

ANÁLISE DO MECANISMO DE RUPTURA DA VERTENTE PELAS DESCONTINUIDADES HIDRÁULICAS EM LATOSSOLO NO BAIRRO VILA NOVA EM SANTA TERESA, ESPÍRITO SANTO, BRASIL

Nara Rodrigues Barreto

Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Vitória, ES, Brasil
nara.rodriguesb@gmail.com

Ana Christina Wigner Gimes

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Geografia, Vitória, ES, Brasil
acw.gimes@gmail.com

Antonio Celso de Oliveira Goulart

Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Vitória, ES, Brasil
celsoliveiragoulart@gmail.com

RESUMO

Vários agentes potencializadores de ruptura dos materiais têm sido propostos, visando diagnosticar a estabilidade das vertentes. Observados vetores de crescimento da cidade, o objetivo desta pesquisa consistiu em analisar mecanismos de ruptura da vertente pelas descontinuidades hidráulicas em Latossolo, no bairro Vila Nova. Amostras foram coletadas a diferentes profundidades para caracterização química e física. Análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta; densidade do solo, determinada pelo método do anel volumétrico; macro, micro e porosidade total, pelo método da mesa de tensão e condutividade hidráulica saturada (Ksat) em carga constante, pela lei de Darcy. Curvas de retenção da água foram construídas em mesa de tensão (-6 e -10 kPa) e em câmara de pressão com placas cerâmicas (30, 300 e 1500 kPa). A classe representa os Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos. Os ensaios mostraram descontinuidades hidráulicas a 60 cm e a 180 cm de profundidade. A primeira, relacionada à redução de macroporos, com aumento de microagregados e menos blocos subangulares, permanecendo fluxos hídricos verticais. A segunda, à redução de macroporos, aumento da densidade do solo, estrutura maciça e incremento de silte, resultando em propriedades emergentes de poro-pressão positiva, fluxo horizontalizado e plano de ruptura potencial, cujo comportamento pós-corte leva à instabilidade.

Palavras-chave: Estabilidade de Vertente. Susceptibilidade. Condutividade hidráulica no solo. Retenção da água no solo.

ANALYSIS OF THE SLOPE RUPTURE MECHANISM BY HYDRAULIC DISCONTINUITIES IN OXISOL IN VILA NOVA NEIGHBORHOOD IN SANTA TERESA, ESPÍRITO SANTO STATE, BRAZIL

ABSTRACT

Many potential agents of material rupture have been proposed, aiming to diagnose the slopes stability. Considering the growth vectors of the city, the objective of this research consisted in analyzing slope rupture mechanisms by the hydraulic discontinuities in Oxisol, in the Vila Nova neighborhood. Samples were collected at different depths for chemical and physical characterization. The granulometric analysis was performed by the pipette method; soil density (bulk density), determined by the volumetric ring method; macro, micro and total porosity, using water column apparatus and saturated hydraulic conductivity of the soil (Ksat), hydraulic linear loading rate, by Darcy's law. Water retention curves were constructed using sand table by water columns (-6 and -10 kPa) and pressure plates extractors (30, 300 and 1500 kPa). The soil represents Oxisols, yellowish red. The tests showed hydraulic discontinuities at 60 cm and 180 cm depth. The first, related to the reduction of macropores, with increase of microaggregates and less subangular blocks,

remaining vertical water flows. The second, to the reduction of macropores, increase of the soil density, massive structure and increment of silt, resulting in positive pore-pressure properties, horizontal flow and potential rupture plane, whose post-cutting behavior leads to instability.

Keywords: Slope stability. Susceptibility. Hydraulic conductivity in soil. Retention of water in the soil.

INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica em ambiente tropical é um dos principais fatores condicionantes do processo de equilíbrio limite de uma vertente. A água da chuva infiltra e percola nos solos, quando na medida em que a água se acumula, ocorre o aumento da pressão hidrostática, e conseqüentemente a diminuição da coesão do solo, resistência e diminuição do fator de segurança da vertente.

Para avaliar a condição de equilíbrio limite, a condutividade hidráulica dos solos vem sendo considerada um parâmetro hidrológico cuja mensuração é importante no que tange a compreensão do comportamento hidrológico dos solos em relação à estabilidade de vertentes. Refere-se à dinâmica de transporte do fluido em meio poroso, tendo um comportamento que reflete as características físicas dos solos (FREEZE e CHERRY, 1979; BRADY, 1989).

Gomes (2012) considera que os solos são de natureza anisotrópica e heterogênea, possuindo continuidades espaciais em todas as direções. A condutividade hidráulica saturada (Ksat) é uma propriedade hidrológica sujeita a variações ao longo do perfil do solo, podendo gerar descontinuidades. A existência dessas descontinuidades atua nos modelos hipotéticos de mecanismos de ruptura, visto que o seu aumento ou diminuição ao longo do perfil determina o tipo de mecanismo investigado. A mensuração de Ksat em diferentes profundidades do solo, seja ela realizada *in situ* ou em laboratório, pode contribuir diretamente para a identificação do mecanismo de ruptura que predomina no manto de alteração.

Esta temática tem se tornado cada vez mais recorrente na realidade dos municípios brasileiros, em que existe um padrão de ocupação associado a cortes nas vertentes, modificador das estruturas do ambiente e capazes de potencializar a susceptibilidade das vertentes. A dinâmica hidrológica em subsuperfície é complexa e importante no estudo dos fluxos superficiais no desenvolvimento de processos de ruptura do solo (WHIPKEY e KIRKBY, 1978). Por isso, De Ploey e Cruz (1979) consideram que a hidrologia de encostas deve ser estudada em detalhe, devido a sua importância nos processos hídricos subterrâneos.

Em Latossolos, nos materiais a montante de cortes realizados nas vertentes podem aparecer processos associados a tração que retratam pouca influência hídrica, e que também demandariam investigação, sobretudo por existirem Latossolos cujas características mineralógicas, morfológicas e texturais se diferenciam muito entre si, tais como aqueles mais oxidícos ou mais cauliniticos, com maior ou menor predominância de microagregados ou os mais argilosos ou mais psamíticos.

Contudo, levando em consideração o panorama da dinâmica hidrológica dos solos na deflagração dos movimentos de massa, a Ksat permite fornecer informações para analisar a sua variação espacial, em que o seu emprego contribui significativamente para as pesquisas que tem por objetivo entender os mecanismos de instabilização de vertentes, conjugada a investigação geomorfológica e a dinâmica atuante como ponto de partida pela visão integrada da compartimentação topográfica, estrutura superficial e fisiologia da paisagem estruturada por Ab'Sáber (1969).

Os Latossolos são representativos de solos profundos, muito intemperizados e texturalmente mais homogêneos até o horizonte B latossólico (Bw) diagnóstico. Nesse contexto, espera-se uma entrada significativa de águas pluviais, configurando um receptor volumoso. Se ultrapassada a capacidade de campo (para Latossolos a -10 kPa, segundo RUIZ et al., 2003), esperar-se-ia um fluxo muito verticalizado, portanto, significativo de simplicidade emergente que resultaria em promoção à estabilidade das vertentes. No entanto, este fator não tem ocorrido nas vertentes do sítio urbano de Santa Teresa, devido ao padrão de ocupação que prioriza cortes nas vertentes que rompem com essa dinâmica natural. A compreensão da dinâmica hidrológica e a influência na

deflagração dos processos de instabilidade da vertente urbana levam em consideração parâmetros e variações no perfil do solo que tendem a contribuir para o entendimento dessas premissas apresentadas. Esta pesquisa teve como objetivo analisar os mecanismos de ruptura dos materiais em Latossolo, por meio da análise da condutividade hidráulica saturada dos solos (K_{sat}), e sua influência na estabilidade de uma vertente urbana do bairro de Vila Nova, na sede municipal de Santa Teresa – ES, tendo sido determinados como parâmetros de instabilidade, as descontinuidades hidráulicas e a profundidade de ruptura potencial.

