



## **ABORDAGEM DE ASPECTOS TÉCNICOS E TEÓRICOS SOBRE PROCESSOS EROSIVOS EM SOLOS POR CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL E NORMATIVAS BRASILEIRAS**

Amanda Angélica de Souza Mendes

*Bacharelanda do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (amandaangelica20@hotmail.com)*

Filipe Marinho Torres

*Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (filipe.torres.eng@hotmail.com)*

Guilherme Coqueiro Passos

*Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (guilherme.passos687@gmail.com)*

Aurelio Caetano Feliciano

*Professor Especialista do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (aureliocfeng@gmail.com)*

### **RESUMO**

O presente artigo aborda a temática relacionada a experimentos, caracterização e classificação de solos erosivos, tendo em vista que à análise e ensaios envolvendo solos identificam elementos e propriedades físicas tais como, limites de liquidez e plasticidade, massa específica, granulometria, teor de umidade, ensaios básicos que compõe um estudo de solo. Dessa forma, é preciso destacar que aspectos como granulometria e massa específica são condicionantes fundamentais para definir se o solo é siltoso, argiloso, arenoso, ou um solo com pedregulhos, já a massa específica tem a sua contribuição na determinação dos índices de vazios onde se mostra se o solo é mais coeso com partículas mais juntas ou mais disperso com partículas mais separadas aspectos esses que ajudam no melhor entendimento do comportamento do solo. Portanto, esse artigo tem a finalidade de analisar de forma exploratória os métodos para análise de solos e os seus fatores externos e condicionantes que levam a sua formação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Erosão em solos, tipos de solos, características de um solo erosivo.

## 1 INTRODUÇÃO

Ações antrópicas são responsáveis por modificações diversas no ambiente natural. Na construção de rodovias, devido a sua grande extensão, tem-se uma alteração permanente dos diversos ambientes na qual perpassa, transformando a sua paisagem e gerando impactos sobre o meio físico, biótico e socioeconômico (RIDENTE JÚNIOR, 2008; OLIVEIRA, 2011). É preciso enfatizar que as condições da cratera urbana ou do conhecido buracos podem ser causados por escoamento superficial de águas pluviais, e a sua suscetibilidade pode variar com a velocidade do escoamento e a intensidade da precipitação, pois, de acordo com, Bertoni e Lombardi Neto (2005) a velocidade e intensidade são os dois fatores mais significantes no condicionamento de erosões e por interpretação não é apenas o solo, mas também o pavimento asfáltico que sofre com degradação.

Quanto aos impactos na sociedade, segundo Oliveira (2011) processos erosivos podem causar patologias nas redes elétricas, de água e esgoto, interdição e derrubada de imóveis, destruição de estradas, perda de solos férteis utilizados para a agricultura, interferindo assim na população que reside ou trafega próxima ao empreendimento. Molinero (2007) comenta dizendo que a falta de planejamento na ocupação do solo é um dos fatores responsáveis por causar patologias geotécnicas como a erosão, já que os devidos cuidados com o ambiente na construção de vias não são implantados como deveriam.

De fato, a erosão é “um processo que se traduz na desagregação, transporte e deposição do solo, subsolo e rocha em decomposição, pelas águas, ventos ou galerias” (FENDRICH *et al.*, 1997). Depare-se com a relação sociedade e ambiente urbano, os conceitos e estudos relacionados à geomorfologia urbana podem oferecer variadas possibilidades na busca de novos parâmetros para o reconhecimento dessa relação. Considerada subdivisão da geomorfologia e um dos vários ramos da ciência geográfica, a geomorfologia urbana ganha evidência e notoriedade quando trabalha-se a ação dos processos e dinamicidades sobre um ambiente artificial, ou seja, o ambiente urbano. A necessidade dessa subdivisão parte do princípio de alterações consideráveis provocadas no meio natural e mais do que tudo, a preocupação com as novas problemáticas engendradas por essa alteração (JORGE, 2011).

Portanto, este artigo se justifica, pois entende-se que, por meio de métodos de previsão de processos erosivos em estradas, planos podem ser desenvolvidos para evitar ou minimizar os impactos resultantes. No entanto, para desenvolver um método eficiente que funcione em múltiplos objetos, é necessário verificar quais métodos existem, como foram desenvolvidos, suas limitações e o que cada método propem quando os resultados finais são entregues .

Desta forma, este trabalho tem como objetivo identificar, por meio de uma revisão sistemática e teórica, os principais métodos de previsão de processos erosivos utilizados no Brasil e as variáveis neles consideradas, como forma de classificar e comparar os métodos existentes, visando sua aplicação e aprimoramento e metodologias existentes.

