

HIDROLOGIA SUPERFICIAL EM ENCOSTAS: INFILTRAÇÃO DE ÁGUA E MOVIMENTOS DE MASSA - O CASO DA FAZENDA CAIPURU - PRESIDENTE FIGUEIREDO - AMAZONAS¹

MOLINARI, Deivison Carvalho

molinari_geo@yahoo.com.br

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Resumo

A infiltração de água no solo constitui-se num dos principais elementos da dinâmica hidrológica responsável pela quebra do equilíbrio dinâmico das vertentes, verificada na deflagração de processos erosivos, assoreamento de canais e movimentações de massa ocasionando impactos socioambientais e econômicos de significativa expressão. O objetivo deste artigo é analisar as taxas de infiltração de água na área de contribuição (bordas e cabeceiras) de duas cicatrizes de movimento de massa, identificando a correlação existente entre a capacidade de infiltração e o crescimento de tais cicatrizes erosivas. Para isto, tomou-se como exemplo, a Fazenda Caipuru, localizada no Km 143 da rodovia BR-174 que liga Manaus (AM) a Boa Vista (RR), a qual apresenta duas cicatrizes de deslizamentos, sobre as quais foram realizados os ensaios de infiltração a partir da metodologia de Guerra (1996) utilizando o infiltrômetro de Hills. Assim, foram realizados 4 testes nas bordas laterais, cabeceira e base de cada cicatriz (C1 e C2). Na cicatriz 01 (C1) de escorregamento rotacional localizada numa encosta convexa de inclinação média de 30° revestida de pastagens a taxa média de infiltração foi de 6,34ml/min. Por outro lado, a média das taxas de infiltração na cicatriz 02 (C2) localizada numa encosta côncava de inclinação média de 32° revestida de pastagens foi de 78,84ml/min.

Palavras-Chave: Infiltração, Movimentos de Massa, Amazonas.

Abstract

The water infiltration in the ground consists in one of the main elements of the hydrological dynamics responsible of the along break the dynamic balance the slope, verified in the deflagration of erosion processes, bury of channel and mass movement causing socio-environment and economic impacts of significant expression. The objective of this article is to analyze the taxes of water infiltration in the area of contribution (edges and headboards) of two scars of mass movement, identifying the existing correlation enters the infiltration capacity and the growth of such erosive scars. For this, one was overcome as example, the Caipurú Farm, located in km 143 of highway BR - 174 that it binds to Manaus (AM) the Boa Vista (RR), which presents two scars of landslides, on which the assays of infiltration from the methodology of Guerra had been carried through (1996) using infiltrometer of Hills. Thus, 4 tests in the lateral edges, headboard and base of each scar had been carried through (C1 and C2). In scar 01 (C1) of located rotational slump in a convex slope of average inclination of 30° coated of pastures the average tax of infiltration it was of 6,34ml/min. However, the average of the taxes of infiltration in scar 02 (C2) located in a hollows slope of average inclination of 32° coated of pastures was of 78,84ml/min.

Keys-Word: Infiltration, Mass Movement, Amazonas

INTRODUÇÃO

A superfície terrestre constitui-se num complexo palco sujeito a constantes transformações, envolvendo tanto a dinâmica natural como a sócio-econômica que caracteriza a paisagem. Em escala geológica, tais transformações sofrem influências dos processos naturais associados aos movimentos epirogenéticos e orogenéticos, principais responsáveis por processos de erosão. Contudo, estes podem, por sua vez, ser intensificados por uma dinâmica mais acelerada (escala histórica) relacionada às atividades humanas.

Atualmente o estudo sobre movimentações de massa (deslizamentos) vem se ampliando também em ambientes urbanos devido às suas implicações sócio-ambientais. Em geral, o objetivo destas pesquisas consiste em identificar as causas e as conseqüências destes processos, no sentido de elaborar medidas mitigadoras que contemplem sua gênese e/ou evolução. Estes processos são fenômenos naturais e contínuos de dinâmica externa, marcados pelo deslocamento do material encosta abaixo pela força gravitacional sem ajuda da água corrente como um agente de transporte (FERNANDES, 1996, 2001; SELBY, 1990) e caracterizam-se pela complexidade, variando tanto no material envolvido, quanto na velocidade dos processos em sua escala espaço-temporal (LIMA, 1998).

No caso específico da Amazônia, destacando-se a região de Manaus, a ausência de estudos desta natureza é significativa. Entretanto, a ocorrência destes processos erosivos é bastante comum, principalmente nos cortes de estradas, onde se observam pequenos escorregamentos e desmoronamentos; é o caso da rodovia AM-010, que liga Manaus ao município de Itacoatiara e na BR-174 que liga Manaus (AM) a Boa Vista (RR).