O diagnóstico de estabilidade da vertente com base na identificação dos agentes condicionantes e dos mecanismos de ruptura compõe uma previsão a deflagração de movimentos de massa e sugestão de limites máximos de profundidades dos cortes para os Latossolos de Santa Teresa, sobretudo, atentos aos locais dos vetores de crescimento da cidade em que o modelo de ocupação ainda leva a práticas de modificações do perfil do terreno, criando novas vertentes, antes inexistentes, alterando a forma e a inclinação, observadas em cortes antrópicos intencionais para a construção de estradas, vias públicas, residências e equipamentos urbanos.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde a uma vertente de Latossolo, situada no bairro Vila Nova, localizada na sede do município de Santa Teresa (Figura 1), região serrana do Estado do Espírito Santo, sudeste do Brasil. O município possui uma área de 683,157 km² e uma população estimada em 21.823 habitantes (IBGE, 2010). A escolha dessa vertente foi atribuída à alteração morfológica sofrida na realização do corte para a implantação de rua e moradia, situada no limite do terço inferior e médio da vertente, neste local, com característica dispersora (Figura 2).

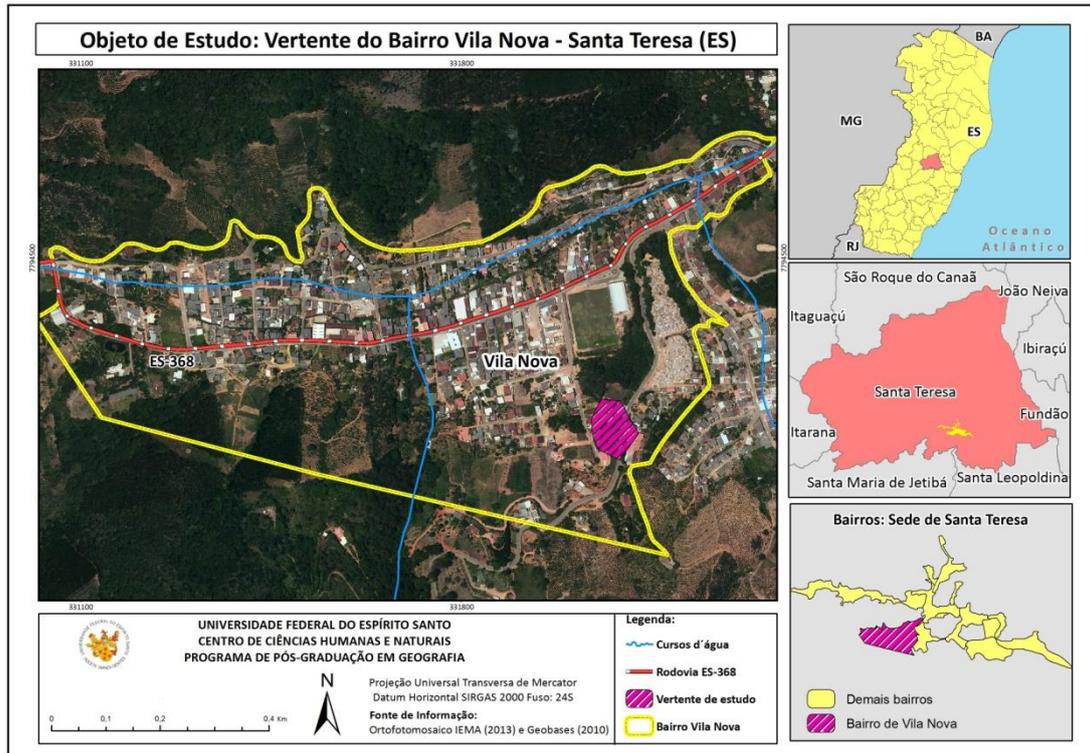
ASPECTOS FÍSICOS

As rochas da região serrana de Santa Teresa estão inseridas na unidade geológica dos Charnokitóides, em estruturas de deformação tectônica intensamente dobrada e zonas de cisalhamento (CPRM, 2013). O bairro Vila Nova apresenta intensiva rede de lineamentos derivados das descontinuidades litológicas com fraturamentos e direções de atitudes geológicas, comprovando o domínio geológico de deformação.

As feições geomorfológicas do bairro Vila Nova são influenciadas pelas morfoestruturas do chamado domínio da Faixa de Dobramentos Remobilizados e morfoesculturas dos Planaltos da Mantiqueira Setentrional, na unidade dos Patamares Escalonados do Sul Capixaba (RADAMBRASIL, 1987). Compreende uma região que, apresenta níveis de dissecação escalonados, formando patamares, delimitados por frente de escarpas adaptadas a falhas voltadas para noroeste e com caimento topográfico para sudeste, sugerindo blocos basculados em decorrência de impulsos epirogenéticos relacionados com a atuação dos ciclos geotectônicos (IJSN, 2012). Os solos, fazem parte da classe dos Latossolos Vermelho-Amarelos, possui saturação distrófica, textura argilosa e horizonte A moderado (RADAMBRASIL, 1987).

Pela classificação de Köppen, o clima de Santa Teresa é do tipo Cwa (subtropical de inverno seco), com temperatura média em torno dos 18°C. No inverno os valores podem chegar entre 15 a 18°C, com média mínima diária de 6 a 10°C (FERREIRA, et al. 2013). Apresenta alto índice de umidade com quatro meses secos (junho a setembro) e pelo menos seis meses do ano úmidos a parcialmente úmidos (outubro a abril). A sede do município e a área de estudo, apresentam terras de temperaturas amenas acidentadas e chuvosas (INCAPER, 1999). Segundo os dados da estação meteorológica de observação de superfície – Santa Teresa – A613, código OMM: 86804 (IMET, 2015), a precipitação média anual representa entre 1.000 e 1.300 mm/ano, deficiência hídrica, média de 0,0074 a 50 mm/ano e excedente hídrico elevado, de 150 a 250 mm/ano, correspondentes aos meses característicos.

Figura 1 – Localização da vertente de estudo, situada no bairro Vila Nova – sede municipal de Santa Teresa (ES, Brasil).



Fonte – Elaborado pelos autores.

Figura 2 – Vertente de análise. Bairro Vila Nova, Santa Teresa (ES, Brasil), coordenada UTM - Datum Sirgas 2000 - 326883,29 E/ 7794121,36 N.



Fonte – Levantamento de campo feito pelos autores.

METODOLOGIA

COLETA DE AMOSTRAS

As coletas de amostras de solo e descrição seguiram os procedimentos apresentados em Santos et al. (2013), realizadas na posição de vertente, no terço médio com inclinação original de 15%, a 700 m de altitude, em corte de estrada. Amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos (cilindros de aço, 50 mm de diâmetro e 50 mm de altura, com bordas biseladas) nas profundidades de 20, 40, 100 e 280 cm, respectivamente, nos horizontes Ap, Bw1, Bw2 e C para determinação da porosidade total, macro e microporosidade, determinação de parte da curva de retenção da água no solo para as pressões de -6 kPa e -10 kPa e para determinação da densidade do solo (Ds) e condutividade hidráulica saturada (Ksat). Amostras deformadas foram coletadas nas mesmas profundidades para análise química, determinação da densidade de partículas (Dp), umidade nas tensões de 30, 300 e 1500 kPa e análise. Calhaus de blocos de rocha alterados foram coletados à profundidade de 290 cm.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Em campo foram identificados os horizontes do solo e descritas as profundidades, o tamanho e a forma dos agregados pedológicos, feições pedológicas, consistência seca, úmida e molhada, transição entre horizontes e enraizamento. Nas amostras deformadas foram descritas a cor seca e úmida pela Tabela de cores de Solos Munsell e a textura de campo. A caracterização geral foi obtida de literatura específica com informações gerais de fases da vegetação; relevo; localização e coordenadas; situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil; elevação; litologia; formação geológica e cronologia; material originário; pedregosidade; rochosidade; relevo local; relevo regional; erosão; drenagem; vegetação primária; uso atual e clima (SANTOS et al., 2013). A classificação foi feita com base nos critérios e parâmetros morfológicos de agregados pedológicos e cor, mineralógicos da fração areia e físicos e químicos estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018).

