

Ecossistemas em áreas urbanas, periurbanas e rurais: uma análise com o olhar voltado para o Distrito Federal

www.geotecnia.unb.br (Produção Acadêmica, Publicações Diversas)

JOSÉ CAMAPUM DE CARVALHO
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Faculdade de Tecnologia
Universidade de Brasília

Resumo: Este texto apresenta o entendimento do autor sobre aspectos que afetam os ecossistemas quando se promove a ocupação e o uso de áreas urbanas, periurbanas e rurais. Embora o foco principal seja o Distrito Federal e seu entorno, de modo geral ele se aplica a outras regiões do Brasil e de outros países, pois muitas das abordagens apresentadas portam caráter universal. O texto foi subdividido em itens, buscando-se, nos quatro primeiros, que se inicia pela introdução, abordar temas com maior universalidade, passando-se, em seguida, a temas mais específicos, que comportam, além de outras, as análises geotécnicas.

Palavras-chave: Clima, Alagamentos e inundações, Encostas, Fundações, Áreas de empréstimo, Estruturas de pavimento.

1. Introdução

Partindo-se da definição na qual o **ecossistema** constitui-se em uma comunidade de seres vivos em conjunto com seu ambiente físico, faz-se necessário cuidado quando o seu integrante, o ser humano, passa a compô-lo. Os cuidados vão em duas direções: como esse integrante o afeta e como ele responde às interferências sofridas. É nessas duas óticas que serão feitas as discussões. Destaca-se que, para a prevalência das boas práticas, o autorrespeito e o respeito ao ecossistema, à sociedade e às disposições e orientações estabelecidas, faz-se indispensável intensificar as ações educativas, construindo bases culturais voltadas, dentre outros, para o desenvolvimento sustentável.

Uma consciência salutar edificada tem sempre menor custo e maior eficiência que as leis impositivas estabelecidas, pois ela dispensa a fiscalização e, por vezes, a própria lei. É nessa esteira que se busca colocar as sugestões e observações contidas neste texto.

Antes de adentrar nas discussões atinentes ao tema propriamente dito, cabe lembrar que quando se priorizam as leis em lugar da construção de uma consciência, engessa-se o sistema, pois mesmo os(as) responsáveis pela fiscalização do respeito a elas se tornam reféns de normas que para eles(as) também foram estabelecidas, tirando-lhes a liberdade do agir segundo uma consciência fundamentada no conhecimento, na experiência, na observação e na reflexão. Poderiam ser dados exemplos, inclusive danosos ao meio ambiente e aos recursos naturais, de situações com as quais o autor deste texto se deparou no Distrito Federal, mas optou-se por não

o fazer. Apenas reforça-se a importância da junção dessa iniciativa com o educar em sentido amplo, construindo-se uma consciência sadia e voltada para o respeito humano e social e para com os ecossistemas, promovendo-se desenvolvimento sustentável.

O texto foi elaborado com o olhar voltado para especificidades e questões mais amplas atinentes ao tema tratado, dedicando-se os dois primeiros itens a aspectos gerais e passando-se, então, a tópicos específicos.

2. O olhar voltado para além do técnico

No atual modelo de desenvolvimento técnico-científico adotado mundialmente e em especial por países como o Brasil, as pesquisas e a divulgação dos resultados obtidos e dos avanços alcançados assumem caráter disciplinar no qual não raro se perde a noção do todo, noção para a qual é quase sempre indispensável visões e, em certos casos, atuações multidisciplinares e transdisciplinares. No endereço www.geotecnia.unb.br (PRODUÇÃO ACADÊMICA, Publicações Diversas), encontra-se disponível um texto no qual é apresentada uma análise sucinta da Produção em Ciência em nível mundial, buscando-se contextualizar a situação do Brasil (Camapum de Carvalho, 2022).

Exemplificando-se a importância da multidisciplinaridade, os estudos realizados no Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília (UnB) voltados para o uso de bactérias nativas presentes nos solos regionais na melhoria do comportamento mecânico dos solos, estudos que geraram um pedido de registro de patente, não teriam sido possíveis se não houvesse a participação de um biólogo e de uma médica veterinária (Valencia 2009, Gomes Muñetón, 2013).

Exemplificando-se ações em prol da educação e construção da consciência, no ano 2000, o autor deste texto, ao vivenciar uma situação constrangedora no Canadá, em consequência de deficiências em sua educação em sentido amplo, decidiu passar a desenvolver as pesquisas de cunho técnico-científico em que atuava com o olhar voltado para a educação em sentido amplo e investindo na popularização da ciência, Política Pública do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Com essa percepção, as pesquisas que coordenou e/ou das quais participou passaram a sintetizar os resultados em cartilhas voltadas para o ensino fundamental (Camapum de Carvalho e Lelis, 2006; Lelis e Camapum de Carvalho, 2010; Ribeiro *et al.* 2016) e para o ensino médio (Camapum de Carvalho e Diniz 2005, Camapum de Carvalho e Lelis, 2010; Camapum de Carvalho *et al.*, 2016), todas aplicáveis tanto na educação formal quanto na não formal. De modo a atender o público universitário, pesquisadores e profissionais, foram também organizados livros contendo resultados dos estudos realizados no âmbito das pesquisas (Camapum de Carvalho *et al.*, 2006; Camapum de Carvalho *et al.*, 2012; Sales *et al.*, 2017).

No ano de 2005, ainda durante a coordenação do Projeto de Pesquisa “Prevenção e recuperação de áreas potenciais de degradação por processos de erosão superficial, profunda e interna no Centro-Oeste”, o autor percebeu a necessidade de aprofundar seus conhecimentos em Direito e ingressou no curso universitário, concluindo-o em 2009. Após seu ingresso no curso de Direito, as cartilhas e os livros publicados passaram a incluir também conteúdo sobre Direito sem a ideia de cobrir todo o tema, mas objetivando realçar a sua importância e abrindo espaço para que os(as) docentes ampliassem as discussões.