Nesta perspectiva, verifica-se que ao longo da BR-174 (Manaus - Boa Vista) evidenciam-se diversos processos erosivos, com destaque para voçorocamentos², assim como movimentos de massa e assoreamento de canais. Estes são conseqüência direta da referida rodovia, cujo trajeto não obedeceu as curvas de nível, cortando os divisores de água. A reincidência de cicatrizes resultantes de deslizamentos fomenta uma investigação mais acurada acerca da ocorrência de tais processos.

OBJETIVOS

Diante da problemática exposta o presente artigo pretende fornecer subsídios para uma melhor compreensão de um dos aspectos hidrológicos superficiais condicionantes ao surgimento dessas cicatrizes, a infiltração de água no solo. Para isso, buscou-se classificar as cicatrizes de acordo com o tipo de deslizamento; mensurar os parâmetros

demais cicatrizes encontradas em outros trechos da rodovia, escolheram-se estas cicatrizes como objetos de pesquisa. Associa-se a estes elementos a diversidade das formas do relevo, visualizada em quatro encostas (duas convexas e duas côncavas), tendo a jusante um grande anfiteatro. Essas características indicam a diversidade e complexidade da dinâmica hidrológica, que possivelmente constitui-se num dos condicionantes para o desencadeamento deste processo.

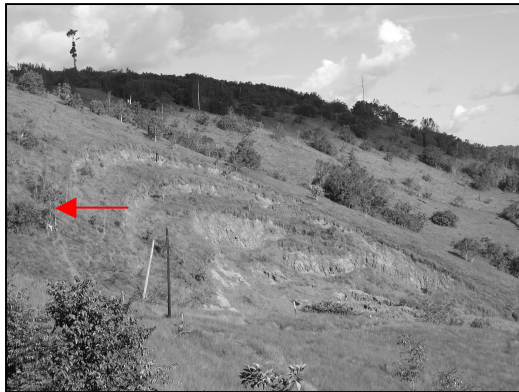


Foto 01 – Cicatriz de Deslizamento: a seta em vermelho indica uma pessoa para escala
Autor: Deivison Molinari – junho, 2004.



Foto 02 – Cicatriz de Deslizamento
Autor: Deivison Molinari -junho,2004

No que se refere ao uso, a fazenda Caipuru, constitui-se numa propriedade voltada quase que exclusivamente para a criação de gado leiteiro e de corte, mas que periodicamente é utilizada para atividades turísticas e de lazer por seus proprietários.

No que concerne as características biogeofísicas, a área encontra-se inserida na Formação Geológica Iricoumé, constituída de sedimentos argilosos, com grande concentração de argilitos e siltitos como apresentado por Molinari (2004). Nesta formação desenvolvem-se solos pertencentes ao grupo denominado ‘solos com horizonte B latossólico’, com variações de cor amarela a vermelho-amarela, de constituição argilosa, sendo que a segunda variação é a de maior representatividade e característica da área de estudo. No entanto, identificou-se argissolos nas superfícies de arranque das cicatrizes, denunciando que o solo da área de estudo é predominantemente argissolo.

Do ponto de vista geomorfológico, a área está inserida na Depressão Marginal Norte-Amazônica. O tipo climático predominante é o Equatorial quente e úmido, em que as temperaturas médias elevadas encontram-se em torno de 27,6° C de acordo com a classificação de Köppen. A precipitação média anual nesta região é de aproximadamente 2.300 mm, com média de 190 dias de chuva, sendo que, em geral, o mês de março é o mais chuvoso e o mês de agosto o menos (HEYER, 1999).

HIDROLOGIA SUPERFICIAL: INFILTRAÇÃO DE ÁGUA E MOVIMENTO DE MASSA

Os movimentos de massa correspondem ao deslocamento de terra ou rocha pela ação da gravidade sem a participação direta da água, ar ou gelo. Incluem-se nesse processo, desde deslocamentos lentos dos materiais de encostas pouco inclinadas até a queda livre de blocos rochosos em vertentes íngremes (SELBY, 1990). Os deslizamentos se caracterizam pelo destaque simultâneo de uma massa bem definida de solo e seu desprendimento ao longo de uma superfície de ruptura. Segundo Lima (1998) o material removido (solo, rocha, lixo, etc) projeta-se encosta abaixo acionado pela força gravitacional, depositando-se na área de convergência de fluxos (anfiteatro) alinhando-se ao longo de terracetes marginais.