ANÁLISE MINERALÓGICA DAS FRAÇÕES CASCALHO E AREIA

Amostras de cada horizonte do solo, nas profundidades de 20, 40, 100 e 280 cm (respectivamente, dos horizontes Ap, Bw1, Bw2 e C), tiveram a fração grosseira (cascalhos), a areia grossa e a areia fina separadas por peneiramento, utilizando-se peneiras com malhas referentes a 2,00, 0,20 e 0,05 mm. Em cada fração, a caracterização mineralógica das espécies minerais, litofragmentos e concreções foi feita com auxílio de microscópio estereoscópio (lupa de 20 vezes de aproximação). Após agitação e homogeneização, uma porção de cada amostra foi colocada em placa de petri, utilizado ímã para afastar minerais magnéticos (SANTOS et al., 2013). Para as concreções foram definidas quantidades, tamanho, dureza, forma, cor e natureza da cimentação.

A estimativa percentual visual semiquantitativa foi efetuada por meio de fracionamento da amostra, com auxílio de uma espátula, e a seleção por análise de fração com quadrantes de referência para a determinação percentual aproximada dos constituintes mineralógicos (SANTOS et al., 2013).

QUÍMICA DO SOLO

As análises químicas foram obtidas da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) de uma amostra do horizonte Bw2 e seguiram o Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 2011). As análises para a determinação do pH em água e KCl 1 N foram obtidas eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo e líquido (água, KCl). Também foram determinadas as concentrações de Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e Al⁺⁺⁺ trocáveis, extraídos com KCl 1 mol/L, P, Na e K foram extraídos com solução de Mehlich-1, sendo o P dosado por colorimetria e o K e Na por fotometria. A acidez potencial foi determinada por titulação com NaOH (0,025 mol/L) da extração de acetato de

cálcio 0,5 mol/L tamponado a pH 7,0. Os teores de Fe_2O_3 , Al_2O_3 e SiO_2 foram determinados pelo ataque sulfúrico.

A atividade da argila do solo, que objetiva a identificação de argila de atividade baixa (Tb) e argila de atividade alta (Ta), foi calculada pela $CTC \times 1000 / \text{argila total (g/kg)}$. O índice de intemperismo (ki) do solo foi gerado pela relação molecular $(SiO_2/Al_2O_3) \times 1,7$.

ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO:

As análises físicas foram amparadas em Embrapa (2011) e Ruiz (2004) e foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da UFV.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Das amostras de cada horizonte do solo, 10 g da terra fina, foram pesados com aproximação 0,01 g e utilizado o método da pipeta para a análise granulométrica (EMBRAPA, 2011). As amostras foram submetidas à dispersão química, com NaOH 0,1 mol/L, e à dispersão mecânica com agitação lenta por 16 h a 50 rpm (RUIZ, 2005) em Agitador de Wagner sob dispersão total orbital. Areia grossa e areia fina foram separadas por peneiramento e pesadas. A pesagem da argila foi obtida após secagem em estufa a 100 °C por 48 h e pesada com aproximação 0,0001 g. Obtidos os teores de areia, argila e silte, as classes texturais de cada horizonte do solo foram estabelecidas. A relação textural foi obtida pela soma dos conteúdos de argila dos horizontes Bw1 e Bw2, dividido por 2, e o resultado dividido pelo conteúdo de argila do horizonte Ap.

ARGILA DISPERSA EM ÁGUA (ADA)

Das amostras de cada horizonte do solo, foi determinada a ADA, utilizando apenas água como dispersante, determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2011). Foram pesados 10 g de TFSA, com aproximação de 0,01 g, submetidas à dispersão mecânica lenta por 16 h a 50 rpm (RUIZ, 2005) em Agitador de Wagner para a execução da análise granulométrica sob dispersão total (orbital). A pesagem da argila foi obtida após secagem em estufa a 100 °C por 48 h e pesada com aproximação 0,0001 g. A classificação de resistência foi estabelecida com base em Ferreira (2010).

RELAÇÃO SILTE E ARGILA

Para indicar o grau de intemperismo do solo e permitir avaliar se há movimentação de argila no perfil (EMBRAPA, 2011), foi determinada a relação silte/argila. O cálculo foi definido com base na divisão dos valores totais de silte pelos valores totais da argila obtidos na análise granulométrica de cada horizonte amostrado.

DENSIDADE DO SOLO (DS) E DENSIDADE DE PARTÍCULAS (DP)

A densidade do solo (Ds) foi determinado pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2011), e a densidade de partículas (Dp), pelo método do balão volumétrico, utilizando álcool (EMBRAPA, 2011; RUIZ, 2004).

MACROPOROSIDADE, MICROPOROSIDADE E POROSIDADE TOTAL

Microporosidade (< 0,005 mm), macroporosidade (> 0,05 mm) e porosidade total foram determinadas pelo método da Mesa de Tensão (EMBRAPA, 2011; RUIZ, 2005).

Para definição da microporosidade, as amostras indeformadas em anéis volumétricos correspondentes a cada horizonte do solo foram submetidas à saturação e posterior submissão a tensão equivalente a 60 cm de coluna de água, pesadas com aproximação de 0,01 g e levadas à estufa a 100-105 ° C por 48 h, e novamente pesadas para a determinação da porosidade total, utilizou-se os dados de D_s e D_p .

RETENÇÃO DA ÁGUA DO SOLO

As curvas características da água do solo em diferentes potenciais matriciais foram construídas para as profundidades avaliadas em mesa de tensão, com amostras indeformadas em anel volumétrico, utilizando pressões de 6 kPa, e em câmaras de pressão com placas cerâmicas (painéis de Richards), utilizando tensões de 10, 30, 300 e 1500 kPa em amostras deformadas.

Os ensaios resultaram em pontos de pressão *versus* umidade (plotados em planilha Excel), ajustados pelo modelo de equação de Van Genuchten (1980), adotado o programa SRWC, versão 2.0 Dourado Neto et al. (2000), na definição dos parâmetros empíricos de ajuste do modelo (α , m , n , θ_r e θ_s). Aos pontos foram acrescentados o conteúdo de água no estado de referência de cada potencial, estimando-se a curva Van Guenuchen.

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

A determinação da condutividade hidráulica saturada do solo foi estimada em laboratório, método de carga constante, utilizado permeâmetro (EMBRAPA, 2011; RUIZ, 2004), em amostras de estruturas indeformadas dos anéis volumétricos.

Cobriu-se uma das extremidades da amostra indeformada de solo do anel cilíndrico com uma peça circular de pano, este voltado para baixo e saturou-se a amostra de baixo para cima com água por um período de 48 horas. Conectou-se o cilindro vazio adicional na outra extremidade por meio de uma fita adesiva à prova d'água. Colocou-se o cilindro 2 com a amostra indeformada de solo previamente saturada, sobre um funil sobre uma proveta. Uma fina camada de algodão foi acrescentada sobre a amostra indeformada de solo do cilindro 2, e vagarosamente colocou-se uma lâmina d'água de 3 cm de água no cilindro superior, e assim calculou-se a equação da K_{sat} , por menos o fluxo, dividido pelo gradiente hidráulico obtido.

