulated rainfall experiments in W. Sussex, UK. **Soil Use and Management**, v. 10, p. 60-64, 1994.
- GUERRA, A. J. T.; ALMEIDA, F. G. Propriedades dos solos e análise dos processos erosivos no município de Sorriso-MT. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE, 4., 1993, Cuiabá. **Anais [...]**. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 1993. p. 185-193.
- GUERRA, A. J. T., BEZERRA, J. F. R., LIMA, L. D. M., FULLEN, M. A., MENDONÇA,

- J. K. S., JORGE, M. C. O. The effects of biological geotextiles on gully stabilization in São Luís, Brazil. **Natural Hazard**, v. 75, p. 2625-2636, 2015.
- GUERRA, A. J. T., BOTELHO, R. G. M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 19, p. 93-114, 1996.
- GUERRA, A. J. T., MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (org.), **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 225-256.
- GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S., BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- HAMBLIN, A. P.; DAVIES, D. B. Influence of organic matter on the physical properties of some East Anglian soils of high silt content. **Journal of Soil Science**, v. 28, p. 11-22, 1977.
- HARTMANN, R., DE BOOD, M. The influence if the moisture content, texture an organic matter on the ewsgation of sandy and loamy soils. **Geoderma**, 11, p. 53-62, 1974.
- IBGE. **Censo demográfico: população residente, por sexo, situação e grupos de idade**. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 01 nov. 2020.
- IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. **Número de municípios, total e os que apresentam problemas de erosão que afetam o sistema de drenagem urbana, por fatores agravantes de erosão**. 2008. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/2247#notas-tabela>. Acesso em: 01 nov. 2020.
- IMESON, A. C., KWAAD, F. J. P. M. The response pf tilled soils to wetting by rainfall and dynamic character of soil erodibility. In: BOARDMAN, J.; FOSTER, I. D.; DEARING, J. A. (ed.). **Soil erosion on agricultural land**. Wiley, Chichester, 1990, pp. 3-14.
- JIM, C. Y. Urban soil characteristics and limitations for landscape planting in Hong Kong. **Landscape and Urban Planning**, v. 40. n. 4, p. 235-249, 1998.
- JORGE, M. C. O. Degradação dos solos no litoral norte paulista. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (org.), **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p.171-221.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979.
- LAL, R. Analysis of different processes governing soil erosion by Water. **The Tropics**. IAHS Publication, v. 13, p. 351-366, 1981.
- LEPSCH, I. F. **Dezenove (19) lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- LISBOA, G. S. **Processos erosivos por voçorocamento em linha de transmissão de energia no município de São Luís – MA**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil, 2018.
- MORAIS, M. S. **Impactos socioambientais causados por processos erosivos em unidades de conservação: o caso do Parque Estadual do Bacanga, São Luís-MA**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil, 2018.
- MORGAN, R. P. C. Soil degradation and erosion as a result of agricultural practice. **Geomorphology an Soils**, [s.n.], 1984. p. 370-395.
- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. Inglaterra: Longman Group, 1986.
- MORGAN, R. P. C.; MARTIN, L.; NOBLE, C. A. **Soil erosion in the United Kingdom: a case study from mid-Be-difordshire**. 14. ed. Inglaterra: Silsoe College, 1987. v. 14.
- MUTTER, G. M., BURNHAM, C. P. Plot studies comparing water erosion on chalky and non-calcareous soils. **Soil erosion on agricultural land**, [s.n.], 1990. p. 15-23.

- NEVES, C. S. V. J., FELLER, C., KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica solúvel em água quente na estabilidade de agregados de um latossolo argilos. **Ciência Rural**, v. 36, n. 5, p. 1410-1415, 2006.
- OLIVEIRA, D. Técnicas de pedologia. In: VENTURI, L. A. B. (org.). **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula**. São Paulo: Sarandi, 2011. p. 83-106. (Coleção praticando).
- OLIVEIRA, M. A. T. D. Processos erosivos e preservação de áreas de riscos de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. D.; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.57-99.
- ONU. **ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050**. ONU News. 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>. Acesso em: 01 nov. 2020.
- PALMIERI, F., LARACH, J. O. I. Pedologia e geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 59-122.
- PEREIRA, M. G., RAVELLI NETO, A., ANJOS, L. H. C., CEDDIA, M. B., SCHULTZ, N. **Práticas de morfologia e física do solo**. Rio de Janeiro: Seropédica, 2020.
- PEREIRA, M. G., RAVELLI NETO, A., ANJOS, L. H. C., PINHEIRO JÚNIOR, C. R., PINTO, L. A. S. R., SILVA NETO, E. C., FONTANA, A. Formação e caracterização de solos. In: TULIO, L. (org.). **Formação, classificação e cartografia dos solos**, 2019. p. 1-20. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/arquivos/ebooks/formacao-classificacao-e-cartografia-dos-solos>. Acesso em: 02 nov. 2020.
- PIMENTEL, D. Land degradation: effects on food and energy resources. **Science**, v. 194, p. 149-155, 1976.
- POESEN, J. Rainwash experiments on the erodibility of loose sediments. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 6, p. 285-307, 1981.
- PRADO, H. **Solos tropicais: potencialidades, limitações, manejo e capacidade de uso**. Piracicaba: [s.n.], 1995.
- PUSKÁS, I.; FARSANG, A. Diagnostic indicators for characterizing urban soils of Szeged, Hungary. **Geoderma**, v. 148, p. 267-281, 2009.
- RAMALHO, M. F. J. L. **Evolução dos processos erosivos em solos arenosos entre os municípios de Natal e Parnamirim – RN**. 1999. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.
- REINERT, D. J., REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: Centro de Ciências Rurais, 2006.
- RODRIGUES, S. C. Degradação dos solos no cerrado. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (org.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 51-85.
- SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C., OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ALMEIDA, J. A., CUNHA, T. J. F., OLIVEIRA, J. B. **Sistema de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013.
- SANTOS, L. J. C., WESTPHALEN, L. A. Erosão dos solos no noroeste do Paraná. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (org.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 293-317.
- SILVA, A. S., BOTELHO, R. G. M. Degradação dos solos no estado do Rio de Janeiro. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (org.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 261-292.

- SOUZA, Z. M. D., MARQUES JÚNIOR, J., PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 5, p. 491-499, 2004.
- SOUZA, P. R. **Análise de áreas degradadas por processos erosivos no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Anil, Ilha do Maranhão**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil, 2019.
- THOMAZ, E. L., PEREIRA, A. A. Atributos químicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo no município de Reserva – PR. **Caminhos de Geografia**, v. 16, n. 55, p. 186-194, 2015.
- VERDUM, R., STRECK, E. V., VIEIRA, L. F. S. Degradação dos solos no Rio Grande do Sul. *In*: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (org.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 87-125.
- VERHAEGEN, T. The influence of soil properties on the erodibility of Belgian loamy soils: a study based on rainfall simulation experiments. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 9, p. 499-507, 1984.
- VERLENGIA, F., GARGANTINI, H. Determinação da matéria orgânica em solos - estudo comparativo de métodos. **Bragantia**, v. 27, n. 23, p. 257-265, 1968.
- VIANA, J. D. **Diagnóstico de erosões urbanas na porção norte da Ilha do Maranhão: o caso do bairro Araçagy**. 2016. Monografia (Graduação) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil, 2016.
- VIANA, J. D. **Estudo dos fatores controladores dos processos erosivos em área urbana do município de Buriticupu, Maranhão**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil, 2020.
- WISCHMEIER, W. H., MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. **Proceedings Soil Science Society of America**, v. 33, p. 133-137, 1969.