

## **ENSINO DA EVOLUÇÃO DE VOÇOROCAS EM AREIAS NO APARATO DE HIDROLOGIA E CHUVA (AHC)**

Julio César Bizarreta Ortega<sup>55</sup>  
Edwin Iván Namicela Gualán<sup>56</sup>

**Eixo Temático IV:** Dinâmica do Sistema Terra, geotecnologias e ensino de geografia Física

### **Resumo**

Regiões na América Latina e Brasil possuem problemas vinculados com a erosão de solos, principalmente as voçorocas, que atuam com maior intensidade em materiais com característica erosiva como os areais. No ensino das disciplinas da área de geociências e geotecnia, as visitas de campo mostram os rasgos dos processos erosivos, mas não podem sua evolução. Uma forma de potencializar o ensino é mediante a construção de modelos físicos que mostrem a evolução de uma voçoroca em um período curto. O presente trabalho propõe uma metodologia para a realização de um experimento para uma aula prática sobre voçorocas usando o aparato de hidrologia e chuva (AHC) da UNILA. O mencionado aparato consiste em um sistema fechado de um canal inclinado com simuladores de chuva na parte superior. A metodologia propõe a construção de um modelo físico de uma margem da voçoroca, representada por um talude íngreme e terraço de baixa inclinação, construído com areia compactada. O modelo permite simular os processos erosivos originado por chuvas de diferente intensidade, fluxos superficiais e subsuperficiais, por separado ou de forma conjunta, mostrando um potencial experimento para o ensino de voçorocas.

**Palavras-chave:** ensino de geografia, aparato de hidrologia e chuva; experimentos de voçorocas.

---

<sup>55</sup> Professor. ILATIT-UNILA. julio.ortega@unila.edu.br.

<sup>56</sup> Discente. ILATIT-UNILA. edwin.gualan@aluno.unila.edu.br.



## **Introdução**

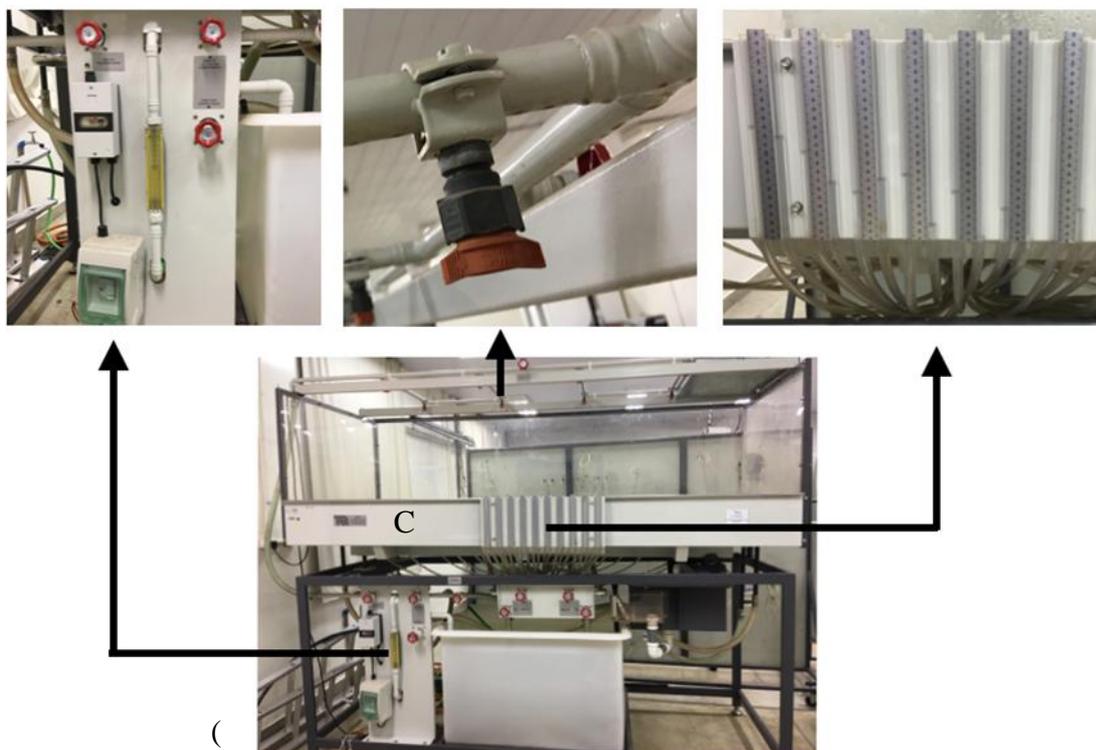
No nordeste do Paraná, tem a presença do arenito Caiuá, o solo residual de esta rocha sedimentar apresenta uma composição arenosa que é facilmente erodida quando desprotegida de cobertura vegetal. Produto disso, na mencionada região se apresentam diversos casos de erosão ao nível de voçorocas, como em Paranavaí, Umuarama e Cianorte (Mendonça 1993), e Loanda (Souza 2016).