RESULTADOS

MORFOLOGIA DO SOLO

Os solos estudados foram enquadrados na Ordem e Subordem dos Latossolos Vermelho-Amarelos, tanto em atendimento aos critérios de forma dos agregados estruturais pedológicos em microagregados quanto nas definições do matiz, valor e croma do horizonte Bw2 (Quadro 1), pelo sistema Münsell e pelo EMBRAPA (2018). Os Latossolos estudados representaram solos bem desenvolvidos e profundos, cuja gênese e processos pedogenéticos estão vinculados a uma drenagem acentuada, influenciada por relevo regional montanhoso, com morrotes em sua designação geomorfológica, e relevo local forte ondulado, com talude rochoso a montante.

Foi verificada uma inversão na proporção das formas e tamanho dos agregados pedológicos estruturais no horizonte Bw1 e Bw2 latossólicos descritos no perfil do solo. No horizonte Bw1, ocorreram blocos angulares fracos muito grandes (60 mm) e agregados pedológicos granulares muito pequenos fortes (microagregados de 0,5 mm), diferente do que foi observado no Bw2, com predomínio de agregados granulares muito pequenos fortes (microagregados de 0,5 a 1 mm) associado a uma menor formação de blocos angulares fracos muito grandes (60 mm). Tanto a presença de agregados pedológicos bimodais quanto os tamanhos e proporções inversas podem ser geradas por causas naturais ou por interferências antrópicas modificadoras da estrutura do solo, considerando tratar-se de uma área urbana com presença de ruas e construções próximas à área do corte, o que pode afetar modificações na dinâmica hídrica natural antes existente. A investigação desses agentes associados aos agregados pedológicos e dinâmica hídrica emergente, contudo, requer novas coletas em locais amplamente preservados dos Latossolos nas proximidades de

Santa Teresa, sobretudo em áreas de cobertura vegetal original preservada, que possam servir de áreas de referência. Na avaliação da estabilidade da vertente proposta, em condições de Latossolo submetido à corte em área urbana, os agregados pedológicos estruturais em blocos fracos e os granulares pequenos (microagregados) continuam a afetar a dinâmica da drenagem, acentuada até o B latossólico, quando passa a apresentar uma nova configuração ao passar ao horizonte C maciço-coerente desestruturado. Considera-se aqui a presença de minerais do grupo da caulinita, e óxidos de ferro (hematita e goethita), inferidos pela identificação da cor dos horizontes, consistência molhada plástica e ligeiramente pegajosa, presença de concreções ferruginosas na fração areia dos materiais de solo e da própria estrutura em blocos e microagregados (Quadro 1).

Quadro 1 – Descrição morfológica por horizonte e profundidade no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (Bairro Vila Nova, Santa Teresa, ES, Brasil).

Horizontes	Profundidade	Descrição Morfológica
Ap	0 -20 cm	Bruno-avermelhado-escuro (5YR3/4, úmida) e bruno-avermelhado (5YR 4/4, seca); argilosa; moderada pequena; blocos subangulares; dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa; poros médios e comuns; transição plana e clara.
Bw1	20 - 60 cm	Vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 5/6, seca); muito argilosa; fraca blocos angulares muito grandes e forte granular pequena; dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; muitos poros muito pequenos; transição plana e clara.
Bw2	60 - 180 cm	Vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida) e amarelo-avermelhado (5YR 6/8, seca); argilosa; forte granular pequena e fraca blocos angulares muito grandes; dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; muitos poros muito pequenos; transição irregular e clara.
C	180-280+ cm	180-280+ cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 5/6, seca); argilosa; maciça coerente; material de consistência dura e friável, plástico e ligeiramente pegajoso; sem poros visíveis.

Fonte – Elaborado pelos autores.

A presença rara de calhau no horizonte C do perfil do solo e a transição irregular gradual do horizonte Bw2 para o C pode evidenciar um material desenvolvido in situ, geneticamente derivado do horizonte C e da rocha parental (solo residual, na designação das Engenharias, e elúvio, na Geomorfologia). Entretanto, como vertentes vizinhas possuem taludes rochosos, isso não exclui a hipótese de que esses solos possam ser produto do material trazido e depositado no passado, na forma de tálus, posteriormente intemperizados, esculpidos o relevo em morrotes e transformados em Latossolos, e resultando em uma transição irregular, como relíquia e forma característica da alteração de antigos matacões rochosos.

Ambos os horizontes latossólicos (Bw1 e Bw2) guardam semelhanças em relação à consistência, dura, quando seca, e friável, quando úmida (Quadro 1), sendo uma propriedade relevante para instabilidade das vertentes. Embora a dinâmica interna da água seja importante na avaliação de risco, nesses casos de solos profundos, quando submetidos a cortes, a superfície tende a gerar tração, mesmo quando secos.

QUÍMICA DOS SOLOS

O solo é eletronegativo (ΔpH negativo) (Tabela 1). A CTC < 27 cmol C kg⁻¹ indicou presença de argila de atividade baixa, grupo das caulinitas (1:1), em um valor estimado de 6,16 cmolc/kg de argila, para as cargas negativas da caulinita (PCZ 4,6). O pH é ácido, 4,8 (Tabela 1). O índice de intemperismo do solo, (Ki) (Tabela 2), calculado pela relação $SiO_2/Al_2O_3 \times 1,7$, obtido pelo ataque sulfúrico, foi de 1,4, característico de solo muito intemperizado e B latossólico.

Tabela 1 – Características químicas do horizonte Bw2 do Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico no Bairro Vila Nova (Santa Teresa, ES, Brasil).

pH	Δ pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	H ⁺ Al ⁺⁺⁺	SB ¹	t ²	T ³	V ⁴	m ⁵	P	K	Na	P-rem	
H ₂ O	KCl	cmol _c /dm ³						%			mg/dm ³		mg/L		
4,87	4,75	-0,12	0,41	0,25	0,20	2,90	0,75	0,95	3,65	20,50	21,10	0,0	31,0	2,30	4,30

¹SB – Soma de bases, SB = Ca+Mg+K+Na. ²t – capacidade de troca catiônica efetiva, t = SB + Al. ³T – capacidade de troca catiônica a pH 7,0, T = SB + (H+Al). ⁴V – Saturação por bases, V = 100. S/T. ⁵m – índice de saturação por alumínio, m = (100 x Al³) / t.

Fonte – Elaborado pelos autores.

Tabela 2 – Fe₂O₃, SiO₂ e Al₂O₃ extraído pelo ataque sulfúrico e índice de intemperismo do horizonte Bw2 do Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico no Bairro Vila Nova (Santa Teresa, ES, Brasil).

Fe ₂ O ₃ _{1/}	SiO ₂ _{1/}	Al ₂ O ₃ _{1/}	Argila	Ki _{2/}
dag/kg			g/kg	
13,13	18,46	21,85	592	1,4

Fonte – Elaborado pelos autores.

Esses dados mostram um ambiente pedológico em que foram favorecidas elevada lixiviação e dessilicação do solo, domínio de monossilicização em ambiente de drenagem acentuada, com fluxos hídricos internos preferencialmente verticalizados, para formação e manutenção da caulinita com concentrações de sesquióxidos de ferro e alumínio, mais resistentes ao intemperismo nessas condições de ambiente. Essas partículas na fração argila (minerais secundários pedológicos) são estruturantes desses solos, portanto, propriedades emergentes que, juntamente com outros agentes, irão atuar tanto na retenção da água quanto na condutividade hidráulica.

O caráter ácrico não se aplica a esses solos, por não possuir a condição de pH em KCl igual ou superior a 5,0 ou Δ pH positivo ou nulo, e ainda a soma de bases trocáveis com alumínio extraível por KCl 1 mol/L, que foi inferior a 1,5 cmol_c/kg de argila. O solo é mesoférico, de acordo com os teores de ferro obtido pelo ataque sulfúrico da amostra do horizonte Bw2, com 131,30 g/kg da TFSA. A saturação por bases é baixa, distrófico, por apresentar saturação por bases inferior a 50 % na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte Bw. Por meio das características morfológicas e químicas, o solo foi inserido na classe dos Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos.

