



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



As Características Hidrológicas do solo de Várzea e sua Vulnerabilidade ao Processo de Terras Caídas na Amazônia Central (BR)

Regiane Campos Magalhães¹, Antônio Fábio Sabbá Guimarães Vieira²

¹ Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Clima e Ambiente - CLIAMB,, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Av. André Araújo, 2936, Aleixo, CEP 69060-001, Manaus - AM, regiane.magalhaes@inpa.gov.br (autor correspondente). ² Professor Titular, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200 - Coroado I, Manaus - AM, 69067-005, fabiovieira@ufam.edu.br

Artigo recebido em 12/12/2017 e aceito em 13/03/2018

RESUMO

Foi investigada a elevação do nível piezométrico, juntamente com dados secundários de pluviometria e fluviometria, buscando entender como essas variáveis hidrológicas tornam vulnerável o solo de várzea ao processo de Terras Caídas. Com esse objetivo foram construídos e instalados quatro piezômetros em duas cicatrizes de Terras Caídas, localizada na Costa do Iranduba (AM). Ademais, foram adquiridos e analisados dados de cota do último dia de cada mês, além de dados mensais de pluviometria, ambos da Estação de Manacapuru. Os resultados permitiram concluir que ocorreu uma descida retardatária do nível piezométrico em relação à cota do rio Solimões. O nível piezométrico acompanhou a topografia do terreno durante o período da vazante. O período mais chuvoso (fev./mar. de 2011) foi observado reduzida mobilização de solo, enquanto o menos chuvoso (ago./set. de 2011), grande remoção de material das margens, em diferentes períodos da cota do rio, determinando a vulnerabilidade do solo as Terras Caídas.

Palavras-chave: piezômetro, movimentos de massa, comunidade do Divino Espírito Santo.

Las Características Hidrológicas del suelo de la Llanura y su Vulnerabilidad al Proceso de Tierras Caídas en la Amazonia Central (BR)

RESUMEN

Fue investigada la elevación del nivel piezométrico y analizados los datos secundarios de pluviometría y fluviometria, buscando entender como esas variables hidrológicas tornan vulnerable el suelo de la llanura al proceso de Tierras Caídas. Con esa finalidad fueran construidos e instalados cuatro piezómetros en dos cicatrizes de Tierras Caídas, ubicadas en la Costa del Municipio de Iranduba (AM). Además, fueron adquiridos y analizados datos de la cota del último día de cada mes, además de datos de pluviometría, ambos de la Estación de Manacapuru. Los resultados permitieron concluir que ocurrió una disminución retardada del nivel piezométrico en relación a la cota del río Solimões. El nivel piezométrico acompañó la topografía del terreno durante el periodo de vaciante. Durante los meses de febrero/marzo de 2011 (período más lluvioso) fue observado reducida movilización del suelo, mientras que en los meses de agosto/septiembre del 2011 (período menos lluvioso) fue observada una gran remoción de material de las márgenes en diferentes períodos de la cota del río, determinando la vulnerabilidad del suelo a las Tierras Caídas.

Palabras Clave: piezómetro, movimientos de masa, comunidad del Divino Espírito Santo.

Introdução

Terras Caídas é um termo regional amazônico que corresponde a processos físicos e hidrológicos do solo, em uma planície de inundação na região Amazônica.

Esse processo tem sido objeto de estudo pela sua importância enquanto agente geomorfológico atuante na evolução da paisagem ribeirinha. Abarcam muitos fatores, mecanismos e causas, além de serem pouco explorados na

literatura regional. Logo, não é surpresa que existam várias definições em uso e muitos conflitos com relação à terminologia.

Um dos primeiros a levantar questões sobre essa temática em face de natureza peculiar dos rios amazônicos foi Moreira (1958), que destacou como resultante de uma multiplicidade de processos, dentre eles os movimentos de massa.

Sternberg (1998) ressaltou que o rio é o principal responsável pelo desenvolvimento do processo das Terras Caídas na região, ou seja, oriundo da erosão fluvial, seguido de quatro estágios de evolução: 1 - intenso fluxo turbilhonar que provoca a erosão do tipo eversão, dando início ao aprofundamento do leito do rio; 2 - fissuras ao logo da margem; 3 - arriscada estabilidade do perfil transversal e 4 - restauração do equilíbrio pelo deslizamento de uma parte da margem para o fundo do leito do rio.

Nesse trabalho, será seguida a mesma linha de pensamento de Lima (1998) que em estudos no rio Acre, afirmou que a erosão fluvial atua tanto no auxílio da mobilização de movimentos de massa, durante a elevação das águas do rio (cheia), quanto na formação e modelagem do relevo. Em termos gerais, a autora afirma que a erosão fluvial é apenas um dos fatores para desencadear os movimentos de massa em uma planície de inundação, e não o principal processo na área de estudo.

Ritter et al. (2002) referem-se às Terras Caídas, como resultante de uma combinação de fatores envolvendo dois tipos de processos: o arraste fluvial e a composição das margens associadas às condições de umidade. Entretanto, somente o primeiro processo se enquadra na atividade erosiva lateral das margens, já o segundo independe da dinâmica fluvial, se adequando mais às variáveis físicas, químicas, mineralógicas e hidráulicas do solo sob a influência da elevação do nível piezométrico.

Carvalho (2006) deu mais ênfase ao processo e, assim, o conceituou como um termo regional amazônico usado principalmente para designar erosão fluvial. Afirmando também que é resultante de processos simples a altamente complexos, envolvendo fatores hidráulicos, físicos, neotectônicos, antropogênicos e aspectos climáticos, além de englobar indiferenciadamente deslizamento, desmoronamento e desabamento, podendo ocorrer em pequena e grande escala.

Já Carneiro (2009); Freitas (2009) declaram que esse processo (Terras Caídas) é pertinente à constante morfodinâmica fluvial que atua tanto no interior do canal, pela erosão lateral, quanto nas margens do rio. Freitas (2009) ainda levou em consideração o processo de corrosão, no qual obtém um papel importante na erosão das paredes e do fundo do leito.

Todos os autores citados acima afirmam que a origem das Terras Caídas pode envolver fatores complexos de natureza física, química e hidráulica do solo, resultando na ação de distintos mecanismos e condicionantes locais, incidindo

constantemente na morfodinâmica do relevo. Entretanto, o fator antropogênico é considerado como acelerador do processo natural das Terras Caídas, em virtude, da remoção da cobertura vegetal pelo desmatamento das margens, uso da agricultura, pecuária extensiva e grandes embarcações, que facilitam a ação dos fatores naturais para ocasionar a deflagração das Terras Caídas.

Movimentos de Massa

Na visão de Fernandes e Amaral (1996) os movimentos de massa são processos naturais e induzidos que fazem parte da evolução da paisagem como um sistema controlado por processos exógenos. Corresponde, segundo Selby (1990), a deflagração do material ao longo de uma encosta pouco inclinada até as mais íngremes, acionados pela água e deslocado pela ação da gravidade. O material deslocado é diretamente condicionado por sua fluidez e pela forma da encosta, podendo depositar-se na área de convergência de fluxos (anfiteatro) e/ou alinhando-se ao longo de terracetes marginais (MOLINARI, 2007).