Em 2017, quando foi organizado, sob a Coordenação do Professor Maurício Martines Sales, o livro “Erosão em Borda de Reservatório”, decidiu-se, além da inclusão de um capítulo sobre Direito (Camapum de Carvalho *et al.*, 2017), incluir um capítulo tratando de aspectos sociais e

de educação ambiental (Echeverria *et al.*, 2017) e outro tratando de aspectos psicossociais (Sonoda *et al.*, 2017), todos relevantes quando da implantação de UHE, mas mais uma vez abrindo-se espaço para discussões atinentes a outros temas, como aquele relativo à forma e ao modo como se dão a ocupação e o uso dos solos em áreas urbanas, periurbanas e rurais.

Este item, assim como a leitura dos textos nele citados, mostram a importância de um olhar voltado para além do técnico quando se trabalha com temas mais amplos como os que se referem aos ecossistemas.

3. O ar, a água, o solo e a vida

Ao se trabalhar com ecossistemas e com questões técnicas, deve-se manter o olhar voltado para o ontem, para o hoje e para o amanhã, para o aqui, para o entorno do aqui e, em muitos casos, para o distante do aqui. Nesse contexto faz-se necessário considerar o ar, a água, o solo e a vida, lembrando que a vida se faz presente nos três meios, ar, água e solo, sendo que muitos dos problemas pelos quais tem passado a humanidade tem origem na falta de percepção da interação desses meios incluindo a vida neles presentes. Assim, neste item, serão dados alguns exemplos que vão da ocupação e uso do solo em meio urbano e periurbano até o ambiente rural.

O uso excessivo de automóveis e a ampliação da produção industrial que gera a emissão de gases poluem a atmosfera, mudando não só as características do ar como as da água precipitada por ocasião das chuvas. Essas mudanças na qualidade da água, além de poderem ser nocivas para os seres vivos que dela consomem, podem contribuir, a depender do solo, para a ocorrência de problemas como as rupturas de encostas. Cabe lembrar, exemplificando com a COVID-19, que existe vida presente no ar, e que nem toda vida é, como nesse caso, nociva aos seres humanos.

A água em estado natural encontra-se em equilíbrio com o meio ambiente, e o meio ambiente com ela, mas tais equilíbrios podem ser rompidos, pois mesmo a água proveniente das chuvas pode ser alterada por meio das intervenções humanas. Exemplificando, a infiltração de águas servidas, os esgotos domésticos e industriais, poluem não só o solo como a própria água do subsolo, cursos d'água e reservatórios, afetando as vidas existentes nesses ambientes. No meio rural, os insumos agrícolas são, muitas vezes, solubilizados ou simplesmente carreados para o interior do maciço, cursos d'água e reservatórios, também afetando as vidas neles presentes. A vida humana guarda relação direta com muitas dessas vidas presentes no solo e na água.

Os solos formados ao longo de milhares e milhões de anos podem ter o equilíbrio rompido tanto pelo seu uso em meio urbano e periurbano como no meio rural. O seu equilíbrio pode ainda ser rompido por alterações climáticas, do ar e da água. A poluição de um ou mais desses três meios, ar, água e solo, termina impactando, por exemplo, a qualidade dos alimentos nele gerados e que, de um modo geral, excluídos os próprios minerais também passíveis de alterações, envolvem vidas, vida vegetal, vida animal. No contexto dos seres vivos, geralmente, o que se torna ameaçador para a vida do homem são os desequilíbrios.

Faz-se necessário considerar que as intervenções humanas, salvo raras exceções, afetam as vidas presentes nos três meios, ar, água e solo. Por exemplo, a construção de um reservatório vai exterminar muitas e muitas espécies que viviam naquele local, e outras surgirão, podendo ter reflexos positivos e negativos. Recentemente, soube de uma situação em que bactérias desenvolvidas em um reservatório estavam promovendo a obstrução dos sistemas geradores de energia. O princípio dessa atuação bacteriana deve ser algo semelhante àquele relacionado à

melhoria do comportamento mecânico dos solos por meio da alimentação das bactérias nativas, só que agora gerando um problema e não propiciando solução para problemas. Faz-se, portanto, relevante que se esteja sempre a avaliar e a considerar os impactos das intervenções humanas nos ecossistemas, por exemplo, a alteração da acidez do solo por meio da adição de calcários pode ser positiva para determinadas espécies utilizadas no plantio, no entanto, ela impactará a vida das térmitas e de microrganismos presentes no solo e adaptadas a meios com relativa acidez. Mas isso é bom? Depende! Depende do olhar e das consequências da alteração promovida no ecossistema.

Como se percebe neste item, é de suma relevância que as intervenções no meio ambiente se deem acompanhadas de análises mais amplas do que o projeto ou a obra de engenharia em si e que, no meio rural, ele vá além da simples produção ou ampliação da produção, alcançando análises ambientais mais abrangentes.

4. Expansão da ocupação e uso de áreas urbanas, periurbanas e rurais

Embora tendo geralmente previsões legais de licenciamento, nem sempre a expansão da ocupação e uso de áreas urbanas, periurbanas e rurais se dá a partir dele. Isso ocorre devido ao fato de que a lei maior, a consciência obtida por meio da educação em sentido amplo, ainda não foi construída e autoconstruída. Aqui serão colocados apenas alguns aspectos técnicos relevantes a serem observados e considerados.

Toda expansão da ocupação e do uso de áreas urbanas e periurbanas devem ser precedidas de avaliações de riscos de segurança para os futuros ocupantes e usuários e riscos ambientais. Essas avaliações são, geralmente, realizadas pela Administração Pública ou contando com a sua orientação e supervisão, não devendo ter uma preocupação estrita com o vigiar e punir. O Estado é composto pelo território, pelo povo e pelo governo, o que realça a importância de se estabelecer e seguir políticas públicas de Estado e não de Governo, pois as primeiras são longevas, enquanto as de governo, em geral, têm suas durações atreladas a sua presença no poder.

Os estudos preliminares voltados para a expansão e o uso das áreas urbanas, periurbanas e rurais devem envolver os impactos ambientais e técnicos oriundos daquela ocupação e quais procedimentos adotar para evitá-los ou mitigá-los. Por exemplo, nos casos urbanos e periurbano no âmbito ambiental, sugere-se avaliar quais seriam os impactos climáticos e ambientais oriundos de eventuais poluições do ar, da água e do solo e avaliar qual o impacto da ocupação e do uso do solo no ecossistema.