MINERAIS PRESENTES NAS FRAÇÕES AREIA

Nas frações areia grossa e areia fina, destaca-se predominantemente o mineral quartzo. Em pequena quantidade, menos de 4%, a proporção de feldspatos intensamente intemperizados ocorre somente nas areias finas do horizonte Bw1, proporção limite de minerais primários facilmente intemperizáveis (MPFI) requerida para Latossolos. A composição da fração cascalho é predominantemente quartzosa, apresentando poucos cascalhos de rocha alterada com concreção ferruginosa. Um estágio avançado de intemperização pela transformação quase completa dos minerais facilmente alteráveis, com intensa dessilicação, lixiviação de bases e concentração residual de argilominerais e óxidos, associado a um ambiente de oxidação, levou a reações químicas que contribuem para formar pequenas concreções ferruginosas, cujos fragmentos aparecem em todas as amostras analisadas. De modo geral, em todas as profundidades amostradas não existiram alterações significativas na composição mineralógica, o que, provavelmente, indica tratar-se de um mesmo material.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA GRANULOMÉTRICA E TEXTURAL NA INTERPRETAÇÃO GENÉTICA DOS LATOSSOLOS

A classe textural variou em profundidade no perfil do solo, de argila a muito argilosa e, novamente, passando a argila (Tabela 3). A relação textural B/A foi de 1,11, mantendo-se na classe dos Latossolos. Com cerca de 48,6 % de argila, a continuidade da textura argilosa no horizonte C ressalta um acúmulo absoluto de argila. Interpretadas as variações texturais em profundidade, do solum ao horizonte C, foram herança da rocha, emergindo minerais secundários, caulinita (filossilicatos hidratados de alumínio) e óxidos de ferro e alumínio, proveniente da alteração química dos minerais do gnaiss kinzigítico original.

Menor grau de intemperização do material foi observado abaixo do horizonte Bw2, com uma redução em cerca de 14 % de argila, onde a relação silte/argila no horizonte C foi de 0,5, maior, comparado aos volumes adjacentes (Tabela 3). A relação silte/argila em 0,2 no horizonte Bw2 apontou alto grau de intemperismo do solo, referenciado pelo parâmetro < 0,6, apontado pelo EMBRAPA (2018) para Latossolos argilosos. Contribuindo na avaliação da gênese desses Latossolos, a diminuição de silte e o aumento da fração argila no solum (horizontes A e B), para esse contexto de simplicidade emergente gnaiss-solo, em região tropical úmida, significam, grau e tempo de intemperização mais avançado.

Tabela 3 – Resultados da Análise Granulométrica, Argila Dispersa em Água, Relação Silte/Argila e Classes Texturais para o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico de Vila Nova, Santa Teresa (ES, Brasil).

Horizonte	Profundidades cm	kg/kg					Relação Silte/Argila	Classe Textural**
		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	ADA*		
Ap	0 -20	0,254	0,056	0,127	0,562	0,251	0,225	Argila
Bw1	20 - 60	0,212	0,052	0,083	0,653	0,009	0,127	Muito Argilosa
Bw2	60 - 180	0,219	0,06	0,129	0,592	0,012	0,217	Argila
C	180 - 280+	0,19	0,059	0,265	0,486	0,022	0,545	Argila

* Argila Dispersa em Água. ** Embrapa, simplificado.

Fonte – Elaborado pelos autores.

Em termos de resistência, o solo analisado tende a apresentar melhores condições de estabilidade, exceto em relação aos teores de silte que aumentaram nas profundidades de 180 cm do horizonte C, que tendem a diminuir a condutividade da água, comportamento padrão de granulometria regular.

A análise da argila dispersa em água (ADA), como um dos meios de avaliação da estabilidade dos agregados do solo e susceptibilidade do solo à erosão hídrica, também serviu para identificar descontinuidades de resistência no interior do perfil. Os valores encontrados indicaram maior estabilidade e maior resistência nos horizontes latossólicos e muito menores no A e C (Quadro 2). Internamente, as principais descontinuidades de resistência na interpretação à susceptibilidade à movimentação de massa será a 180 cm de profundidade, quando inicia o material característico do horizonte C.

Quadro 2 – Comparação dos resultados de argila dispersa em água, segundo classificação de resistência dos agregados, no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico em Vila Nova (Santa Teresa, ES, Brasil).

Horizonte	Profundidade da Amostra cm	Argila Dispersa em Água kg/kg	Classificação de Resistência*
Bw1	20 – 60	0,009	Muito Alta
Bw2	60 – 180	0,012	Alta

C	180 - 280+	0,022	Baixa
----------	------------	-------	-------

*Classificação de resistência, segundo Ferreira (2010).

Fonte – Elaborado pelos autores.

Estes valores baixos podem ser justificados por Ferreira (2010), pela presença de argilas de baixa atividade nos Latossolos. O que se destaca aqui, no entanto, é o componente do grau de desenvolvimento forte dos microagregados presentes nos B latossólicos desses solos estudados, resultado de processos pedogenéticos específicos, e que levam à manutenção de fluxos hídricos internos verticais. O ligeiro incremento de argila que ocorre entre 20 e 60 cm pode vir de translocações da argila menos floculante e relação silte/argila um pouco maior das camadas de topo do solo, mas devem ser verificadas outras causas, como maior adensamento por compactação antrópica, ou mesmo acúmulo absoluto.

DENSIDADE DO SOLO E POROSIDADE

Associado a outras propriedades e contextualizada no perfil, a determinação da densidade do solo tem servido para auxiliar interpretativamente a dinâmica hídrica, a retenção de água e a permeabilidade. Nas classes dos Latossolos, em horizontes subsuperficiais (Bw), os valores de densidade do solo variam de 0,9 a 1,5 g/cm³ (FERREIRA, 2010). Os Latossolos Vermelho-Amarelos amostrados, desenvolvidos de gnaisses, apresentaram uma Ds relativamente baixa, 1,1 g/cm³ (Tabela 4). Muito diferente do que ocorre no domínio da Formação Barreiras, em solos com caráter coeso, a densidade pode ser elevada, chegando a registrar 1,4 g/cm³ em Latossolos Amarelos por Ferreira (2010) e 1,5 g/cm³ em Argissolos Acinzentados por Gimenes (2014).

Tabela 4 – Porosidade Total, Microporosidade, Macroporosidade, Densidade de Partículas e Densidade do Solo no Latossolo Vermelho-Amarelo típico (Bairro Vila Nova, Santa Teresa, ES, Brasil).

Horizonte	Profundidade da Amostra	Porosidade Total	Microporosidade	Macroporosidade	Dp*	Ds**
	cm		m ³ /m ³		g/cm ³	
Ap	0 -20	0,57	0,44	0,13	2,67	1,15
Bw1	20 – 60	0,58	0,43	0,15	2,63	1,11
Bw2	60 - 180	0,56	0,44	0,12	2,60	1,15
C	180 - 280+	0,52	0,52	0,01	2,70	1,28

*Densidade de partícula. ** Densidade do Solo.

Fonte – Elaborado pelos autores.

