

## Caracterização geológico-geotécnica dos sedimentos marginais da comunidade de São Braz, município de Porto de Moz – PA e sua relação com suscetibilidade à erosão fluvial (terras caídas).

Iris Celeste Nascimento Bandeira <sup>1</sup>

Patrícia Mara Lage Simões <sup>2</sup>

Homero Reis de Melo Junior <sup>3</sup>

**Resumo** - Na região Amazônica, além dos processos de inundação e deslizamentos existem os processos erosivos, principalmente a erosão fluvial, conhecida na região como Terras Caídas. Este processo é muito temido pela população, uma vez que causa escorregamentos e solapamentos de grandes proporções que atingem áreas muitas vezes ocupadas. Um exemplo deste evento ocorreu na comunidade de São Braz, localizada no município de Porto de Moz, estado do Pará, na margem direita do rio Amazonas, onde uma área de aproximadamente 400m de comprimento foi arrastada pelo rio Amazonas, levando 14 edificações e deixando 31 pessoas desalojadas. Devido esta ocorrência a CPRM avaliou o grau de risco da área ao entorno, assim como realizou uma pesquisa sobre as características geológicas geotécnicas dos sedimentos marginais da referida comunidade, a fim de iniciar o entendimento sobre este processo. Com base em observações de campo e análise granulométrica verificou-se que este sedimento marginal possui uma textura predominantemente siltico argilosa, onde as amostragens de difração de raio-x mostraram grandes quantidades de quartzo, e porções significativas de muscovita, clorita, minerais de oxido de ferro e plagioclásio sem presença de argilo-minerais expansivos. Ou seja, mesmo não tendo argilas expansivas, tais sedimentos apresentam baixa condutividade ( $7,41 \times 10^{-06}$  cm/s), pouca coesão e um fator alto de erodibilidade (k) no valor de 0,070572 t.ha.h/há.Mj.mm, o que propicia uma alta suscetibilidade a processos erosivos.

**Abstract** - In the Amazon region, besides flooding and land sliding processes there are also erosional processes, mainly fluvial erosion locally known as *Terras Caídas*. The population dreads this process as it causes landslides and undermining of great proportions that sometimes reach populated areas. An example of such process took place in the community named São Braz, located in the municipality of Porto de Moz, in the state of Pará, on the right margin of the Amazon river where an area of about 400m in length has been dragged by the river carrying away 14 buildings and dislodging 31 people. Due to this event, CPRM/ Company for Research of Mineral Resources carried out a risk assessment on the surrounding area as well as a research on the geological and geotechnical features of the marginal sediments in the area of the community mentioned above, in order to understand this process. Based on field observations and grain size analysis, it has been verified that the marginal sediments are predominantly silty clay sediments and the x-ray diffraction analysis of samples have shown great amounts of quartz and significant portions of muscovite, chlorite, iron oxide minerals and plagioclase with absence of expansive clay minerals. It means that even though there is no expansive clay, such sediments have low conductivity ( $7,41 \times 10^{-06}$  cm/s), little cohesion and a high soil erodibility factor (k) of 0,070572 t.ha.h/há.Mj.mm, propitiating a high susceptibility to erosive processes.

**Palavras-Chave** – Erosão fluvial; Terras Caídas; Sedimentos Marginais; Geotecnia.

<sup>1</sup> Geóloga, Mestre, Serviço Geológico do Brasil, (51) 91-981636365, iris.bandeira@cprm.gov.br

<sup>2</sup> Geografa, Doutora, Serviço Geológico do Brasil, (51) 31-94205423, patricia.simoaes@cprm.gov.br

<sup>3</sup> Geólogo, Mestre, Serviço Geológico do Brasil, (51) 91-991901419, homero.melo@cprm.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

Inúmeros municípios da região Amazônica são atingidos por desastres decorrentes de processos de erosão fluvial, que causam escorregamento, e solapamentos de grandes proporções nas margens dos rios. Este processo regionalmente denominado de Terras Caídas é muito temido na região devido sua intensidade, capacidade de transformação da paisagem e pelos transtornos que causam aos moradores ribeirinhos.