Esse processo também pode ser acelerado pela forma irregular de manusear o solo (terraplanagem, obras de engenharia, disposição final do lixo e águas servidas), elevando a frequência do surgimento das cicatrizes. Conforme a magnitude do impacto, os movimentos de massa podem causar várias catástrofes na superfície terrestre e a quem estiver habitando em seu entorno. Vários autores (SELBY, 1990; AMARAL, 1996; FERNANDES e AMARAL, 1996; AMARAL e FEIJÓ, 2004; GONÇALVES e GUERRA, 2004) e outros já levantaram e vêm conduzindo essa temática, principalmente com a finalidade de reduzir e mitigar os desastres que envolvem os movimentos de massa.

Para Selby (1990), os movimentos de massa são fenômenos naturais e contínuos da dinâmica externa, marcados pelo deslocamento do material encosta abaixo e conduzidos pela força gravitacional. Lima (1998), em estudos concernentes sobre movimentos de massa no rio Acre, afirmou que são processos atuantes na formação e evolução do relevo. Além disso, também ressaltou que a ação da erosão fluvial na base do barranco gera instabilidade aos materiais e acarreta distintos movimentos de massa. Portanto, os movimentos de massa correspondem aos movimentos descendentes dos materiais das margens sob a influência da força gravitacional. Logo, a erosão fluvial age como desencadeador

dos movimentos de massa em uma planície de inundação, ocasionando a instabilidade dos barrancos gerada pela remoção das partículas pouco coesas, da base daqueles (solapamento basal), proporcionando queda de pequenos blocos de forma dispersa ao longo das margens.

Os movimentos de massa estão associados a vários fatores complexos. Quando interagidos entre si, resultam em diversos tipos de movimentos de massa mencionados por Charlton (2008), como deslizamentos (*slides*), quedas (*falls*) e certos tipos de fluxo, ocorrem durante um curto período de tempo (minutos a dias), enquanto que movimentos de massa não rápidos incluem espraiamento (*heave*), rastejo ou fluência (*creep*) e Solifluxão (*solifluction*). O termo "deslizamento de terra" ("*landslides*") está em grande uso geral, mas na verdade descreve vários tipos diferentes de movimentos de massa. Selby (1990) mencionou dois dos principais deslizamentos de terra ("*landslides*"), como deslizamento rotacional (*slide rotational*) e deslizamento translacional (*slide translational*). O mesmo autor ainda destacou que o principal agente para ocasionar os movimentos de massa é a água; já a perda da massa do solo se dá pela influência da gravidade que, indiretamente, envolve outros fatores para sua ocorrência (água, ar e gelo). Segundo Lima (1998) e Molinari (2007) a água, associada a outros fatores, age como peça chave para mudar toda a mecânica do solo.

Lima (1998) ainda ressalta que essa associação combinada a outros fatores, como os minerais de argila (com destaque para a montmorilonita), as propriedades do solo (textura, estrutura, porosidade, permeabilidade, densidade, condutividade hidráulica, teor de umidade e atividade biológica), morfologia de encostas e dos barrancos, fatores climáticos, cobertura vegetal e a erosão fluvial, deflagram os movimentos de massa. Outros fatores são argumentados por Molinari (2007), como geológicos-geotécnicos, englobando as características lito-estruturais, fraturas subverticais e falhamentos tectônicos e a ação antrópica como acelerador da dinâmica dos processos naturais, aumentando a incidência de movimentos de massa.

De acordo com o que foram mencionados, no que tange à classificação dos movimentos de massa, os tipos mais comuns estão associados a deslizamentos lentos dos materiais ao longo da declividade das encostas e ao colapso de blocos de matérias ou rocha sob encostas íngremes, ambos agenciados por diferentes mecanismos pertencentes ao movimento de massa, tendo, em alguns casos, o auxílio do fator de erosão fluvial.

Assim, o termo "Terras Caídas" foi englobado por vários autores (MOREIRA, 1958; SIOLI, 1985; GUERRA, 1993; STERNBERG, 1998; LIMA, 1998; RITTER *et al.*, 2002; CARVALHO, 2006; CARNEIRO, 2009; FREITAS, 2009) como erosão fluvial e movimentos de massa. No entanto, o primeiro (erosão fluvial) sendo um fator desencadeador das Terras Caídas. Portanto, nesse trabalho, o termo regional Terras Caídas está estritamente relacionado a um processo natural ligado à susceptibilidade do solo sob a ação da elevação do nível do lençol freático, onde a erosão fluvial atua no auxílio de um dos diferentes tipos de movimentos de massa (Queda em bloco).

Terras caídas na Amazônia

Nas várzeas da Amazônia Central, a ocorrência do processo de Terras Caídas é bastante intenso. Anualmente, grande parte de solos das margens são mobilizados para dentro do rio, geralmente por via colapso ou por deslizamento. Magalhães (2011), explica que as Terras Caídas, além de ser uma terminologia regional, é um processo natural que corresponde a distintos Movimentos de Massa, dentre eles, o Deslizamento Rotacional e a Queda em Bloco, agindo em diferentes períodos do rio (cheia e vazante).

A vulnerabilidade do solo ao processo de Terras Caídas envolve várias variáveis que podem causar a instabilidade e, conseqüentemente o deslocamento dos materiais das margens, uma delas são os atributos hidráulicos do solo, como a oscilação do nível piezométrico.

O conhecimento sobre as características hidrológicas do solo de várzea é de suma importância para fornecer informações sobre a eficiência e problemas de drenagem no solo, além de identificar a fonte de água que eleva o lençol freático, podendo ser de forma lateral, oriunda de rios, irrigações ou por meio de áreas mais altas.

O padrão de drenagem no interior do barranco (Expressão regional utilizada neste trabalho para designar margens do rio bastante íngreme.) é importante em solos com algumas propriedades específicas, como: textura arenosa e siltosa, densidade aparente elevada, baixo teor de matéria orgânica, a presença de minerais secundários expansivos, infiltração e condutividade hidráulica alta, e principalmente com a oscilação do nível piezométrico, que particularmente alteram todo o comportamento físico e mecânico do solo, tornando os materiais das margens vulneráveis a Movimentos de Massa (Terras Caídas).

A mudança do comportamento físico do solo provoca a perda da matriz de sucção e coesão, afetando as margens em dois distintos tipos de Movimentos de Massa: o primeiro ocorre na subida do rio (cheia), quando as correntes fluviais removem facilmente as partículas de solo do sopé das margens, por meio do solapamento basal. Dessa forma, o esforço de tração promovido pela força de atrito das águas provoca

a perda de coesão do pacote. Uma vez desequilibrado pelo aumento da força de cisalhamento e diminuição da resistência ao cisalhamento, fragmenta-se num plano abrupto e rápido Movimento de Massa do tipo Queda em Bloco (Figura 1).