## 2 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE SOLOS

No Brasil há diversas normas relacionadas a caracterização dos solos e suas propriedades: como massa específica, teor de umidade, limite de liquidez e plasticidade. As mais usuais são:

ABNT NBR 7181: 2016 - Solo - Análise Granulométrica, norma que estabelece o método para análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento. (ABNT NBR 7181, 2016)

ABNT NBR 7182: 2016 - Solo - Ensaio de Compactação, norma que especifica um método para determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos, quando compactados, de acordo com os procedimentos especificados. ( ABNT NBR 7182, 2016). A norma chama energia ou esforço de compactação ( $E_c$ ) o trabalho realizado durante o processo de compactação de uma amostra de solo de volume final  $V$ . Considere um soquete de massa ( $M$ ) caindo ( $n$ ) vezes de uma altura ( $H$ ) sobre a amostra de solo, a energia de compactação por camadas é determinada a partir do quadro abaixo:

Quadro 1 - ENERGIAS DE COMPACTAÇÃO

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermedidaria	Modificada
Pequeno	Soquete	pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27

FONTE: (NBR 7182, 2016)

Quadro 2 - ENERGIAS DE COMPACTAÇÃO

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermedidaria	Modificada
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador mm	63,5	63,5	63,5

FONTE: (NBR 7182,2016)

ABNT NBR 6457, 2016 - amostras de solo — preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Norma que especifica o método para a preparação de amostras de solos para os ensaios de compactação e de caracterização (análise granulométrica e determinação dos limites de liquidez e plasticidade, da massa específica das partículas. (ABNT NBR 6457, 2016). O quadro a seguir estabelece os parametros de balança a serem utilizados no ensaio tomando como base quantidade de massa seca da amostra.

Quadro 3 - AMOSTRAS DE SOLO - PREPARAÇÃO PARA ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO

Dimensão dos grãos maiores contidos na amostra, determinada visualmente mm	Quantidade de material (em massa seca) a tomar	Balança a ser utilizada	
		Capacidade nominal g	Resolução g
< 2	30	200	0,01
2 a 20	30 a 300	1500	0,1
20 a 76	300 a 3000	5000	0,5

FONTE: (NBR 6457, 2016)

Quadro 4- AMOSTRAS DE SOLO - PREPARAÇÃO PARA ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO

Ensaio	Quantidade mínima de material (em massa úmida) a tomar g	Balança a ser utilizada	
		Capacidade nominal g	Resolução g
Limite de liquidez	8,0 ou 4,0 <sup>1</sup>	200	0,01
Limite de plasticidade	1,5 ou 1,0 <sup>1</sup>	200	0,01

<sup>1</sup>Para Solos Com limites Elevados

FONTE: (NBR 6457,2016)

ABNT NBR 9895:2016 - Solo - Índice de Suporte Califórnia (ISC) – O objetivo do ensaio, consiste na determinação do valor do índice de suporte califórnia e da expansão de solos em laboratório. Utilizando-se amostras deformadas, não reusadas, de material que passa na peneira de 19 mm, com o mínimo de cinco corpos de prova. (ABNT NBR 9895, 2016). Em vista dos métodos apresentados, o artigo procura de forma exploratória apresentar alguns dos componentes constituintes de um solo desde a sua formação a estrutura.

### 3 ORIGEM E FORMAÇÃO DOS SOLOS

De acordo com Guerra e Botello (1996), o material de origem representa o estado inicial do sistema, que pode ser uma rocha consolidada, um depósito inconsolidado ou ainda um solo preexistente, constituindo-se em elemento passivo na formação dos solos, sobre o qual atuarão outros fatores que o transformarão.

Os solos, aos quais hoje estamos familiarizados, nem sempre existiram sobre a superfície terrestre. Perfis de alteração existem desde o Pré-Cambriano (Retallack, 1990), porém os perfis de alteração desse momento histórico da Terra não se comportavam exatamente como os solos atuais, sobretudo devido à ausência de vegetais sobre a superfície terrestre. De acordo com Tullio (2019) o conceito de solo como corpos naturais organizados com gênese própria – ou seja, que os solos são mais do que mantos rochosos desgastados na superfície da terra e de que a formação do solo implica mais que intemperismo – tem uma importância prática muito grande, pois permite estabelecer relações entre os fatores de formação e os diferentes tipos de solos. Com base nesta concepção, admite-se que as características e a distribuição geográfica dos solos na paisagem estão estreitamente relacionadas com a natureza das condições ambientais em um determinado local ao longo do tempo (Figura 1).

Figura 1 - MATERIAL DE ORIGEM



FONTE: (Tullio, 2019).

Como aponta Caputo, (1998), os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química. Por

desintegração mecânica, através de agentes como água, temperatura, vegetação e vento, formam-se os pedregulhos e areias (solos de partículas grossas) e até mesmo os siltes (partículas intermediárias), e, somente em condições especiais, as argilas (partículas finas). Por decomposição química entende-se o processo em que há modificação química ou mineralógica das rochas de origem.

O principal agente é a água e os mais importantes mecanismos de ataque são a oxidação, hidratação, carbonatação e os efeitos químicos da vegetação. As argilas representam o último produto do processo de decomposição. Normalmente esses processos atuam simultaneamente; em determinados locais e condições climáticas, um deles pode ter predominância sobre o outro. O solo é, assim, uma função da rocha-mãe e dos diferentes agentes de alteração. (CAPUTO, 1988).

Na formação do solo, o fator material de origem influencia em diversos atributos e pode ser dividido em dois grandes grupos: as rochas e os sedimentos. As rochas classificadas como ácidas, são aquelas que apresentam em sua composição, mais de 65% de  $\text{SiO}_2$ , sendo ricas também em alumínio. Minerais ricos em  $\text{SiO}_2$  são chamados de minerais félsicos (apresentam cores claras), entre eles destacam-se o quartzo e os feldspatos (Fontes, 2012), que por sua vez, originam solos de textura arenosa, com cores amareladas e baixa fertilidade natural. Por outro lado, rochas básicas, são aquelas com menos de 52% de  $\text{SiO}_2$  e, possuem maior quantidade de ferro e magnésio na sua composição, os chamados minerais ferromagnesianos ou máficos (cores escuras), como olivina, piroxênios e biotita, que por sua vez, originam solos de textura mais argilosa, cores avermelhadas e maior fertilidade natural.