Em relação aos aspectos técnicos, sugere-se, dentre outros, levantamentos geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos de modo a que o usuário tenha ciência dos riscos e iniciativas a serem consideradas durante a ocupação e uso. Não raro ocorrem casos de recalques em edificações e de subsidências em espaços usados porque o ocupante desconhecia certas peculiaridades da área. Como integrante do Estado, a Administração Pública não pode ser mera arrecadadora e fiscalizadora, ela deve, acima de tudo, ser formadora de uma consciência e contribuir para a segurança e sadia qualidade de vida das pessoas e da sociedade como um todo, sempre mantendo o olhar voltado para o desenvolvimento sustentável.

Deve constar do projeto de expansão da ocupação e uso de áreas urbanas e periurbanas o planejamento de uma ocupação progressiva, seguindo critérios de demanda e preservação do equilíbrio ambiental e implantando os serviços básicos necessários de abastecimento de energia, água, esgoto e drenagem ou infiltração compensatória da água da chuva, para,

finalmente, adentrar na ocupação e no uso do solo propriamente ditos. Os serviços de pavimentação devem constituir a última etapa da urbanização que antecede a ocupação e o uso, e ela deve apresentar características compatíveis com as necessidades e voltadas para a preservação ambiental. Por exemplo, em áreas residenciais, assim como em passeios públicos e ciclovias, pode ser apropriado o uso de pavimentos permeáveis, mas sem se colocar de lado a questão da acessibilidade. Já em corredores de veículos pesados, quase sempre é mais interessante o uso de pavimentos rígidos.

Em áreas de encostas, é fundamental o estudo prévio dos eventuais impactos do uso e da ocupação sobre a estabilidade dos taludes, sendo, nesses casos, imprescindível a existência de coleta de águas servidas, pois estas, a não ser que estudos locais provem o contrário, podem ser desencadeadoras de instabilizações texturais e estruturais no solo, comprometendo seu comportamento hidromecânico.

Na zona rural, a expansão da ocupação e do uso dos solos deve igualmente passar por avaliações ambientais de modo a se eliminarem riscos e mitigarem problemas como o relacionado à ampliação do fluxo superficial e ao desencadeamento de processos erosivos. A título de exemplo, solos profundamente intemperizados, como os latossolos, podem sofrer degradação textural e facilitar a ocorrência de erosão laminar e redução da taxa de infiltração das águas pluviais quando tratados com determinados insumos agrícolas, a depender da relação solo-insumo (Pérez, 2018). Deve-se entender, no entanto, que tal percepção não vai necessariamente de encontro à ocupação e uso do solo, pois a adoção de técnicas de manejo apropriadas pode inclusive possibilitar o uso de insumos inicialmente entendidos como problemáticos.

5. Alagamentos e inundações

Os alagamentos e as inundações podem ter várias origens, por exemplo:

- aumento das precipitações;
- aumento da taxa de impermeabilização na área de contribuição;
- assoreamento de cursos d'água e reservatórios;
- alteração na vegetação de cobertura do solo;
- redução na infiltrabilidade do perfil de solo;
- obstrução dos sistemas de drenagem.

Embora geralmente se atribua os alagamentos e as infiltrações ao aumento das precipitações, nem sempre essa é a causa ou, pelo menos, não a causa principal e isolada. A ela, comumente está associado o uso e a ocupação do solo, lembrando que a própria alteração do microclima oriunda do uso e da ocupação do solo pode ampliar o volume de água da chuva precipitado, gerando problemas como os de erosão, alagamento e inundação (Luiz, 2012).

Nos ambientes urbano e periurbano, é comum o aumento da taxa de impermeabilização na área de contribuição sem que se implementem os ajustes necessários, como a infiltração compensatória e/ou o uso da água em jardins, promovendo sua infiltração, ou em serviços domésticos, propiciando o seu esgotamento por meio dos sistemas de drenagem das águas servidas.

No ambiente rural, geralmente o problema relativo ao aumento do volume de água propiciando a ocorrência de alagamentos e inundações está associado a técnicas inapropriadas de manejo do solo, assim como ao uso de insumos agrícolas desagregadores (solos

profundamente intemperizados) ou defloculadores (solos pouco intemperizados) do solo, conforme o caso. A desagregação do solo frequentemente propicia a redução da macroporosidade responsável pelo fluxo durante a infiltração, mesmo que a porosidade global seja mantida, possibilitando a ampliação do fluxo superficial e facilitando a ocorrência de erosão laminar e conseqüente assoreamento de cursos d'água e reservatórios. Tem-se ainda que os ciclos de molhagem e secagem podem promover a compactação do solo, dificultando a infiltração (Momoli *et al.*, 2017).

A alteração na vegetação de cobertura do solo pode também interferir na retenção e infiltração da água no solo, devendo ser cuidadosamente avaliada. Por exemplo, vegetações com elevada capacidade de retenção da água em encostas e taludes pode ocasionar problemas de ruptura devido à redução na sucção atuante.

Além dos já citados, vários são os fatores que podem ocasionar a redução na infiltração da água da chuva no perfil de solo. Um deles são as queimadas. As queimadas, além de afetarem a vida sobre e no próprio solo, propiciam a contração e conseqüente redução da porosidade diminuindo a infiltração.

A obstrução dos sistemas de drenagem das águas pluviais nas áreas urbanas e periurbanas é frequente e geralmente ocorre em conseqüência do lançamento de lixo em locais inapropriados, desde cigarros até copos e garrafas descartáveis. Pode ainda contribuir para a obstrução a deposição de solo erodido nas caixas de captação e nos próprios sistemas de drenagem.

Todos esses problemas elencados e muitos outros poderão ser evitados por meio de uma educação ampla voltada para a construção de uma consciência.