Figura 1. Movimento de Massa do tipo Queda em Bloco (seta vermelha) no período da enchente do rio Solimões.

Fonte. Org. do autor.

Já o segundo movimento de massa têm ocorrência na descida do rio (seca), quando as propriedades do solo são afetadas pela oscilação do nível piezométrico, causando mudança física (eleva-se a umidade do solo, a condutividade hidráulica, poro-pressões positivas, diminui a matriz de sucção, a coesão aparente e a fricção entre as partículas) e mecânica do solo, como alteração no jogo de forças das margens (aumento da força de cisalhamento e diminuição da

resistência ao cisalhamento), provocando o aumento do ângulo de inclinação do barranco, e gerando o desequilíbrio das margens, promovendo o Movimento de Massa do tipo Deslizamento Rotacional (Figura 2).



Figura 2. Movimento de Massa do tipo Deslizamento Rotacional (setas vermelhas) no período da vazante do rio Solimões.

Fonte. Org. do autor.

O aumento da sucção de matriz reforça à aparente coesão do material e, assim, sua força de cisalhamento. Outro importante agente estabilizador de encostas e barrancos é representado pela cobertura vegetal, a qual apresenta um intercepto da coesão, em virtude do enraizamento das plantas. No entanto, se tratando de planícies de inundação, Magalhães (2011) explica que, a camada vegetal que se encontra às margens do rio, é removida com frequência (Figura 3), em virtude, que as raízes não são profundas e ficam sem sustentação no solo, devido ao nível do lençol freático que é alto e profundo, provocando a perda da coesão e ruptura do barranco.

Os lençóis subterrâneos ficam geralmente localizados na zona saturada onde a água preenche todos os interstícios e poros vazios da região sobrejacente, formando zonas saturadas que se encontram sob pressão hidrostática. Reichardt (1990) afirma que os lençóis subterrâneos ou freáticos são o limite superior do solo saturado. Logo, sua posição determina a distribuição de umidade na camada acima dele.

O mesmo autor também argumenta que, em ambiente de várzea, os lençóis freáticos são mais profundos. Neste sentido, quanto mais profundo, mais aerado vem ser o solo.



Figura 3. Cobertura vegetal deflagrada as margem do rio Solimões, pelo processo de Terras Caídas. Fonte. Org. do autor.

Segundo o EMBRAPA (1999), os solos de planície de inundação são mal drenados, em razão da sazonalidade das águas, que gera elevação do lençol freático (nível piezométrico), camada lentamente permeável no perfil, além da adição de água através de translocação lateral interna ou alguma combinação destas condições, afetando as condições hídricas do solo – duração de período em que permanece úmido, molhado ou encharcado. Dessa forma, a água é removida do solo de forma lenta e por isso, ele permanece molhado por uma grande parte do ano.

Ramos et al. (2009) concluíram que o lençol freático vem ser um dos principais componentes, que garante a perenidade aos rios durante as estações secas. A identificação da posição do nível freático e suas variações podem ser verificadas através da leitura piezométrica, efetuada por meio de piezômetros, sem esquecer que as oscilações do lençol freático são afetadas também pelas variações climáticas periódicas.

A perfuração e construção manual de poços piezômetros torna-se, uma alternativa viável para reduzir os custos de monitoramento em áreas de difícil acesso, nas quais a profundidade do poço não necessite ser elevada e onde as formações não apresentem rochas ou cascalhos grandes, que podem ocasionar danos na ponta do piezômetro.

Magalhães, R. C., Vieira, A. F. S. G.

As vantagens da perfuração manual é que os poços podem ser construídos em pouco tempo, com mão de obra reduzida, a um custo mínimo.

Este estudo objetivou avaliar as características hidrológicas do solo de várzea, com a finalidade de contribuir para o entendimento de sua vulnerabilidade ao processo de Terras Caídas.

Material e métodos

A área de estudo denominada comunidade do Divino Espírito Santo, esta localizada na Costa do Município de Iranduba (AM), situada nas coordenadas $3^{\circ}17'34,80''S$ / $60^{\circ}08'51,21''O$; $3^{\circ}18'07,79''S$ / $60^{\circ}8'00,30''O$; $3^{\circ}17'34,80''S$ / $60^{\circ}08'51,21''O$; $3^{\circ}18'08,20''S$ / $60^{\circ}8'51,37''O$, com extensão aproximada de 2.970,00 m de uma extremidade a outra, na margem esquerda do rio Solimões (Figura 4).

A geologia da área é constituída por uma unidade litoestratigráfica correspondente a depósitos aluvionares, especificamente de depósitos em barras arenosas. O principal rio navegável é o rio Amazonas, aqui denominado Solimões, que percorre a planície fluvial – a várzea; sujeita a inundações anualmente. O solo é composto por sedimentos de origem quaternária, caracterizado como Neossolo Flúvico Tb Eutrófico, com textura Franco-Arenosa, baseado

na classificação da EMBRAPA (2006). Quanto à vegetação, é formada basicamente por uma Floresta Aluvial, apresentando copa vegetal com altura média de 15 m de altura, arbustos e plantas

aquáticas, sob condições de clima Equatorial, com características quente e úmido, com precipitação entorno de 2.300 mm/ano (FISCH et al., 1999).