Os sedimentos podem ser classificados como coluviais (sedimentos produzidos pela intemperização e erosão nos pontos mais altos da paisagem e depositados ao longo da encosta), e aluviais (sedimentos de natureza diversa depositados em ocasião de transbordamento dos rios) (SUGUIO, 2003). Os sedimentos são outro grande grupo de material de origem do solo. (SUGUIO, 2003). São formados a partir da intemperização das rochas e atuação de processos erosivos, sendo muitas vezes transportados e depositados ao longo da paisagem.

Atributos como textura, composição mineralógica, cor e fertilidade natural de solos formados a partir de sedimentos estão diretamente relacionados com a rocha originária e a intensidade de alteração desses sedimentos. Também existem sedimentos de constituição orgânica, possuindo teores de carbono orgânico maiores ou iguais a 80 kg, que podem se acumular em condições de boa drenagem ou de drenagem impedida. O acúmulo desses sedimentos pode levar a formação de uma ordem de solos denominada de Organossolos (TULLIO, 2019).

O relevo é considerado um importante fator na formação do solo, pois é responsável pelo controle de toda dinâmica dos fluxos de água na paisagem, como lixiviação de solutos, atuação de processos erosivos e condições de drenagem (Anjos *et al.*, 1998). A distância do lençol freático e a declividade são as principais características que controlam esses processos.

Os pontos mais altos da paisagem devido ao distanciamento do lençol freático possuem boas condições de drenagem e, quando associados a baixas declividades, favorecem a maior infiltração da água. Por outro lado, pontos de paisagem com boa drenagem, porém com maiores formações, intensificam o escoamento superficial da água em detrimento a infiltração, o que aumenta a taxa de erosão, promovendo o rejuvenescimento do solo. Já os pontos mais baixos da paisagem, apesar da menor declividade, estão mais próximos do lençol freático, sendo normalmente mal ou muito mal drenados, com condições anaeróbicas na maior parte do ano. (TULLIO, 2019)

Como aponta Caputo (1988) solo é um material constituído por um conjunto de partículas sólida, deixando entre si vazios que poderão estar parcial ou totalmente

preenchidos pela água. É, pois no caso mais geral, um sistema disperso formado por três fases: sólidos, líquida e gasosa (Figura 2).

Figura 2 - ELEMENTOS CONSTITUINTES DE UM SOLO

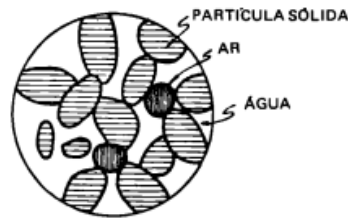


Fig. 4-1

FONTE: (Caputo, 1998).

#### 4 ESTRUTURA DOS SOLOS

Segundo CAPUTO, (1988), chama-se estrutura ao arranjo ou disposição das partículas constituintes do solo. Conquanto, ultimamente, tenham surgido novas concepções acerca dos processos de estruturação dos solos, bem como novos tipos de estrutura tenham sido introduzidos, tradicionalmente consideram-se os seguintes tipos principais:

Estrutura granular simples - é característica das areias e pedregulhos, predominando as forças da gravidade na disposição das partículas, que se apoiam diretamente umas sobre as outras. De acordo com a maneira pela qual os grãos se agrupam, a estrutura pode ser mais densa ou mais solta, o que é definido pelo "grau de compactidade" (Figura 3). (CAPUTO, 1988)

Figura 3 - ESTRUTURA GRANULAR SIMPLES

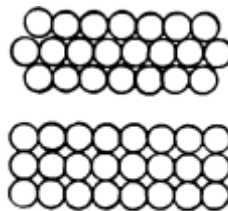


Fig. 4-6

FONTE: (Caputo, 1998).

Estrutura em esqueleto (do inglês *skeleton structure*) - nos solos onde, além de grãos finos, há grãos mais grossos, estes dispõem-se de maneira tal a formar um esqueleto, cujos interstícios são parcialmente ocupados por uma estrutura de grãos mais finos (Figura 4). (CAPUTO, 1988)

Segundo Tullio (2019), reconhecem-se oito horizontes e camadas principais, designados por letras maiúsculas O, H, A, E, B, C, F, e R. Destes, três são por definição sempre horizontes e são designados por A, E, B; as designações O, H, C, F, em função da evolução pedogenética, qualificam horizontes ou camadas; e R identifica exclusivamente camada. Por conveniência de descrição e de estudo, os horizontes ou camadas recebem denominações e símbolos convencionais com significado genético.