A erosão de voçorocas é abordada também em disciplinas afins da geografia física como a disciplina de geologia aplicada a engenharia civil e geotecnia ambiental na UNILA. Processos de fluxo superficial e subsuperficial como fatores responsáveis da evolução de uma voçoroca resulta de difícil aprendizado unicamente mediante aulas explicativas, pelo que os experimentos em modelos reduzidos de voçoroca podem ajudar a melhorar a compreensão do fenômeno. O objetivo do presente trabalho é mostrar os procedimentos didáticos utilizados para no ensino da erosão de solos arenosos baixo a ação de precipitações, fluxo de água superficial e subsuperficial.

### **Aparato de hidrologia e chuva (AHC)**

O aparato de hidrologia e chuva é utilizado pelos diferentes cursos da UNILA, onde se incluem áreas de conhecimento como a geografia física, hidrologia e geotecnia. O equipamento foi construído visando facilitar o estudo dos princípios da hidrologia, chuvas com variada intensidade, fluxo de água superficial e subsuperficial no terreno (areia), e movimento de água em rios (TECQUIPMENT ACADEMIA, S/A). O equipamento fabricado pela TECQUIPMENT ACADEMIA, está formado por um sistema fechado de um canal metálico com uma inclinação variável até 10°. Na parte da base do mencionado canal existem dez piezômetros. Adjacente ao canal existem dois reservatórios, cada um deles com tubulações verticais de alimentação e drenagem da água, com isso é possível manter um nível de água constante em cada reservatório. Os reservatórios e a rede de distribuição dos aspersores estão conectados a uma bomba, a mesma que puxa água por sucção de um tanque localizado na parte inferior do aparato. Os sistemas de drenagem dos reservatórios também devem estar abertos para conduzir as águas ao tanque.

**Figura 1:** Detalhes do Aparato de Hidrologia (a) Aparato de hidrologia, (b) painel de controle e fonte, (c) Simulador de chuva, (d) Piezômetros.



Fonte: os autores

## Metodologia Proposta

A seguir é apresentado a metodologia para a montagem do experimento de evolução lateral de uma voçoroca arenosa no aparato de hidrologia e chuva:

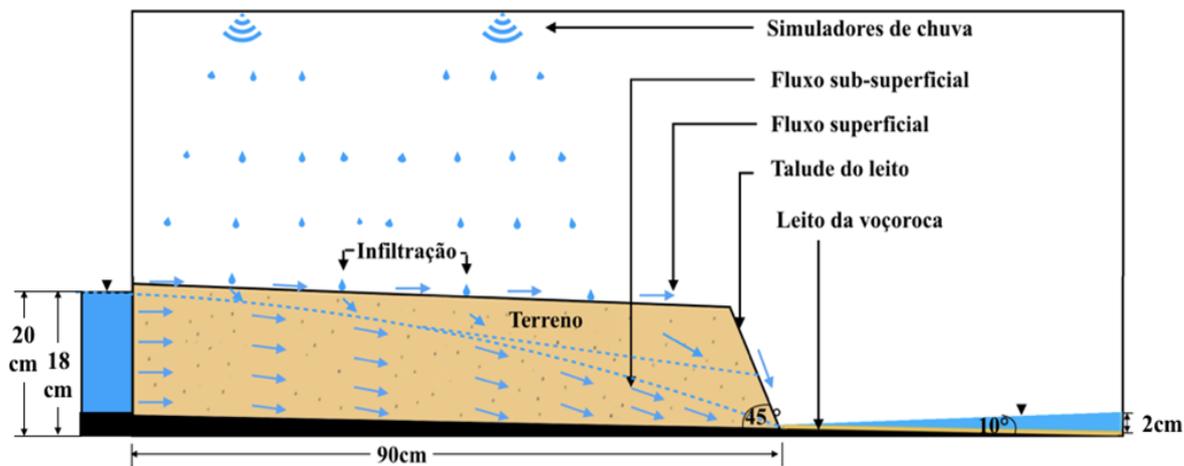
- Primeiro é realizado a construção de um aterro ligeiramente compactado de material arenoso (areia meia) no canal do aparato de hidrologia. Utilizar a metade superior do canal para a construção do aterro, localizando o talude na metade dele, tudo isso devido a que será utilizado unicamente os aspersores de chuva na parte superior do equipamento, de forma que a chuva impacte no terreno e não no talude. A intensidade da chuva não foi determinada para este trabalho, mas é a maior que o equipamento oferece, ou seja, a válvula aberta por completo.
- O talude e o terreno devem ter as seguintes características, o talude do aterro tem uma altura de 20 centímetros e uma inclinação próxima a 45° e representa a ladeira

do leito da voçoroca. O terreno ainda não afetado pela evolução da voçoroca (terraço) apresenta um comprimento de 90 centímetros e uma inclinação menor a 5°.

- Posicionar uma câmera na parte frontal ao talude para uma maior visualização dos movimentos de massa (de ser possível usar uma câmera de movimento de alta velocidade). Deve ser registrado a foto inicial e ao iniciar o ensaio acompanhar com uma filmagem, tomando fotografias que acompanhem as mudanças evolutivas do talude pelo efeito erosivo.
- Um primer ensaio pode ser realizado ativando unicamente a chuva como os aspersores (mantendo fechado os aspersores da parte baixa), com isso se espera que a chuva impacte sobre o terreno, gerando uma infiltração e um escoamento superficial. Tudo isso por aproximadamente dez minutos.
- Um segundo ensaio requer além da chuva, a elevação do nível de água do reservatório localizado a montante do canal. A diferença de carga hidráulica total entre o reservatório e o nível de água no pé do talude é de aproximadamente 18 centímetros. O nível do terreno está situado 2 centímetros acima do nível do reservatório. Em este ensaio se observa o efeito conjunto de uma chuva e o terreno com nível de água elevado e fluxo na direção do talude.

A metodologia proposta foi elaborada com a finalidade de mostrar os mecanismos de evolução de uma voçoroca em solo arenoso mostrado na Figura 2. Um dos mecanismos é o fluxo subsuperficial, representado por uma variação de nível entre o reservatório superior e o nível do reservatório inferior. O outro mecanismo é a chuva, de variada intensidade, que pode ser ativada com o nível de água em fluxo ou com o nível de água abaixo e sem fluxo. Processos como fluxo de água superficial, infiltração e subsuperficial, estão associados ao experimento, pelo que contribuem a mudança de forma do talude da voçoroca no tempo.