Segundo Bandeira et al (2018), baseado em dados de setorização de risco da CPRM dos anos de 2011 a 2016, foram identificados 236 áreas de risco, onde mais de 25.000 pessoas vivem sob o risco de sofrerem danos físicos e materiais, devido a esse processo erosivo. Além deste trabalho existem muitos casos de terras caídas na Amazônia, como o da Costa do Miracauera – Paraná da Trindade, Município de Itacoatiara – AM (CARVALHO, 2006); Costa da Águia, Parintins - Am (CARVALHO et al, 2009); Médio Solimões/Coari-Amazonas (FREITAS, F. T. DE; ALBUQUERQUE, 2012); Costa do Arapapá- margem esquerda rio Solimões; comunidade de São Carlos – Médio Madeira/RO (LABADESSA, 2011), Santarém-PA, entre outros que não foram publicados e nem divulgados.

Além destes lugares, em agosto de 2016, a comunidade de São Braz, no município de Porto de Moz, também foi atingida por um evento de Terras Caídas, onde uma grande massa de terra solapou em direção ao rio, levando 14 edificações e deixando aproximadamente 31 pessoas desalojadas. Devido este evento, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM foi solicitada pela Defesa Civil Estadual a realizar a setorização de risco neste local, para avaliar se o entorno da área atingida pela erosão também estava sob risco. Desta forma, em setembro de 2017 foi executada a avaliação de risco acompanhada de uma pesquisa mais detalhada sobre os principais fatores que podem condicionar o processo de erosão fluvial (Terras Caídas) nas margens do rio Amazonas.

Por tanto, este trabalho, direcionado pela CPRM, tem o objetivo de mostrar quais são as características geológicas geotécnicas do terreno que podem contribuir para o processo erosivo na comunidade Chico do Ponto no município de Porto de Moz.

## 2. METODOLOGIA

Para análise geológico-geotécnica da margem do rio realizou-se observações de campo, análise granulométrica, difração de raio-x, determinação de condutividade hidráulica e cálculo do fator de erodibilidade.

A análise granulométrica foi feita pelo método espalhamento de laser e a difração de raio – x foi realizada em Difratômetro de raios-x. Ambas análises foram realizadas pelo laboratório da CPRM de Manaus em novembro de 2017.

Para a medida da condutividade hidráulica utilizou-se o método do infiltromêtro de anéis denominado *open end hole*. Onde se cravou um tubo de PVC de 0,1m de diâmetro com 0,47m de comprimento para impedir a dispersão lateral da água que foi inserida (Figura 1). Tomou-se a medida do parâmetro H (distância entre o topo do tubo e o fundo do furo, no caso 0,47m). Em seguida preencheu-se o tubo com água e mediu-se a distância inicial entre o topo e o nível da água (M) resultando na altura da coluna d'água inicial ( $h_0 = H - M_i$ ). E durante o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) de 1 minuto media-se a nova posição da lâmina d'água (Mf) obtendo-se a altura da coluna d'água final ( $h = H - M_f$ ). Esses valores foram aplicados na seguinte fórmula:  $k_v = 2,303 \times (R/4\Delta t) \times [\log(h_0/h)]$

Onde, R = raio do tubo,  $h_0$  = coluna d'água inicial, h = coluna d'água final,  $\Delta t$  = tempo decorrido para o rebaixamento entre  $h_0$  e h.