A porosidade total (Pt) praticamente foi a mesma em profundidade ao longo de todo o perfil, de 0,52 a 0,58 m³/m³ de solo (Tabela 4), predominando os microporos, já esperado para solos argilosos. Nos horizontes latossólicos a microporosidade variou entre 43 a 44 % do solo e a macroporosidade entre 15 a 12 %, valores próximos, mas pertinentes com as proporções dos agregados pedológicos estruturais antes mencionados, tratando-se, preferencialmente de influência da pedalização (formação de agregados estruturais, peds, sem designações genéticas, tais como origem por bioturbação, processos de umedecimento e secagem, etc). Ao contrário, no horizonte C houve uma redução significativa dos macroporos, sobretudo em razão da pedalização muitíssimo incipiente e, como consequência, um aumento da densidade do solo, que passou de 1,1 nos B latossólicos a 1,3 no C, (Tabela 4), evidenciando maior dificuldade de permeabilidade da água a 180 cm de profundidade, indicando uma propriedade capaz de proporcionar um eixo de descontinuidade hidráulica pela redução de macroporos que resultaria em baixa poro-pressão negativa, considerada favorável à estabilidade dos materiais a movimentos de massa. A instabilidade dos materiais das vertentes submetidos a cortes, portanto, estão associados à estrutura dos agregados do solo e à densidade do solo, e, não apenas, à textura muito argilosa e argilosa. O maior armazenamento efetivo de água no horizonte C não deveria ser esperado no campo, se tomado pela redução da permeabilidade e dificuldade no aporte de água internamente no material.

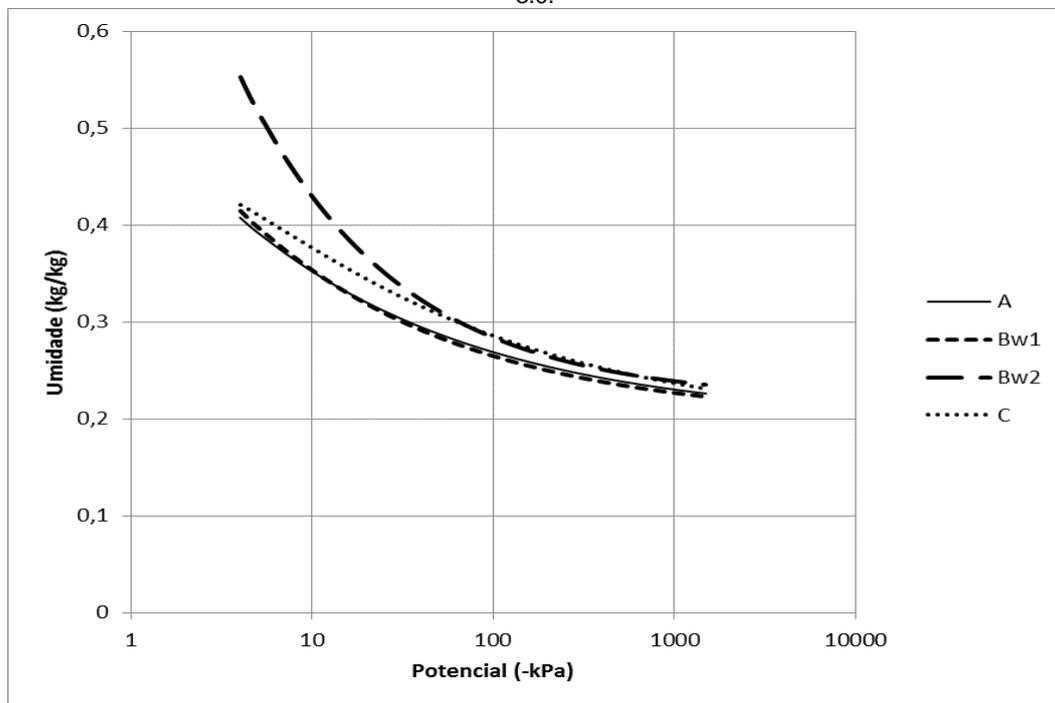
RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E DESCONTINUIDADE HIDRÁULICA NO PERFIL DO LATOSSOLO

Um padrão de comportamento da água no solo, extraído da curva de retenção da água sob diferentes potenciais matriciais, buscou realçar a presença de zonas de descontinuidades hidráulicas no perfil do solo e identificar profundidades limites de corte mais seguras. Para determinado padrão e condições ambientais, a Capacidade de Campo (CC) tem se mostrado representativa de um limiar no surgimento de poro-pressão positiva e sugestiva de instabilidade potencial. Desse modo, foi adotado a taxa de CC na faixa de - 6 a - 10 kPa, conforme sugerido por Ruiz et al. (2003), similar aos Neossolos Quartzarênicos.

Levando em consideração o estudo da porosimetria como reservatório hídrico, a CC foi usada para determinar a máxima quantidade de água disponível no solo, avaliativa no que tange os processos "destrutivos" da vertente. Reichardt (1988) aborda que seu processo é dinâmico no qual o gradiente passa gradativamente de -9,8 kPa/m (-1cm H₂O/cm, na mesa de tensão) para zero, quando o fluxo de drenagem se anula e a água do solo se encontra em equilíbrio. Nessa condição, o solo retém a água nele contida, determinando a CC e influenciando diretamente na estabilidade do solo. Nesses limiares, enquanto houver sucção (drenagem), espera-se a manutenção da estabilidade da vertente, contrário a isto será o solo na CC.

No ponto de menor tensão (- 6 kPa) a amostra do Bw2 foi a que teve a maior porcentagem de volume de água, influência do solo estruturado preferencialmente em microagregados associado à textura argila. No Bw2 houve apenas um ligeiro incremento de silte, se comparado ao Bw1, o que não ocorreu no C, a segunda maior retenção a -6kPa, com incremento de silte, mas com diminuição da argila, aumento da densidade do solo e macividade (Figura 3).

Figura 3 – Curvas de retenção de água nos horizontes Ap, Bw1, Bw2 e C do Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico argiloso de Vila Nova (Santa Teresa, ES, Brasil), ajustadas com o auxílio do software SWRC 3.0.



Fonte – Elaborado pelos autores.

As amostras dos horizontes Ap e Bw1 apresentaram as menores retenções de água. Ocorre uma considerável redução na retenção a baixas tensões no horizonte Ap, no qual os teores de argila foram menores, entretanto, similares aos do Bw2, floculação menor (ADA maior) e ligeiro aumento da porosidade total e macroporosidade. A curva de retenção do horizonte Bw1 segue o padrão de

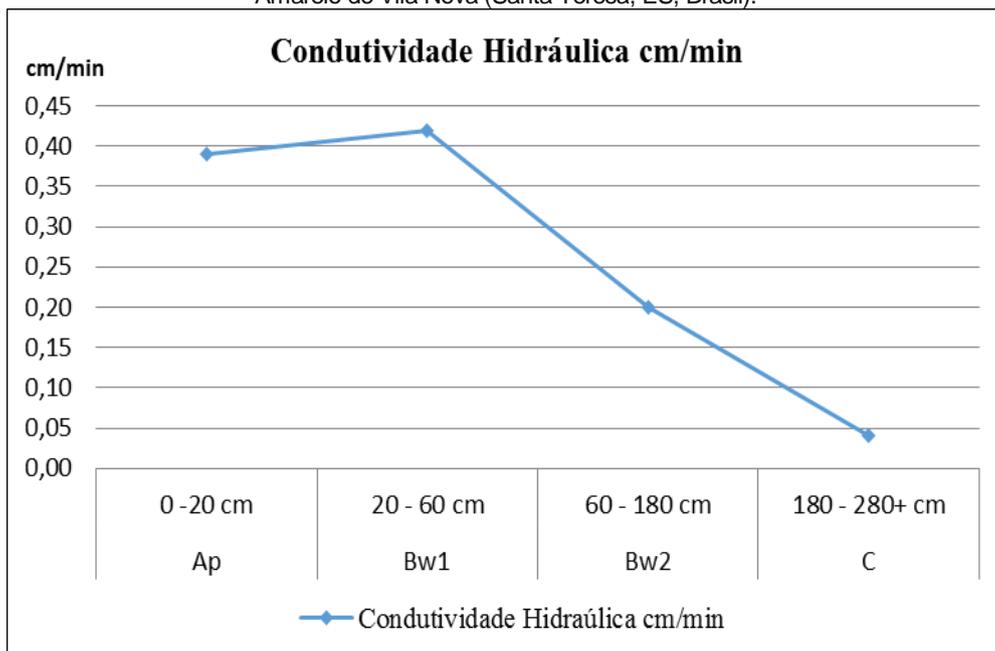
comportamento daquela do horizonte A. No Bw1 esse comportamento reflete a maior porosidade total e macro (Tabela 4) e o predomínio da estrutura em blocos, seguido de microagregados (Quadro 1). Apesar do incremento de argila no Bw1, 16 %, em relação ao C, as maiores retenções ocorreram no C, se comparado ao Bw1, o que reforça a importância das propriedades morfológicas do solo, além da identificação da textura e dos teores de argila. Segundo Carvalho (2002), a diminuição do tamanho dos agregados pedológicos com o incremento na proporção de argila, menor densidade do solo e maior porosidade dos agregados em Latossolos são determinantes na retenção de água nessas tensões baixas, que se localiza fundamentalmente no espaço poroso intra-agregados.