6. Estabilidade de encostas e de taludes de aterros e cortes

Tanto as encostas como os taludes criados pela intervenção humana passam, naturalmente, por processos de intemperização. A leitura da Tese de Lima (2003), que estudou processos evolutivos de ravinas e voçorocas do Distrito Federal, mostram que as condições de fluxo favoráveis propiciam tal intemperização que é, muitas vezes, como no caso dos taludes de erosões e cortes, favorecida por fatores como:

- qualidade da água da chuva;
- condições geomorfológicas intervenientes no fluxo e na interação solo-atmosfera;
- estratigrafia natural ligada à rocha de origem ou propiciada pelas condições de compactação, no caso dos aterros;
- composição químico-mineralógica do solo;
- infiltração de água contaminada.

A qualidade da água da chuva é um aspecto com o qual, em geral, não se tem preocupado em projetos e análises realizados nas engenharias. O foco tem ficado centrado nas mudanças climáticas ou simplesmente no clima. Os dados mostrados nas Figuras 1 e 2, oriundos de coletas realizadas durante os meses fevereiro e março de 2003 no SG-12, *campus* universitário Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, mostram que tanto o pH como a condutividade elétrica da água da chuva está se alterando ao longo do tempo em função, especialmente, da presença de agentes poluidores, requerendo análises que contemplem a dinâmica temporal em escala de tempo mais ampla, considerando-se inclusive fatores intervenientes como queimadas,

ampliação do número de veículos em circulação, implantação e operação de indústrias que fazem emissões de gases para a atmosfera.

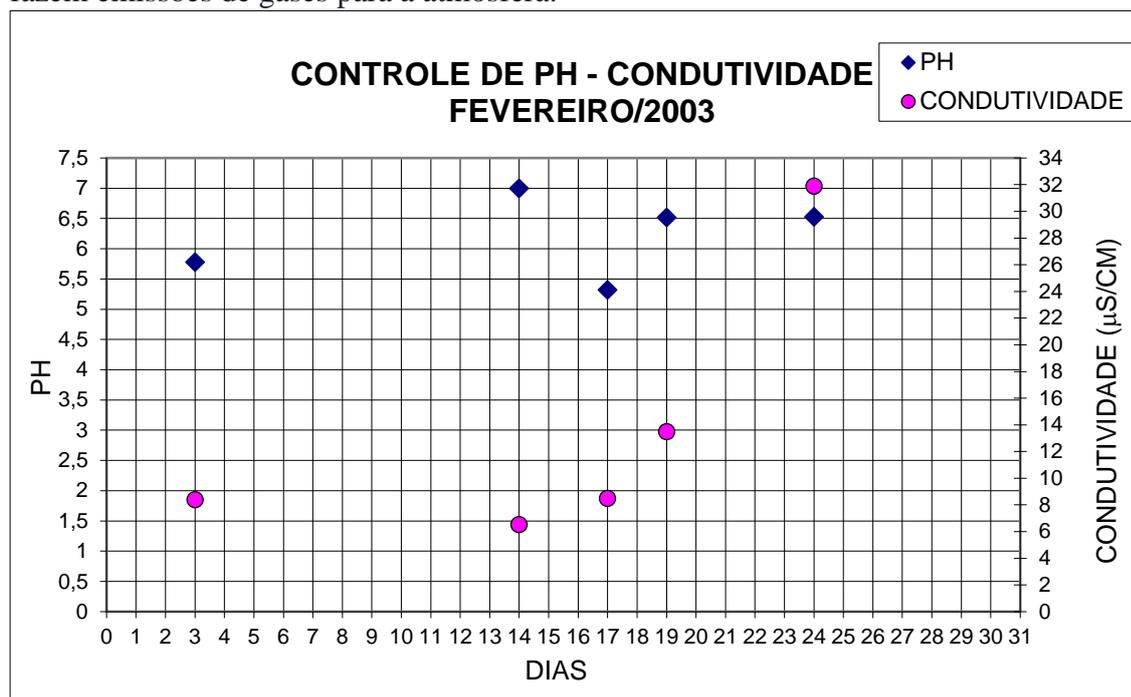


Figura 1. pH e condutividade elétrica da água da chuva, SG-12 – UnB, 02/2003.

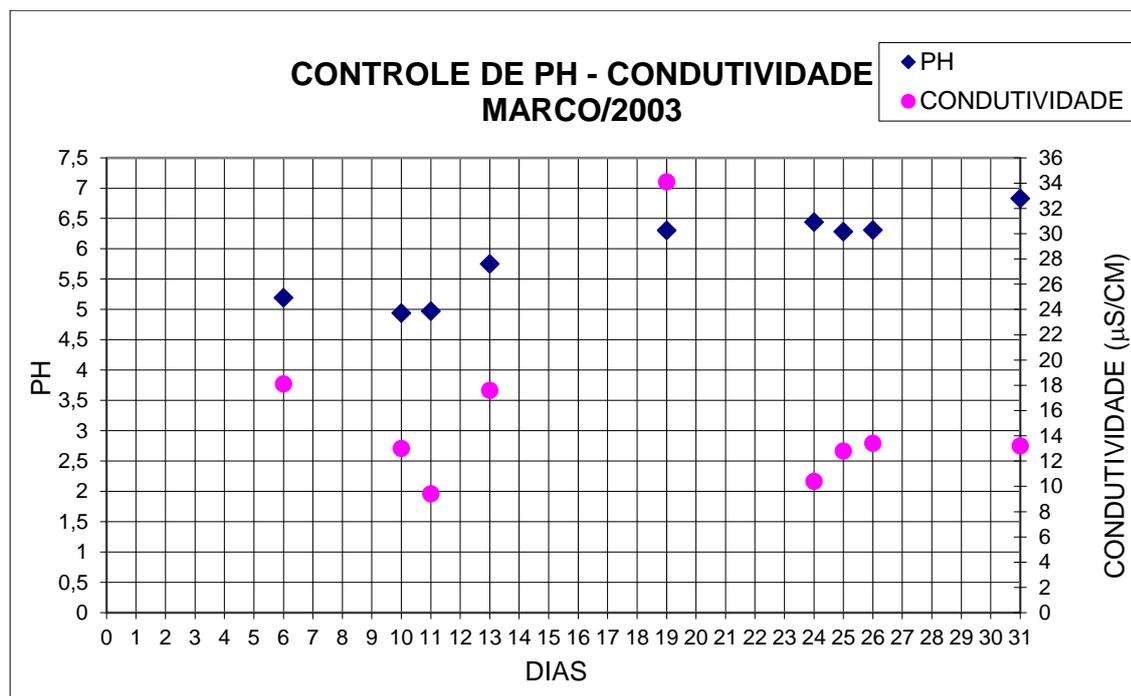


Figura 2. pH e condutividade elétrica da água da chuva, SG-12 – UnB, 03/2003.