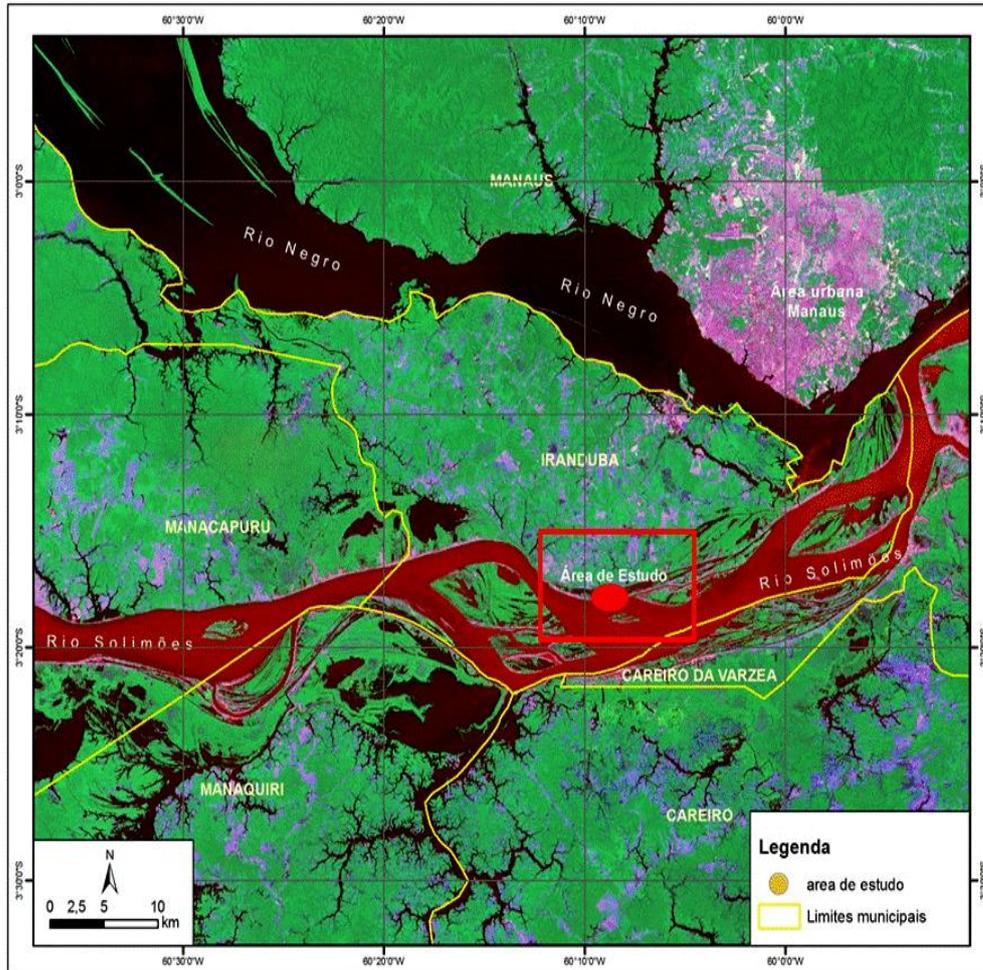


Figura 4. Localização da área de estudo. Imagem Landsat-5 TM, órbita 231/62. Fonte. DGI/INPE, outubro/2010. Org. Davi Grijó, 2011.

O experimento na área de estudo buscou monitorar o nível do lençol freático dentro do pacote sedimentar, acompanhando seu comportamento no período correspondente entre julho de 2010 a setembro de 2011. Por isso, foram instalados quatro piezômetros em duas cicatrizes de Terras Caídas, sob a disposição de duas linhas transversais a margem do rio:

A primeira linha com piezômetros dispostos em profundidades de 120 cm e 280 cm com distância de 15 m da margem do rio, simultaneamente. A segunda linha transversal apresentaram profundidades de 286 cm e 297 cm com distância de 30 m da margem do rio, respectivamente. Cada piezômetro recebeu uma numeração, conforme (Tabela 1).

Tabela 1. Numeração e profundidade dos piezômetros instalados.

Numeração	Profundidade (cm)
Piezômetro 1	280 cm
Piezômetro 2	286 cm
Piezômetro 3	120 cm
Piezômetro 4	297 cm

Fonte. Org. do autor.

As medidas desses aparelhos representam a contribuição isolada da condutividade hidráulica, tanto da camada superior, quanto da camada inferior do solo. No entanto, todos os piezômetros ficam inoperantes no período da vazante do rio Solimões (outubro e novembro). Para este trabalho foi utilizado o piezômetro do tipo Casagrande, adaptado à metodologia proposta por Bohn (2001), porém modificado e ajustado a piezômetros de tubos abertos usados para medir o nível piezométrico nos barrancos na área de estudo. Segundo Rizzo (2007), esse tipo de piezômetro é considerado um dos mais antigos, além de ser bastante utilizado pela sua simplicidade e confiabilidade.

O termo piezômetro é usado para indicar um dispositivo que é selado no interior do subsolo para responder à variação da pressão do subsolo através da altura de coluna d'água no tubo ao redor dele. Os piezômetros instalados foram construídos com tubos de PVC de 32 mm de diâmetro e 3 m de comprimento e uma vara de madeira fina de 2 cm x 3,5 m, foi utilizada para mensurar o nível da água, de acordo com a (Figura 5).

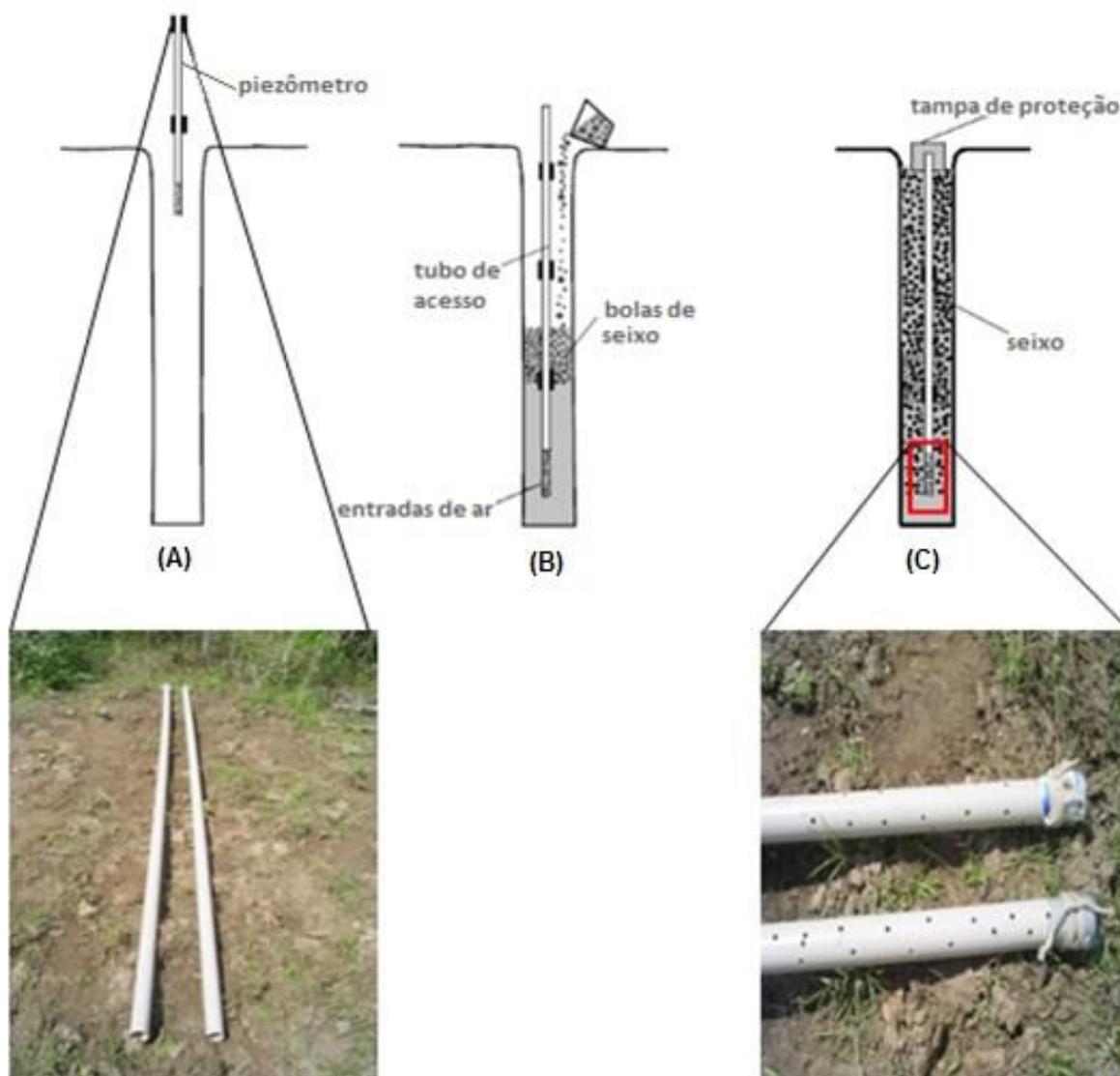


Figura 5. Piezômetros utilizados no experimento.
Fonte. Modificado de Rizzo (2007).