Figura 4 - ESTRUTURA EM ESQUELETO

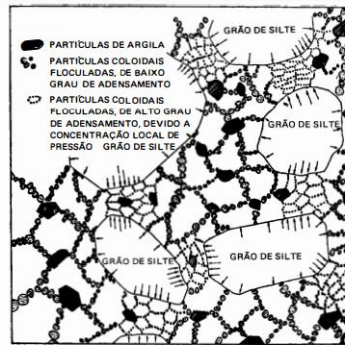


Fig. 5-3

FONTE: (Caputo, 1998)

Figura 5 - DIFERENTES PERFIS DE SOLOS



Figura 2. Diferentes perfis de solos. (A) Chernossolo Rêndzico; (B) Gleissolo Háptico; (C) Organossolo Fólico e (D) Argissolo Vermelho. Fotos: Marcos Gervasio Pereira.

FONTE: (Tullio, 2019).

Pode-se identificar os solos denominados de: O e H - Usados em horizontes ou camadas de constituição orgânica, sendo "O" exclusivamente em solos com boa drenagem, e "H" em solos mal drenados, com condições de anaerobiose (lençol freático próximo à superfície). Podem ser divididos com a utilização de subscritos "o" e "d", em função do grau de decomposição do material orgânico, à saber: "o" - material orgânico pouco decomposto com predomínio de detritos (folhas, raízes, etc.) onde se identifica a forma do material; e "d" material orgânico com estágio adiantado de decomposição. (CAPUTO, 1988)

Há também o solo denominado A, reservado para horizontes minerais superficiais, caracterizados pelo elevado teor de matéria orgânica que os horizontes subjacentes. Este horizonte geralmente tem cor mais escura, e estrutura granular. Por vezes, pode ser subdividido em A e AB em função de características genéticas. O horizonte (ou subhorizonte) A é o mais superficial e com maior atividade biológica que favorece adição de matéria orgânica, e cujas características morfológicas estão mais relacionadas a essa atividade. Geralmente apresentam menores valores de densidade do solo e menor teor de argila, com maior desenvolvimento da estrutura granular, estrutura que favorece a circulação de ar, fluxo de água e fixação dos vegetais ao solo. (TULLIO, 2019).

De maneira análoga, como aponta, Tullio, (2019) existe também o solo, B, horizonte mineral subsuperficial (ou à superfície do terreno quando o horizonte superficial tiver sido removido por processos erosivos) que apresenta melhor expressão dos processos pedogenéticos e, portanto, tem domínio de características genéticas sobre as herdadas do material de origem (cor, estrutura, evidências de eluviação, entre outras.). O horizonte B é

considerado como base da classificação dos solos, uma vez que neste há menor influência da ação modificadora do homem e dos agentes erosivos. Também pode ser subdividido em BA, B e BC.

De forma complementar existem os solos, do tipo C, denominados, horizonte mineral, adjacente à rocha matriz ou representando o próprio material de origem do solo (sedimentos), que possui domínio de características herdadas sobre as genéticas. Quando o perfil de solo se desenvolve diretamente a partir do manto de intemperismo de rochas, o horizonte C pode apresentar: minerais primários facilmente intemperizáveis, material da rocha inconsolidada com propriedades da rocha matriz (cor variegada; estrutura laminar, gnaíssica, orientada, etc.) e textura semelhante ao material de origem. O horizonte C é subdividido em C1, C2 e C3. No entanto, apenas o horizonte C1 têm conotação genética, os demais referem-se simplesmente à posição em relação a rocha matriz ou a existência de diferentes estratos de sedimentos. (TULLIO, 2019)

## 5 ERODIBILIDADE DO SOLO

A degradação dos solos é um problema que afeta todo o mundo e é um fenômeno significativo pela velocidade com que ocorre e pelo fato de causar danos significativos a diversas atividades econômicas e ambientais. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2010), a forma mais ativa do processo de degradação do solo é a erosão hídrica.

O objetivo da maioria das pesquisas erosivas é determinar a influência dos vários determinantes no processo para estimar as perdas erosivas e escolher práticas que as reduzam ao máximo. A Equação Universal de Perda de Solo (USLE), apresentado por Wischmeier e Smith (1978), tem sido o modelo mais utilizado no mundo para avaliação e previsão de perdas de solo por erosão (Kinnell, 2010). Essa equação inclui fatores como erosão da chuva (R), erosão do solo (K), topografia (LS), uso e manejo do solo (C), e práticas de conservação de apoio (P).

A erodibilidade representa a susceptibilidade do solo erosivo e pode ser determinado diretamente, por razão entre as perdas de solo e uma erosividade das chuvas, sob natural ou chuva simulada, e também por meio de análise de regressão linear simples entre essas duas (Wischmeier & Smith, 1978). De forma indireta, a erodibilidade pode ser estimada por meio de representação gráfica (nomograma), a partir da combinação das propriedades físicas do solo (textura, estrutura e permeabilidade), com um percentual de matéria orgânica (Wischmeier *et al.*, 1971). Segundo Singh e Khera (2009), o nomograma tem sido amplamente utilizado em todo o mundo, mas inúmeros estudos têm demonstrado que não é adequado para uso no Brasil (Marques *et al.*, 1997; Silva *et al.*, 2000; Amorim *et al.*, 2009; Eduardo, 2012).

De acordo com Pruski (2009), diferentes tipos de solos no Brasil já receberam valores de erodibilidade, principalmente por meio do uso de simuladores de chuva. Segundo Denardin (1990), a erodibilidade de rochas com horizonte B latossólico varia de 0,002 a 0,034 Mg.Ha.h.h<sup>-1</sup>.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>, e com horizonte B textural varia de 0,004 a 0,044 Mg.ha.h.h<sup>-1</sup>.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>. Silva e colaboradores (2009).