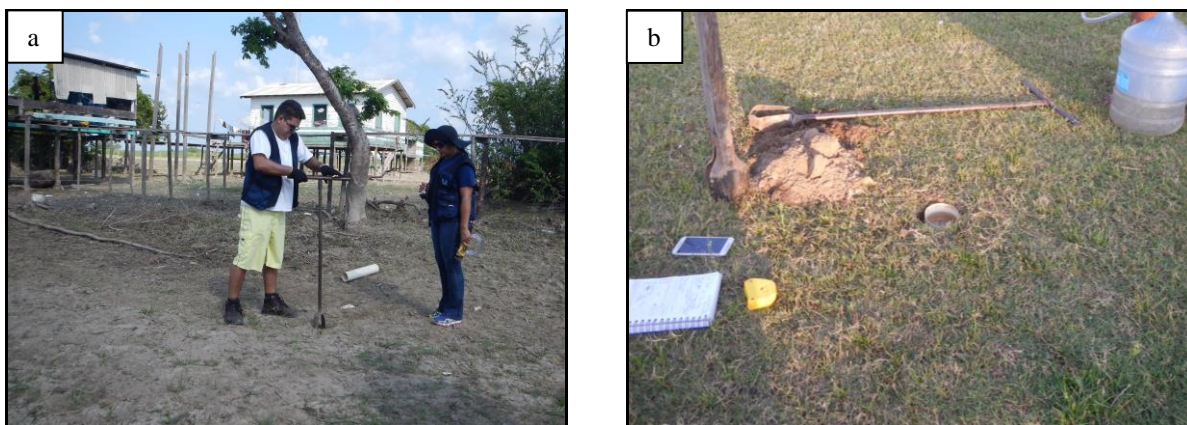


Figura 1 a e b. Fotografias retratando o trabalho de campo para obtenção da condutividade hidráulica dos sedimentos marginais da comunidade São Braz.

O fator erodibilidade do solo (K) foi calculado pelo método indireto, para cada sub-horizonte, através da seguinte expressão de Bouyoucos (1935): Fator  $K = ((\% \text{ areia} + \% \text{ silte}) / (\% \text{ argila}))/100$  (4) onde: Fator K representou o fator erodibilidade do solo de cada sub-horizonte (t.ha.h/ ha.MJ.mm) e % areia, % silte e % argila representaram as porcentagens das respectivas frações para cada sub-horizonte. Assim, foi calculado o fator K para cada horizonte (A e B) através da média aritmética entre os valores dos sub-horizontes.

## 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área de estudo localiza-se na vila Chico do Ponto, comunidade São Braz, á 85 km quilômetros da sede do município de Porto de Moz (Figura 2), no estado do Pará, na margem direita do rio Amazonas (Figura 3).