Sabe-se portanto que os movimentos de massas são condicionados por uma complexa relação entre fatores geomorfológicos, com destaque para morfologia e morfometria da encosta; geológicos-geotécnicos, englobando as características lito-estruturais, fraturas subverticais e falhamentos tectônicos; hidrológico-climáticos, com ênfase sobre o potencial mátrico, poro-pressões positivas, umidade do solo; pedológicos, com destaque para as propriedades físicas, morfológicas (densidade, porosidade, etc.) e hidráulicas do solo (condutividade hidráulica saturada e não saturada) (FERNANDES *et al*, 2001); além do elemento humano, principal agente para deflagração dos deslizamentos, devido à quebra do equilíbrio dinâmico entre os condicionantes biogeofísicos, acelerando a dinâmica dos processos.

O fator clima possivelmente constitua-se no principal condicionante para os deslizamentos, devido à saturação dos solos e a conseqüente perda de estabilidade dos agregados. Parafraseando o geólogo Alberto Pio Fiori (1995), os movimentos de massa são fenômenos de modelagem da superfície terrestre estritamente ligados às condições climáticas úmidas, ao intenso processo de intemperismo das rochas e à força gravitacional.

O processo de infiltração³ se efetua quando após os eventos chuvosos, parte da água chega até a superfície do terreno, atravessando a vegetação direta ou indiretamente e penetrando no solo. A água continuará infiltrando até a capacidade e/ou taxa de infiltração ser atingida, isto é, a partir do instante que todos os espaços entre os grânulos estiverem preenchidos (poros) haverá a obstrução na entrada de água. Assim, a água que não infiltrar nos solos ou rochas, escoará superficialmente; quanto à água infiltrada, depois de preencher o déficit de água no solo, poderá gerar um escoamento subsuperficial (COELHO NETTO, 1994).

O solo possui uma capacidade limite de absorção de água, ou seja, nem toda água da chuva consegue penetrar no solo. No entanto, enquanto a intensidade da precipitação é menor que a capacidade de infiltração calculada, toda chuva infiltra (SILVEIRA *et al*, 1993). A capacidade ou taxa de infiltração é o índice volumétrico de quanto o solo pode receber umidade entre seus poros.

Esta taxa depende de alguns fatores controladores, tais como: cobertura vegetal e de teor de matéria orgânica sobre o solo, características físicas do solo (textura, estrutura e porosidade), estado da superfície e atividade biogênica, que apesar de importantes, não serão discutidos neste trabalho.

A compreensão da infiltração de água no solo é importante para o entendimento e análise do ciclo hidrológico, pois em função de quanto o solo é capaz de reter líquido, haverá o surgimento de escoamentos superficial ou subsuperficial. Assim a movimentação das águas sobre e/ou sob a superfície possui papel central na formação e evolução dos movimentos de massa, conforme atesta Coelho Netto (1994), os estudos sobre escoamentos das águas em diferentes trajetórias e são fundamentais ao entendimento e quantificação da erosão dos solos e, portanto, na modelagem geomorfológica.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos foram desenvolvidos a partir de trabalhos de campo, cuja finalidade foi a coleta de dados, conforme será detalhado a seguir: a) Parâmetros dimensionais (largura, comprimento e profundidade) das cicatrizes, utilizando-se de trena (medição das dimensões), clinômetro (declividade), bússola (direção) e equipamento de escalada (profundidade das cicatrizes); b) a classificação quanto ao tipo (escorregamento, desmoronamento, rastejo, etc.), efetuou-se a partir das evidências de campo. Os critérios utilizados para a classificação estão baseados no esquema de SELBY (1990) e CUNHA *et al* (1991), os quais consideram a morfometria e morfologia das cicatrizes; c) a identificação das causas destes movimentos foi realizada por meio de observações e anotações das características da zona proximal (LIMA, 1998) às cicatrizes, como: declividade, grau de cobertura vegetal e orgânica, forma da encosta e propriedades texturais do solo; d) características do solo (cor, textura e estrutura) foram identificadas *in locu*, através da comparação dos agregados de solo junto à tabela *Munsell* e em seguida, foram tratadas em laboratório através de análise granulométrica para identificação dos percentuais texturais. A classificação dos movimentos exigiu o conhecimento dos fatores que instabilizam os materiais na vertente (SELBY, 1990; FERNANDES, 2004). Neste

sentido, foi fundamental a compreensão da influência da hidrologia superficial no surgimento destas feições (COELHO NETTO, 1994). Assim realizaram-se 4 testes de infiltração na área de contribuição (local de convergência de água) de cada cicatriz, cujo objetivo foi verificar a influência da água por meio dos escoamentos superficial e subsuperficial no desencadeamento desses eventos.