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) de cada etapa cultural (Wischmeier & Smith, 1978). Esse fator varia de 0 a 1, sendo 0 representando sistemas de manejo conservadores e 1 representando sistemas de manejo não conservadores (Bertol *et al.*, 2002a).

Ainda há escassez de literatura sobre o tema no Brasil, sendo necessária a realização de estudos nas mais diversas localidades devido às variações existentes e localização geográfica como pluviosidade, solidão e topografia do terreno (Amaral *et al.*,



2008). O método descrito por Wischmeier e Smith (1978) permite a determinação de valores de C para rotações culturais e práticas de manejo encontradas nos Estados Unidos. No entanto, informações detalhadas para o cálculo do fator C são escassas em outros países (Morgan, 2005).

O fator de práticas conservacionistas de apoio (P) representa o efeito de práticas conservacionistas de apoio como preparo de solo e plantio (nível) e terraço e plantio em faixas em contorno, expressando a relação entre a perda de solo com uma prática conservacionista específica e a correspondente perda quando a cultura é implantada no sentido do decênio (Wischmeier & Smith, 1978).

A pesquisa da Física dos Solos sobre índices de erodibilidade remonta à virada do século. Desde o século XIX, existem estudos sobre o estabelecimento de relações empíricas entre características individuais e erodibilidade. Bennett (1926 e 1939), Middleton (1930), Lutz (1934) e Peele (1937) são exemplos de trabalhos pioneiros em que a erodibilidade está ligada às propriedades físicas e químicas do indivíduo.

Estudos agrônômicos e de superfície, em geral, são encontrados nos maiores sulcos e sulcos restritos ao horizonte superficial. A maioria dos dados experimentais veio de ensaios de campo ou chuva, que incluíram ciclos de testes reais ou simulados.

## 6 ENSAIOS NORMATIVOS E LABORATORIAIS

Um dos elementos principais da geotecnia são os experimentos de laboratório para a caracterização mecânica de solos. Pesquisas mais aprofundadas sobre o comportamento tensão-deformação dos indivíduos ajudarão a dimensionar com mais precisão o estudo a ser feito.

### 6.1 SPEEDY TEST

De acordo com (DNER 052, 1994), recomenda-se esta técnica em seu método de ensino - ME 052/94. Uma pequena quantidade de solo úmido é colocada em um recipiente hermeticamente fechado com uma ampola contendo carboneto de cálcio juntamente com duas esferas de aço. Com a estimulação mecânica do recipiente, a ampola romperá levando à reação da substância com a umidade do solo desenvolvendo gás acetileno, resultando no aumento da pressão interna do recipiente. Esta pressão será registrada e traduzida para o teor de umidade do solo através de uma tabela de medição.

Conforme a tabela a seguir, o peso da amostra a ser utilizada é estimado pela quantidade de umidade que a amostra pode ter.

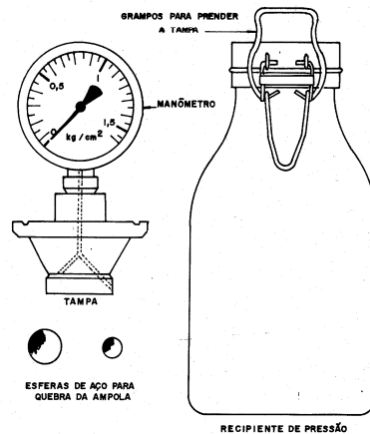
Quadro 5 - PESO DAS AMOSTRAS

Umidade estimada %	Peso da Amostra g
5	20
10	10
20	5
30 ou mais	3

FONTE: (DNER ME 052, 1994)

Após ser fechado, o speedy passa a ser balançado vigorosamente por um minuto com a amostra em seu interior juntamente com dois anéis de alumínio e uma ampola carbureto de cálcio. Se tem o rompimento da ampola, então os gases aumentam a pressão interna que são produzidos pela reação química entre a água e o carbureto de cálcio. (DNER 052, 1994)

Figura 6 - APARELHO "SPEEDY"



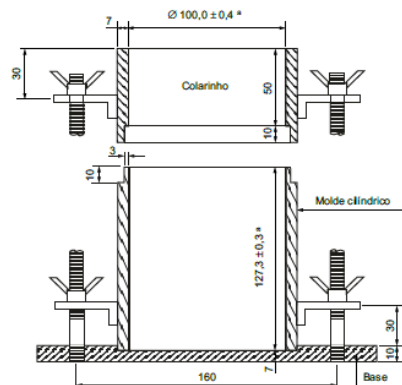
FONTE: (DNER ME 052, 1994)

## 6.2 COMPACTAÇÃO

Atualmente, o teste de compactação é conhecido como *Proctor Normal Test* (ou AASHTO Normal). Essa abordagem foi idealizada pelo engenheiro Ralph Proctor em 1933 e padronizada pela *A.A.S.H.O - American Association of State Highway Officials* nos Estados Unidos. No Brasil, é realizado de acordo com a ABNT NBR 7182/2016 - Ensaio de Compactação.