As teses de Lima (2003) e de Jesus (2013), embora voltadas para o estudo de erosões, mostram claramente o impacto das incisões que ocorrem ou são realizadas no solo, mudando as condições de drenagem, assim como a forma dessas incisões nas propriedades e no comportamento dos solos e, por consequência, dos maciços. As instabilizações de encostas ou taludes são, geralmente, fruto das intervenções ocorridas. Por exemplo, os resultados apresentados por Pérez (2018), concernentes ao impacto dos insumos agrícolas na estabilidade

textural dos solos, indicam que uma encosta ou um talude de corte ou aterro pode vir a se romper devido a intervenções antrópicas realizadas mesmo que na superfície do terreno, pois os contaminantes avançam no perfil de solo com o fluxo oriundo da infiltração das águas pluviais.

A estratigrafia natural ligada à rocha de origem ou propiciada pelas condições de compactação, no caso dos aterros, são fatores intervenientes no comportamento hidromecânico dos solos e, portanto, na estabilidade das encostas, cortes e aterros. Quando em estado natural, essa estratigrafia marcada pela orientação de partículas está ligada à rocha de origem e ela deve condicionar a coleta de amostras indeformadas, assim como a própria realização dos ensaios incluindo a definição das técnicas apropriadas, pois, geralmente, ela é causa de anisotropia nos solos. A Figura 3 ilustra o impacto dessa estratigrafia na estabilidade de um talude de corte. Em situações como essa, é indicado o uso do ensaio de cisalhamento direto, buscando dar à montagem da amostra uma condição de orientação estratigráfica compatível com a que será mobilizada em campo. Nos ensaios de permeabilidade, faz-se necessário compatibilizar as condições de fluxo em laboratório com aquelas que vão prevalecer em campo.

Quando se tratar de maciços compactados dois destaques são relevantes:

- 1) Nos solos profundamente intemperizados nos quais predominam as agregações, como é o caso dos solos lateríticos, como as agregações apresentam, geralmente, formas mais equidimensionais, a compactação termina não interferindo ou interferindo pouco no arranjo estrutural do solo, exceto na alteração do volume e tamanho dos meso e macroporos existentes entre os agregados.
- 2) No caso dos solos pouco intemperizados contendo partículas lamelares, tubulares ou em forma de fibras, a condição e energia de compactação irá interferir na orientação das partículas e, por consequência, no comportamento hidromecânico e na estabilidade de taludes, requerendo tratamento diferenciado tanto nos estudos de laboratório quanto na própria execução da obra.

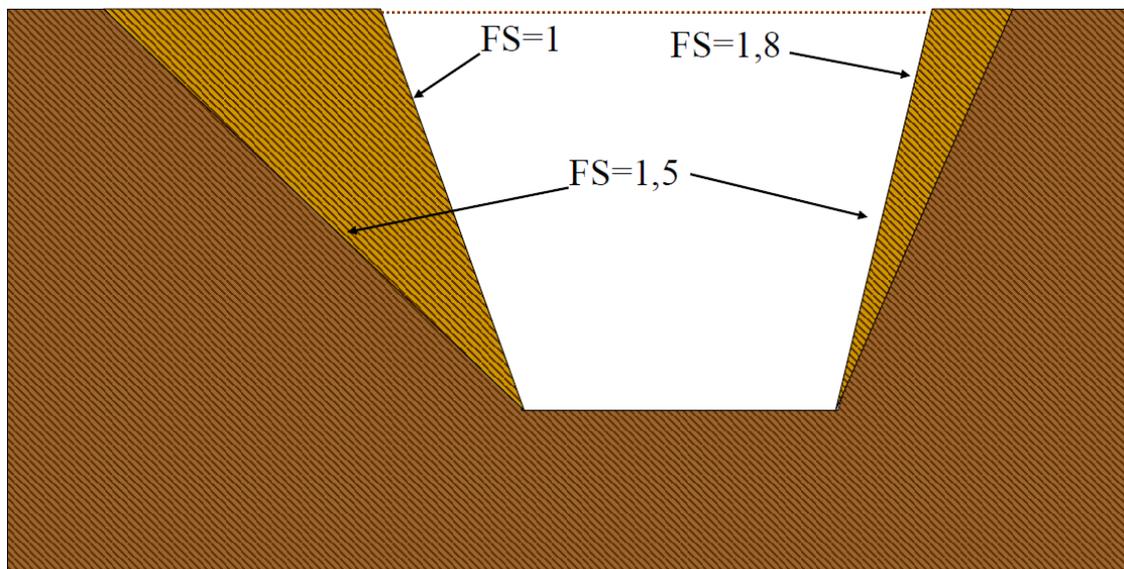


Figura 3. Impacto da estratigrafia na estabilidade de talude (FS – Fator de Segurança).

Camapum de Carvalho *et al.* (1987) apresentam um detalhado estudo sobre técnicas de compactação aplicadas a solos finos, lembrando que aqui que a composição textural analisada deve ser compatível com aquela do solo *in situ*.

O estado físico e a composição químico-mineralógica dos solos, em especial nos solos argilosos e siltosos, interfere diretamente em suas propriedades e comportamentos e os situa como mais ou menos vulneráveis a mudanças no meio.

No que tange ao estado físico do maciço, além das questões ligadas à estratigrafia nos solos pouco intemperizados, cabe destacar a relevância da metaestabilidade estrutural dos solos profundamente intemperizados. Quando esses solos profundamente intemperizados, com estrutura metaestável, estão presentes em quantidade significativa, recobrando uma encosta ou talude e ocorre a ruptura em consequência da saturação, sendo a porosidade do solo que compõe o maciço igual ou superior à do seu limite de liquidez, a tendência é surgir o fenômeno conhecido como corrida de lama, que, por vezes, assume características catastróficas. É evidente que diferenças texturais entre o solo compondo o maciço e o solo usado na determinação do limite de liquidez torna necessário aprimorar as análises na avaliação desse tipo de risco.