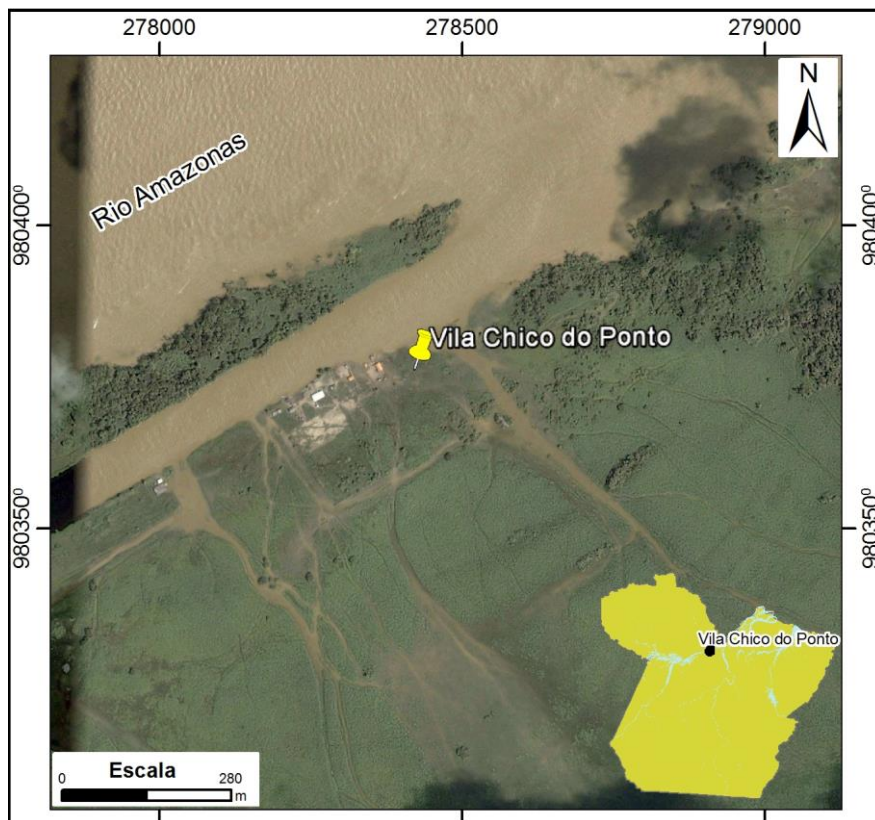


Figura 2. Mapa de localização da vila Chico do Ponto, onde ocorreu o processo de erosão fluvial (Terras Caídas).



Figura 3. Comunidade de São Braz após o evento de Terras Caídas. Fonte: Pará (2016).

Na área de estudo predomina um clima equatorial úmido, onde as maiores intensidades das chuvas ocorrem preferencialmente nos meses de janeiro a junho, sendo os meses mais chuvosos março a abril e julho a dezembro os meses menos chuvosos (Figura 4). Esta informação torna-se importante, uma vez que segundo Rodrigues (2014) o volume de água que infiltra nos solos durante os meses chuvosos e que se acumula em função das elevadas permeabilidade e porosidade, torna as estruturas das planícies e dos terraços mais pesadas e as predispõe a movimentação. Ainda segundo Carvalho (2006) a desagregação de material ocorre mais no período de maiores precipitações e cheia do rio, quando há um aumento da vazão e da pressão hidráulica.

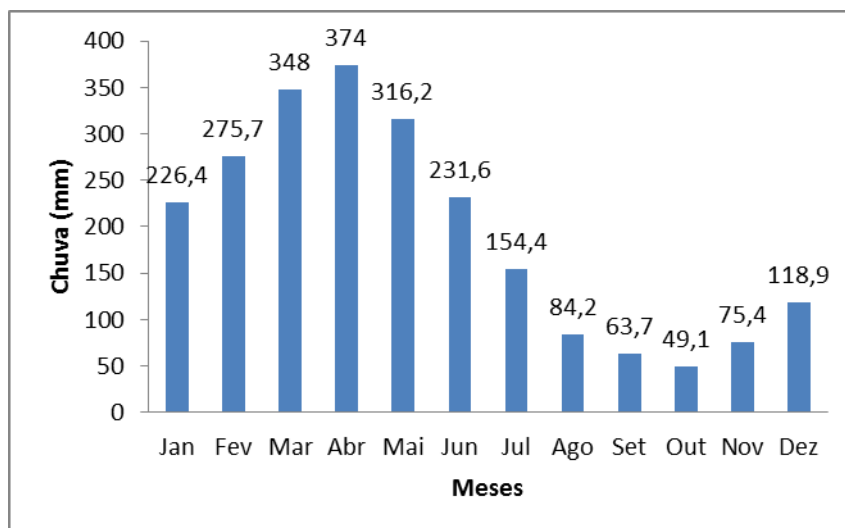


Figura 4. Gráfico de chuva elaborado a partir da estação pluviométrica Porto de Moz. Dados de chuva extraídos do banco de dados da ANA (ANA, 2017) no período entre 1968 a 1976.

Geologicamente a região insere-se na bacia sedimentar do Amazonas, especificamente nos sedimentos aluvionares depositados pelo rio.