Segundo (NBR 7182, 2016) é um dos processos mais cruciais para estudar e monitorar a qualidade de aterros de solo compactado. Através dele é possível atingir a densidade máxima da massa de solo, um estado que otimiza o custo, o desempenho estrutural e hidráulico do empreendimento. Consiste na compactação de uma amostra dentro de um recipiente cilíndrico pequeno com volume aproximado de 1.000 cm<sup>3</sup> ou o grande com volume aproximado de 2085cm<sup>3</sup> em três camadas, utilizando 25 golpes de um soquete de 2,5 kg descendo de uma altura de 30,5 cm. A seguir figuras representando os cilindros mencionados.

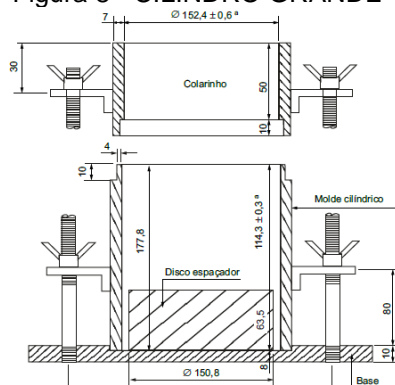
Figura 7 - CILINDRO PEQUENO



FONTE: (NBR 7182, 1986)

O teste é repetido com diferentes teores de umidade para determinar o peso específico aparente para cada um. A curva  $V_s \times teor\ de\ umidade$  é criada a partir dos dados obtidos, obtendo-se o ponto correspondente à umidade ideal (quente) e densidade aparente seca máxima ( $V_{s,max}$ ). Para criar a curva, selecione pelo menos cinco pontos, dois dos quais devem estar no ramo ascendente (zona seca), um próximo à umidade ideal e os dois restantes no ramo descendente (zona úmida). (ABNT 7182, 2016)

Figura 8 - CILINDRO GRANDE



FONTE: (NBR 7182, 1986)

Devido ao aumento de peso e eficiência do equipamento de compactação, agora é essencial ajustar as circunstâncias para manter o esforço de compactação necessário no campo. Como resultado, foram denominadas energias Proctor Intermediária e Modificada (ou AASHTO Intermediária e Modificada), respectivamente, com energias de compactação de 12,8 e 27,1 kg.cm/cm<sup>3</sup>. Na prática, o mesmo molde e soquete de metal comum usados no teste CBR (Número de Índice de Acertos) são utilizados na bancada de ensaio Proctor, com o número de camadas de acertos modificados e os mesmos moldes de metal da Califórnia. (NBR 7182, 2016)

### 6.3 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

O teste ISC (California Support Index), às vezes conhecido como CBR (California Bearing Ratio), foi desenvolvido pelo Departamento de Rodovias da Califórnia em 1929. (EUA) Originalmente destinado ao projeto de pavimentos rodoviários, o Corpo de Engenheiros acabou por modificá-lo para o projeto de pavimentos aeroportuários, e agora é o parâmetro de projeto mais utilizado no mundo. O engenheiro O. J. Porter criou este teste, que foi posteriormente modificado pelo United States Corps of Engineers (USACE), com o objetivo de incorporá-lo à construção de pavimentos rodoviários e medir a capacidade de carga do solo compactado. Foi criado pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza no Brasil em 1996 e adaptado ao contexto brasileiro. Este teste, de acordo com Porter, foi criado para avaliar o risco de falha do subleito (depressões plásticas), que era a falha mais prevalente nas estradas da Califórnia na época.

O CBR é definido como a relação entre a resistência à penetração de um cilindro padronizado em uma amostra de solo compactado e a resistência do mesmo cilindro em uma brita padronizada. Ao imergir o corpo de prova durante toda a fase de saturação, o ensaio também permite o cálculo de um índice de expansão do solo (96 horas).

A sobretaxa usual de 10 libras (4.536 kg) é aplicada à superfície do solo compactado dentro do cilindro para imitar o peso das camadas no subleito. Com uma velocidade de aplicação de carga de 0,05" por minuto (1,27 mm/min), o pistão de aplicação de carga penetra no solo (amostra) com uma área de contato de cerca de 19,36 cm<sup>2</sup> (4,96 cm de diâmetro).

### 6.4 ANÁLISE GRANULOMETRICA

A granulometria é a subdivisão de diferentes classes e tamanhos de acordo com suas dimensões e porcentagem, estabelecendo o tamanho das partículas. Esta metodologia é utilizada para realizar a análise solo. (MORAES *et al.*, 2021)