Quimicamente, são elementos importantes o potencial hidrogeniônico – pH e a capacidade de troca catiônica incluindo os cátions trocáveis. O pH interfere diretamente nas forças de atração e repulsão entre as partículas e os cátions trocáveis são elementos condicionantes dessas forças, que conferem certa estabilidade à interação entre partículas, afetando-a ao serem modificados. Portanto, fatores como a qualidade dos fluidos que se infiltram no solo são de grande relevância, podendo desencadear rupturas de taludes e encostas, assim como recalques e subsidências.

Mineralogicamente, cabe destaque a característica de, nos solos profundamente intemperizados, estarem presentes minerais geralmente estáveis em presença de água, cabendo, no entanto, salientar que condições químicas introduzidas no meio podem não só solubilizar oxi-hidróxidos de ferro e alumínio como comprometer a estabilidade dos agregados e microagregados presentes nesses solos (Ayala 2020).

Já nos solos pouco intemperizados, geralmente se fazem presentes argilominerais expansivos. Tais argilominerais expansivos, como mostrado por Camapum de Carvalho e Gitirana Jr. (2021) e Camapum de Carvalho (2022), requerem tratamento diferenciado daquele geralmente considerado na literatura. Cabe enfatizar que a expansão pode ser mineralógica e/ou estrutural, sendo que a mineralógica pode ser minimizada ou maximizada por intervenções de ordem química, e a estrutural, quando integrando a situação de um solo compactado, pode ser alterada pelas condições de umidade e de energia de compactação. Nos maciços naturais, outras técnicas, como a de inclusão de elementos rígidos e de contenção, podem ser adotadas.

Finalmente, no contexto deste texto, destaca-se que assume grande importância na estabilidade das encostas e de taludes de aterros e cortes a qualidade do fluido que se infiltra no maciço. Por exemplo, a infiltração de águas domésticas servidas e daquelas descartadas pela indústria sempre requer a análise do risco de desencadear a curto, médio ou mesmo longo prazo a ruptura de uma encosta ou talude de corte ou aterro, pois ela é suscetível de interferir nas forças interativas entre partículas cuja relevância já fora destacada neste texto.

7. Subsidências e recalques em fundações e áreas ocupadas

As subsidências são, geralmente, oriundas da formação de cavidades no subsolo ou da esqueletização (eluviação) do maciço. As cavidades e esqueletizações podem ser oriundas do tipo de rocha matriz e ocorrerem ao longo da trajetória geológica, assim como do uso e ocupação do solo.

Exemplificando as origens naturais, com certa frequência, são formadas cavidades e ocorrem subsidências em regiões contendo formações cáusticas.

As subsidências oriundas da exploração do subsolo podem ter, dentre outras, duas origens: a remoção de materiais, criando cavidades no subsolo que, a partir de certo momento, rompem-se; a exploração de compostos presentes no subsolo e fluido de preenchimento, gerando a esqueletização do maciço, que o leva à ruptura estrutural. O segundo caso ocorre, muitas vezes, devido à remoção e substituição continuada do fluido presente no meio rico em determinados compostos químicos presentes na matriz rochosa e que sofrem solubilização. As substituições propiciam a ocorrência de novas solubilizações e ampliação do processo de esqueletização, chegando a um determinado momento em que o maciço não suporta às tensões atuantes rompendo e gerando a subsidência.

As subsidências, quando ocorrem nos mantos de solo, podem ser fruto da sua ocupação e do seu uso. Em certos casos, o manto de intemperismo tropical é macroporoso e formado por agregações, e, com a infiltração de águas poluídas, ele pode, de forma relativamente rápida ou com o passar do tempo, ter sua estabilidade estrutural comprometida e apresentar subsidência.

Os solos tropicais profundamente intemperizados, ricos em agregações e geralmente constituídos de macro e microporos, apresentam comumente estrutura colapsável. Embora o colapso seja com frequência atribuído à saturação, ele tem seu potencial de ocorrência ligado à metaestabilidade estrutural do solo, ou seja, a saturação se relaciona apenas à perda da estabilidade estrutural devido à redução ou mesmo ao desaparecimento da sucção atuante.

Além da saturação, outros fatores podem desencadear o colapso do solo. Por exemplo, o colapso pode ter origem em alterações da química do meio, o que afeta a sucção osmótica e a interação interpartículas e interagregados. A infiltração de águas de esgoto constitui-se em exemplo de alteração química do meio suscetível de gerar o colapso estrutural do solo. O colapso pode ainda resultar da ação de vibrações impostas ao maciço. São exemplos de energia vibratória a cravação de estacas e a circulação de veículos.

Outro fator pouco lembrado, mas que também pode gerar o colapso estrutural do solo, é a alteração do estado de tensões, pois as lixiviações e acomodações interpartículas e interagregados se deram para determinada condição de fluxo e estado de tensões atuante durante o seu processo de formação ou mesmo em consequência de uma compactação e uso do solo. A alteração do estado de tensões pode romper essa condição de equilíbrio, gerando o colapso estrutural do solo. Portanto, esse tipo de colapso pode ocorrer, por exemplo, em consequência da escavação de um túnel.

Destaca-se que, além de o colapso poder ser gerado a partir da atuação desses fatores de forma isolada, ele pode resultar da conjugação de fatores, como aumento das tensões atuantes, aumento do grau de saturação e inclusão de agentes químicos. Porém, geralmente, o somatório de fatores amplia o nível de colapso sem que, no entanto, o colapso oriundo da atuação conjunta deles seja necessariamente igual à soma dos colapsos oriundos de cada um deles em separado. Quase sempre o colapso estrutural do solo ocorre de forma localizada, no entanto, ele pode se fazer presente de modo mais amplo, alcançando a situação das subsidências.