**Figura 2:** Mecanismos de evolução da voçoroca proposto



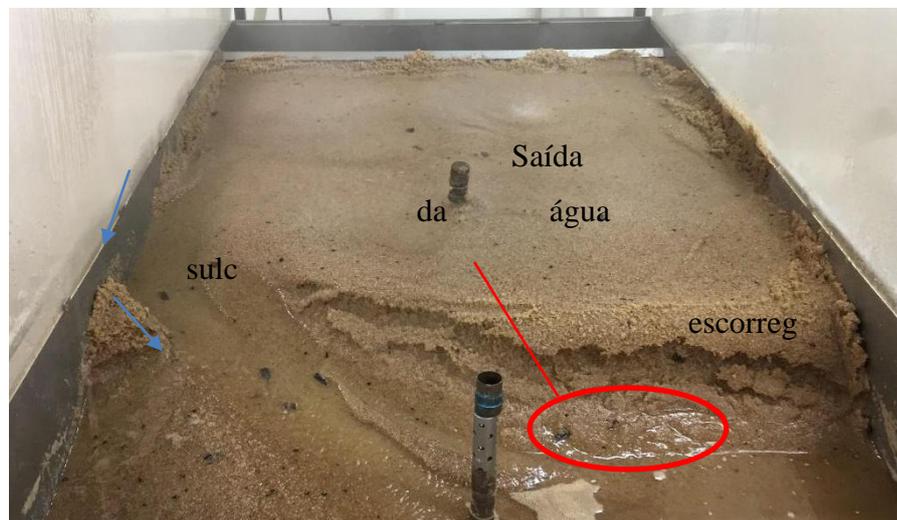
Fonte: os autores

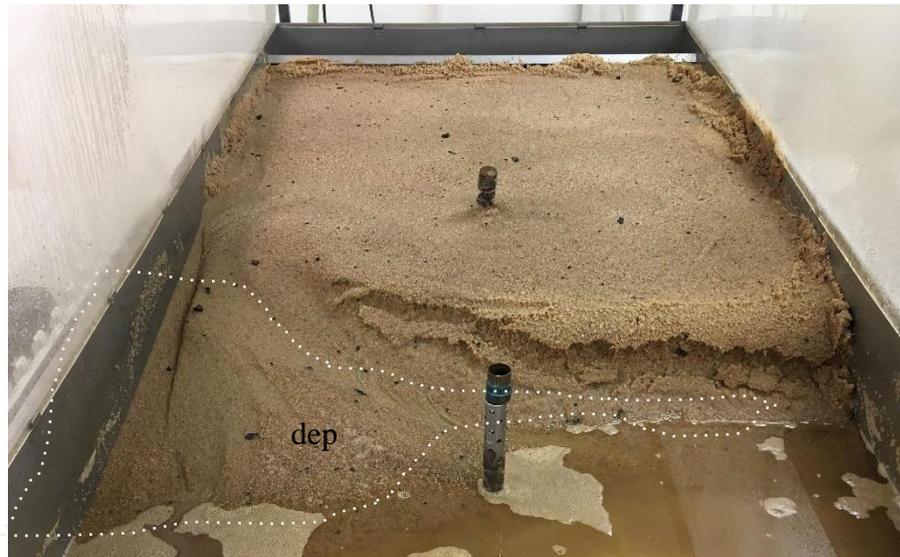
### Experimento 1: com chuva alta e nível freático baixo

Na Figura 3a se mostra o detalhe da formação do talude e terraço do experimento, que representa uma margem da voçoroca antes a da aplicação da chuva, com o sistema freático sem fluxo e ao nível freático de 2 centímetros no pé do talude. Na Figura 3b pode-se observar os detalhes do processo erosivo no terreno (terraço) e talude do modelo de voçoroca. Observa-se no terraço a evolução da erosão por salpicamento, erosão laminar e erosão por sulcos; no talude foi observado escorregamentos por erosão interna no pé do talude. O mecanismo evolutivo lateral foi iniciado com os escorregamentos comprometendo a metade do talude, ocasionado por erosão interna (piping), devido ao aumento de fluxo subsuperficial em consequência das chuvas intensas que infiltram com facilidade pelo terraço devido a elevada permeabilidade do solo arenoso. O mais importante processo erosivo foi quando o sulco formado no terraço atinge o talude, isso porque se produz um aumento elevado da inclinação na base do sulco, ou seja, um aumento da velocidade de arraste das partículas. Dessa forma se produzem as maiores erosões (verticais e laterais), e como consequência deste processo, em poucos minutos foi depositado uma grande quantidade de sedimentos no pé do talude. Na Figura 3c, tracejado com linhas de cor branco, pode-se observar a quantidade de material arenosos acumulado após dez minutos

das ações erosivas iniciadas pela chuva. Observa-se também uma notória mudança da forma do talude.