Os índices pluviométricos e os dados de cotas foram analisados no mesmo período em que se deu o monitoramento do lençol freático (jul./2010 a set./2011), para dar suporte ao monitoramento dos piezômetros. Nesse sentido, Coelho Netto e Avelar (1996) afirmam que as taxas de infiltração variam ao longo de um evento chuvoso, sendo assim, o lençol freático será alimentado pela água percolada da chuva, além da água do rio, por via lateral. Por isso, a importância das análises dos índices pluviométricos e pluviométricos, juntamente com as leituras dos piezômetros, pois, permite avaliar a eficiência da drenagem no solo.

Os dados secundários apresentados da Estação Pluviométrica de Manacapuru foram adquiridos por meio do site oficial da ANA

(Agência Nacional de Águas). De posse dos dados em milímetro (mm), foram gerados gráficos para visualizar o comportamento das chuvas mensais no período da pesquisa.

As cotas diárias do nível do rio Solimões, foram coletadas na Estação Fluviométrica de Manacapuru, administrada pela ANA, e obtidas através do sistema Hidroweb no site www.ana.gov.br. Foi considerado apenas o último dia de cada mês. A partir dessa análise, foi elaborado um gráfico para que visualizado fosse o comportamento do nível das cotas nesse período.

Resultados e discussão

Os valores obtidos das leituras nos piezômetros (Pz1, Pz2, Pz3 e Pz4) da primeira e segunda cicatriz de Terras Caidas, foram

correlacionados com dados secundários de cota da Estação Manacapuru, correspondente ao período já citado neste trabalho. Fusaro (2007) afirmou que as leituras de piezômetros instalados a montante de barragens de terra estão correlacionados com a cota do rio.

Os piezômetros Pz1 e Pz2 se mantiveram seco no período de jul./2010 a mar./2011. Em contrapartida, a partir de abr./2011 os níveis começaram a se elevar e novamente em jul./2011, os níveis piezométricos tornaram a descer.

Foi constatado, que apesar das diferenças de 6 cm de profundidade e 1 m de altura do nível topográfico do terreno, entre o Pz1 (7 m de altura) e o Pz2 (8 m de altura), não houve grande diferença na descida dos níveis piezométricos, conforme (Figura 6).

Ramos et al. (2009), indicaram que o lençol freático tende a acompanhar a topografia do terreno, assim como a dinâmica do lençol é diferente, conforme a proximidade com a margem do rio.

A leitura inicial do comportamento do Pz3 foi mais lenta em relação ao Pz4, até o mês de

ago./2010. Posteriormente, ambos piezômetros se mantiveram inoperante até mar./2011. A partir do mês de abr./2011, ambos os níveis piezométricos se elevaram, porém, o Pz3 encheu e esvaziou mais rápido que o Pz4. Isso deu-se ao fato da diferença de profundidade (Pz3 – 120 cm e o Pz4 – 297 cm) e distância da margem do rio (Pz3 – 15 m e o Pz4 – 30 m), de acordo com a (Figura 7). A longa distância do nível piezométrico da margem do rio tende a apresentar variação condicionada à precipitação local. Dessa forma, o lençol freático pode sofrer influências das chuvas que ocorrem em outros locais da bacia. Estudos conduzidos por Rizzo (2007), com uso de piezômetros na cidade de Poços de Caldas/MG, e Victorino et al. (2003) no Rio Grande do Sul, observaram que o aumento do nível piezométrico está condicionado ao período chuvoso de suas respectivas regiões.

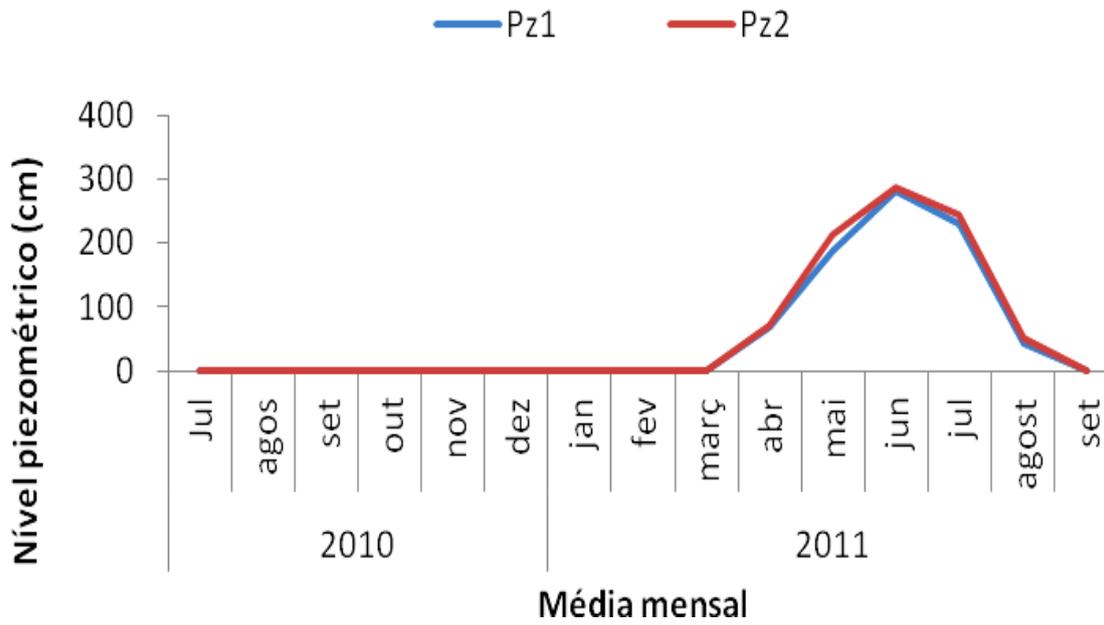


Figura 6. Média mensal do monitoramento piezométrico do Pz1 e Pz2 no período de 2010 a 2011 (nível do lençol freático).