Os recalques das fundações das edificações propriamente ditos podem ser provenientes de colapsos estruturais não previstos, assim como de falhas no dimensionamento, as quais, são, muitas vezes, oriundas de avaliações inadequadas da capacidade de suporte do solo de fundação. Exemplificando, são usados, no dimensionamento, resultados obtidos de ensaios como o SPT (*Standart Penetration Test*) sem que, muitas vezes, considere-se a estratigrafia e/ou estrutura do solo nem a sua umidade, lembrando que a umidade dos solos não saturados varia ao longo do ano e exerce influência na resistência. Esse tipo de ensaio geralmente destrói

a estrutura do solo durante o processo de cravação do amostrador, gerando imprecisão na avaliação do comportamento mecânico (Camapum de Carvalho e Gitirana Jr., 2021). Em materiais areno-quartzosos, esse ensaio pode ampliar a resistência e, em materiais argilosos profundamente intemperizados, não saturados, geralmente ele fornece informações sobre o comportamento mecânico piores que as reais.

Os recalques das fundações das edificações podem ainda ser fruto do próprio uso e da ocupação do solo. Por exemplo, a ampliação da infiltração de água proveniente da chuva ao aumentar a umidade do solo pode ocasionar seu colapso estrutural ou a simples redução de sua resistência ao cisalhamento e aumento da compressibilidade. Quando da infiltração de águas de esgoto, o problema frequentemente se agrava, pois a química do fluido pode gerar e/ou ampliar o colapso estrutural do solo.

Portanto, a ocupação e o uso do solo urbano e periurbano requerem estudos preliminares e planejamento, e, por vezes, legislações objetivando a preservação ambiental podem originar e agravar problemas, como é o caso da infiltração compensatória da água da chuva. Não que ela não deva ser implementada, mas sim que sua implementação requer análises cuidadosas de seu impacto.

8. Áreas de empréstimo em solos

As áreas de empréstimo surgem da necessidade de solos para execução de diferentes empreendimentos, como construção de barragens de terra e de terra e enrocamento, construção de aterros e construção de estruturas de pavimento. Muitas vezes, no entanto, terminado o uso do material daquela área de empréstimo, não se procede a execução da adaptação daquele local às novas condições ambientais, dando origem ao desencadeamento de problemas.

A Figura 4 exemplifica situação em que a erosão surgiu em área de empréstimo utilizada na construção viária.



Figura 4. Erosão em área de empréstimo junto a BR-060

Vários outros exemplos, e não apenas relativos à construção viária, poderiam ser apresentados contendo situações semelhantes a essa. Geralmente, esses processos erosivos surgem em consequência de não se buscar adequar a área explorada à sua nova realidade ambiental, por exemplo, recompondo a cobertura do maciço, preferencialmente com as espécies nativas removidas.

No caso do Distrito Federal e em outras regiões do Brasil, comumente os materiais mais apropriados à construção viária, solos e cascalhos lateríticos com melhor comportamento mecânico se encontram, por terem a formação favorecida pela condição de drenagem, localizados nas bordas do maciço com maior altitude. Sendo uma das práticas de adaptação das áreas exploradas convertê-las em bacias de infiltração de águas pluviais, faz-se necessário verificar se a fração grossa que compõe o solo é filtro da fina, pois, não o sendo, poderá dar origem à esqueletização e formação de cavidades no maciço, com risco de ocorrência de subsidência no futuro, como reportado por Camapum de Carvalho *et al.* (1999).

Para aliviar a necessidade de mais e mais áreas de empréstimo, assim como para promover a melhoria do comportamento dos solos e materiais disponíveis com menor custo e menos impacto ambiental, faz-se necessário e oportuno a utilização de resíduos oriundos de diferentes fontes. Por exemplo, estudos realizados por Bastidas-Martinez (2014, 2017) mostram ser possível o uso dos lodos de água e de esgoto em misturas asfálticas. Sales (2011) mostrou que o cabelo humano pode contribuir para a melhoria do comportamento mecânico do solo e Ayala (2020) chegou a conclusões similares ao fazer o uso de penas de frango. Oliveira (2007) mostrou que o RCD (resíduo de construção e demolição) pode ser usado na melhoria do comportamento mecânico dos solos.

Portanto, o planejamento e a implementação de estudos mais amplos e adequados constituem-se em ferramentas importantes para o desenvolvimento sustentável.

9. Implantação e manutenção de estruturas de pavimento

A implantação e manutenção de estruturas de pavimentos vai desde o estudo do subleito, passando pelo estudo e o uso de áreas de empréstimo, como discutido no item anterior, até atingir as fases de construção e manutenção das vias.

A complexidade envolvendo o conjunto de obras, assim como os impactos ambientais que esses empreendimentos geram, requer planejamento e estudos prévios abrangentes, o que geralmente demanda períodos relativamente longos, fazendo com que a eles seja dado um tratamento de Estado e não de Governo, pois, comumente, quando ele se dá no âmbito do Governo, não se dispõe de tempo para a realização dos estudos necessários de forma abrangente.

Cabe lembrar que, de modo geral, esses empreendimentos apresentam substanciais impactos ambientais, interrompendo o trajeto de percurso de animais e intervindo no fluxo superficial da água da chuva. Os lançamentos das águas provenientes dos sistemas de drenagem não raro são deflagradores de processos erosivos, e taludes de corte se rompem ao longo do tempo em função, muitas vezes, das novas condições de drenagem impostas que passam a degradar o maciço.

No que tange à manutenção das vias, ela também requer planejamento. Sua realização preventiva reduz custos e evita danos e riscos para os usuários.

10. Considerações finais

O texto apresentado, acima de tudo, constitui-se em um convite à reflexão quando da definição de critérios e normas para o uso e ocupação do solo, seja em meio urbano, periurbano ou rural.

É indiscutível a relevância dos conhecimentos e experiências construídos no âmbito disciplinar, no entanto, faz-se indispensável a participação de profissionais com visão e formação multidisciplinar na elaboração das normas destinadas ao uso e ocupação do solo.

A educação ampla da sociedade, voltada para a construção de uma consciência humana, social e ambiental, quando atuando em questões de ordem econômica, é fundamental, pois é capaz de fazer com que cada pessoa se autofiscalize, analisando e respeitando as particularidades ambientais e ecossistêmicas.