**Figura 3:** a) talude da voçoroca inicial b) talude da voçoroca durante a aplicação de chuva c) talude da voçoroca ao final da chuva.





Fonte: os autores

## Experimento 2: com chuva alta e nível freático alto

Na Figura 4a observa-se o detalhe do talude e terraço da voçoroca antes da execução do experimento, é de forma similar ao experimento 1.

Para o início do experimento, de forma simultânea se ativa os aspersores de chuva e se eleva o nível do reservatório a montante até 20 centímetros em relação ao nível do pé do talude (Figura 4b). Observa-se a seguir com as câmeras de vídeo e fotografias o efeito do fluxo subsuperficial devido ao aumento do nível de reservatório (aumento do nível freático) somado com o efeito das chuvas (fluxo superficial e subsuperficial). Passado um tempo, pode-se observar brotos de água do dentro para fora do talude em uma altura maior que a metade do talude. Isso se deve, ao aumento de nível de água subsuperficial relativo a somatório do fluxo da água infiltrada pela chuva mais o fluxo subsuperficial imposto no reservatório a montante do terreno. Na Figura 4b, também é observado, na parte central, a formação de um sulco que escoar a água e erosiona as areias compactadas localizada no terraço (terreno) para o pé do talude. Esta ação erosiva aporta grande quantidade de sedimentos ao pé do talude. Na Figura 4c se pode apreciar a mudança notável da morfologia do talude, com uma grande quantidade de materiais depositados no pé dele (indicado com pontos brancos na Figura 4c), ainda maior que no experimento 1 (sem aumento de nível no reservatório a montante), o que nos indica que o efeito conjunto de aumento de nível

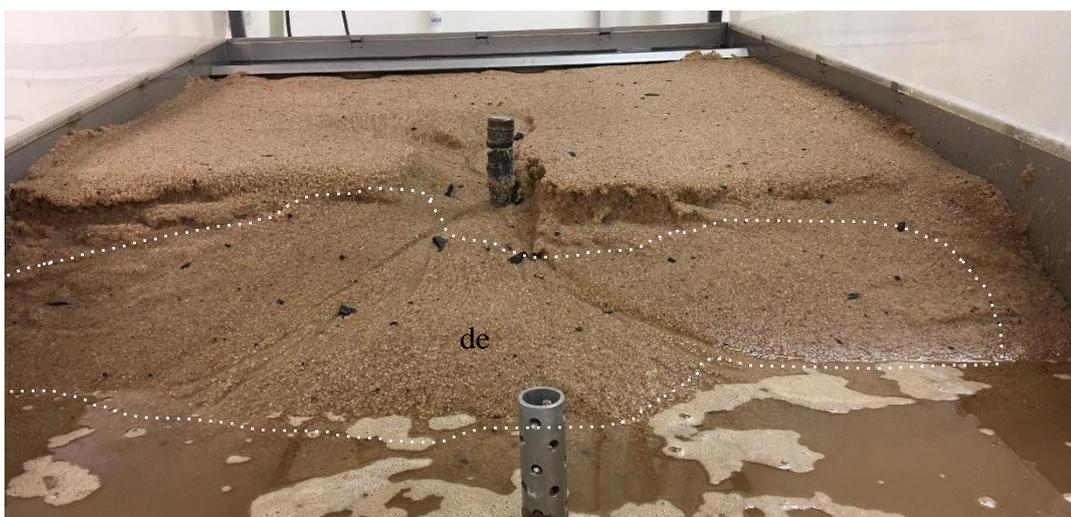
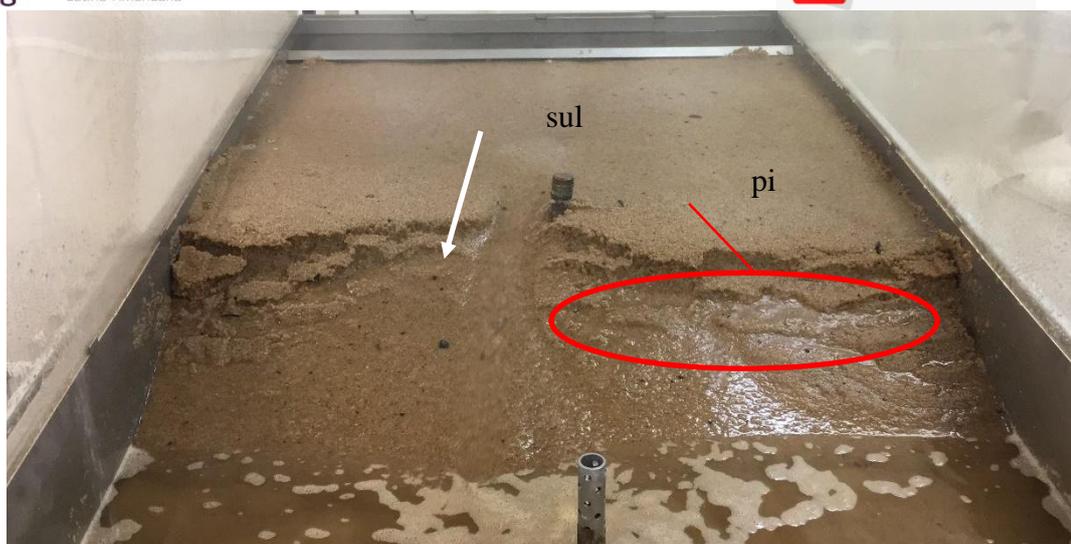
freático mas as chuvas constitui a condição mais favorável para o aumento evolutivo do talude de uma voçoroca em materiais arenosos.