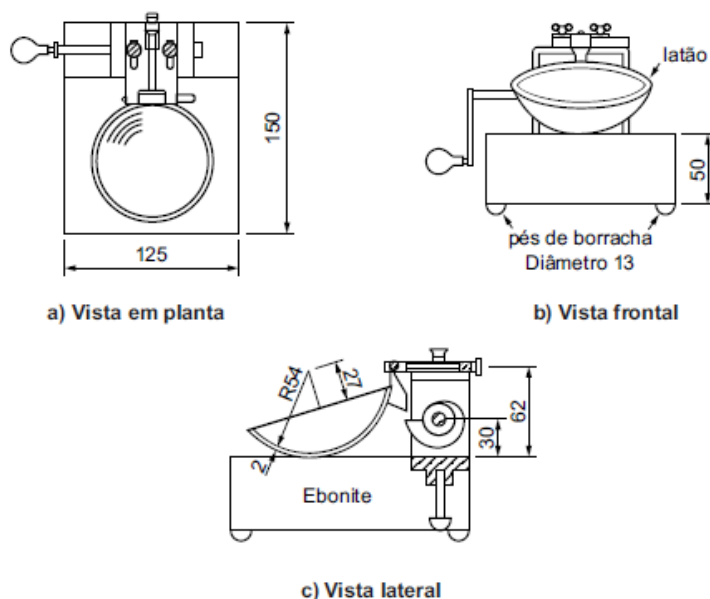
O teste de granulometria é um método de cálculo da porcentagem da massa total que cada faixa definida de tamanho de partícula representa. Os resultados deste teste podem ser usados para criar a curva de distribuição da granulometria, que é crucial para a categorização do solo e estimativas de parâmetros para filtros, bases estabilizadas, permeabilidade e capilaridade, entre outras coisas. A granulometria de um solo pode ser determinada apenas por peneiramento ou, se necessário, por peneiramento mais sedimentação. (NBR 7181, 2016)

## 6.5 LIMITE DE LIQUIDEZ

O limite de liquidez (LL) é uma teoria física que limita os estados líquido e sólido, ou, como resultado abaixo do nível (LL), o único material se torna plástico e resistente ao cisalhamento!

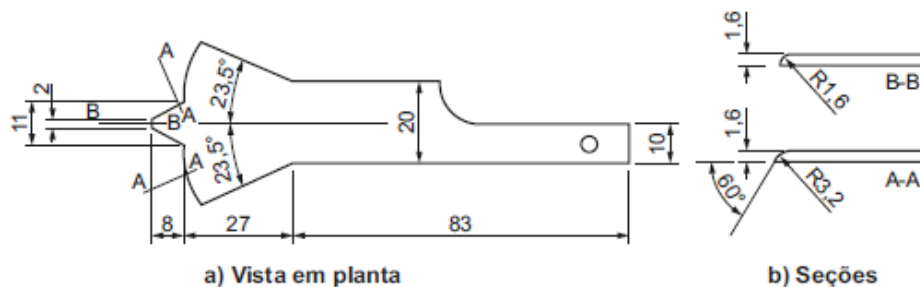
Pode-se determinar o limite de líquido experimentalmente usando o aparelho de Casagrande. Norma – NBR 6459:2016. (CAPUTO, 1988)

Figura 9 - APARELHO DE CASA GRANDE



FONTE: (DNRE ME 122, 1994)

Figura 10 - CINZEL



FONTE: (NBR 6459, 2016)

Com os valores obtidos (número de golpes para fechar o sulco feito na amostra, e as umidades correspondentes) traça-se a linha de escoamento do material, a qual no

intervalo compreendido entre 6 e 35 golpes, pode considerar-se como uma reta. Recomenda-se a determinação de pelo menos, 6 pontos. (CAPUTO, 1988)

Por definição, o limite de liquidez (LL) do solo é o teor de umidade para o qual o sulco se fecha com 25 golpes. (CAPUTO, 1988)

Segundo Caputo (1988) com os estudos do *Federal Highway Administration*, o LL pode também ser determinado, conhecido "um só ponto", por meio da equação:

$$LL = \frac{h}{1,419 - 0,3 \log n} \quad (1)$$

Onde  $h$  é a umidade, em porcentagem, correspondente a  $n$  golpes. O emprego desta fórmula é facilitado tabulando-se o denominador para diferentes valores de  $n$ . (CAPUTO, 1988)

Figura 11 - QUADRO DE VALORES "n"

$n$	$1,419-0,30 \log n$	$n$	$1,419-0,30 \log n$
15	1,066	28	0,985
16	1,058	29	0,980
17	1,050	30	0,976
18	1,042	31	0,972
19	1,035	32	0,967
20	1,029	33	0,963
21	1,022	34	0,960
22	1,016	35	0,956
23	1,010	36	0,952
24	1,005	37	0,949
25	1,000	38	0,945
26	0,995	39	0,942
27	0,990	40	0,938

FONTE : (Caputo, 1988)

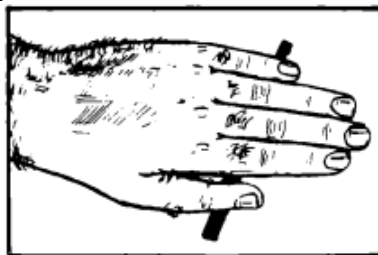
## 6.6 LIMITE DE PLASTICIDADE

De acordo com Caputo (1988) a plasticidade é comumente definida como uma propriedade dos solos que consiste em sua maior ou menor capacidade de serem moldados sob certas condições de uniformidade e sem variação de volume. É uma das propriedades mais essenciais das argilas.