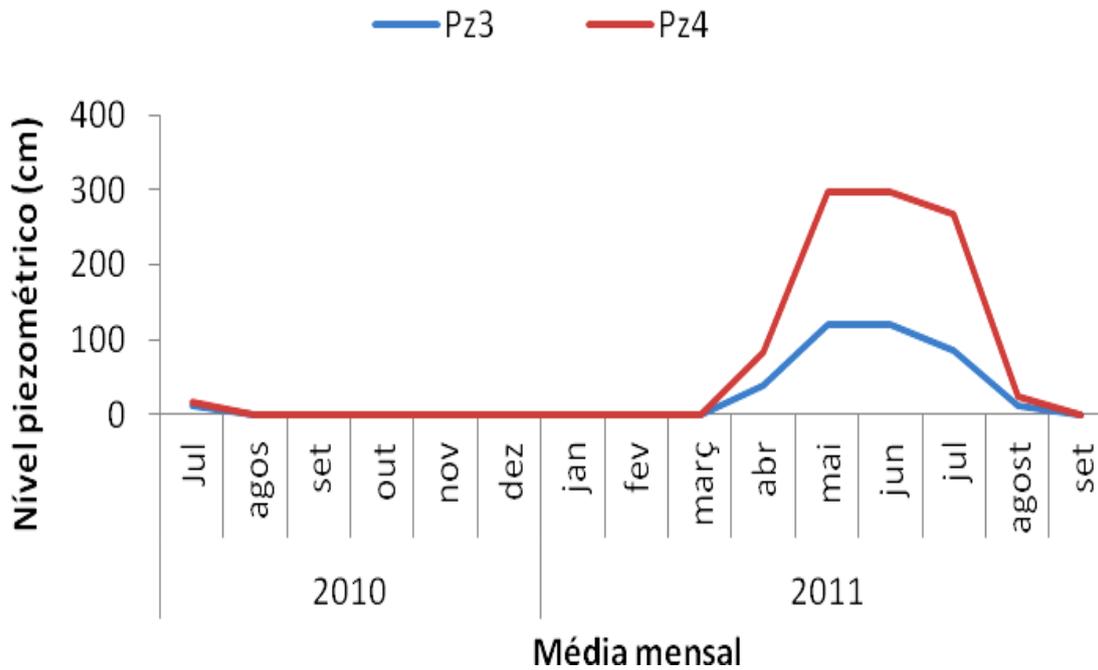


Figura 7. V Média mensal do monitoramento piezométrico do Pz3 e Pz4 no período de 2010 a 2011 (nível do lençol freático).

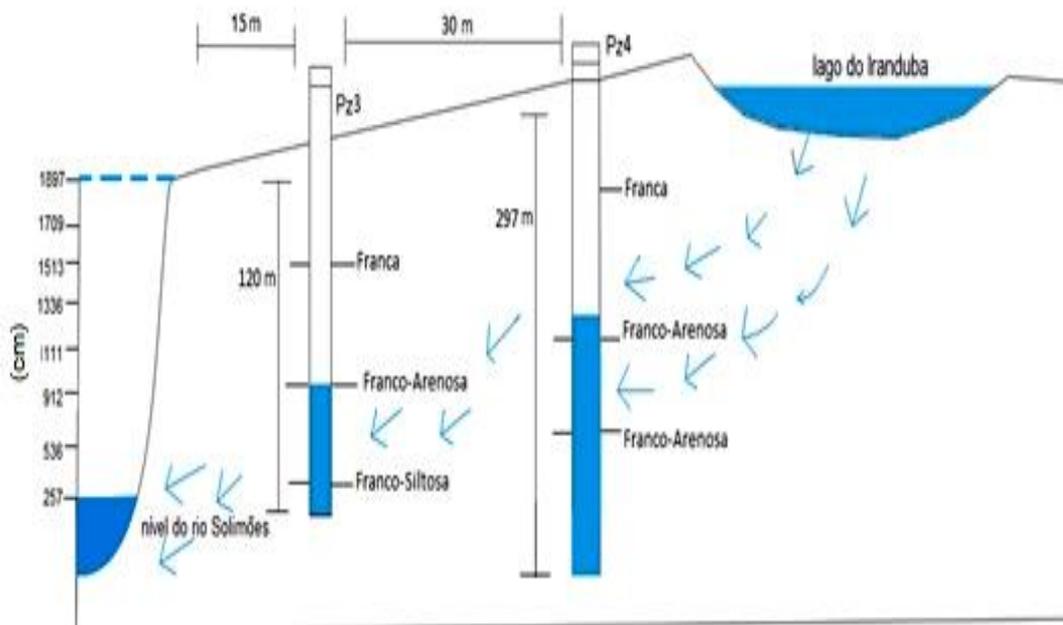


Figura 8. Modelo esquemático dos piezômetros Pz3 e Pz4 na área de estudo.
 Fonte. Org. do autor

Em relação às cotas do rio Solimões, foi observado que enquanto os níveis piezométricos (Pz1, Pz2, Pz3 e Pz4) baixavam lentamente e, até mesmo quando se encontravam inoperante, a cota do rio desceu rapidamente de julho a outubro de 2010, e subiu a partir do mês de novembro de 2010, apresentando sua maior cota em jun./2011, com 1897 cm (Figura 9). Logo depois, tornou a descer, sempre de forma mais rápida em relação aos níveis piezométricos (lençol freático).

De forma análoga, a variação dos níveis piezométricos (Pz1, Pz2, Pz3 e Pz4) foi inferior ao índice de cotas do rio Solimões, principalmente no período da vazante, pois à medida que o rio tende a baixar seu nível de água, não há um acompanhamento simultâneo do nível piezométrico, incidindo uma descida retardatária do lençol freático.