#### 4. RISCO DE EROÇÃO FLUVIAL (TERRAS CAÍDAS) NA COMUNIDADE SÃO BRAZ

Segundo o relatório de ocorrência do Corpo de bombeiros do estado do Pará (2016), em agosto de 2016, houve um evento de Terras Caídas na Comunidade São Braz, onde uma massa de terra (área de 300m de fundo por 1000m de frente) solapou, deixando submersas 14 edificações (seis residências unifamiliares, uma escola, uma igreja, uma casa de apoio, um salão comunitário e quatro queijarias) que foram levadas pela correnteza do rio (Figura 5). Em decorrência deste processo muitos pertences foram perdidos e parte da comunidade, em poucas horas, sumiu em meios às águas. Não houve casos de morte ou pessoas feridas, somente a perda de bens materiais e 31 pessoas desalojadas (Figura 6).

Devido este evento tornou-se necessário avaliar o grau de risco da área. Desta forma, a CPRM em 2017 constatou que a comunidade Chico do Ponto apresenta um risco alto a erosão fluvial, uma vez que possui aproximadamente dez casas de madeira (Figura 7) sobre palafitas instaladas numa várzea constituída por um solo pouco coeso, muito suscetível a processos erosivos e que sazonalmente é inundada, o que proporciona além do risco de erosão, o risco de inundação.





Figura 5. Casa de madeira dentro da água devido ter sido levada por processo de solapamento de margem.  
Fonte: Pará (2016).



Figura 6. Casa de madeira, sobre palafitas, sendo desmontada, para que não seja mais ocupada, uma vez que apresenta risco muito alto de ser atingida pela erosão fluvial. Fonte: Pará (2016).



Figura 7. Moradias de madeira instaladas num terreno muito suscetível a erosão fluvial, comunidade São Braz.

## 5. RESULTADOS

Na comunidade São Braz, verificou-se que o talude marginal com inclinação de aproximadamente 80° e altura de 3m, fica totalmente submerso no período da cheia do rio Amazonas (dezembro a julho), deixando toda a área da comunidade inundada. No período de vazante do rio (agosto a novembro) este talude fica emerso por 1,6m.

Durante a vazante do rio coletou-se uma amostra de material da margem a uma profundidade de 0,5m, onde a análise granulométrica por laser identificou 12,4% de grãos de argila, 1% de areia fina e 86,5% de silte, caracterizando assim um sedimento com textura siltico argilosa (Figura 8 e 9).



Figura 8. Talude marginal constituído de sedimentos siltico argiloso mosqueado não consolidado, localizado na comunidade São Braz, município de Porto de Moz-Pará.

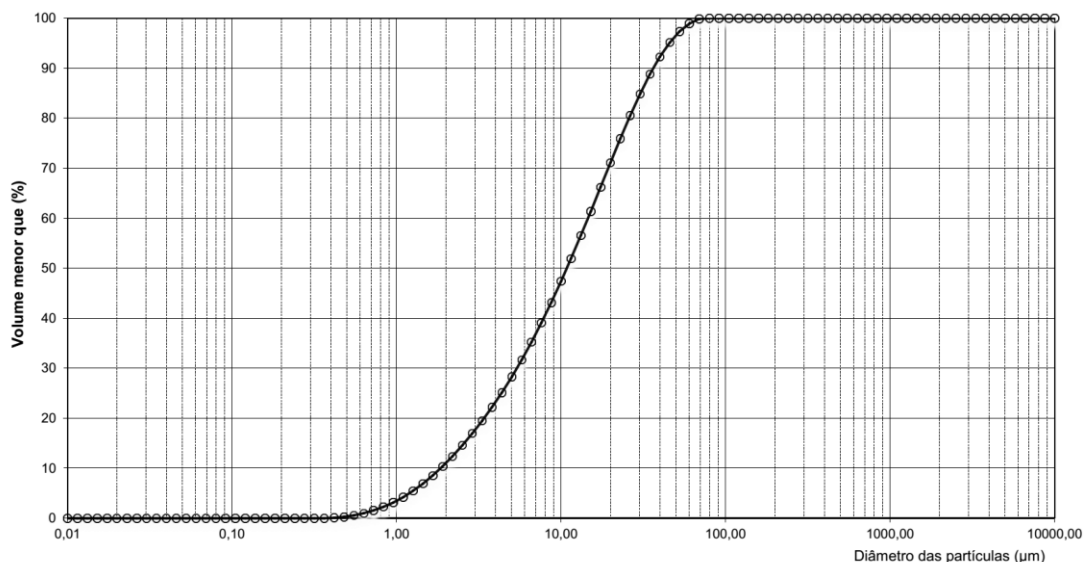


Figura 9. Curva Granulométrica dos sedimentos marginais do rio Amazonas, na comunidade São Braz.  
Fonte: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Laboratório de Análises Mineraias - LAMIN Manaus.