Em outras ciências da engenharia, o comportamento plástico dos materiais é baseado nas características de tração-deformação. Como resultado, um corpo elástico recupera sua forma e volume originais uma vez que as forças externas que o deformaram são removidas; um corpo plástico, por outro lado, não recupera seu estado original após a remoção da ação deformante. (CAPUTO, 1988)

O limite de plasticidade (LP) é determinado pelo cálculo da porcentagem de umidade para a qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento. (CAPUTO, 1988)

Figura 12 - MOLDAGEM DO CILINDRO



FONTE: (Caputo, 1998)

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo dos solos e de seus perfis tanto quanto o potencial de risco à erosão exige um conhecimento detalhado das características do solo, suas propriedades físicas, geométricas e químicas e suas implicações na formação das camadas de terra. Tais características são o resultado de fatores que envolve a formação do solo em um determinado ponto da superfície. No entanto, o solo não representa o fim desses fatores. Em vez disso, eles continuam atuando sobre o solo, promovendo sua evolução e alterando suas propriedades. O solo e suas tipologias são um elemento básico de estudo para todas as áreas da engenharia e construção civil. Sendo que, o seu conhecimento prévio sobre as suas características mostra-se capaz de determinar a melhor solução para empecilhos envolvendo aterros, erosões, fundações e recalques. Todo o processo que envolva a construção e resolução de problemas em solos impõem-se na maioria das vezes com grandes obstáculos, e sem o seu devido planejamento podem ocorrer o agravamento de vários sistemas na superfície do terreno. Esta evolução ocorre em um intervalo de tempo variável que pode incluir décadas a centenas de anos, mas é de suma importância se atentar à dinâmica das propriedades do solo, ou seja, longe de ser um elemento estático no estudo de processos erosivos e impactos ambientais, mencionado neste artigo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-9895 - **Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT -Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6457. **Amostra de solos - Preparação para ensaios de compactação e ensaio de caracterização**. Rio de Janeiro.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7180. **Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro.

ANBT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-7182. **Ensaio Normal de Compactação de Solos**. Rio de Janeiro.

ABNT -Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR-9895. **Solo -Índice de Suporte Califórnia**. Rio de Janeiro.

- ANJOS, L. H., FERNANDES, M. R., PEREIRA, M. G.; FRANZMEIER, D. P. **Landscape and pedogenesis of an Oxisol-Inceptisol-Ultisol sequence in Southeastern Brazil.** Soil Science Society of America Journal, 62(6), 1651-1658.1998.
- AMARAL, A.J.; BERTOL, I.; COGO, N.P. & BARBOSA, F.T. **Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do planalto sul - catarinense.** R. Bras. Ci. Solo, 32:2145-2155, 2008.
- 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.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 7.ed. São Paulo, Ícone, 2010. 355p.
- 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.** R. Bras. Ci. Solo, 26:545-552, 2002a.
- CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 6ª ed. Rio de Janeiro:LTCEditora S.A., 1988.
- DENARDIN, J.E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1990. 81p. (Tese de Doutorado)
- DEPARTAMENTONACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 052: **Solos e agregados miúdos – Determinação da umidade com emprego do “speedy test”.** Rio de Janeiro, 4 p., 1994.
- DEPARTAMENTONACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 080: **Solos – Análise granulométrica por peneiramento.** Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTONACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 122 **Solos – Determinação do Limite de Liquidez.** Rio de Janeiro.
- FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana.** Curitiba: Champagnat, 1997.
- FONTES, M. P. F. **Intemperismo de rochas e minerais.** In: KER, J.C.; SHAEFER, C.E.G.R; VIDALTORRADO, P. **Pedologia: fundamentos.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 171-205.
- JORGE, M. C. O. **Geomorfologia urbana: conceitos, metodologias e teorias.** In: GUERRA, A. J. T. et al. (Org.) **Geomorfologia urbana.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p.117-142.
- KINNELL, P.I.A. **Event soil loss, runoff and the universal soil loss Equation family of models: A review.** J. Hydrol., 385:384-397, 2010.

MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURI, N.; SANTANA, D.P. & SILVA, M.L.N. **Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados - primeira aproximação.** R. Bras. Ci. Solo, 21:427-434, 1997.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion & conservation.** 3.ed. New York, Longman Scientific & Technical, 2005. 304p.

MOLINERO, G. R. **Modelagem de Previsão de Processos Erosivos.** 2007. 162f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Universidade de Brasília. Brasília. 2007.

OLIVEIRA, B. E. N. **Mapeamento, Identificação e Análise dos Fatores Relacionados aos Processos Erosivos no Distrito Federal (DF) - Ênfase nas Voçorocas.** 2011. 180 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal) - Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. 2011.

PRUSKI, F.F. **Fatores que interferem na erosão hídrica do solo.** In: PRUSKI, F.F., ed. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** 2.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2009a. p.41-74.

RETALLACK, G. J. **Soils of the past - An introduction to paleopedology.** London, Unwin Hyman, 1990. 520p.

RIDENTE JÚNIOR, J. L. **Análise da utilização de cartas geotécnicas em diferentes escalas para a gestão ambiental de rodovia em operação.** 2008. 182f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2008.

SILVA, A.M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; AVANZI, J.C. & FERREIRA, M.M. **Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais.** R. Bras. Ci. Solo, 33:1811-1820, 2009.

SINGH, M.J. & KHERA, K.L. **Nomographic estimation and evaluation of soil erodibility under simulated and natural rainfall conditions.** *Land. Degrad. Develop.*, 20:471-480, 2009.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar.** Edgard Blücher Ltda./EDUSP, São Paulo, SP, 2003, 400 p.

TULLIO, LEONARDO, **Formação, classificação e cartografia dos solos [recurso eletrônico]/Organizador Leonardo Tullio.** – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B. & CROSS, B.V. **A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites.** *J. Soil Water Conserv.*, 26:189-193, 1971.

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