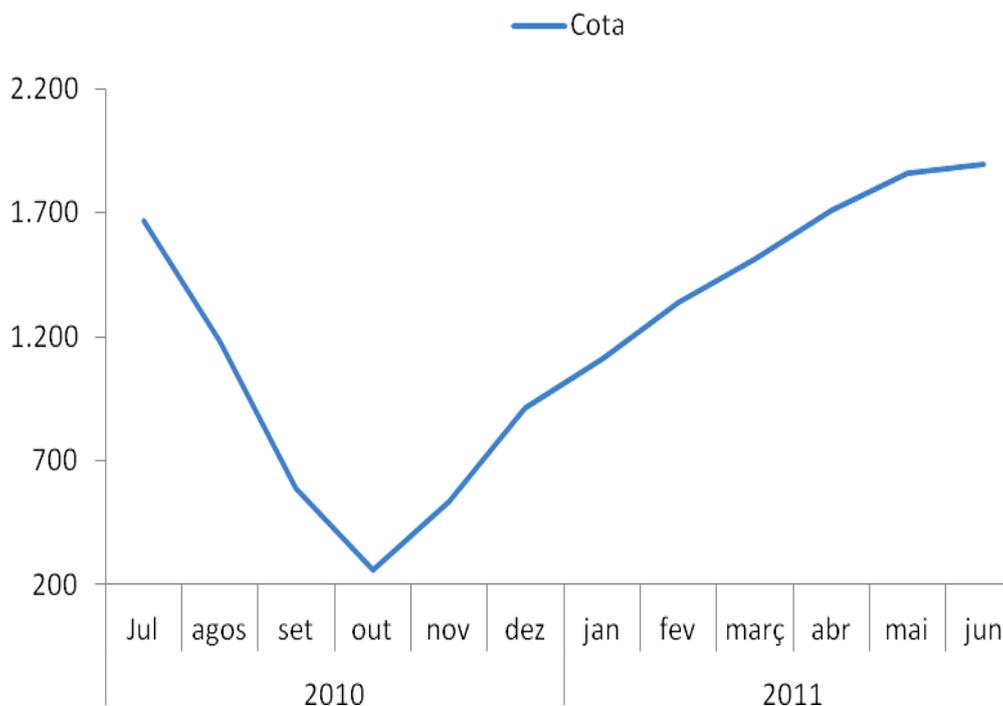


Figura 9. Dados de cota do último dia de cada mês (2010-2011) da Estação Fluviométrica de Manacapuru.

Outra importante observação foi constatada durante a análise dos dados pluviométricos e fluviométricos da Estação de Manacapuru, onde os índices pluviométricos não influenciam o regime fluviométrico do rio Solimões, estando de acordo com Junk (1983).

Neste sentido, durante o período (jul./2010 a set./2011) das respectivas análises (pluviometria e fluviometria), o mês de out./2010 apresentou a menor cota de 257 cm, correspondente à temporada de máxima seca (out./nov.) do rio Solimões, coincidindo com Filizola et al. (2006). Entretanto, assinalou o quarto menor índice pluviométrico (84,8 mm) no período monitorado, considerado abaixo do normal em comparação com a média de 125 mm, registrada por D'Antona et al. (2007), no mês de

outubro, correspondente ao período de 1972 a 2005 em Manacapuru, em sintonia com a temporada de transição convectiva (entre um regime e outro de chuva) na região Amazônica, segundo Fisch et al. (1999).

O mês de junho apontou o maior valor de cota destacado em 2011, com 1897 cm, temporada de cheia (mai./jun.) do rio Solimões, também comentado por Filizola et al. (2006). No entanto, registrou o quarto mês menos chuvoso durante o ano de 2011, com 107,8 mm (Figura 10), com destaque para o mês de ago./2011, o que apresentou o menor valor pluviométrico registrado, também em coordenação com o período menos chuvoso na região Amazônica (maio a setembro), já discutido por Fisch et al. (1999).

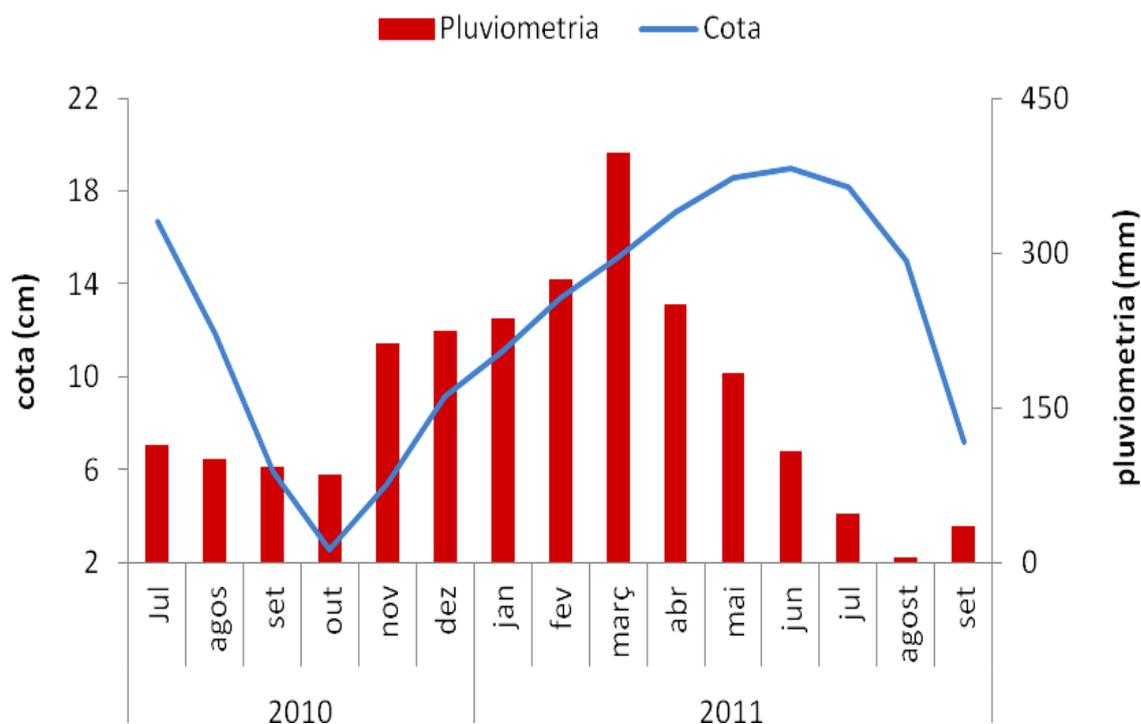


Figura 10. Totais mensais de pluviometria e cotas fluviométricas do último dia de cada mês, 2010-2011.

Fonte - ANA/INMET, Estação de Manacapuru.

Conclusões

O nível piezométrico não acompanha de forma equivalente a descida do nível do rio, ocorrendo uma descida retardatária do lençol freático, visto que todos os vazios dos poros ficam preenchidos e por sua vez, saturados, devido os atributos naturais do Neossolo Flúvico da área de estudo (textura Franco-Arenosa, pouco coesa e grande quantidade de areia muito fina) que acarreta numa redução dos parâmetros de resistência deste solo, causando mudança mecânica e física, além de projetar o aumento do peso dos materiais das margens, deixando a superfície propensa ao processo de Terras Caídas. Isso porque, a água atua tanto na redução da resistência ao cisalhamento, por receber parte dos esforços internos, quanto na diminuição da coesão, matriz de sucção e na ruptura da cimentação entre as partículas do solo.

Além disso, observou-se que o nível piezométrico tende acompanhar a topografia do terreno durante o período da vazante (outubro e novembro). Onde os perfis dos barrancos ficam totalmente emersos, sendo submetidos a atividades convectivas (chuvas) na área de estudo, facilitando o desencadeamento do Deslizamento Rotacional.