Para realização dos testes utilizou-se a seguinte metodologia: com o auxílio de martelo ou marreta, o infiltrômetro de *Hills* (cilindro metálico de 15cm de altura por 10cm de diâmetro) é colocado e/ou enterrado 5cm no solo e afixada uma régua graduada nos 10cm internos restantes do instrumento. Em seguida, despeja-se água dentro do infiltrômetro, marcando o tempo com um cronômetro e anotando a profundidade da água, a cada minuto na régua, até chegar aos 30 minutos de experimento (GUERRA, 1996) (foto 03).

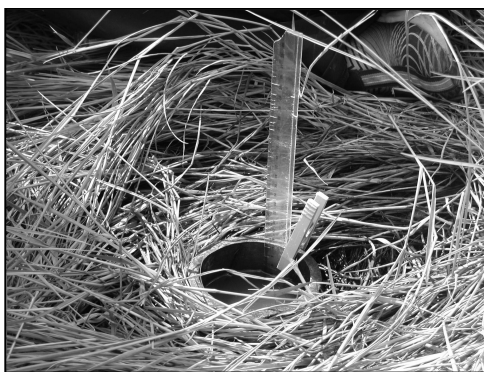


Foto 03 – Teste de Infiltração de água.
Autor: Deivison Molinari – maio, 2004.

A análise interpretativa dos dados coletados em campo subsidiou a compreensão das causas dos deslizamentos nas encostas estudadas, efetuada sobre o prisma da hidrologia superficial por meio dos testes de infiltração de água no solo.

RESULTADOS OBTIDOS

Foram identificadas duas cicatrizes resultantes de movimentação de massa com parâmetros dimensionais (comprimento, largura e altura) de significativa magnitude, localizadas em encosta convexa e côncava de grandes proporções. As dimensões das cicatrizes da área de estudo destacam-se pela morfometria bastante desconforme em relação às demais cicatrizes de deslizamentos e feições resultantes de processos erosivos por voçorocamento e assoreamento de canais encontrados ao longo da rodovia.

As feições possuem características distintas entre si, principalmente no que se refere à morfologia e morfometria, as quais serviram de base para a classificação quanto ao tipo

de movimento de massa. No entanto, no que se refere aos aspectos fitogeográficos há uma semelhança entre as duas cicatrizes, as quais encontram-se em áreas de pastagem.

Para melhor compreensão dos processos de movimentação de massa a análise de cada cicatriz é realizada de forma separada, objetivando um maior detalhamento nas considerações sobre os aspectos a serem abordados: parâmetros morfométricos, declividade da encosta, grau de cobertura vegetal e orgânica da camada superficial pedológica, composição textural do solo e capacidade de infiltração de água.

A cicatriz 01 localiza-se sobre uma encosta convexa de declividade média de 30°, ocupando uma área de aproximadamente de 10.086 m², com 82m de largura por 123m de comprimento. Caracteriza-se pela presença de uma superfície de ruptura curva, na forma de arcos côncavos, cuja abertura volta-se para a base da vertente. Nesta cicatriz identificaram-se três arcos paralelos separados por grandes terracetes, cuja largura e altura variam de 2m a 4m, entre os quais se expõem camadas de solo e rocha da superfície de arranque do deslizamento.

As características pedológicas identificadas na superfície de arranque possibilitam afirmar que o solo daquela vertente é do tipo argissolo vermelho-amarelo. Apresenta cores vermelho-amareladas, com matizes da ordem de 7,5 YR a 7YR, segundo a Tabela Munsell, e apresentaram os seguintes percentuais: 56% argila, 36% areia e 8% silte. Tais índices confirmam a classificação pedológica realizada em campo, a qual definiu o solo como do tipo argissolo vermelho-amarelo.

De acordo com a correlação entre as características morfométricas coletadas em campo na cicatriz 01 e o esquema classificatório de SELBY (1990) pode-se afirmar que este é um típico movimento de massa rápido, denominado de *escorregamento rotacional*. Em geral estes deslizamentos estão condicionados pela existência de solos espessos e homogêneos, comuns em encostas compostas por material de alteração originado de rochas siltosas como argilitos e siltitos, como é o caso dos argissolos.

Em relação aos testes de infiltração, foram realizados quatro ensaios ao longo da cicatriz, obedecendo os seguintes pontos amostrais: lateral esquerda (T1), topo da superfície de arranque (cabeceira) (T2), lateral esquerda (T3) e base da cicatriz (T4). Estes locais foram escolhidos de acordo com possíveis correlações com os fluxos superficiais de água em direção à área erodida (foto 04). Os testes 01, 02, 03 e 04 apesar de terem sido realizados em diferentes locais, apresentaram pequena capacidade de infiltração, cujas taxas foram respectivamente 2,7; 5,4; 3,03 e 14,26 ml/min.