### Experimento 3: sem chuva e com nível freático alto

Na Figura 5a e 5b, observa-se que aumentar unicamente o nível do reservatório a montante do terreno, não houve instabilidade do talude, ou seja, que o fluxo no pé do talude teve velocidades muito baixas que não tiveram a capacidade de mover os grãos de areia do talude. Fazendo contas simples, o gradiente hidráulico no pé do talude é da ordem de 0,2 (assumindo um fluxo paralelo a superfície), ou seja, gradientes que dificilmente podem causar instabilidade hidráulica no talude.

**Figura 4:** a) talude da voçoroca inicial b) talude da voçoroca logo da aplicação da chuva e a elevação do nível de água do reservatório c) talude da voçoroca ao final da chuva





Fonte: os autores

**Figura 5:** a) talude da voçoroca inicial b) talude da voçoroca depois de aumentar o nível de água no reservatório



Fonte: os autores

## Considerações Finais

O estudo da evolução lateral de uma voçoroca pelo efeito da chuva e o fluxo subsuperficial pode ser realizado no aparato de hidrologia e chuva (AHC), seguindo a metodologia proposta no artigo. A discussão e análise dos diferentes efeitos erosivos estudados mostram um elevado potencial didático para diferentes disciplinas de ramos afins à geografia física.

A metodologia proposta consegue avaliar o efeito das precipitações sobre voçorocas baixo condições de nível freático baixo e também para voçorocas com nível freático elevado. Nos experimentos efetuados foi observado que o efeito das precipitações torrenciais são as responsáveis pela aceleração lateral erosiva, mesmo seja que o nível freático baixo ou nível freático elevado. A situação mais desfavorável para acelerar o efeito erosivo foi o efeito conjunto do elevado nível freático e a precipitação.

## Referências

MENDONÇA, Francisco de Assis. A erosão urbana de Paranava (/PR: estudo com base no emprego de fotografias aéreas. **Semina: Ci. Soc./Hum.**, Londrina, v. 14, n. 3, p. 151-154, set. 1993.

SOUZA, Débora Cristina. **Contribuição hídrica das zonas urbanizada e agrícola do Município de Loanda/PR no surgimento e na evolução da voçoroca Vila Vitória**. 2016. Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Análise Ambiental – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, 2016.

TECQUIPMENT ACADEMIA S/A. H313 – Experiment Hydrology and Rainfall Apparatus. Disponível em: <https://www.tecquipment.com/hydrology-and-rainfall-apparatus>, Acesso em: 22 de set. de 2019