A difração de raio x, permitiu verificar que além da grande quantidade de quartzo, e porções significativas de muscovita já visualizadas em lâmina, os sedimentos marginais da comunidade São Braz, apresentam clorita e plagioclásio (Figura 10) sem presença de argilos minerais expansivos.

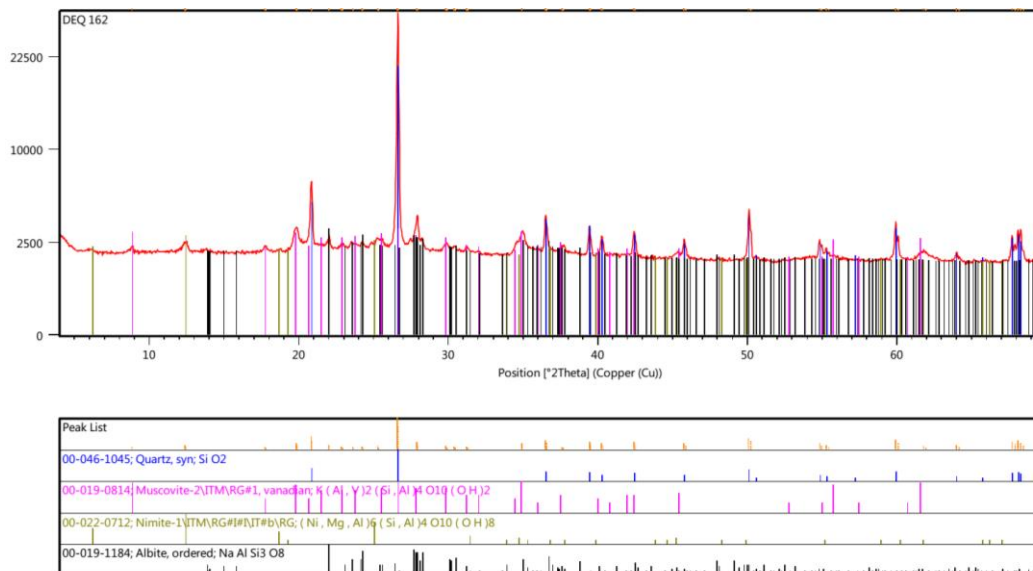


Figura 10. Perfil da difração raio – X da amostra coletada na margem direita do rio Amazonas - Comunidade São Braz. Fonte: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Laboratório de Análises Mineraias - LAMIN Manaus.

A condutividade hidráulica identificada para este sedimento foi de  $7,41 \times 10^{-06}$  cm/s, valor diretamente relacionado ao tamanho e seleção dos grãos de silte e uma matriz argilosa. Isto por que segundo Fetter (2001) quanto menor o grão, maior a área de superfície contatada pela água, o que aumenta a resistência à fricção ao fluxo, reduzindo assim a permeabilidade intrínseca, ou seja, à medida que o grão aumenta a permeabilidade também se eleva devido o aumento na abertura dos poros.

Os resultado dos cálculos do fator de erodibilidade (k) mostraram um valor de 0,070572 t.ha.h/há.Mj.mm, considerado alto conforme Foster et al. (1981).

## 6. CONCLUSÕES

As análises realizadas no talude marginal da comunidade de São Braz mostraram que o terreno é composto predominantemente por um material fino de textura siltico-argilosa, pouco coeso, de baixa permeabilidade e sem presença de minerais expansivos, porém com alta erodibilidade.