Os ensaios foram efetuados na área de contribuição da cicatriz a uma distância média de 2 metros da borda da cabeceira da feição. A importância da realização destes

ensaios consiste no fato de que estas superfícies constituem-se nas áreas onde a água da chuva escoia subsuperficial ou superficialmente em direção à incisão proporcionando sua evolução.



Foto 04 – Pontos em vermelho identifica o local dos teste de infiltração.
Autor: Deivison Molinari – maio, 2004.

Adotou-se o teste de nº 01 como parâmetro de análise do processo de infiltração na cicatriz 01, devido a semelhança das taxas de infiltração entre todos os ensaios realizados (Gráfico 01). Este foi realizado na borda esquerda da cicatriz, numa superfície recoberta de vegetação herbácea (gramíneas), de aproximadamente 60cm de espessura, praticamente sobre o substrato rochoso.

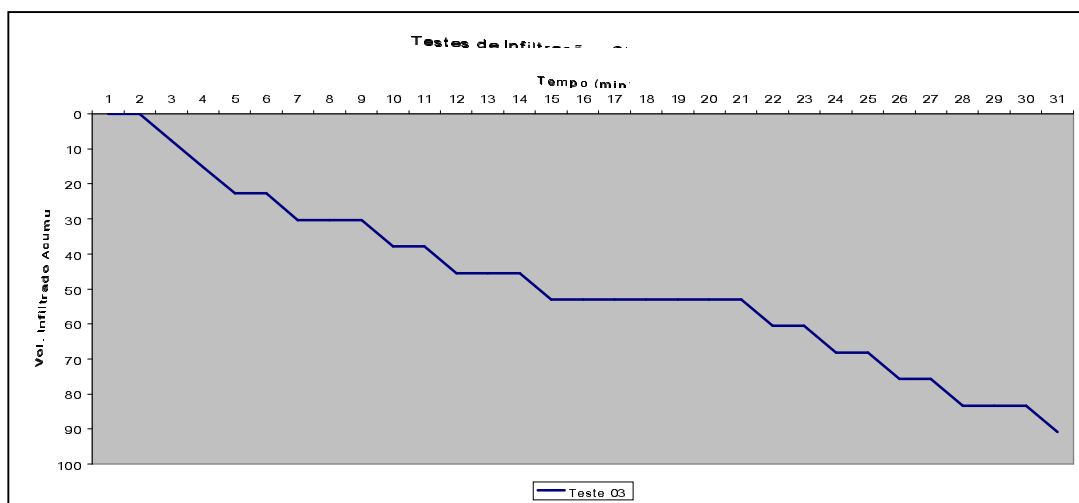


Gráfico 01 – Teste de Infiltração 01 localizado na borda esquerda da cicatriz 01.
Autor: Deivison Molinari – outubro, 2004.

Pode-se observar a partir deste gráfico, que nos dois primeiros minutos não há uma absorção de água, possivelmente devido à pressão exercida pelo ar presente entre os poros do solo. Em contrapartida, após o segundo minuto ocorre uma rápida infiltração devido à eliminação da massa gasosa e pela condição de não saturação (solo seco) superficial do substrato pedológico. No entanto, após alguns minutos de ensaio, os

espaços capilares do solo (poros) vão gradativamente sendo preenchidos, o que diminui substancialmente a linearidade vertical do volume infiltrado, proporcionando períodos de constância no índice de absorção, verificado pelas retas paralelas ao eixo do tempo (do 14° ao 21° minuto). O formato exponencial do gráfico da taxa de infiltração é resultado do progressivo umedecimento do solo, que tende a uma saturação ou constância da capacidade de absorção de água. Brandão *et al* (2003) afirmam que a taxa de infiltração é considerada constante quando o valor da leitura da lâmina infiltrada no anel se repete pelo menos três vezes.

Em termos gerais, pode-se inferir que a declividade média do terreno de 30° denuncia que neste ponto da encosta ocorrem constantes fluxos superficiais de água, condicionados pela ausência da camada vegetal e orgânica, a qual protege e reduz a velocidade cinética das gotas de chuva, retardando e propiciando um ritmo compatível à dinâmica hidrológica, visualizado pelo equilíbrio dinâmico e morfogenético da vertente.