Finalmente, cabe destacar que as abordagens feitas neste texto são passíveis de ajustes e ampliações que podem trazer contribuições relevantes para os temas elencados.

Referências

- Ayala, R.J.L. (2020). Melhoria de solos com fibras provenientes da indústria avícola. Brasília: Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 272 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Bastidas-Martinez, J.G. (2014). Avaliação de desempenho de misturas betuminosas com adição de lodos de ETA e de ETE. Brasília: Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 91 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Bastidas-Martinez, J.G. (2017). Asfaltos e misturas modificadas com materiais alternativos. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 207 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Camapum de Carvalho, J. (2022). Olhar Voltado Para o Simples Quando se Busca Entender Certas Peculiaridades Geotécnicas. São Paulo: ABMS, 8 p. (no prelo)
- Camapum de Carvalho, J. (2022). Avaliação sucinta da produção em ciência. www.geotecnia.unb.br (PRODUÇÃO ACADÊMICA, Publicações Diversas)
- Camapum de Carvalho, J.; Camapum de Carvalho, J.T.; Arroyo, C.B.S.; Leuzinger, M.D. (2017). Aspectos legais relacionados à preservação Ambiental das margens dos reservatórios. In Erosão em Borda de Reservatório. Universidade Federal de Goiás, pp. 1-34. <https://gecon.eec.ufg.br/p/18785-publicacoes>
- Camapum de Carvalho, J.; Crispel, J.J.; Mieussens, C.; Nardone, A. (1987). La reconstitution des éprouvettes em laboratoire. Paris: Rapport de recherche LPC N° 145, 54 p.
- Camapum de Carvalho, J.; Diniz, N.C. (2005). Cartilha Erosão. Brasília: Universidade de Brasília, FINATEC, 33 p.
- Camapum de Carvalho, J.; Gitirana Jr., G. P. N. (2021). Unsaturated soils in the context of tropical soils. In: Soils and Rocks, 44(3), 25 p. www.soilsandrocks.com
- Camapum de Carvalho, J.; Gitirana Junior, G.F.N.; Carvalho, E.T.L. (organizadores). (2012). Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Série Geotecnia, v. 4, 644 p.

- Camapum de Carvalho, J.; Lelis, A.C. (2006). Cartilha Meio Ambiente: Erosão. Brasília: Universidade de Brasília, FINATEC, 26 p.
- Camapum de Carvalho, J.; Lelis, A.C. (2010). Cartilha Infiltração. Brasília: Universidade de Brasília, Série Geotecnia, v. 2, 36 p.
- Camapum de Carvalho, J.; Lelis, A.C.; Sales, M.M.; Mascarenha, M.M.A.; Angelim, R.R.; Luz, M.P. (2016). Cartilha Erosão em Borda de Reservatório. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Série GECON, v.1, 55 p.
- Camapum de Carvalho, J.; Pastore, E.L.; Pereira, J.H.F.; Franco, H.A.; Brostel, R.C. (1999). Estudo e solução para os problemas de erosão interna nas lagoas de estabilização de Recanto da Emas - DF. Proc. 4º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, São José dos Campos, Brazil. ABMS, 1-9.
- Camapum de Carvalho, J.; Sales, M.M.; Souza, N.M.; Melo, M.T.S. (organizadores). (2006). Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro. Brasília: Universidade de Brasília, FINATEC, 464 p.
- Gómez Muñetón, C.M. (2013). Avaliação geotécnica de um perfil de solo tratado biotecnologicamente para fins de pavimentação. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 168 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Echeverria, A.R.; Rios, F.P.; Alves, P.L.; Salgado, A.A.; Luz, M.P. (2017). Aspectos sociais e de Educação Ambiental emergentes dos processos de implantação de UHE's. In Erosão em Borda de Reservatório. Universidade Federal de Goiás, pp. 35-51. <https://gecon.eec.ufg.br/p/18785-publicacoes>
- Jesus, A.S. (2013). Investigação multidisciplinar de processos erosivos lineares: estudo de caso da cidade de Anápolis - GO. Brasília: Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 339 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Lima, M.C. (2003). Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas. Brasília: Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 336 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Luiz, G. C. Influência da relação solo-atmosfera no comportamento hidromecânico de solos tropicais não saturados: estudo de caso - município de Goiânia-GO. Brasília: Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 336 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Momoli, R.S.; Camapum de Carvalho, J.; Cooper, M. (2017). Erosão hídrica em solos cultivados. In Erosão em Borda de Reservatório. Goiânia: Universidade Federal de Goiás. 369-397. <https://gecon.eec.ufg.br/p/18785-publicacoes>
- Oliveira, J. C. (2007). Indicadores de potencialidades e desempenho de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil em pavimentos flexíveis. Brasília: Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 167 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Pérez, A.C. (2018). Influência de insumos agrícolas em propriedades físicas de solos tropicais. Brasília: Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 103 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Ribeiro, P.A.; Cruz, J.S.; Camapum de Carvalho, J.; Sales, M.M.; Mascarenha, M.M.A.; Luz, M.P.; Angelim, R.R. (2016). Cartilha Meio Ambiente: Erosão em Borda de Reservatório. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Série GECON, v.2, 33 p.

- Sales, K.C.S. (2011). Melhoria de Solos por inclusão de Fibras Naturais. Brasília: Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 97 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- Sales, M.M.; Camapum de Carvalho, J.; Mascarenha, M.M.A.; Luz, M.P.; Souza, N.M.; Angelim, R.R. (organizadores). (2017). Erosão em Borda de Reservatório. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Série GECON, v.3, 584 p.
- Sonoda, K.C.L.; Viana, T.C.; Camapum de Carvalho, J. (2017). Erosão em borda de reservatório: alguns aspectos psicossociais. In Erosão em Borda de Reservatório. Universidade Federal de Goiás. 53-64. <https://gecon.eec.ufg.br/p/18785-publicacoes>
- Valencia, Y.G. (2009). Influência da biomineralização nas propriedades físico - mecânicas de um perfil de solo tropical afetado por processos erosivos. 2009. Brasília: Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 183 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>