Esta condição de erodibilidade pode estar relacionada à grande quantidade de silte, uma vez que, mesmo com o aspecto da argila, no afloramento, tem pouca viscosidade ou plasticidade e, portanto não pode ser compactado em uma massa tão coesa como a argila. Assim uma massa úmida e compactada de silte poderá apresentar fissuras pela falta de plasticidade e ser facilmente levada pela correnteza. Ou ser levada lentamente por processo de corrosão (abrasão) quando existir um atrito mecânico do material das margens com as partículas existentes na água, que ao se chocarem provocam um desgaste, removendo as camadas intemperizadas, pouco consolidadas, caracterizando assim um terreno com alta suscetibilidade a erosão.

Observa-se que este trabalho mostra que o talude marginal tem alta suscetibilidade a erosão e que pode ser facilmente erodido por processo de corrosão/abrasão devido à correnteza do rio. Mas não apresenta elementos suficientes para explicar o processo de solapamento de grandes massas de terra, como o que ocorreu na comunidade de São Braz. Sabe-se que o terreno é pouco coeso, mas não se tem conhecimento do elemento desencadeador do solapamento. Desta forma, sugere-se que sejam realizados estudos sedimentológicos mais detalhados, como avaliação de um perfil mais profundo pra verificar a sequência estratigráfica do depósito aluvionar, observando diferenças litológicas. Análise de perfis sísmicos para observar tanto a questão da sedimentação, quanto a presença ou não de falhas. Testes geotécnicos mais específicos, como de resistência (limite de ruptura), saturação do solo e pressão hidrostática (poro pressão na cheia e vazante do rio). Assim como uma análise geofísica-geotécnica para avaliar a erosão interna e o fluxo interno da água no terreno.



## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CPRM pelo fomento à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- BANDEIRA, I. C.N.; ADAMY, A.; ANDRETTA, E. R. COSTA DA CONCEIÇÃO, R. A. ; ANDRADE, M. M. N. Terras caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon?. *Environmental Earth Sciences*, v. 77, p. 1-16, 2018.
- BOUYOUCOS, G. W. (1935). The clay ration as a criterion as suscetibility of soils to erosion. *Jour. Amer. Soc. Agron.*, v. 27. 738 741 p.
- CARVALHO, J.A.L.: Terras caídas e consequências sociais: Costa do Miracauera – Paraná da Trindade, Município de Itacoatiara – AM, Brasil. M.S. Mestrado em Sociedade e Cultura na Amazônia – Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 141pp., 2006
- Carvalho, J.A.L.; Cunha, S. B.; Igreja, H.L.S.; Carneiro, D. de S.: Episódio de Terras Caídas no Rio Amazonas: caso Costa da Águia, Parintins–Am. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande. Anais... Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, available at: <<http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios>>, 2009.
- Fetter, C. W. Properties of aquifers In: *Applied hydrogeology*. 4th ed. pp 84-88. 2001.
- FOSTER, G. R. et al. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *J. Soil Water Conserv.*, Baltimore, v.36, p.355-359, 1981.
- FREITAS, F. T. de; Albuquerque, A. R.: Análise temporal sobre as "Terras Caídas" no médio solimões/coari (AM). *Mercator*, Fortaleza, v. 11, n. 25, 129-140pp., 2012.
- LABADESSA, A. S. "Terras Caídas", as causas naturais e antrópicas: uma ocorrência na comunidade de São Carlos – Médio Madeira/RO. *Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia Maringá*, v. 3, n. 1, p. 45-61. available at: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geoinga/article/view/18015/9784>, 2011. ISSN 2175-862X.
- PARÁ 2016. Corpo de Bombeiros. Relatório de ocorrência.
- Rodrigues, F. G. de S.: O conceito de "terras caídas" e a caracterização morfodinâmica fluvial do alto solimões. *Revista Geonordeste*, São Cristovão, Ano XXV, n. 3, 04-23pp., 2014.