Em outras palavras, a água que cai sobre esta superfície tende a escoar rapidamente em direção ao nível de base da encosta, arrastando pequenas partículas inconsolidadas, devido a menor porosidade do substrato rochoso, presente sob a camada vegetal herbácea. Com a retirada das partículas menos consolidadas surgem pequenos movimentos de massa (rastejos) e reajustes na micro-morfologia da encosta. Nesta perspectiva, pode-se identificar a relação existente entre a dinâmica hidrológica superficial e o balanço morfogenético do sistema vertente, visualizado na deflagração de processos geomorfológicos, neste caso, os movimentos de massa.

Portanto, após os eventos chuvosos, a água que infiltra e, conseqüentemente, percola vertical ou paralelamente a vertente encontra o lençol freático. No entanto, uma parcela significativa da água infiltrada concentra-se subsuperficialmente na parte mais externa do perfil do solo, devido a menor pressão interna e a maior porosidade, resultado do peso do pacote pedológico. Isto implica no aumento das poro-pressões do solo, determinadas pela perda de coesão e fricção interna das partículas do solo, ocasionando o deslocamento dos sedimentos.

Acrescente-se aos mecanismos de ruptura deflagrados pela água subsuperficial dois condicionantes fundamentais para o surgimento e a deflagração deste escorregamento rotacional, a declividade (30°) e a força gravitacional. Esta última imprescindível para classificarmos tal feição como resultado de movimento de massa. Portanto, tais índices de infiltração de água nas bordas laterais e na cabeceira da cicatriz erosiva, indicam dois efeitos da infiltração em relação aos deslizamentos: a primeira refere-se a geração de escoamentos superficiais e transporte de material inconsolidado nestes pontos da

vertente. O segundo destina-se as conseqüências da água infiltrada concentrada nas porções subsuperficiais externas da vertente, deflagrando mecanismos de ruptura nos materiais responsáveis pela resistência ao cisalhamento na vertente. Como resultado, ocorre o escorregamento rotacional circunscrito na vertente em análise.

A cicatriz 02 localiza-se em uma encosta côncava de declividade média de 32°, ocupando uma área total de aproximadamente 1512m², com 37,20m de largura, 40,65m de comprimento por 21,80m de altura. Nesta, ao contrário da primeira incisão, foi possível mensurar o volume de material perdido, através da combinação entre área e altura, a qual indicou 32,968 m³. (foto 05)



Foto 05 – Cicatriz (n° 02) de Movimento de Massa.
Autor: Deivison Molinari – maio, 2004.

A feição caracteriza-se pela presença de uma superfície de ruptura abrupta e uniforme, na forma losangular, na qual é possível visualizar todo o perfil de solo da vertente. Observações preliminares induzem a relacionar que o material rapidamente desabou através da força gravitacional, ocasionando o aparecimento da cicatriz. No entanto, para a compreensão dos mecanismos que desencadearam tais processos, faz-se necessário identificar alguns elementos, como solo, vegetação, morfologia e morfometria da encosta e capacidade de infiltração.

No que concerne às características do solo, foram identificadas na superfície de arranque, argissolos vermelho-amarelo, caracterizados pela gradual distinção de cor entre o topo (amarelo) e base do perfil (vermelho). Foram coletadas amostras na base da cicatriz e tratadas em laboratório, nas quais identificaram-se as seguintes variações texturais: 39% silte, 25% argila e 36% areia, estes índices confirmam a classificação pedológica realizada em campo.

A geometria da cicatriz e da massa movimentada da cicatriz 02 se assemelha a um tipo de movimento de massa proposto por Cunha *et al* (1991), a qual foi denominada de

escorregamento de ruptura circular. Este tipo de escorregamento surge devido a existência de estruturas ou planos de fraquezas nas vertentes