Sob condições pluviométricas mais intensas, apresentadas durante o período mais chuvoso (fev./mar. de 2011), foi observada reduzida mobilização de material das margens, enquanto o período de baixas condições pluviométricas (ago./set. de 2011) registrou-se grande mobilização de solo. Isso pode ser explicado pelo fato de que nos meses de fevereiro e março de 2011, a cota do rio Solimões encontrava-se no período de elevação, momento em que o barranco estava parcialmente saturado com água e sob a atuação do Movimento de Massa (Queda em bloco). Em contrapartida, o mês de set./2011, a cota do rio encontrava-se a jusante do barranco, momento em que o pacote sedimentar estava totalmente emerso, sem nenhuma sustentação da pressão da água do rio.

Apesar do mês de ago./2011, ter apresentado o menor índice pluviométrico na área de estudo, foi observado que ele estar entre os meses (maio a agosto), em que o nível da cota do rio se encontrava bem próximo à superfície do solo, período em que o pacote sedimentar estava apoiado pela atuação da pressão da água do rio, não havendo ocorrência nesse período de Movimentos de Massa.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Deus, fonte da vida e da graça, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio da bolsa de pesquisa.

Referências

- Amaral, C.P. Deslizamentos em Encostas no Rio de Janeiro: Inventário, Condicionantes Geológicos e Programa para Redução dos Acidentes Associados. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.
- Amaral, C.; Feijó, L.R. Aspectos ambientais dos deslizamentos em áreas urbanas: Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B, da. (Org.). Impactos ambientais urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- Agência Nacional de Águas – ANA. Disponível: <http://www.ana.gov.br/>. Acesso: 08 de mar. 2011.
- Bohn, C.C. USDA – United States Department of Agriculture, 2001. Guide for fabricating and installing shallow ground water observation Wells. Forest Service Research Note RMRS-RN-9. Rocky Mountain Research Station. Disponível: http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_rm009.pdf. Acesso: 10 de mar. de 2011.
- Carvalho, J. A. L., 2006. Terras caídas e consequências sociais: Costa do Miracouera – Paraná da Trindade, Município de Itacoatiara – AM, Brasil. Dissertação (Mestrado em Sociedade e Cultura na Amazônia). Manaus-AM, Faculdade de Ciências Humanas, Universidade Federal do Amazonas.
- Carneiro, D. S., 2009. Morfodinâmica fluvial do rio Solimões, trecho Tabatinga a Benjamin Constant-AM e suas implicações para o ordenamento territorial. Dissertação (Mestrado em Geografia). Niterói- RJ, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense.
- Charlton, Ro. Fundamentals of fluvial geomorphology. Routledge, 2008.
- Coelho Netto, A.L.; Avelar, A.S., 1996. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia, in: Guerra, A.J.T.; Cunha, S. B. (Orgs.), Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações. Bertrand Brasil, 2ª Ed., Rio de Janeiro, p. 343.
- D'Antona, R.J.G.; Reis, N.J.; Maia, A.M.M.; Rosa, S.F.; Nava, D.B., 2007. Projeto Materiais de Construção na Área Manacapuru – Iranduba – Manaus – Careiro: Domínio Baixo Solimões. Informe de Recursos Minerais, Rochas e Minerais Industriais. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Manaus. p. 15.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. p. 225-238.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. p. 205.
- Fernandes, N.F.; Amaral, C.P. Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A.J.T.; Cunha, S. B. (Orgs.). Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- Filizola, N.; Silva, A.V.; Santos, A.M.C. dos; Oliveira, M.A., 2006. Cheias e Secas na Amazônia: breve abordagem de um contraste na maior bacia hidrográfica do globo. Revista T&C Amazônia, ano IV. n. 9, p. 42-49.
- Fisch. G.; Marengo, J.A.; Nobre, C.A. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 1999. Clima da Amazônia. Disponível: <http://www.cptec.inpe.br/~rclima/boletim/cliesp10a/fisch.pdf>. Acesso: 19 jan. 2011.
- Fusaro, T.C., 2007. Estabelecimento estatístico de valores de controle para a instrumentação de barragens de terra: estudo de casos das barragens de Emborcação e Piau. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica). Ouro Preto – MG, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Freitas, F.T., 2009. Análise multitemporal da modalidade erosiva do tipo “Terra Caída” na região do Médio Solimões – Coari/AM. Dissertação (Mestrado em Geografia). Manaus-AM, Faculdade de Ciências Humanas, Universidade Federal do Amazonas.
- Gonçalves, L.F.H.; Guera, A.J.T. Movimentos de massa na cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro): Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B, da. (Orgs.). Impactos ambientais urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- Guerra, A.T. Dicionário geológico-geomorfológico. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.
- Junk, W.J., 1983. As águas da região Amazônica, in: Salati, E.; Junk, W.J.; Shubart, H.O.; Oliveira, A.E. (Orgs.), Amazônia;

- desenvolvimento, integração, ecologia. Brasiliense/CNPq, São Paulo. p. 45-100.
- Lima, M.S.B., 1998. Movimentos de Massa nos Barrancos do Rio Acre e implicações sócio-econômicas na área urbana de Rio Branco/Acre. Dissertação (Mestrado em Geografia). Florianópolis, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Magalhães, R.C., 2011. As características físicas, químicas, mineralógicas e hidráulicas do solo e sua susceptibilidade ao processo de Terras Caídas: comunidade do Divino Espírito Santo – Iranduba/AM. Dissertação (Mestrado em geografia). Manaus – AM, Universidade Federal do Amazonas.
- Molinari, C.D. Dinâmica erosiva em cicatrizes de movimento de massa – Presidente Figueiredo (Amazonas). Dissertação (Mestrado em Geografia), Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- Moreira, E., 1958. Amazônia: o conceito e a paisagem, CNP-INPA, Belém.
- Ramos, G.J.A.; Dias, H.C.T.; Maffia, V.P.; Silva, W.A. de S., 2009. Monitoramento do nível do lençol freático do Rio Gualaxo do Norte, Mariana, MG. in. Seminário de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Paraíba do sul: recuperação de áreas degradadas, serviços ambientais e sustentabilidade. II, Anais... Taubaté, São Paulo: IPABHI. p.633.
- Reichardt, K., 1990. A água em sistemas agrícolas. Manole, São Paulo. p. 128-153.
- Ritter, D.F.; Kochel, R.C.; Miller, J.R., 2002. Process Geomorphology, 4. ed. Mc Graw Hill, New York.
- Rizzo, S.M., 2007. Instrumentação e Monitoramento das Escavações da Área de Rejeito de Bauxita ARB. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Rio de Janeiro – RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Selby, M.J. Hillslope Materials & Processes. New York: Oxford University Press, 1990.
- Sioli, H. Amazônia - Fundamentos de ecologia da maior região de florestas tropicais. Petrópolis: Vozes, 1985.
- Sternberg, H.O'.R., 1998. A água e o homem na várzea do Careiro, Museu Paraense Emilio Gueldi, Belém.
- Victorino, D.R.; Gehling, W.Y.Y.; Ramires, M.C.P., 2003. Piezômetro e Medidor de nível d'água em pistas experimentais da UFRGS. in. Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica - CRICTEC, XIII, Anais... Itajaí-SC. p. 04.