Espera-se com o comportamento apresentado pelas curvas características de água do solo que haja uma retenção maior de água e que se atinja primeiramente a CC nos intervalos de profundidades de 60 a 180 cm, e, conseqüentemente, a existência de uma zona de descontinuidade hidráulica no perfil do solo a 60 cm.

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA E DESCONTINUIDADE HIDRÁULICA ASSOCIADA

Entre 0 e 60 cm de profundidade os materiais saturados conduzem a água mais rapidamente, 23,4 cm/h no horizonte Ap até 20 cm de profundidade, e 25,2 cm/h no Bw1, entre 20 e 60 cm (Quadro 3; Figura 4). Condições de sucção são esperadas, e promovidas pelo aumento da porosidade total e macroporos, decorrente dos vazios intra-agregados dos blocos subarredondados e, secundariamente, dos microagregados associados a uma textura muito argilosa. A condutividade hidráulica diminuiu nos intervalos entre 60 e 180 cm (no horizonte Bw2), comparado ao volume adjacente, para 12,0 cm/h em solo saturado, sendo o momento em que há o aumento da capacidade de retenção. Uma vez consideradas as propriedades do solo integralmente, ocorreu o aumento de silte, com diminuição dos teores de argila em 6 %, e uma ligeira redução da porosidade total e macroporosidade e o aumento da densidade do solo. Tais fatores foram capazes de reduzir a Ksat no horizonte Bw2 pela metade, evidenciando a 60 cm de profundidade a descontinuidade hidráulica, fator este também verificado na análise da retenção da água no solo, mantidos os fluxos hídricos verticais no perfil em função das formas e tamanhos dos agregados pedológicos e das posições de vizinhança ocupadas por cada um dos horizontes (Bw1 e Bw2).

Figura 4 – Valores da Condutividade Hidráulica Saturada em diferentes profundidades Latossolo Vermelho-Amarelo de Vila Nova (Santa Teresa, ES, Brasil).



Fonte – Elaborado pelos autores.

Quadro 3 – Valores de K_{sat} (condutividade hidráulica saturada) nos horizontes argilosos do Latossolo Vermelho-Amarelo de Vila Nova (Santa Teresa, ES, Brasil).

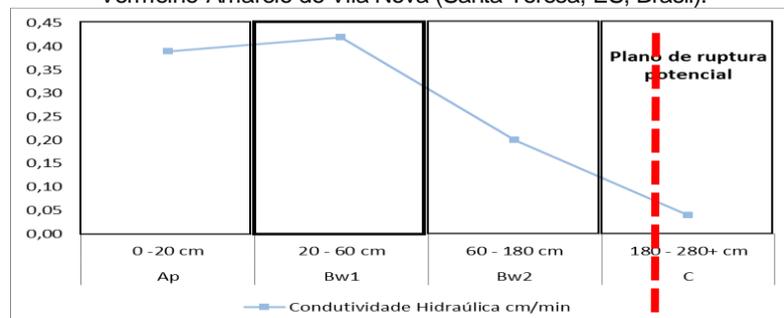
Horizonte	Profundidade	K_{sat} cm/h
	cm	
Ap	0 - 20	23,4
Bw1	20 - 60	25,2
Bw2	60 - 180	12,0
C	180 - 280+	2,4

Fonte – Elaborado pelos autores.

A condutividade hidráulica saturada, passa de 12,0 cm/h no horizonte Bw2, com maior porosidade, micro e macroporosidade, e predominantemente microagregado, para 2,4 cm/h no horizonte C maciço, microporoso e de densidade maior. Fatores estes que são compatíveis aos resultados apresentados por Sakaguchi et al. (2005), que mostraram que a K_{sat} possui relação direta com a macroporosidade e relação inversa com a D_s . Os dados de K_{sat} para os Latossolos Vermelho-Amarelos estudados foram maiores àqueles apresentados por Parahyba et al. (2016) nos Latossolos Amarelos, mas exibem comportamentos similares a alguns perfis de Neossolos Quartzarênicos. A mineralogia contribui para essas diferenças quando é retratado o caso dos Latossolos, no entanto os macroporos presentes e microagregados, apresentam semelhanças com a classe de Neossolo quartzarênico. Segundo Carvalho (2002), o efeito da estrutura e em especial dos poros grandes, torna possível que um solo argiloso possa exibir valores de condutividade hidráulica semelhantes aos arenosos, ainda que os valores de argila sejam elevados nessas profundidades. A organização dos grãos do solo, a presença de raízes e a bioturbação verificadas ajudam a explicar a boa drenagem. As medidas sugerem uma segunda zona de descontinuidade hidráulica no perfil, interferindo na CC e na tendência de formação de fluxos hídricos laterais. A este respeito, Ribeiro et al. (2007) já haviam relacionado a redução de proporção de macroporos à restrição do fluxo de água no solo saturado. A alta permeabilidade dos horizontes mais pedogenizados estruturados do Bw2 seguido da baixa permeabilidade do horizonte C maciço e microporoso, auxiliaram na formação de zonas de abatimentos no topo do horizonte C (Quadro 3).

A rocha, por sua vez, se encontra a grande profundidade, no nível de base, fora do perfil de análise. Apesar das duas descontinuidades hidráulicas presentes em um perfil relativamente espesso e homogêneo, significando atrasos no tempo de deslocamento da água, apenas um plano de ruptura potencial seria formado, esse nas profundidades de 180 cm (Figura 5), como verificado em abatimentos no topo do horizonte C em sondagem por georadar realizada por Barreto (2016). As várias rupturas horizontalizadas contínuas e adensadas no material do topo do horizonte C podem apresentar causas diversas e coincidentes, das quais, condições de saturação em pulsos não constantes, devido a baixa condutividade hidráulica e a alta retenção de água ao mesmo tempo, tração a montante do corte ou compactação na estrada.

Figura 5 – Avaliação do Plano de Ruptura Potencial dos materiais da vertente com base nas descontinuidades hidráulicas. Horizonte Ap com solo remobilizado e os demais horizontes com solo residual eluvionar. Latossolo Vermelho-Amarelo de Vila Nova (Santa Teresa, ES, Brasil).



Fonte – Elaborado pelos autores.

Solo Remobilizado

Solo Residual Eluvionar

Solo Residual Eluvionar

Solo Residual Eluvionar

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de funcionamento da vertente aqui proposto representa a relação atuante entre homem e espaço e suas reverberações processuais em eventos geomorfológicos catastróficos. Na tentativa de perceber as causas de recorrentes movimentos de massa na sede de Santa Teresa em solos a princípio seguros do ponto de vista da susceptibilidade, por meio da análise de um perfil de solo, a metodologia mostrou que camadas no Latossolo não são efetivamente homogêneas e que existem diferenças em profundidade, tanto morfológica quanto física, que podem colocar em perigo uma determinada vertente para uso quando envolvidos cortes/aterros e estabilidade.