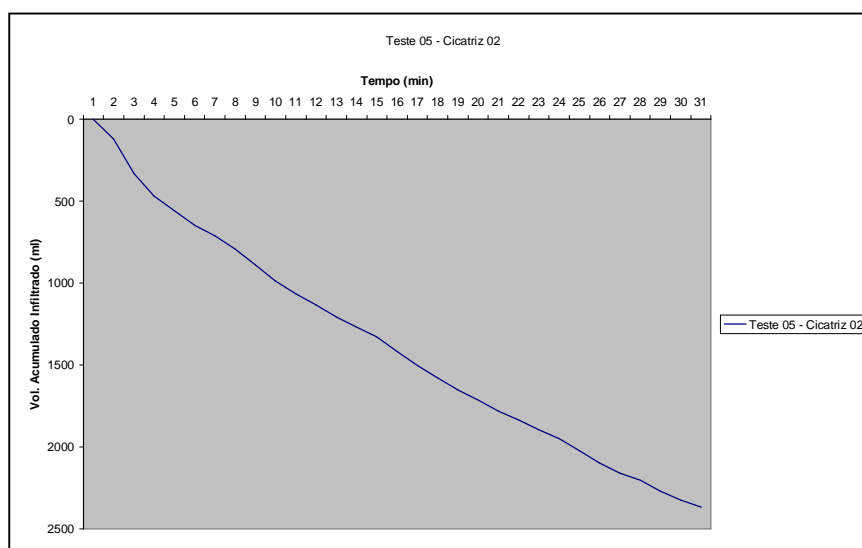


Gráfico 02 – Teste de Infiltração 05 realizado na base da cicatriz (nº 02).
Autor: Deivison Molinari – outubro, 2004.

No que concerne à dinâmica dos processos hidrológicos superficiais, realizou-se um único ensaio de infiltração na base da cicatriz. Esta superfície caracteriza-se pela presença de vegetação herbácea (gramíneas), apresentando solo com espessura aproximadamente de 90cm, maior do que na cicatriz 01, devido o material ser provavelmente do desabamento (a montante) e da pequena inclinação da superfície, em torno dos 11° (Gráfico 02).

Verifica-se no gráfico que a infiltração é rápida no início do ensaio, representando alta absorção de água naqueles intervalos de tempo, o que impediu a formação de uma curva acentuada da infiltração (ao contrário do que foi visto no início do teste), no sentido exponencial. Este formato representa a rápida infiltração ao longo do tempo do ensaio, ou seja, após o umedecimento do solo, a capacidade de infiltração tende a ser alcançada, visualizada na tendência de formação de uma reta (praticamente) diagonal aos eixos do tempo e do volume infiltrado acumulado, mas que mostra tendência para um paralelismo com o eixo do tempo, o qual indicará a saturação do solo. Um elemento importante para tentar explicar o elevado (se comparado aos testes realizados na cicatriz 01) índice de infiltração é o percentual de areia (36%) na superfície de deposição na base da cicatriz, além da espessura do solo ser bastante superior se comparado à outra feição erosiva. Acredita-se que estas características de textura e espessura do solo possam constituir-se em variáveis importantes na análise das taxas de infiltração, devido a geração de menores discontinuidades mecânicas, proporcionando maior porosidade ao solo. Outro aspecto a ser destacado é a presença de vegetação em outros estágios de sucessão

ecológica (arbustos), o qual mostra a importância da cobertura vegetal reduzindo a velocidade dos pingos de chuva, evitando a erosão por salpicamento, além de proporcionar maior percolação da água em subsuperfície, devido à fixação e crescimento das raízes.

Desta forma, pode-se inferir que as referidas taxas de infiltração estão estritamente condicionadas pelas propriedades morfológicas superficiais do solo (textura e porosidade) e fitogeográficas, por meio do sistema radicular das plantas, aumentando a porosidade da superfície pedológica superficial. Neste sentido, é válido destacar que a partir da análise da influência da infiltração de água na deflagração dos deslizamentos não se pode afirmar que o surgimento daquela cicatriz é função da baixa ou alta absorção de água pelo solo. No entanto, o comportamento hidrológico superficial visualizado no ensaio de infiltração constitui-se num dos condicionantes para tais fenômenos.

Por isso, como explicar que numa encosta côncava a taxa de infiltração é mais alta se comparada aos ensaios na encosta convexa? Sabe-se que o tipo de encosta favorece a concentração subsuperficial de água, determinando índices de permeabilidade do solo, devido as mudanças no nível piezométrico e das propriedades geomecânicas (coesão e fricção interna) do solo. Tais características irão afetar diretamente os percentuais de infiltração e sua conseqüente influência na evolução das cicatrizes de deslizamentos. Apesar do reconhecimento das limitações deste estudo é concebível reconhecer a importância da compreensão destes aspectos, visto suas influências direta e indiretas na deflagração destes processos, os movimentos de massa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados levantados na pesquisa permitem concluir que a infiltração constitui-se, de fato, num dos fatores que corroboram o surgimento e evolução dos movimentos de massa, pois a água que não infiltra, escoar superficialmente sobre o solo, ocasionando a formação de fluxos superficiais concentrados. Estes podem provocar o surgimento de pequenas fendas, que associadas a outros fatores como topografia, ausência de vegetação, forma e comprimento da encosta promovem a instabilidade dos agregados de solo e rocha, desencadeando os deslizamentos.

Assim sendo, pode-se afirmar quão importante e complexa é a dinâmica hidrológica superficial na vertente, bem como a relação infiltração-escoamentos-deslizamentos, conforme a indicação prévia da bibliografia especializada.

A partir da análise dos dados pode-se observar dois aspectos relacionados à infiltração e aos movimentos de massa. O primeiro refere-se à geração de escoamentos

superficiais e transporte de material inconsolidado nestes pontos da vertente. O segundo destina-se às conseqüências da água infiltrada concentrada nas porções subsuperficiais externas da vertente, deflagrando mecanismos de ruptura nos materiais responsáveis pela resistência ao cisalhamento na vertente. Como resultado, ocorre o escorregamento rotacional circunscrito na vertente em análise.

No entanto, é válido destacar que a partir da análise da influência da infiltração de água na deflagração dos deslizamentos, não se pode afirmar que o surgimento daquela cicatriz é função da baixa ou alta absorção de água pelo solo. Assim, o comportamento hidrológico superficial visualizado no ensaio de infiltração constitui-se num dos condicionantes para a deflagração de tal fenômeno.

A partir deste estudo preliminar, pode-se realizar mensurações e experimentações mais complexas sobre os mecanismos e fatores que condicionam o desencadeamento de tais processos, bem como identificar as perdas de solo (área e volume das cicatrizes) e sua conversão em perdas econômicas.

BIBLIOGRAFIA

BRANDÃO, Viviane dos Santos; PRUSKI, Fernando Falco; SILVA, Demétrios David. **Infiltração da água no solo**. 2ed. Viscosas:UFV, 2003.

COELHO NETTO, Ana L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, Antônio J.T.; CUNHA, Sandra B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

CUNHA, Márcio Angelieri (Coord). **Ocupação em Encosta**. São Paulo: IPT, 1991.

FERNANDES, Nelson F. AMARAL, Cláudio P. Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Orgs.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

_____. GUIMARÃES, Renato F; GOMES, Roberto A.T; VIEIRA, Bianca C; MONTGOMERY, David R; GREENBERG, Harvey. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicações de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Vol.02, nº 01, 2001.

_____.GUIMARÃES, Renato F; GOMES, Roberto A.T; VIEIRA, Bianca C; MONTGOMERY, David R; GREENBERG, Harvey. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. **Catena: interdisciplinary journal of Soil Science** nº 55, 2004.

LIMA, Maria Socorro Bezerra de. **Movimentos de Massa nos Barrancos do Rio Acre e implicações sócio-econômicas na área urbana de Rio Branco/Acre.** (Dissertação de Mestrado) Florianópolis: UFSC, 1998.

MOLINARI, Deivison Carvalho. **Movimentos de Massa: um estudo preliminar na Fazenda Caipuru - Presidente Figueiredo (AM).** Monografia de Bacharelado em Geografia. UFAM, Manaus, 2004.

PIO FIORI, Alberto. Fatores que influem na análise de vertentes e no movimento de massa em encostas. In: **Boletim Paranaense de Geociências.** N° 43. Curitiba: Editora UFPR, 1995.

SELBY, Michael John. **Hillslope Materials & Processes.** New York: Oxford University Press, 1990.

SILVEIRA, André L. da.; LOUZADA, José A.; BELTRAME, Lawson F. Infiltração e armazenamento no solo. In: TUCCI, Carlos E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed.Universidade; ABRH, EDUSP, 1993.

VIEIRA, Antonio F. G.; ABUQUERQUE, Adorea. Cadastramento de Voçorocas e análise do risco erosivo em estradas: BR – 174 (Trecho Manaus – Presidente Figueiredo). CD-ROM. **Anais do V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia.** Santa Maria:UFSM, 2004.

Notas:

¹ Este trabalho foi desenvolvido a partir da Monografia de Bacharelado em Geografia (UFAM) intitulada “Movimentos de Massa: um estudo preliminar na fazenda Caipuru – Presidente Figueiredo (AM)”, em 2004.

² Em trabalho realizado por VIEIRA & ALBUQUERQUE (2004) foram cadastradas 31 voçorocas entre a cidade de Manaus (Km 01) até o município de Presidente Figueiredo (Km 107) da BR – 174. A principal causa foi o escoamento superficial concentrado promovido pelas canaletas de escoamento pluvial nas laterais da estrada.

³ Infiltração é a passagem de água da superfície para o interior do solo. Tal definição explicita com maior precisão o mecanismo da infiltração de água no solo, distinguindo de percolação, que é o fluxo em subsuperfície que atravessa a zona de aeração em direção ao lençol freático, o qual delimita a porção extrema superior da zona saturada do solo (SILVEIRA *et al*, 1993; COELHO NETTO, 1994).

**Recebido em abril/2005
Publicado em junho/2005**