Os dados obtidos da estrutura de agregados pedológicos associados aos teores de argila, posição/situação, retenção da água do solo e condutividade hidráulica saturada trouxeram os principais resultados na análise de risco, como área amostral, e serviram de apoio nas afirmações sobre a importância de se adequar as interferências antrópicas.

Os procedimentos apontaram para conclusões que permitiu perceber a importância da estrutura dos agregados nas funções do solo, na medida que o B latossólico inferior apresentou a maior retenção de água na capacidade de campo, e, o superior, maior condutividade hidráulica saturada. Um dos aspectos peculiares esteve relacionado à retenção de água na capacidade de campo no horizonte C do solo, como a segunda maior, mas tendo a condutividade hidráulica saturada muito baixa. O outro aspecto deve-se ao comportamento da condutividade hidráulica que se apresenta inversamente proporcional à macroporosidade inter agregados e à densidade do solo. No Bw2 as maiores retenções de água, na capacidade de campo, estão relacionadas ao melhor desenvolvimento de microagregados argilosos, e a um ligeiro aumento do silte, enquanto a segunda maior retenção, no horizonte C, ressalta-se o aumento de silte e aumento da estrutura maciça.

Uma potencial superfície de ruptura, em condições de saturação do solo, está relacionada ao modelo físico hidrodinâmico subsuperficial, em que se configure em um fluxo hídrico vertical intenso até 60 cm e um outro menos intenso entre 60 e 180 cm, passando nesse local a um fluxo lateral. Isso deriva do fato de terem sido identificadas duas descontinuidades hidráulicas no perfil do solo, uma a 60 cm e outra a 180 cm de profundidade. As instabilidades nas vertentes, em condições ambientais bem drenáveis até 180 cm, mesmo na presença de duas descontinuidades hidráulicas nos Latossolos de Santa Teresa, naturalmente seriam improváveis. Esses eventos são, preferencialmente, associados às interferências antrópicas, sobretudo, cortes nas vertentes e mudança do perfil topográfico.

AGRADECIMENTOS

Aos laboratórios de Geografia Física da Universidade Federal do Espírito Santo e Física dos Solos da Universidade Federal de Viçosa. Ao programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo, junto aos orientadores deste trabalho Prof. Dr. Antonio Celso de Oliveira Goulart e Prof. Dr. Ana Christina Wigneron Gimenes e a agência de fomento a pesquisa FAPES (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo), os quais permitiram a realização desta dissertação de mestrado, resultando na presente produção.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A.N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. Geomorfologia. n. 18, IG-USP, S. Paulo, 1969.

BARRETO, N.R. 2016. Modelo de mecanismo de ruptura da vertente pelas descontinuidades hidráulicas em latossolo no sítio urbano de Santa Teresa/ES. Dissertação mestrado em Geografia - Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo UFES, ES.

Vitória, Brasil, 2016, 127 p.

BRADY, N. C. Natureza e propriedade dos solos. Freitas Bastos, Rio de Janeiro: 878p, 1989.

CARVALHO, L. A. de. Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instantâneo. Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 98p, 2002.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Mapa geológico do estado do Espírito Santo. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral. 2013.

DE PLOEY, J. CRUZ, O. Landslides in the Serra do Mar, Brazil. *Catena* 6, 11-112, 1979.

[https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(79\)80008-9](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(79)80008-9)

DOURADO-NETO, D; NIELSEN, D. R; HOPMANS, J.W; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model Soil Water Retention Curves (SWRC, version 2.00). *Scientia Agricola*, vol57, n.1, Piracicaba, 2000.

<https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000100031>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análise de solos/ organizadores, Guilherme Kangussú Donagema...[et al.]. - Dados eletrônicos. - 2. Ed - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. - 5. ed., rev. e ampl. - Brasília, DF : Embrapa, 2018. E-book. ISBN 9788570358172

FERREIRA, J.T.P. FERREIRA, E.P., OLIVEIRA, M.L., SILVA, G.S., OLIVEIRA FILHO, J.S., SANTOS, J.W.G. Avaliação da fertilidade dos solos cultivados com café Conilon (*Coffea canephora*) no município de Santa Teresa - ES. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, v.9, N.16; p. 356-366, 2013.

FERREIRA, M.M. Caracterização Física do Solo. In: Física do Solo./ Editor: Quirijn de Jong van Lier. - Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

FREEZE, R. A; CHERRY, J. A. Groundwater. Englewood Cliffs, Prentice Hall: 604p, 1979.

GIMENES, A.C.W. Pedogeomorfologia de Depressão nos Tabuleiros Costeiros do Norte do Espírito Santo. Tese doutorado em Agronomia - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa UFV, MG. Viçosa, Brasil, 2014, 135 p.

GOMES, M.C.V. Análise da influência da condutividade hidráulica dos solos nos escorregamentos rasos na bacia do rio Guaxinduba (SP). Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. - São Paulo, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Informações sobre os municípios brasileiros. < [Http://cidades.ibge.gov.br](http://cidades.ibge.gov.br)>. Acessado em 16/02/2015.

IJSN. Instituto Jones dos Santos Neves. Mapeamento Geomorfológico do Espírito Santo. Vitória, ES, 2012.

IMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Dados da Estação Santa Teresa A613. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>> Acessado em 17/02/2015.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Caracterização climática do município de Santa Teresa. 1999. Disponível em: <<http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/caracterizacao/santatereza.php>> Acessado em 17/02/2015.

PARAHYBA, R.B.V.; ALMEIDA, B.G. de; ROLIM NETO, F.C.; ARAÚJO, M.S.B. Condutividade hidráulica dos solos arenosos da região semiárida da Bacia sedimentar do Tucano no município de Glória, Bahia, Brasil. *Anais do III Reunião Nordestina de Ciência do Solo*. Aracajú, SE, 2016, p. 1-4.

RADAMBRASIL. Folha SE. 24 Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra/ Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. - Rio de Janeiro: IBGE, 1987.

REICHARDT, K. Capacidade de Campo. *R. bras. Ci. Solo*, 12: 211-216, 1988.

RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M. G. B.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. *Ciência Agrotécnicas*. Lavras, v. 31, n.4, p. 1167 - 1175, 2007.

<https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000400033>

RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras. Ci. Solo*, 29:297-300, 2005

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000200015>

RUIZ, H.A. Métodos de Análises de Física dos Solos. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos, 2004.

RUIZ, H.A., FERREIRA, G.B.; PEREIRA, J.B.M. Estimativa da capacidade de campo de latossolos e neossolos quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:389-393, 2003.

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200019>

SAKAGUCHI, A.; NISHIMURA, T.; KATO, M. The Effect of Entrapped Air on the Quasi-Saturated Soil Hydraulic Conductivity and Comparison with the Unsaturated Hydraulic Conductivity. *Vadose Zona J.* v. 4, Fev. 2005. p.139 - 144.

<https://doi.org/10.2113/4.1.139>

SANTOS, R.D., LEMOS, R.C., SANTOS, H.G., KER, J.C., ANJOS, L.H.C., SHIMIZU, S.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6ª ed. Revista e ampliada, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

VAN GENUCHTEN, M. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*44: 892-898, 1980.

<https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

WHIPKEY, R.Z. e KIRKBY, M.J. Flow within the soil. In: M. J. Kirkby (Ed.). *Hillslope Hydrology*. New York: John Wiley & Sons. Flow within the soil, p.121-143. 1978.

Recebido em: 08/01/2018

Aceito para publicação em: 16/05/2019